

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

2023

Том 65, № 6
Vol. 65, #6

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

6

**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 65, № 6

2023

Журнал издается с января 1958 г.

Периодичность: 6 раз в год

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY AND EXPLORATION

Scientific methodological journal

Vol. 65, No. 6

2023

The journal has been published since 1958

Frequency: Bimonthly

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

Иностранные 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

Вердоа 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

GEOLOGY AND EXPLORATION

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

Эппельбаум Лев Виленович, Dr. of 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	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
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 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	29.12.2023
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2023
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

GEOLOGY AND EXPLORATION

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. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

Editorial Board

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

Dmitry S. Drozdov, Dr. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

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

Mikhail G. Leonov, Dr. of 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. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Petrov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of 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. of 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. of 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. of 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. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Gurban J. Yetirmishli, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. of 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. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden

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

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

Yuri P. Panov, Cand. of 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. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

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

Rustam N. Mustaev, Cand. of 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. of Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of 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	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
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 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	100 copies
Publication date	29.12.2023
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	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 8** К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ
Ю.П. ПАНОВ, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 14** КОЛЬЦЕВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ РАЙОНЫ ЗИМБАБВЕ И ОЦЕНКА
ОСТАТОЧНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА
П.А. ИГНАТОВ, С.А. МАЛЮТИН, А.А. ИВАНОВ, А.С. ДЕСЯТКИН, М.М. ЛАНЧАК

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

- 26** СПЕЦИАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭНДО-
И ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
А.С. КАМАРА, В.В. НЕВЕЧЕРЯ, Л.А. ЯРГ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 41** НОВАЯ МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИНДИКАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН
К.М. ФЕДОРОВ, А.П. ШЕВЕЛЕВ, А.Я. ГИЛЬМАНОВ, А.А. ИЗОТОВ, А.В. КОБЯШЕВ
- 53** ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИСАХАЛИНСКОГО ШЕЛЬФА
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ
А.К. ШАТЫРОВ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

- 66** КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА И ПОДБОР МЕТОДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ДЛЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕГАРЕЗЕРВУАРОВ (БЛОК ХАЯН,
ПАЛЬМИРИДСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)
В.Л. ШУСТЕР, О.В. ТЮКАВКИНА, И. КАРТАЛ

ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 79** О ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДХОДОВ К АУДИТУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
ДЛЯ ПРИРАЩЕНИЯ ЦЕННОСТЕЙ РОССИИ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ПОЛИТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ
Д.А. ПАВЛОВСКИЙ, Ю.В. ЗВОРЫКИНА

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

- 91** СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА
(К 130-ЛЕТИЮ ГРОЗНЕНСКОЙ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)
Н.А. КАСЬЯНОВА

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 106** У ИСТОКОВ НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ. РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ А.А. МАТВЕЙЧУКА
«ПЕРВЫЕ ГЕОЛОГИ-НЕФТЯНИКИ РОССИИ. ИСТОРИЧЕСКИЕ ОЧЕРКИ»
В.П. КАРПОВ

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 8 TO THE QUESTION OF PARAMETER OPTIMIZATION OF HYDRAULIC TRANSPORTATION TECHNOLOGY**
YURI P. PANOV, OLEG S. BRYUKHOVETSKY

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 14 RING-SHAPE AND LINEAR GOLD MINING DISTRICTS OF ZIMBABWE:
ESTIMATION OF RESIDUAL GOLD RESOURCES**
PETR A. IGNATOV, SERGEY A. MALYUTIN, ANDREY A. IVANOV, ALEXEY S. DESYATKIN, MAXIM M. LANCHAK

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 26 SPECIAL-PURPOSE GEOTECHNICAL MAP ON DISTRIBUTION OF ENDO- AND EXOGENOUS
GEOLOGICAL PROCESSES OF THE REPUBLIC OF GUINEA**
ABOUBACAR S. CAMARA, VADIM V. NEVECHERIA, LUDMILA A. YARG

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 41 NEW INTERPRETATION TECHNIQUE FOR TRACER WELL TESTS**
*KONSTANTIN M. FEDOROV, ALEXANDER P. SHEVELEV, ALEXANDER Y. GILMANOV, ALEXEY A. IZOTOV,
ALEXANDER V. KOBYASHEV*
- 53 ASSESSMENT OF THE GEOMECHANICAL PROPERTIES OF RESERVOIRS OF THE SAKHALIN SHELF
BASED ON THE RESULTS OF MODELING**
A.K. SHATYROV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 66 COMPLEX PROCESSING GEOPHYSICAL SURVEY AND SELECTION OF METHODS
FOR DETAILING THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF MEGA-RESERVOIRS (HAYAN BLOCK,
OF THE PALMYRIDE FOLD BELT)**
VLADIMIR L. SCHUSTER, OLGA V. TYUKAVKINA, IBRAHIM KARTAL

MINERAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION ECONOMICS

- 79 TRANSFORMATION OF APPROACHES TO MINERAL RESOURCE AUDITING FOR AUGMENTATION
OF RUSSIA'S WEALTH IN THE CURRENT POLITICAL SITUATION**
DANEK A. PAVLOVSKIY, JULIA V. ZVORYKINA

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 91 FORMATION AND DEVELOPMENT OF NORTH CAUCASUS OIL INDUSTRY
(TO THE 130th ANNIVERSARY OF GROZNY OIL INDUSTRY)**
NATALIA A. KASYANOVA

CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

- 106 AT THE ORIGINS OF PETROLEUM GEOLOGY. A REVIEW OF THE BOOK BY A.A. MATVEYCHUK
"THE FIRST PETROLEUM GEOLOGISTS OF RUSSIA. HISTORICAL SKETCHES"**
VIKTOR P. KARPOV



К ВОПРОСУ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Ю.П. ПАНОВ, О.С. БРЮХОВЕЦКИЙ*

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Для выбора рациональных схем технологии гидравлического транспортирования горной массы необходима оптимизация ее основных параметров.

Большое число факторов, определяющих эффективность гидротранспорта, затрудняет полную формализацию взаимосвязей основных процессов транспортирования между собой и другими производственными процессами горно-обогатительного производства.

Цель. Выявить специфические особенности основных процессов гидротранспортной технологии, установить факторы, параметры, определяющие их оптимальную работу, и предложить инструмент оптимизации как отдельных звеньев, так и всей цепочки гидравлического транспортирования горной массы.

Материалы и методы. Применительно к поставленной задаче оптимизации параметров процесса гидротранспортирования минерального сырья материальной основой ее решения являются интегральные характеристики напорного движения рудных и породных гидросмесей, полученные авторами и другими исследователями эмпирическим или теоретическим путем на различных объектах горнодобывающих и горно-перерабатывающих предприятий.

Результаты. Выяснено, что основным фактором (помимо множества других, менее значимых), определяющим эффективность гидротранспорта, является крупность транспортируемого куска (руды, породы, угля).

При этом характер изменения финансовых затрат и результатов оценки эффективности гидротранспортной технологии всегда будет относиться к конкретному месторождению, принятой технологической схеме, используемому оборудованию.

Заключение. Задача оптимизации параметров гидротранспортной технологии может быть решена с применением технологии цифровых двойников, позволяющей решать вопросы управления сложными технологическими процессами, при этом оперативно вносить коррективы в режимы и параметры рабочих процессов как на отдельных производственных линиях, так и на предприятии в целом.

Ключевые слова: напорный гидравлический транспорт, гидротранспортная технология, горная масса, крупность отдельных фракций, параметры гидротранспортирования, критерии оптимизации, технология цифровых двойников

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Панов Ю.П., Брюховецкий О.С. К вопросу оптимизации параметров гидротранспортной технологии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(6):8—13. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-8-13>

Статья поступила в редакцию 25.09.23

Принята к публикации 08.12.2023

Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

TO THE QUESTION OF PARAMETER OPTIMIZATION OF HYDRAULIC TRANSPORTATION TECHNOLOGY

YURI P. PANOV, OLEG S. BRYUKHOVETSKY*

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

ABSTRACT

Background. The selection of rational schemes for the technology of hydraulic transportation of rock mass requires optimization of the main parameters of this technology. A large number of factors determining the efficiency of hydraulic transportation hamper the formalization of relationships of the main transportation processes both between themselves and other mining and processing processes.

Aim. To identify specific features of the main processes in hydraulic transportation technology, to establish the factors and parameters that determine their optimal operation, and to propose an optimization tool for both individual links and the entire chain of hydraulic transportation of rock mass.

Materials and methods. The problem of parameter optimization of hydraulic transportation of mineral raw materials is solved based on the integral characteristics of the pressure movement of ore and rock hydraulic mixtures. These characteristics were previously obtained empirically or theoretically by the authors of the present paper and other researchers at various mining companies.

Results. Among the variety of factors determining the efficiency of hydraulic transportation, the size of the transported piece (ore, rock, coal) was found to play the major role. At the same time, the nature of changes in economic expenditures and results of evaluating the effectiveness of hydraulic transportation technology will always relate to a specific field, the accepted technological scheme, and the equipment used.

Conclusion. The problem of parameter optimization of hydraulic transportation processes can be solved using digital twin technology. This technology can be used to address the issues of managing complicated technological processes, as the same time allowing timely adjustments to the modes and parameters of operational processes both on individual production lines and at the enterprise as a whole.

Keywords: pressure hydraulic transportation, hydraulic transport technology, rock mass, the size of individual fractions, parameters of hydro-transportation, optimization criteria, digital twin technology

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

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

For citation: Panov Yu.P., Bryukhovetsky O.S. To the question of parameter optimization of hydraulic transportation technology. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):8—13. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-8-13>

Manuscript received 25 September 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Цифровая трансформация в геологоразведке и горнодобывающей промышленности приводит к появлению новых представлений об оценке эффективности применяемых технологий. Особенно это касается вопроса оптимизации работы отдельных звеньев сложных промышленных систем, к которым относится технология гид-

равлического транспортирования минерального сырья.

Напорное гидравлическое транспортирование горной массы (руды, породы, закладочных материалов и т.д.) является прогрессивным техническим направлением, так как в определенных геологических и горнотехнических условиях позволяет

объединить процессы очистных работ, транспорта и переработки горной массы в одну поточную линию.

Другими словами, гидравлическое транспортирование на горных предприятиях следует рассматривать как основу поточной технологии, включающей перемещение горной массы под землей, водоотлив, подъем на поверхность, транспорт на поверхности, подготовку сырья к последующей переработке.

Эта технология позволяет управлять техническими и технологическими параметрами процесса транспортирования сырья, воздействовать на технико-экономические показатели основных стадий горно-обогатительного производства для повышения его эффективности [3].

Рассмотрение гидравлического транспортирования как технологии накладывает свои требования к оптимизации технологических параметров всех процессов горного производства, на которые этот вид транспорта оказывает влияние.

Специфические особенности гидротранспорта и большое число факторов, определяющих его эффективность, затрудняют полную формализацию взаимосвязей основных процессов гидротранспорта между собой и другими звеньями горно-обогатительного производства. Вследствие этого выбор рационального варианта транспортной схемы и оптимизация ее параметров являются сложной многофакторной задачей.

Разработка месторождений полезных ископаемых с использованием гидротранспортной технологии изменяет качественные и количественные показатели их эксплуатации. Это особенно касается подземного способа разработки рудных залежей, где преимущества указанного способа транспортирования в благоприятных условиях проявляются наиболее значимо.

На практике возможны следующие варианты технологических схем гидротранспортирования при подземной разработке минерального сырья [2, 7].

Вариант 1. Гидротранспорт руды под землей и на поверхности с одновременной промывкой и обогащением руды в процессе гидротранспортирования (богатые железные руды Яковлевского месторождения КМА и др.).

Вариант 2. Гидроподъем и гидротранспорт руды, попутная промывка руды и отделение шламов, повышение извлечения полезных компонентов при обогащении (свинцово-цинковые и баритовые руды Салаирского месторождения и др.).

Вариант 3. Рудничный гидравлический транспорт компонентов твердеющей закладочной смеси с утилизацией пород горнопроходческих выработок без выдачи пород на поверхность (североуральские бокситовые месторождения и др.).

Вариант 4. Раздельная отработка руд разного качества, предварительное обогащение руды под землей с выделением пустой породы, гидротранспорт обогащенной руды на поверхность к месту дальнейшей переработки, пустой породы — под землей для закладки выработанного пространства (богатые железные руды и железистые кварциты КМА и др.).

Вариант 5. Полный цикл обогащения руды под землей с выдачей гидротранспортом готового концентрата на поверхность и размещением хвостов обогащения в подземных горных выработках (руды цветных и редких металлов и др.).

Возможны и другие варианты технологических схем гидротранспорта сырья, в частности при комбинированной (открыто-подземной) разработке месторождения, при доработке прибоновых запасов, при повторной разработке, при разработке в сложных горно-геологических и климатических условиях [7]. Может оказаться целесообразным применение этой технологии параллельно с использованием традиционных способов транспорта — железнодорожного, конвейерного, автомобильного.

Все это усложняет математическую интерпретацию технологического процесса гидротранспортирования в целом, так как каждый вариант носит частный характер. Общим для всех вариантов является влияние крупности транспортируемого куска на гидравлические, технологические и в итоге на экономические показатели гидротранспортной технологии. Остановимся на этом вопросе подробнее.

Оптимальный размер транспортируемого куска может быть различным для различных технологических процессов, осуществляемых при реализации рассматриваемой технологии, в том числе при:

- подготовке горной массы (руды, породы) к гидротранспортированию (дробление, измельчение, пульпообразование и др.);
- гидротранспортировании (потери напора при движении воды и гидросмеси, износ оборудования и трубопроводов и др.);
- обезвоживании и складировании готового продукта (руды, породы, хвостов и др.).

Эффективность перечисленных процессов в их экономическом содержании в значительной степени зависит от крупности транспортируемого куска.

Отбитая горная масса перед гидротранспортированием подвергается дроблению и измельчению до крупности, определяемой требованиями технологии дальнейшей переработки (сгущение, обогащение, складирование и др.), при этом для каждого процесса будет свой оптимальный размер куска. Вместе с тем процесс дробления (измельчения) руды весьма трудоемкий и затратный и составляет до 50% от стоимости отбитой руды.

Применяемые в настоящее время на шахтах дробильные устройства позволяют получать продукт крупностью 6—15 мм. При такой крупности кусков руды (например, богатые железные руды) возможно лишь их предварительное обогащение. Глубокое обогащение может быть достигнуто лишь после доведения крупности куска руды до размеров 1 мм и меньше, то есть они требуют измельчения. Этот процесс весьма дорогостоящий и, как правило, на обогатительных фабриках с целью экономии электроэнергии и уменьшения износа оборудования процесс дробления осуществляют в несколько стадий, разделенных процессами грохочения (классификации) для выделения фракций определенной крупности, чтобы не подвергать их повторному дроблению.

Кроме того, следует учитывать, что крупность частиц, кроме других факторов, определяет величину потерь напора при их гидравлическом транспорте. Поэтому то, что может быть оптимальным с точки зрения энергопотребления при дроблении (измельчении), может не соответствовать минимальным энергозатратам при гидротранспорте.

Исследования показывают [8], что чем больше крупность транспортируемого материала, тем больше потери напора, однако до определенного значения — примерно до 3 мм — при дальнейшем увеличении крупности куска кривая удельных гидравлических сопротивлений (потерь энергии при движении гидросмеси) выполаживается, что объясняется кинематическими особенностями перемещения частиц грубодисперсной фракции [5].

Подобная ситуация с оптимизацией крупности транспортируемого материала возникает и при анализе влияния ее на степень износа трубопроводов и оборудования при гидротранспорте, затрат на обезвоживание и складирование сырья.

Что касается износа трубопроводов при гидротранспорте, то этот показатель является одним из основных при оценке эффективности гидротранспортных систем.

Общий износ трубопроводов складывается из износа от трения скольжения и качения частиц

по стенке, кавитационного износа, износа от удара частиц под разными углами о стенку, коррозионного износа от воздействия обогащенной кислородом гидросмеси, износа от гидравлических ударов.

Экспериментами и теоретическими исследованиями установлено, что в обычных условиях транспортирования дробленых руд, при скоростях больше критической, основная роль в износе принадлежит ударному износу [1, 5]. Он уменьшает наклеп, образующийся при волочении частиц по нижней стенке трубопровода, приводит к образованию наружных микротрещин в стенке и тем самым стимулирует более интенсивное протекание других видов износа (коррозии, кавитации).

Исследованиями доказано, что, начиная с некоторого значения максимального размера транспортируемого куска, увеличение крупности частиц не оказывает существенного влияния на величину износа трубопровода. При этом на величину ударного износа плотность и размер твердых частиц влияют сильнее, чем скорость их перемещения. Это обстоятельство может быть определяющим при установлении предельной крупности дробления (измельчения) рудной массы перед гидротранспортированием.

Отмеченные особенности влияющих факторов при оценке эффективности гидротранспортной технологии не ограничиваются только значением крупности транспортируемого материала. Множество других факторов, в том числе плотность руды, объемная концентрация и скорость движения гидросмеси, содержание в ней тонких фракций (крупностью менее 0,2 мм), диаметр трубопровода и др. также оказывают определенное влияние, и прежде всего на энергоемкость процесса транспортирования.

В общем случае характер изменения финансовых затрат и результатов оценки эффективности гидротранспортной технологии всегда относится к конкретному месторождению, к принятой технологической схеме, используемому оборудованию.

Математическое описание оптимального варианта технологии гидротранспорта минерального сырья в каждом случае будет частным, в известной степени оригинальным.

Вместе с тем задача оптимизации может быть решена с привлечением технологии цифровых двойников (Digital Twin), которая получает все большее распространение в промышленности, в том числе и при оптимизации транспортных систем.

Цифровой двойник — это программный аналог промышленного объекта (изделия, технологии, транспортного потока и др.), моделирующего в режиме реального времени внутренние процессы, технические характеристики и поведение объекта в условиях влияния случайных воздействий и окружающей среды, параметры которых передаются с датчиков реального объекта [4, 6].

Цифровой двойник связан с реальным объектом через облачный сервис, что позволяет собирать, накапливать и анализировать полученную с датчиков информацию, обрабатывать ее в виде математических моделей внешнего вида, оперативно корректировать режимы и параметры рабочих процессов объекта. Эта технология позволяет решать задачи управления не только отдельными технологическими процессами, производственными линиями, но и предприятием в целом.

Применительно к поставленной задаче оптимизации параметров процесса гидротранспор-

тирования минерального сырья материальной основой ее решения являются интегральные характеристики напорного движения рудных и породных гидросмесей, полученные учеными МГРИ и другими исследователями, представляющие собой уникальную научную и практическую базу для проектирования и рационального использования прогрессивной гидротранспортной технологии на горных предприятиях.

В заключение отметим, что создание системы математических и компьютерных моделей (цифрового двойника) для оптимизации параметров гидротранспортной технологии на объектах горнодобывающей отрасли в каждом конкретном случае потребует предварительного детального технико-экономического обоснования целевой функции: минимизации затрат, либо максимизации прибыли, либо нечто иного, например обеспечения необходимого уровня надежности, безопасности, минимального ущерба окружающей среде и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брюховецкий О.С. Методические основы ударного разрушения стенок трубопроводов потоками твердых частиц при гидравлическом транспортировании // Москва: МГП «Геолнформмарк» — ВНИИ экономики минер. сырья и геол.-развед. работ, 1990. 68 с.
2. Брюховецкий О.С., Ильяхин С.В., Яшин В.П. Основы горных технологий: учебное пособие для СПО. СПб.: Лань, 2020. 352 с. ISBN 978-5-8114-6441-8.
3. Брюховецкий О.С. Рудничный напорный гидравлический транспорт горной массы: учебное пособие. СПб.: Лань, 2021. 196 с. ISBN 978-5-8114-3589-0.
4. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // Colloquium-Journal. 2019. № 10—2(34). С. 101—104.
5. Смолдырев А.Е. О сопротивлении движению в системах трубопроводного транспорта. М.: Промышленный транспорт, 1982. С. 11—12.
6. Цехла С.Ю., Симченко Н.А. Цифровой двойник в системе управления промышленным объектом // Большая Евразия: Развитие, безопасность, сотрудничество: Ежегодник. Мат-лы Третьей междунар. науч.-практич. конф. в рамках Общественно-научного форума «Здравствуй, Россия!». Москва, 14—15 октября 2020 года / Отв. ред. В.И. Герасимов. Вып. 3. Ч. 2. М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2020. С. 794—796.
7. Черных А.Д., Брюховецкий О.С., Логинский А.П. Доработка запасов руд за контурами карьера с закладкой выработанного пространства. М.: Цветметинформация, 1987. 126 с.
8. Юфин А.П. Гидромеханизация. М.: Стройиздат, 1974. 496 с.

REFERENCES

1. Bryukhovetsky O.S. Methodological foundations of shock destruction of pipeline walls by flows of solid particles during hydraulic transportation. Moscow: IHP "Geolnformmark" — Research Institute of Economics miner. raw materials and geol.-intelligence. works, 1990. 68 p. (In Russian).
2. Bryukhovetsky O.S., Ilyakhin S.V., Yashin V.P. Fundamentals of mining technologies: a textbook for SPO. St.-Petersburg: Lan, 2020. 352 p. ISBN 978-5-8114-6441-8 (In Russian).
3. Bryukhovetsky O.S. Mine pressure hydraulic transport of rock mass: textbook. St.-Petersburg: Lan, 2021. 196 p. ISBN 978-5-8114-3589-0 (In Russian).
4. Kokorev D.S., Yurin A.A. Digital twins: concept, types and advantages for business // Colloquium-Journal. 2019. No. 10—2(34). P. 101—104 (In Russian).
5. Smoldyrev A.E. On resistance to movement in pipeline transport systems. Moscow: Industrial Transport, 1982. P. 11—12 (In Russian).
6. Tsekhla S.Yu., Simchenko N.A. Digital twin in the industrial facility management system // Greater Eurasia: Development, security, cooperation: The yearbook. Materials of the Third International scientific and practical conference within the framework of the Public

- Scientific Forum "Hello, Russia!". Moscow, October 14—15, 2020 / Editor-in-chief V.I. Gerasimov. Issue 3. Part 2. Moscow: Institute of Scientific Information on Social Sciences of the Russian Academy of Sciences, 2020. P. 794—796 (In Russian).
7. Chernykh A.D., Bryukhovetsky O.S., Loginsky A.P. Refinement of ore reserves behind the contours of the quarry with the laying of the developed space. Moscow: Tsvetmetinformatsiya, 1987. 126 p. (In Russian).
8. Yufin A.P. Hydromechanization. Moscow: Stroyizdat, 1974. 496 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Панов Ю.П. — 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.

Yuri P. Panov — 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

Панов Юрий Петрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ректор ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2002
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-код: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Yuri P. Panov — Cand. of Sci. (Tech.), Senior Researcher, Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2002)
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-code: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

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
SPIN-код: 8619-2065

Oleg S. Bryukhovetsky* — Dr. of Sci. (Tech.), Professor, 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
SPIN-code: 8619-2065

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



КОЛЬЦЕВЫЕ И ЛИНЕЙНЫЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ РАЙОНЫ ЗИМБАБВЕ И ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ РЕСУРСОВ ЗОЛОТА

П.А. ИГНАТОВ^{1,*}, С.А. МАЛЮТИН¹, А.А. ИВАНОВ¹, А.С. ДЕСЯТКИН², М.М. ЛАНЧАК¹

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

² АО «Зарубежгеология»
69, Новочеремушкинская ул., г. Москва 117418, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Несмотря на длительную историю эксплуатации и изучения региона, остаются неясными ранги золоторудных образований на уровне районов и полей. Важным вопросом является оценка остаточных ресурсов коренных месторождений золота провинции.

Цель. Выделение рудных районов кольцеобразной и линейной формы, приуроченных к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам в пределах золоторудной провинции кратона Зимбабве.

Материалы и методы. Главным методом при анализе рудных месторождений золота был рудно-формационный анализ. Для анализа остаточных ресурсов золота в районах Зимбабве применено правило Ципфа — Лотке — Брэдфорда по соотношению в определенном рудном районе выдающегося редчайшего события в виде крупного месторождения, весьма редких событий — средних по запасам месторождений и достаточно редких — мелких рудных объектов.

Результаты. Предложена гипотеза образования кольцеобразных поясов как рудоносных вулкано-тектонических структур центрального типа. В пределах золоторудной провинции кратона Зимбабве впервые выделены рудные районы кольцеобразной и линейной формы, приуроченные к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам. Показано, что локализация месторождений в рудных районах обусловлена сочетанием следующих критериев: древних разломов, дуговых фрагментов зеленокаменных поясов и развитием посттектонического многофазного гранитоидного магматизма. Проведено ранжирование месторождений в рудных районах Дарвин, Шамва, Мидленс, Булавайо, Гванда, Буша Мвези — Форт Виктория, Шаше — Ози-Уматли и Синойя. Выделены пять золоторудных районов, соответствующих вулканоплутоническим кольцевым структурам, и три линейных района. Наибольшая продуктивность прогнозируется в кольцевых районах Мидлендс, Булавайо и Шамва. Дана оценка остаточных ресурсов золота каждого из выделенных районов. Установлена целесообразность детализации важных прогнозных критериев: позднеархейских линейных и дуговых разломов и посттектонических гранитоидов с разработкой дополнительных критериев для дальнейшего металлогенического районирования и локализации перспективных площадей.

Заключение. Представленные данные служат основанием положительной оценки перспектив поисков промышленно важных коренных месторождений золота в Зимбабве и проведения их прогноза в выделенных золоторудных районах.

Ключевые слова: золотоносность, Зимбабве, тектонические структуры, металлогения, прогноз и поиски, критерии, магматизм, ресурсы, районирование

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено в рамках гранта № 075-15-2023-625 Минобрнауки России.

Для цитирования: Игнатов П.А., Малютин С.А., Иванов А.А., Десяткин А.С., Ланчак М.М. Кольцевые и линейные золоторудные районы Зимбабве, и оценка остаточных ресурсов золота. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):14—25.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-14-25>

Статья поступила в редакцию 30.09.23
Принята к публикации 08.12.2023
Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

RING-SHAPE AND LINEAR GOLD MINING DISTRICTS OF ZIMBABWE: ESTIMATION OF RESIDUAL GOLD RESOURCES

PETR A. IGNATOV^{1,*}, SERGEY A. MALYUTIN¹, ANDREY A. IVANOV¹, ALEXEY S. DESYATKIN²,
MAXIM M. LANCHAK¹

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

² JSC "Zarubezhgeologiya"
69, Novocheremushkinskaya str., Moscow 117418, Russia

ABSTRACT

Background. Despite the long history of exploitation and study of Zimbabwe's geological potential, the ranks of gold ore formations at the level of regions and fields remain unclear. Assessment of the residual primary gold deposits in Zimbabwe appears an important research direction.

Aim. Identification of ring-shaped and linear ore districts confined to greenstone belts corresponding in configuration within the gold province of the Zimbabwe craton.

Materials and methods. The main method for analyzing gold ore deposits was ore formation analysis. To analyze the residual gold resources in the regions of Zimbabwe, the Zipf-Lotke-Bradford rule was applied according to the ratio of an outstanding rare event in the form of a large deposit, rather rare events in the form of medium-sized deposits, and fairly rare events in the form of small ore objects in a certain ore region.

Results. A hypothesis is proposed for the formation of ring-shaped belts as ore-bearing volcano-tectonic structures of the central type. Within the gold province of the Zimbabwe craton, ore districts of ring-shaped and linear shape, confined to greenstone belts corresponding in configuration, are identified for the first time. It is shown that the localization of deposits in ore regions is due to a combination of the following criteria: ancient faults, arc fragments of greenstone belts, and the development of post-tectonic multiphase granitoid magmatism. A ranking of deposits was carried out in the ore districts of Darwin, Shamva, Midlands, Bulawayo, Gwanda, Busha Mwezi - Fort Victoria, Shashe - Ozi-Umatli, and Sinoia. Five gold mining areas corresponding to volcano-plutonic ring-shape structures and three linear areas were identified. Productivity is predicted to be highest in the Midlands, Bulawayo, and Shamva ring-shape regions. An assessment of the residual gold resources of each of the selected areas is given. The feasibility of detailing important forecast criteria — Late Archean linear and arc faults and post-tectonic granitoids — with the development of additional criteria for further metallogenic zoning and localization of promising areas is established.

Conclusions. The presented data serve as the basis for assessing the prospects of industrially important primary gold deposits in Zimbabwe and carrying out their forecast in the identified gold mining areas.

Keywords: gold potential, Zimbabwe, tectonic structures, metallogeny, forecast and prospecting, criteria, magmatism, resources, zoning

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

Financial disclosure: The research is carried out within the framework of the Scientific Research Project No. 075-15-2023-625 of the Ministry of science and higher education of the Russian Federation.

For citation: Ignatov P.A., Malyutin S.A., Ivanov A.A., Desyatkin A.S., Lanchak M.M. Ring-shape and linear gold mining districts of Zimbabwe: estimation of residual gold resources. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):14—25. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-14-25>

Manuscript received 30 September 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Кратон Зимбабве является классической золоторудной провинцией позднего архея [1, 5, 7, 9—11, 18, 20]. К 2020 г. здесь добыто порядка 2500 т золота.

Несмотря на длительную историю эксплуатации и изучения региона, остаются неясными ранги золоторудных образований на уровне районов и полей. Важным вопросом является оценка остаточных ресурсов коренных месторождений золота провинции. Этим вопросам посвящена данная статья.

Фактический материал и методы исследований

Фактической основой проведенного анализа региональной позиции золотой минерализации Зимбабве послужили прежде всего две карты масштаба 1:1 млн — геологическая, изданная в 1986 г., и карта минеральных ресурсов по месторождениям золота Зимбабве, выпущенная в 1988 г. Также учтена весомая статья [6] по характеристике месторождений золота Зимбабве. Использованы данные по месторождениям золота Зимбабве, опубликованные в работах отечественных [3, 7] и зарубежных [8—11, 14, 15, 18, 20] авторов, посвященных геологии, минеральному составу и строению месторождений золота в древних зеленокаменных поясах Зимбабве. Использованы данные анализа аэромагнитной съемки, представленные в публикациях R.T. Ranganai [23].

Главным методом при анализе рудных месторождений золота был рудно-формационный анализ, разрабатываемый российскими учеными А.В. Волковым, Ф.И. Вольфсоном, Н.А. Горячевым, А.Б. Кажданом, М.М. Константиновым, В.Н. Котляром, Е.М. Некрасовым, А.А. Сидоровым, В.И. Старостиным и др. Важнейшим принципом этого анализа является выделение рангов рудных образований от рудных тел, рудоносных зон, месторождений, рудных полей, узлов и районов до рудной провинции. Использовались принципы фрактального анализа природных образований, которые применяются при выборе участков детализации в процессе разведки месторождений, в том числе и золоторудных, что изложено в работах П.И. Кушнарева. Авторы в полной мере использовали возможности современных геоинформационных систем, собрав базу прежде всего картографических данных в Quantum GIS проекте. Для анализа

аэромагнитных данных использованы современные методики и традиционные способы их геологической интерпретации.

Для анализа остаточных ресурсов золота в районах Зимбабве применено правило Ципфа — Лотке — Брэдфорда по соотношению в определенном рудном районе выдающегося редчайшего события в виде крупного месторождения, весьма редких событий — средних по запасам месторождений и достаточно редких — мелких рудных объектов. При этом авторы отдают отчет в том, что в таком анализе очень важны весьма хорошая опосредованность территории и факт наличия наиболее крупного объекта. По отношению к месторождениям золота такой объект принят с запасами, превышающими 100 т металла; соответственно, к средним отнесены месторождения с запасами от 10 до 50 т, к мелким — от 1 до 10 т.

Результаты

Архейский кратон Зимбабве ограничен с севера и северо-запада протерозойским поясом Замбези, на юге — архейским поясом Лимпопо, на западе перекрыт осадочным чехлом от протерозоя до триаса и мела. По имеющимся геологическим картам в кратоне выделено 10—15 крупных зеленокаменных поясов, расположенных на гранито-гнейсовом архейском основании [6, 8, 10, 22].

В настоящее время в рассматриваемом регионе осваивается около 500 главным образом мелких месторождений золота, известны три крупных с запасами более 50 т и более двух десятков средних по запасам от 10 до 50 т месторождений.

В Зимбабве известные рудные районы выделены по отдельным зеленокаменным поясам или их частям [12, 16, 22]. По площадным размерам в ряде случаев они соответствуют рудным полям гидротермальных месторождений.

Контуры зеленокаменных поясов на геологических картах территории Зимбабве показаны в соответствии с конформными границами стратифицированных образований (железистых кварцитов, конгломератов, брекчий, покровов коматиитов, базальтов и андезитов и силлов ультрабазитов). Все эти породы дешифрируются по данным аэромагнитной съемки [23], что подтверждает надежность картирования.

На региональной и более крупномасштабных геологических и тектонических картах и схемах отчетливо видно, что отдельные зеленокаменные пояса имеют линейные, дуговые и почти полные кольцообразные формы.

В ряде случаев сближенные зеленокаменные пояса достаточно уверенно объединяются в крупные кольцевые структуры с поперечными осями примерного диаметра от 50 до 140 км. Их внешние контуры проведены по покровам метавулканитов, примыкающим к ультрабазитам групп Себаквиан и Булавайан. Выделено пять таких структур с северо-востока на юго-запад: Дарвин, Шамва, Мидлендс, Булавайо и Гванда (рис. 1).

Самая северная из них, названная по региону Дарвин, имеет наименьшие размеры овала порядка 50×70 км с широтной осью. Она контактирует с кольцевой структурой Шамва, совпадающей с зеленокаменным поясом Шамва-Салисбури (Шамва-Хараре). Эта структура наиболее ярко выделяется как овал, вытянутый на северо-восток с размерами 60×70 км.

В структуру Мидлендс с осями 100×110 км вошли зеленокаменные пояса Кью-Кью, Гвело и собственно Мидлендс. Этот овал вытянут по меридиану. Западнее структуры Мидленс намечается еще один район, в котором образования гранит-зеленокаменных поясов по большей части перекрыты чехлом протерозойских отложений. Он непосредственно граничит с Мидлендс.

Наиболее крупная кольцевая структура Булавайо с условными диаметрами 150×140 км объединяет пояса Булавайо-Буби, Селюкве и Белингве. Ее длинная ось простирается на северо-запад. Надо отметить, что в центральной части данной структуры находятся метавулканиты и метаосадочные породы с дуговыми силлами ультрабазитов (район г. Инзиза). Они слагают полуовал с размерами примерно 20×30 км и отражают внутреннюю кольцевую форму. Они, вероятно, сохранились от последующей эрозии.

Южная кольцевая структура Гванда с размерами 50×70 км объединяет пояса Гванда и Южная Гванда. Она тоже включает внутренний зеленокаменный пояс.

Кольцевые структуры Булавайо, Мидлендс и Гванда касаются друг друга.

Зеленокаменные пояса, сложенные, главным образом, базальтовыми покровами, характеризуются низкими, относительно сглаженными значениями магнитного поля [19], которые искажаются в пределах пояса интенсивными аномалиями с амплитудами до тысяч нанотесл, источниками

которых являются коматииты, железистые кварциты и ультраосновные породы. Это можно продемонстрировать на примере выделенного рудного района Булавайо (рис. 2). Здесь интенсивные положительные аномалии приурочены к ультраосновным породам.

Поскольку в зеленокаменных поясах распространены покровы и субвулканические тела кислых вулканитов, а в центральных и краевых частях выделенных кольцевых структур развиты посттектонические граниты, являющиеся составной частью гранит-зеленокаменных поясов позднего архея, то эти структуры предлагается рассматривать как вулcano-плутонические образования центрального типа.

У подножия таких купольных подводных сооружений накапливались покровы основного, среднего, реже кислого состава, шлейфы лахаров, слагающих агломераты и брекчии и пролювиальные конгломераты, и песчаники, хорошо описанные в зеленокаменном поясе Белингве [4, 17].

Интересно, что центры выделенных кольцевых вулcano-плутонических структур располагаются примерно на одной северо-восточной оси. В целом они маркируют центральную часть крупного овала с размерами 800×650 км, выделенного в качестве тектоноконцентра Зимбабве [2]. В этой связи выделенные кольцевые структуры представляются фрактальной составляющей регионально-го овоида — золоторудной провинции кратона Зимбабве. Поэтому их можно рассматривать в качестве золоторудных районов.

При этом следует отметить, что большая часть вулcano-плутонических структур сложена гранито-гнейсами фундамента и не содержит месторождений золота. Это противоречит принципу выделения рудных районов как совокупности сближенных рудных полей и месторождений. Однако в подтверждение выделения таких рудных районов надо иметь в виду два существенных обстоятельства. Во-первых, в центральных частях структур Булавайо и Гванда находятся фрагменты зеленокаменных поясов, в которых имеются месторождения золота. Во-вторых, в центральной части вулcano-купольных структур распространены позднеархейские гранитоиды, в которых можно ожидать порфировые месторождения золота.

Выделенные вулcano-плутонические структуры, вероятно, унаследованы от архейских гранито-гнейсовых куполов — овоидов и отражают влияние мантийных плюмов позднеархейского возраста [21].

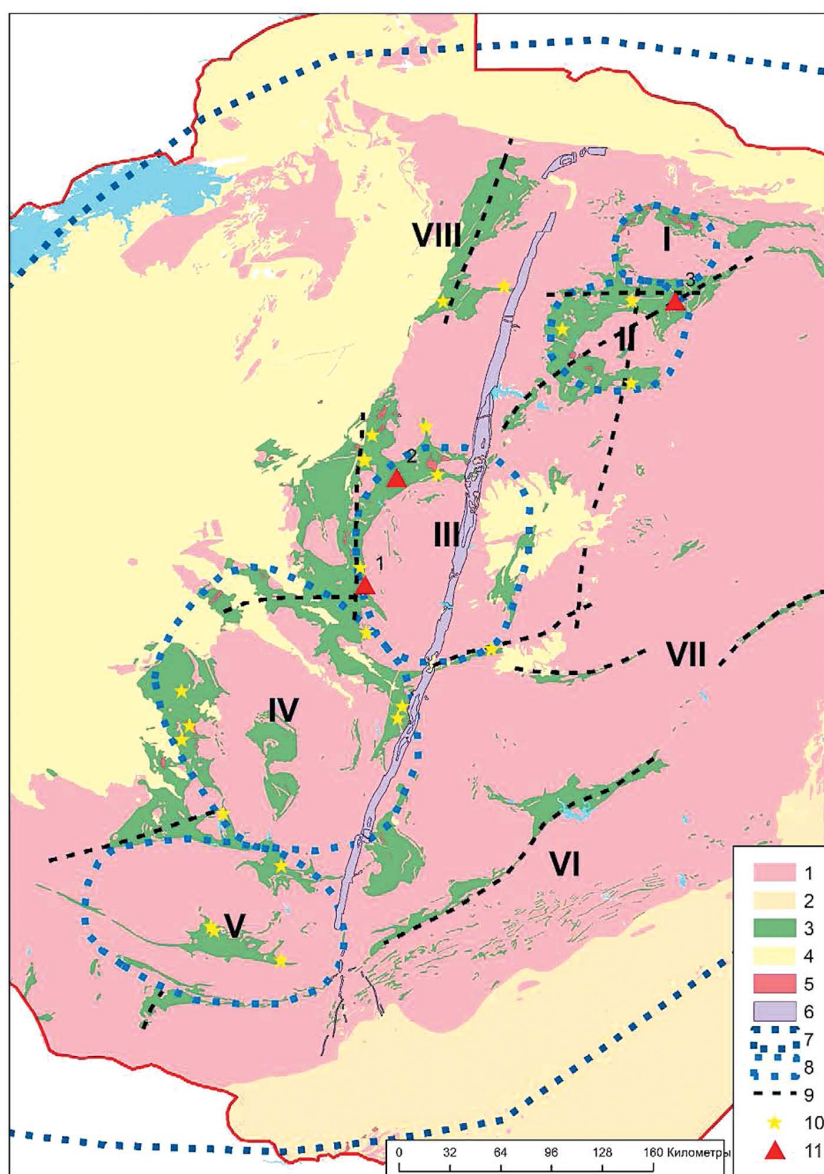


Рис. 1. Золоторудные районы зеленокаменных поясов кратона Зимбабве. Кольцевые: I — Дарвин; II — Шамва; III — Мидлендс; IV — Булавайо; V — Гванда; линейные: VI — Буша Мвези — Форт Виктория; VII — Шаше — Ози-Уматли; VIII — Синоя. 1 — архейские гранито-гнейсы; 2 — складчатые пояса Замбези и Лимпопо; 3 — комплекс метавулкано-осадочных и интрузивных пород позднеархейских зеленокаменных поясов; 4 — осадочный чехол протерозойских и более молодых отложений; 5 — позднеархейские посттектонические гранитоиды; 6 — Великая Дайка Зимбабве; 7 — контур тектоноконцентра кратона Зимбабве (по Гинтову, 1979); 8 — границы кольцевых вулcano-плутонических структур позднеархейского возраста, соответствующие золоторудным районам; 9 — региональные разломы позднеархейского возраста; 10 — средние по запасам месторождения золота; 11 — крупные по запасам месторождения золота: 1 — Глоб-Феникс; 2 — Кем-Мотор; 3 — Шамва

Fig. 1. Gold mining areas of the greenstone belts of the Zimbabwe craton. Ring structures: I — Darwin; II — Shamva; III — Midlands; IV — Bulawayo; V — Gwanda; linear: VI — Busha Mvezi — Fort Victoria; VII — Shashe — Ozi-Umatli; VIII — Sinoia. 1 — Archean granite-gneisses; 2 — Zambezi and Limpopo fold belts; 3 — complex of metavolcano-genic-sedimentary and intrusive rocks of the Late Archean greenstone belts; 4 — sedimentary cover of Proterozoic and younger deposits; 5 — Late Archean post-tectonic granitoids; 6 — Great Dyke of Zimbabwe; 7 — contour of the tectonoconcentre of the Zimbabwe craton (according to Gintov, 1979); 8 — boundaries of ring-shaped volcano-plutonic structures of Late Archean age, corresponding to gold mining areas; 9 — regional faults of Late Archean age; 10 — average gold deposits in terms of reserves; 11 — large gold deposits in terms of reserves: 1 — Glob-Phoenix; 2 — Kem-Motor; 3 — Shamva

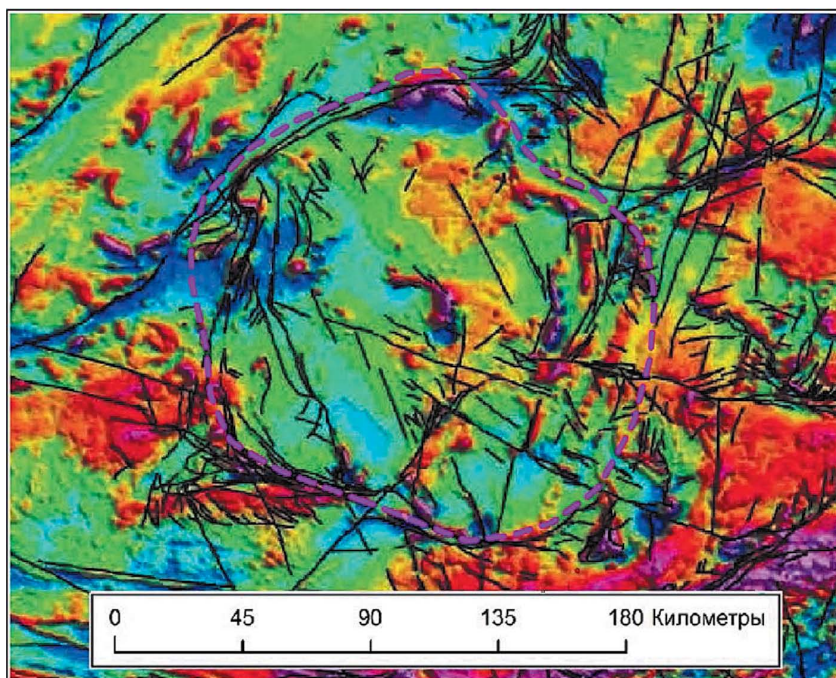


Рис. 2. Кольцевой район Булавайо в магнитном поле. Пунктирной линией отмечена граница кольцевого района. Цветом показаны качественные характеристики магнитного поля от минимума синего цвета до максимума фиолетового цвета

Fig. 2. Bulawayo ring region in a magnetic field. The dotted line marks the boundary of the ring area. The color shows the qualitative characteristics of the magnetic field from a minimum of blue to a maximum of violet

Обращая внимание на присутствие по краям кольцевых структур клиновидных выступов метавулканических и метасадочных пород зеленокаменных поясов, можно предположить, что они указывают на древние зоны разломов. Они также отчетливо маркируются дайками ультрабазитов. Возможно, отражают конседиментационные нарушения, контролировавшие тектоно-вулканогенные впадины. Позднее эти нарушения подновлялись и могли служить путями миграции золотоносных флюидно-гидротермальных растворов.

В кольцевой структуре Шамва такие клиновидные выступы маркируют разломы северо-восточного (г. Нортон и г. Шамва) и меридионального (г. Мтепатепе) простирания. В узле их пересечения локализованы упомянутые граниты. В структуре Мидлендс имеются три крупных клиновидных выступа, которые трассируют меридиональный разлом (г. Гадзема на севере и г. Селукве на юге) и широтное нарушение (г. Ределифф на западе). В кольцевой структуре Булавайо такой выступ расположен на юго-востоке. На юге структуры Гванда такой выступ с телами ультрабазитов маркирует меридиональный разлом.

Отмеченные клиновидные формы подчеркивают значение региональных северо-восточных, мериди-

ональных и широтных нарушений рифтогенного типа этапа становления древних гранит-зеленокаменных поясов. Они, очевидно, были важными структурами, контролировавшими золотую минерализацию. Крупные меридиональные и ССВ нарушения в виде систем взбросо-сдвигов нарушают западные и восточные фланги кольцевых структур Мидлендс, что показано в работах [9, 13].

В кратоне Зимбабве линейные зеленокаменные пояса целесообразно объединить в три линейных золоторудных района, которые подчиняются региональным разломам субмеридионального (район Синойя) и северо-восточного простирания (район, объединяющий пояса Буша-Мвези и Форт-Виктория), и район, в который входят пояса верховья р. Шаше и Ози-Уматли.

Данные структуры, очевидно, соответствуют древним рифтовым зонам, в которых накапливались вулканиты, железистые кварциты, терригенные и частично хемогенные и биогенные осадочные породы. Расположение линейных зеленокаменных поясов, так же как отмеченные выше клиновидные выступы от кольцевых структур, подчеркивает значение региональных разломов меридионального, широтного и северо-восточного простирания в локализации золотого оруденения.

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

В этой связи надо сказать, что отмеченные крупные разломы не повторялись в последующие эпохи внедрения Великой Дайки Зимбабве (2,57 млрд лет) и дайковых поясов Себанга (2,61—2,41 млрд лет) [24].

Известные месторождения золота Зимбабве в основном локализованы в трех выделенных кольцевых структурах: рудных районах Мидлендс, Булавайо и Шамва. По данным [6], месторождения сложены кварцевыми жилами (Глоб-Феникс, Голден Валли, Сюрпрайз, Даун и др.), реже зонами прожилкового окварцевания (Кем-Мотор), еще реже — сульфидной вкрапленности (Бар 20, Вубачикве). Руды в основном малосульфидные золотокварцевые.

Важно отметить, что наиболее крупные месторождения золота Глоб-Феникс с запасами 155 т и Кем-Мотор с запасами 150 т локализованы в рудном районе Мидлендс в зоне влияния древних разломов, дуговых фрагментов зеленокаменных поясов и массивов посттектонического гранитоидного комплекса. Похожую позицию занимает крупное месторождение золота Шамва с запасами более 71 т. Представляется, что эти три названных критерия определяют локализацию золоторудных полей в выделенных районах.

Как в кольцевых, так и линейных рудных районах большая часть средних и крупных месторо-

ждений золота приурочена к высокоинтенсивным аномалиям магнитного поля или соседствует с ними.

Для оценки остаточных перспектив провинции проведено ранжирование золоторудных месторождений. Учтены данные, отраженные на карте 1988 г. [16] и изложенные в статье [6], включая мелкие (от 1 до 10 т), средние (10—50 т) и крупные (более 50 т) месторождения (табл. 1).

В целом для провинции получились следующие соотношения: мелких месторождений имеется 111, средних по запасам — 24, крупных — 3. Для построения корректной гистограммы и экспоненциальной зависимости, согласно правилу Ципфа, явно не хватает конкретных данных по запасам золоторудных объектов. И для всей провинции, кажется, все ранги полностью заполнены, поскольку в среднем, по правилу Ципфа, для рудных месторождений соотношение такое: на один крупный объект приходится от 4 до 7 или 9 средних по запасам и от 44 до 99 мелких месторождений.

Однако если рассматривать правило Ципфа для выделенных районов, то явно не хватает десятков мелких месторождений с запасами от 1 до 10 т. В районе Шамва, где известно одноименное крупное месторождение, можно рассчитывать на обнаружение как минимум двух средних месторождений. Также и в трех рудных районах линейного типа.

Таблица 1. Золоторудные месторождения Зимбабве (по данным [6, 16])
Table 1. Gold deposits of Zimbabwe (according to [6, 16])

Месторождения	Запасы золота в тоннах	Ранг	Количество
<i>Рудный район Дарвин</i>			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	3
<i>Рудный район Шамва</i>			
Шамва	71	Крупные	1
Принц Уэльский	от 10 до 50	Среднее	2
Мазде			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	16
<i>Рудный район Мидленс</i>			
Глобус-Феникс	155	Крупные	2
Кем-Мотор	150		
Гайка	23		
Шервуд Старр	от 10 до 50	Среднее	4
Пикстоун			
Фалькон			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	23

Продолжение таблицы 1

Месторождения	Запасы золота в тоннах	Ранг	Количество
Рудный район Булавайо			
Вандерер групп	от 10 до 50	Среднее	7
Тебекве			
Одинокое			
Королевская группа			
Турк			
Коннемара	от 1 до 10	Мелкие	23
Буштик			
Остальные			
Рудный район Гванда			
Джесси	от 10 до 50	Среднее	4
Бланкет			
Вубачикве			
Фред	от 1 до 10	Мелкие	25
Остальные			
Рудный район Буша Мвези — Форт Виктория			
Остальные	От 1 до 10	Мелкие	2
Рудный район Шаше — Ози-Уматли			
Резенде	от 10 до 50	Среднее	1
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	5
Рудный район Синойя			
Муриэль	от 10 до 50	Среднее	2
Эльдорадо			
Остальные	от 1 до 10	Мелкие	2

Следует упомянуть возможность нахождения слепых золоторудных месторождений под чехлом протерозойских отложений на востоке Мидлендс и западнее этого района, где имеются два средних по запасам месторождения Патчвэй и Дални.

Выводы

В заключение надо отметить, что в золоторудной провинции Зимбабве выделены пять золоторудных районов, соответствующих вулcano-плутоническим кольцевым структурам, и три линейных района. Наиболее продуктивными являются кольцевые районы Мидлендс, Булавайо и Шамва. С использованием правила Ципфа в каждом районе оценены остаточные ресурсы рудного золота. Во всех районах можно ожидать открытие десятков мелких объектов. В районе Шамва есть вероятность нахо-

ждения средних по запасам месторождений. В наиболее продуктивном золоторудном районе Мидлендс на его востоке и западе следует поставить проблему прогнозирования скрытых под чехлом протерозойских отложений месторождений золота.

Для дальнейшего металлогенического районирования и локализации перспективных площадей в ранге золоторудных месторождений целесообразна детализация важных прогнозных критериев: позднеархейских линейных и дуговых разломов и посттектонических гранитоидов и разработка дополнительных критериев.

Изложенные данные служат основанием положительной оценки перспектив поисков промышленно важных коренных месторождений золота в Зимбабве и проведения их прогноза в выделенных золоторудных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булкин Г.А., Неженский И.А. Модели для количественного прогнозирования минерального сырья. Л. Недра, 1991. 288 с.
2. Гинтов О.Б. Первичные концентрические структуры земной коры // Геотектоника. 1979. № 2. С. 29—41.
3. Константинов М.М. Золоторудные провинции мира. М.: Научный мир, 2006. 358 с.
4. Кушнарев П.И., Самсонов А.В. Типизация золоторудных месторождений для целей их оценки и разведки // Вестник Московского университета. 2022. Серия 4. Геология. № 4. С. 43—50. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-4-43-50>
5. Некрасов Е.М. Зарубежные эндогенные месторождения золота. М.: Недра, 1988. 286 с.
6. Степанов В.А. Золоторудные месторождения провинции Зимбабве // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 58—66. https://doi.org/10.52349/08697892_2021_85_58_66
7. Фрунн Р.Е. Металлогения золота в архее Родезии // В сб.: Ранняя история Земли. М.: Недра, 1980. С. 58—75.
8. Bickle M.J., Nisbet E.G., Martin A., Orpen J.L. The Zimbabwe Craton and controversies over Archaean granite-greenstone terrains. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archaean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
9. Campbell S.D.G., Pitfield P.E.J. Structural controls of gold mineralization in the Zimbabwe craton — exploration guidelines // Zimbabwe Geological Survey Bulletin. 1994. No. 101. Harare. 270 p.
10. Du Toit A. The economic geology of the country around Kwekwe // Zimbabwe Geological Survey Bulletin. 1998. Vol. 67, pt. 2. 84 p.
11. Foster R.P., Mann A.G., Stowe C.W., Wilson J.F. Archaean gold mineralization in Zimbabwe // Mineral deposits of Southern Africa. Johannesburg, 1986. Vol. 1. P. 43—112.
12. Geological map of the central part of the Zimbabwe Archaean Craton. Maps 1 and 2 on diagram refer to Geological Survey maps. Map 1 is Zimbabwe Rhodesia Geological Survey Map, Belingwe-Shabani, 1:100000, Martin (1978). Map 2 is Zimbabwe Geological Survey Map, 1:100000, Belingwe Peak, Orpen J. (1986). These maps are available from the Geological Survey of Zimbabwe, P.O. Box 8039, Causeway, Zimbabwe.
13. Harley M., Charlesworth E. Guy Structural Controls in the Distribution of Gold at the How Mine, Bulawayo, Zimbabwe // Economic geology. 1990. Vol. 85, no 8. P. 1697—1710.
14. Hronsky J.M.A., Groves D.I. Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement // Australian Journal of Earth Sciences. 2008. No. 55(1). P. 3—12. <https://doi.org/10.1080/08120090701581356>
15. Klemm D.D., Krautner H.G. Hydrothermal alteration and associated mineralization in the Freda-Rebecca gold deposit — Bindura District, Zimbabwe // Mineralium Deposita. 2000. No. 35. P. 90—108. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/s001260050009>
16. Mineral Resources of Zimbabwe. Gold deposits. Scale 1:1 000 000. Compiled by D. S. Bartholomew 1984—1988. Drawn un the Geological Survey Office, Harare, Zimbabwe.
17. Nisbet E.G., Martin A., Bickle M.J., Orpen & J.L. The Ngezi Group: Komatiites, basalts and stromatolites on continental crust. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archaean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
18. Oberthür T., Saager R., Tomschi H. P. Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean Banded Iron-Formation-hosted gold deposits: Some examples from Southern Africa // Mineral deposita. 1990. Vol. 25. P. 125—135.
19. Oswald Gwavava, Rubeni T. Ranganai. The geology and structure of the Masvingo Greenstone Belt and adjacent granite plutons from geophysical data, Zimbabwe Craton. // South African Journal of Geology. 2009. No. 112(3—4). P. 277—290. <https://doi.org/10.2113/gssajg.112.3-4.277>
20. Pelletier R. A. Mineral resources of South-Central Africa. Cape Tawn: Oxford University Press, 1964. 277 c.
21. Prendergast M.D. The Bulawayan Supergroup: a late Archaean passive margin-related large igneous province in the Zimbabwe craton // Journal of the Geological Society, London. 2004. Vol. 161. P. 431—445. Printed in Great Britain. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-092>
22. Provisional Geological map of Rhodesia. Scale 1:1 000 000. Revised edition compiled drown and published by the Rhodesia Geological Survey, Salisbury, Rhodesia, 1971. Director J. W. Wiles.
23. Ranganai R.T. Euler deconvolution and spectral analysis of regional aeromagnetic data from the South-Central Zimbabwe Craton: Tectonic implications // African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series. 2012. Vol. 12, no. 1. P. 34—50.
24. Söderlund Ulf, Hofmann Axel, Klausen Martin B., Olsson Johan R, Ernst Richard E, Persson Per-Olof Regional-scale 2.6-1.9 Ga Large Igneous Provinces of Zimbabwe. 2009. www.supercontinent.org

REFERENCES

1. Bulkin G.A., Nezhensky I.A. Models for quantitative mineral forecasting. Leningrad: Nedra, 1991. 288 p. (In Russian).
2. Gintov O.B. Primary concentric structures of the earth's crust // *Geotectonics*. 1979. No. 2. P. 29—41 (In Russian).
3. Konstantinov M.M. (2006). Gold mining provinces of the world. M. Scientific world. 358 pp. (In Russian).
4. Kushnarev P.I., Samsonov A.V. Typification of gold deposits for the purposes of their assessment and exploration // *Bulletin of Moscow University*. 2022. Series 4. Geology. No. 4. P. 43—50 (In Russian). <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-4-43-50>
5. Nekrasov E.M. Foreign endogenous gold deposits. Moscow: Nedra, 1988. 286 p. (In Russian).
6. Stepanov V.A. Gold deposits of the province of Zimbabwe // *Regional geology and metallogeny*. 2021. No. 85. P. 58—66 (In Russian). https://doi.org/10.52349/08697892_2021_85_58_66
7. Fripp R.E. Metallogeny of gold in the Archean of Rhodesia / In *Book: Early history of the Earth*. Moscow: Nedra, 1980. P. 58—75 (In Russian).
8. Bickle M.J., Nisbet E.G., Martin A., Orpen J.L. The Zimbabwe Craton and controversies over Archean granite-greenstone terrains. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
9. Campbell S.D.G., Pitfield P.E.J. Structural controls of gold mineralization in the Zimbabwe craton — exploration guidelines // *Zimbabwe Geological Survey Bulletin*. 1994. No. 101. Harare. 270 p.
10. Du Toit A. The economic geology of the country around Kwekwe // *Zimbabwe Geological Survey Bulletin*. 1998. Vol. 67, pt. 2. 84 p.
11. Foster R.P., Mann A.G., Stowe C.W., Wilson J.F. Archean gold mineralization in Zimbabwe // *Mineral deposits of Southern Africa*. Johannesburg, 1986. Vol. 1. P. 43—112.
12. Geological map of the central part of the Zimbabwe Archean Craton. Maps 1 and 2 on diagram refer to Geological Survey maps. Map 1 is Zimbabwe Rhodesia Geological Survey Map, Belingwe-Shabani, 1:100000, Martin (1978). Map 2 is Zimbabwe Geological Survey Map, 1:100000, Belingwe Peak, Orpen J. (1986). These maps are available from the Geological Survey of Zimbabwe, P.O. Box 8039, Causeway, Zimbabwe.
13. Harley M., Charlesworth E. Guy Structural Controls in the Distribution of Gold at the How Mine, Bulawayo, Zimbabwe // *Economic geology*. 1990. Vol. 85, no 8. P. 1697—1710.
14. Hronsky J.M.A., Groves D.I. Science of targeting: definition, strategies, targeting and performance measurement // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2008. No. 55(1). P. 3—12. <https://doi.org/10.1080/08120090701581356>
15. Klemm D.D., Kraeutner H.G. Hydrothermal alteration and associated mineralization in the Freda-Rebecca gold deposit — Bindura District, Zimbabwe // *Mineralium Deposita*. 2000. No. 35. P. 90—108. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/s001260050009>
16. Mineral Resources of Zimbabwe. Gold deposits. Scale 1:1 000 000. Compiled by D. S. Bartholomew 1984—1988. Drawn on the Geological Survey Office, Harare, Zimbabwe.
17. Nisbet E.G., Martin A., Bickle M.J., Orpen J.L. The Ngezi Group: Komatiites, basalts and stromatolites on continental crust. The Geology of the Belingwe Greenstone Belt, Zimbabwe A study of the evolution of Archean continental crust. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business. 1993. P. 121—166.
18. Oberthür T., Saager R., Tomschi H. P. Geological, mineralogical and geochemical aspects of Archean Banded Iron-Formation-hosted gold deposits: Some examples from Southern Africa // *Mineral deposits*. 1990. Vol. 25. P. 125—135.
19. Oswald Gwavava, Rubeni T. Ranganai. The geology and structure of the Masvingo Greenstone Belt and adjacent granite plutons from geophysical data, Zimbabwe Craton. // *South African Journal of Geology*. 2009. No. 112(3—4). P. 277—290. <https://doi.org/10.2113/gssajg.112.3-4.277>
20. Pelletier R. A. Mineral resources of South-Central Africa. Cape Town: Oxford University Press, 1964. 277 c.
21. Prendergast M.D. The Bulawayan Supergroup: a late Archean passive margin-related large igneous province in the Zimbabwe craton // *Journal of the Geological Society, London*. 2004. Vol. 161. P. 431—445. Printed in Great Britain. <https://doi.org/10.1144/0016-764902-092>
22. Provisional Geological map of Rhodesia. Scale 1:1 000 000. Revised edition compiled drawn and published by the Rhodesia Geological Survey, Salisbury, Rhodesia, 1971. Director J. W. Wiles.
23. Ranganai R.T. Euler deconvolution and spectral analysis of regional aeromagnetic data from the South-Central Zimbabwe Craton: Tectonic implications // *African Journal of Science and Technology (AJST) Science and Engineering Series*. 2012. Vol. 12, no. 1. P. 34—50.
24. Söderlund Ulf, Hofmann Axel, Klausen Martin B., Olsson Johan R, Ernst Richard E, Persson Per-Olof Regional-scale 2.6–1.9 Ga Large Igneous Provinces of Zimbabwe. 2009. www.supercontinent.org

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Игнатов П.А. — выделил рудные районы кольцеобразной и линейной формы, приуроченные к соответствующим по конфигурации зеленокаменным поясам, внес вклад и подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геолого-геофизических данных и создание графической информации, подготовил текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Малютин С.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, добавил и отредактировал текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов А.А. — проработал вопросы магниторазведки и аэрогеофизики, внес вклад в создание графической информации.

Десяткин А.С. — внес вклад в разработку, предоставил геологические данные, карты, схемы, табличный материал.

Ланчак М.М. — внес вклад в создание графической информации, выполнил перевод на английский язык.

Petr A. Ignatov — identified ore areas of ring-shaped and linear shape, confined to greenstone belts corresponding in configuration, contributed and prepared the text of the article, collected, processed and analyzed geological and geophysical data and created graphic information, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Sergey A. Malyutin — contributed to the development of the concept of the article, added and edited the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Andrey A. Ivanov — worked on issues of magnetic prospecting and aerial prospecting, contributed to the creation of graphic information.

Alexey S. Desyatkin — contributed to the development, provided geological data, maps, diagrams, tabular material.

Maxim M. Lanchak — contributed to the creation of graphic information and translated into English.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

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

tel.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-code: 7893-1477

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7956-580X>

Малютин Сергей Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: malyutinsa@mgri.ru

SPIN-код: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4508-4805>

Sergey A. Malyutin — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Associate Professor, Department of Geology of Mineral Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: malyutinsa@mgri.ru

SPIN-code: 4968-3696

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4508-4805>

Иванов Андрей Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, декан геофизического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: ivanovaa@mgri.ru

SPIN-код: 9977-2363

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-1489>

Andrey A. Ivanov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Dean of the Faculty of Geophysics, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: ivanovaa@mgri.ru

SPIN-code: 9977-2363

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0450-1489>

Десяткин Алексей Сергеевич — генеральный директор АО «Зарубежгеология».

69, Новочеремушкинская ул., г. Москва 117418,

Россия

e-mail: info@zargeo.com

Alexey S. Desyatkin — General Director of JSC “Zarubezhgeologiya”.

69, Novocheremushkinskaya st., Moscow 117418,

Russia

e-mail: info@zargeo.com

Ланчак Максим Максимович — аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: lanchakmm@mgri.ru

Maxim M. Lanchak — graduate student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: lanchakmm@mgri.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



СПЕЦИАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭНДО- И ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

А.С. КАМАРА*, В.В. НЕВЕЧЕРЯ, Л.А. ЯРГ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Геодинамический процесс представляет угрозу для инфраструктуры страны. Однако его понимание позволит снизить влияние на экономику и устойчивость структур и безопасность населения.

Цель исследований: составление схематической карты распространения основных геологических процессов в Гвинейской Республике для выявления наиболее благоприятных регионов освоения с минимизацией последствий эндо- и экзогенных геологических процессов.

Материалы и методы. Сбор, анализ и обобщение общегеологических, географических и фондовых материалов и личные исследования авторов.

Результаты. Создана специальная инженерно-геологическая карта геологических процессов территории Гвинеи М 1:7 500 000, содержащая информацию о пространственном распространении инженерно-геологических процессов, идентифицированы и классифицированы семь процессов, создающих риск инфраструктуре Гвинейской Республики. Рассмотрены причины, условия и скорости развития процессов.

Заключение. Специальная инженерно-геологическая карта предназначена для использования при макроэкономическом планировании экономического развития территории.

Ключевые слова: специальная инженерно-геологическая карта, экзогенные геологические процессы, эндогенные геологические процессы, кора выветривания, инфраструктуры Гвинейской Республики

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Камара А.С., Невечеря В.В., Л.А. Ярг. Специальная инженерно-геологическая карта распространения эндо- и экзогенных геологических процессов Гвинейской Республики. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):26—40. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-26-40>

Статья поступила в редакцию 19.10.2023

Принята к публикации 05.12.2023

Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

SPECIAL-PURPOSE GEOTECHNICAL MAP ON DISTRIBUTION OF ENDO- AND EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES OF THE REPUBLIC OF GUINEA

ABOUBACAR S. CAMARA*, VADIM V. NEVECHERIA, LUDMILA A. YARG

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

ABSTRACT

Background. Geodynamic processes pose a threat to the infrastructure of any country. Elucidation of these process is crucial for mitigating their impact on the economy, increasing the stability of structures, and ensuring the safety of the population.

Aim. To compile a schematic map of the distribution of the main geological processes in the Republic of Guinea in order to identify the most favorable regions for development while minimizing the consequences of endo- and exogenous geological processes.

Materials and methods. The research involved collection, analysis, and synthesis of geological, geographical, and stock materials. The authors' own data was also used.

Results. A special-purpose geotechnical map of geological processes in Guinea with a scale of M 1:7,500,000 was created. This map contains information on the spatial distribution of engineering-geological processes in the country. Seven processes that pose a risk to the infrastructure of the Republic of Guinea were identified and classified. The causes, conditions, and rates of process development are outlined.

Conclusion. The developed special-purpose geotechnical map can be used when carrying out macroeconomic planning of the economic development of the country.

Keywords: special-purpose geotechnical map, exogenous geological processes, endogenous geological processes, weathering crust, infrastructure, Republic of Guinea

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

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

For citation: Camara A.S., Nevecheria V.V., Yarg L.A. Special-purpose geotechnical map on distribution of endo- and exogenous geological processes of the Republic of Guinea. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):26—40. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-26-40>

Manuscript received 19 October 2023

Accepted 05 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Развитие и широкий спектр экономической деятельности в Гвинейской Республике привели в последние годы к интенсификации проектов строительства базовой социальной инфраструктуры, гидроэлектростанций, железных дорог, автомагистралей, туннелей, отелей, заводов и т.д., что приводит к формированию региональной природно-техногенной системы [2], оказывающей сильное воздействие на геологическую среду [19, 20]. Геодинамический процесс представляет угрозу для инфраструктуры страны.

Однако для обеспечения устойчивого функционирования этих сооружений и безопасности

местного населения привлекаются инженерно-геологические исследования, которые базируются на системном подходе, учитывающем взаимодействие сооружения с геологической средой, зональными и техногенными факторами [6, 8]. Одной из задач региональной инженерной геологии является совершенствование методов инженерно-геологических исследований и разработка положений по региональному технико-геологическому прогнозированию [9], а также выбор мероприятий по технической защите зданий и сооружений от опасных геологических процессов [25].

Чтобы изучить закономерности их проявления и развития, понять их механизм и прежде всего подвергнуть их углубленному изучению [18], целью данного исследования будет составление схематической карты распространения основных геологических процессов в Гвинейской Республике, чтобы выявить наиболее благоприятные для освоения (размещения) области с минимизацией последствий эндо- и экзогенных геологических процессов.

Материалы и методы

Данное исследование основано на анализе фондовой литературы, в которой первоначально были выявлены и описаны геологические процессы на территории Гвинеи. Затем с использованием геологической информационной системы (ГИС) была составлена карта проявления инженерно-геологических процессов путем компиляции данных о компонентах инженерно-геологических условий.

Природные условия Гвинеи

Гвинейская Республика, расположенная в западной части Африканского континента, является прибрежной страной с атлантическим побережьем протяженностью 300 км.

Климат Гвинеи тропический влажный, со среднегодовой температурой 31 °С, количеством атмосферных осадков около 1500 мм (во внутренних районах), более 4000 мм (на побережье).

Более половины территории страны занимают невысокие горы и плато. Атлантическое побережье сильно изрезано эстуариями рек и занято аллювиально-морской низменностью шириной 30—50 км.

Гидрографическая система включает 1161 реку, которые орошают и все соседние страны, превращая Гвинею в «водонапорную башню» субрегиона.

Африканская платформа занимает территорию почти всей Африки. В пределах Гвинеи выделяют четыре основные структуры (рис. 1): I — Западно-Гвинейская синеклиза, расположенная на западе страны, сложена пологими породами ордовикского, силурийского и девонского периодов (песчаники, алевролиты, аргиллиты); II — синеклизы Тауденни (южный борт) на северо-востоке страны образованы пологозалегающими протерозойскими карбонатно-терригенными толщами; III — прогиб Рокел в центральной части страны выполнен протерозойскими смятыми в складки карбонатно-терригенными осадками

и эффузивами; IV — Леоно-Либерийский щит является основной структурой, сложен породами архея (гнейсы, граниты, гранулиты, кварциты, железистые кварциты, метаморфизованные ультраосновные породы) и нижнего протерозоя, с крупными рифтовыми зонами Монго, Симанду, Нимба, Ниандан Банье.

В кайнозойский период сформировались определившие современный облик рельефа Гвинеи [4] основные морфоструктуры:

- Приморская равнина, простирающаяся вдоль изрезанного берега Атлантического океана на высотах от 0 до 120 м;

- плато Фута Джалон-Мандинго — многоярусное, разновысотное (от 150—200 до 1500 м), разновозрастное, с поверхностями выравнивания, расчлененными многочисленными долинами рек на массивы столовых гор и отдельные останцы с плоскими и пологоступенчатыми вершинами;

- Гвинейская возвышенность — среднегорные (800—1200 м) области, расчлененные на бассейны рек, над которыми господствуют отдельные массивы и хребты Симанду и Нимба с максимальными отметками 1656—1752 м. На хребтах и массивах участками сохранились фрагменты пологоволнистых выровненных поверхностей;

- внутренняя эрозионно-денудационная равнина с абсолютными отметками 380—490 м, расположенная между морфоструктурами Фута Джалон-Мандинго и Гвинейской возвышенностью.

Из покровных образований во всех областях широко развиты латеритные коры выветривания. Четвертичные образования склонов представлены маломощным прерывистым чехлом современного делювия, пролювия и коллювия, образуя шлейфы и крупные конусы выноса. Более широко развиты аллювиальные, делювиально-аллювиальные и пролювиально-аллювиальные отложения долин и морских террас.

Латеритные коры выветривания

Коры выветривания широко развиты в Гвинейской Республике и являются важным аспектом изучения инженерной геологии. Кроме того, коры выветривания во многом определяют гипергенную металлогению разных регионов.

Развитие процесса выветривания определяется совокупностью региональных, зональных и факторов [10], влияющих на механизм процесса, его интенсивность, скорость и степень развития [11].

Особенность формирования латеритной коры выветривания заключается в том, что она образуется в климатических условиях тропических зон, для которых характерны следующие условия:

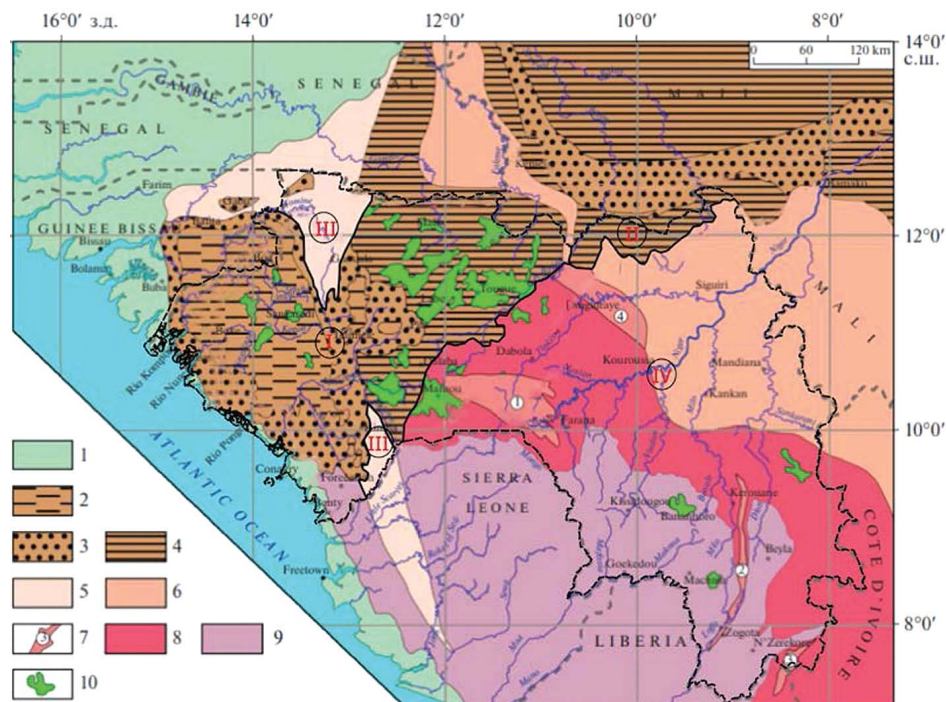


Рис. 1. Схематическая тектоническая карта Гвинеи [5]: 1 — мезозойско-кайнозойская периферическая Сенегало-Гвинеи впадина; 2—4 — синклинали Бове: отложения платформенного чехла: 2 — алевро-аргиллиты, аргиллиты, мелкозернистые песчаники девона и силура; 3 — грубые кварцевые пески, гравелиты и конгломераты ордовика, инфракембрия и венда; 4 — алевро-аргиллиты и песчаники кембрия, венда и рифея; 5 — осадочные, вулканогенно-осадочные и магматические образования панафриканского этапа тектоно-магматической активизации; 6 — осадочные и вулканогенные образования раннепротерозойской биримской серии и гранитоиды эбурнейской фазы активизации; 7 — рифты (цифры в кружочках): 1 — Монго, 2 — Симанду, 3 — Нимба: интенсивно дислоцированные и метаморфизованные раннепротерозойские терригенные отложения с пластообразными телами, метагаббро, метапироксенитов и итабиритов раннего этапа; рифтогенный прогиб Ниандан Банье — 4: сложнодислоцированные и метаморфизованные вулканогенно-терригенные отложения Биримской серии с субвулканическими телами основного и кислого состава позднего этапа; 8 — граниты, гранито-гнейсы и мигматиты архейского и раннепротерозойского возраста; 9 — архейские и раннепротерозойские гнейсы, кристаллические сланцы, амфиболиты, гранулиты, чарнокиты с телами магнетитовых кварцитов; 10 — силлы долеритов и габбро-долеритов мезозойской трапповой формации

Fig. 1. Schematic tectonic map of the Republic of Guinea [5]: 1 — Mesozoic-Cenozoic perioceanic Senegal-Guinea depression; 2—4 — Beauvais synclines: platform cover deposits: 2 — siltstone-mudstone, mudstone, fine-grained Devonian and Silurian sandstones; 3 — coarse quartz sands, gravelites and conglomerates of the Ordovician, Infracambrian and Vendian; 4 — siltstone-mudstones and sandstones of the Cambrian, Vendian and Riphean; 5 — sedimentary, volcanogenic-sedimentary and magmatic formations of the Pan-African stage of tectonic-magmatic activation; 6 — sedimentary and volcanogenic formations of the Early Proterozoic Birim series and granitoids of the Eburneian phase of activation; 7 — rifts (numbers in circles): 1 — Mongo, 2 — Simandu, 3 — Nimba: intensively dislocated and metamorphosed Early Proterozoic terrigenous deposits with tabular bodies, metagabbro, metapyroxenites and itabirites of the early stage; Niandan Banier 4 rifting trough: complex dislocated and metamorphosed volcanogenic-terrigenous deposits of the Birrim series with subvolcanic bodies of basic and acidic composition of the late stage; 8 — granites, granite-gneisses and migmatites of Archean and Early Proterozoic age; 9 — Archean and Early Proterozoic gneisses, crystalline schists, amphibolites, granulites, charnockites with bodies of magnetite quartzites; 10 — sills of dolerites and gabbro-dolerites of the Mesozoic trap formation

- постоянная высокая температура воздуха, благоприятствующая развитию и ускорению химических процессов;

- избыток атмосферных осадков: вода — это самый важный компонент, способствующий мигра-

ции других компонентов и значительно влияющий на тип и интенсивность процесса выветривания;

- накопление огромных масс отмирающего органического вещества, переработка которого в почве микроорганизмами продуцирует органические

и неорганические кислоты, которые существенно влияют на переработку субстрата;

- миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе коры выветривания определяет геохимическую, гидрогеохимическую (табл. 1) и инженерно-геологическую зональность строения коры выветривания;

- латериты покрывают поверхности выравнивания на кристаллических массивах.

Зональность строения коры выветривания по железистым кварцитам бокситового месторождения Леоно-Либерийского кристаллического массива [4] приведена на рисунке 6.

Большинство исследователей геоморфологического развития территории Гвинеи считают, что наиболее высокие выровненные поверхности были сформированы в постгондванский меловой период [7]. Общая мощность коры выветривания на них — 80—90 м. Общая мощность коры выветривания на миоценовом рельефе достигает 120—140 м; от ее нижней поверхности вниз фиксируются линейные карманы и зоны до глубин 100—140 м. Мощность бокситоносной зоны — 5—6 м

Геологические процессы

На основании всестороннего анализа условий и причин развития геологических процессов на территории Гвинейской Республики было идентифицировано семь процессов, интенсивность, скорость, характер и направление которых определяются взаимодействием климатических, гидрографических факторов и геологической среды Гвинеи.

Принципы картирования эндо- и экзогенных геологических процессов на территории Гвинейской Республики

По назначению, масштабу и способу составления инженерно-геологические карты объединяются в три основные группы [8]: мелкомасштабные 1:1 000 000 и мельче, среднемасштабные М 1:200 000 и крупномасштабные М 1:50 000 и крупнее.

Назначением мелкомасштабных карт является:

- 1) изучение общих закономерностей формирования инженерно-геологических условий на основе теоретического обобщения накопленных материалов;

- 2) составление региональных и зональных норм и методов проведения инженерно-геологических работ;

- 3) составление рабочих гипотез об инженерно-геологических условиях изучаемой местности при отсутствии более детальных материалов.

Карты этой группы составляются обычно камеральным путем без проведения полевых съемочных работ на основе обобщения общегеологических, географических, справочных и фондовых материалов [9].

Принцип построения Специальной инженерно-геологической карты распространения эндо- и экзогенных геологических процессов на территории Гвинейской Республики масштаба 1:7 500 000 (рис. 2).

Экзогенные геологические процессы (ЭГП) приурочены к определенной приповерхностной части литосферы, где имеются благоприятные условия для их развития. Под условиями ЭГП понимается геологическое строение, тектонические особенности, трещиноватость, гидрогеологические условия, геоморфологический облик и др. Причиной процесса всегда является другой процесс, развивающийся во внешней среде по отношению к литосфере, такой как солнечная радиация, атмосферные осадки, движение поверхностных воды рек и морей, биоты [3].

За основу построения специальной *инженерно-геологической карты* была принята геоморфологическая карта, отражающая морфогенез и морфометрию рассматриваемой территории и вместе с тем — ее структурно-тектоническое и геологическое строение.

На карте выделены четыре геоморфологических района: 1 — Приморская равнина, 2 — плато Фута Джалон-Мандинго, 3 — Гвинейская возвышенность, 4 — Внутренняя равнина; реки и водоразделы рек; участки проявления процессов (рис. 2).

Условными знаками 5—13 нанесены участки распространения процессов: землетрясения, эрозия, абразия, подтопление, оползни, заболачивание, карстообразование и выветривание пород.

Эндогенные процессы

Землетрясения. Первые проявления землетрясения были зафиксированы в Гвинейской Республике в 1796 году. Исследования [14, 16, 17, 21, 24] по сейсморазведке Западной Африки и Гвинейской Республики позволили изучить особенности землетрясений в Гвинее. Самое сильное землетрясение в стране произошло 22 декабря 1983 года недалеко от Кумбии, префектура Гауаль, магнитудой (MS) 6,2. Эпицентр землетрясения находился в регионе, граничащем с Западноафриканским кратоном, на южном конце Мавританской цепи

Таблица 1. Миграционная подвижность элементов в вертикальном разрезе бокситоносной коры выветривания, геохимическая и гидрогеохимическую зональность строения [4]
Table 1. Migration mobility of elements in the vertical section of the bauxite-bearing weathering crust determines the geochemical, hydrogeochemical zoning of the structure [4]

Зоны горизонты / коры выветривания	Главные породообразующие минералы (по преобладанию)	Зональность гидрогеологическая В сухой сезон В сезон дождей	Изменения состава подземной атмосферы в сезон дождей	Динамика привноса и выноса ($Kk^* > 1$) родообразующих компонентов в профиль бокситоносной ЛКВ
Почвенно-растительный горизонт — зона мобилизации Al и Fe	Гетит и гематит, гиббсит, алюмогетит и эоловый кварц-алюмосиликатный материал	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2, O_2	Главные породообразующие компоненты латеритных покровов становятся метастабильными, вынос активнее, чем
Собственно латеритный горизонт — зона разложения минералов. Материнские породы	Железистая кираса — подзона абсолютного накопления и выноса Бокситы — подзона абсолютного накопления и выноса	В сухой сезон В сезон дождей	O_2 CO_2	$\frac{Al}{0,90} > \frac{H_2O}{0,96} > 1 < \frac{Ti}{1,01} < \frac{Ro+R_2O}{1,67} < \frac{Si}{1,74} < \frac{Fe}{1,80}$ $\frac{Si}{0,46} > \frac{Ro+R_2O}{0,56} > 1 > \frac{H_2O}{1,36} < \frac{Ti}{1,37} < \frac{Al}{1,46}$
Горизонт глин — зона гидратирования и глинизации	Гетит и гематит, гиббсит, остаточный каолинит	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	$\frac{Si}{0,23} > \frac{Ro+R_2O}{0,24} < \frac{Ti}{1,35} < \frac{Al}{1,38} < \frac{H_2O}{1,77} < \frac{Fe}{2,12}$ $\frac{Ro+R_2O}{0,24} > \frac{Si}{0,56} > 1 < \frac{Ti}{1,21} < \frac{Al}{1,24} < \frac{H_2O}{1,50} < \frac{Fe}{1,99}$
Материнские породы	Каолинит, гетит	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	$\frac{Ro+R_2O}{0,49} > \frac{Si}{0,60} > \frac{H_2O}{0,80} > \frac{Ti}{0,87} > 1 < \frac{Fe}{1,02}$ $\frac{Ro+R_2O}{0,40} > \frac{Si}{0,76} > \frac{Fe}{0,87} > \frac{Ti}{0,95} > 1 < \frac{Al}{1,05} < \frac{H_2O}{1,29}$
Зона дезинтеграции и начального разложения	Каолинит, гетит с небольшим количеством остаточного кварца	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	
Материнские породы	Гидрослюда, иллит, монтмориллонит с остаточным кварцем	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	
Зона дезинтеграции и начального разложения	Алюмосиликаты и кварц в мелких и тонких выделениях	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	
Материнские породы	Алюмосиликаты и кварц в мелких и тонких выделениях	В сухой сезон В сезон дождей	CO_2	

Таблица 2. Схема инженерно-геологического расчленения кор выветривания [3]
Table 2. Scheme of engineering-geological division of weathering crusts [3]

Зоны, подзоны	Индекс зоны, подзоны	Типоморфные минералы	Структурные связи		Структура	Текстура	Пустотность	
			минерально-го уровня	эффективные			поровая	трещинная
Зона вторичной цементации Кираса Структурный боксит	VB Va	Гибсит, гетит, гиббсит	Цементационные, кристаллизационные	Цементационные	Бобовая	Нодулярная, кавернозно-ячеистая	Пузырчатая	
Дисперсная зона Латеритная Глинистая	IV IVb IVa	Каолинит, гематит, гетит, гиббсит Охра, нонтронит, монтмориллонит, каолинит, гидрослюда	Коагуляционно-цементационные Коагуляционные	Коагуляционные	Коагуляционно-пластифицированная	Спутанно-волнистая, беспорядочная, блочно-беспорядочная	Межагрегатная и внутриагрегатная, межгранулярная и внутригранулярная	
Литомаржа	III	Первичные минералы; вторичные — глинистые, гидрослюда, гидроокислы железа	Смешанные: коагуляционно-кристаллизационные	Коагуляционно-кристаллизационные	Реликтовая, псевдоморфная	Макротестура — реликтовая, микротестура — мозаичная	Межкристаллические, межгранулярные, каверны выщелачивания	Микротрещины
Обломочная зона Щебнистая	II IIb	Первичные минералы; глинистые в составе заполнителя	Кристаллизационные	Механические, коагуляционные	Крупно-, средне-, мелко-щебнисто-древяная	Щебнисто-древяная, листоватая, чешуйчатая	Межкристаллические, межгранулярные	Литогенетическая; тектоническая; экзогенная (выветривания, разуплотнения)
Глыбовая	IIa	Первичные минералы; вторичные минералы — карбонаты, гипсы, гидроокислы железа — по поверхности трещин	То же	Механические	Исходных пород	Исходных пород	Межкристаллические	
Трещинная зона	I	Первичные минералы	Кристаллизационные	Кристаллизационные, механические	Исходных пород	То же	То же	Литогенетическая; тектоническая; раскрытия за счет разгрузки
Невыветрелые породы	0	То же	Кристаллизационные	Кристаллизационные	Исходных пород	Субстрата: массивная, ленточная, сланцеватая, слоистая и др.	То же	Литогенетическая; тектоническая

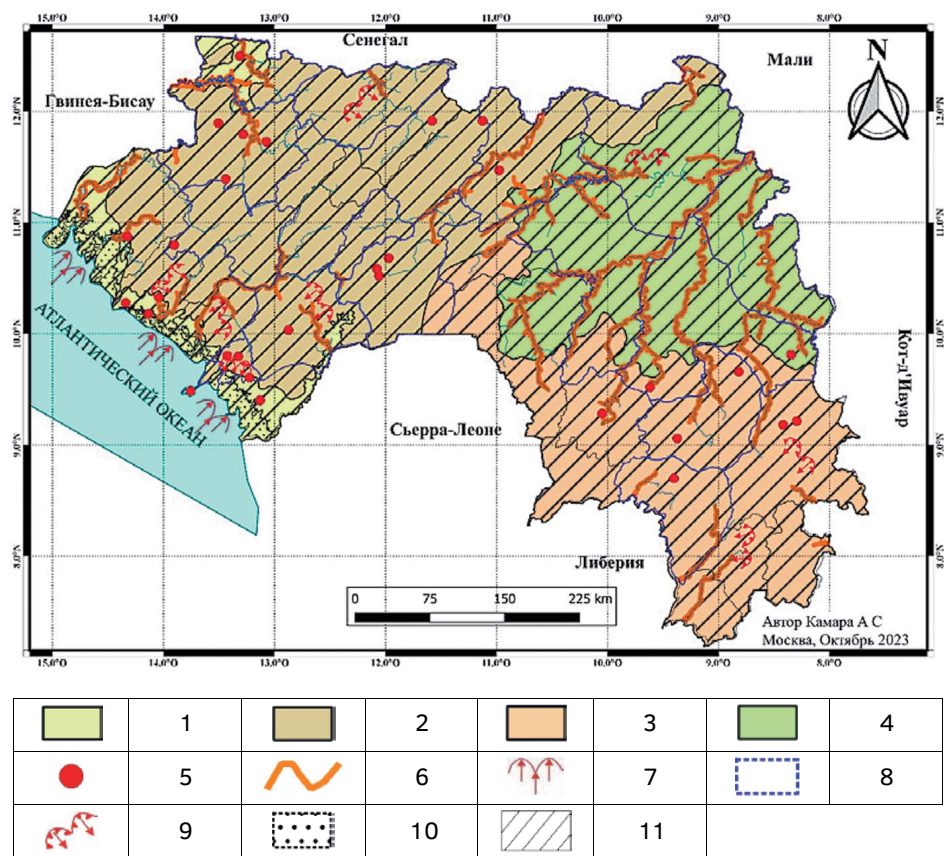


Рис. 2. Специальная инженерно-геологическая карта распространения геологических процессов Гвинейской Республики: 1—4 — геоморфологические районы: 1 — Приморская равнина, 2 — плато Фута Джалон-Мандинго, 3 — Гвинейская возвышенность, 4 — Внутренняя равнина; 5—11 — геологические процессы: 5 — землетрясения, 6 — эрозия, 7 — абразия, 8 — подтопление, 9 — оползни, 10 — заболачивание, 11 — выветривания

Fig. 2. Special engineering-geological map on the characteristic distribution of exogenous geological processes of the Republic of Guinea: 1—4 — geomorphological regions: 1 — Maritime Plain, 2 — Futa Jalon-Mandingo Plateau, 3 — Guinea Upland, 4 — Inland Plain; 5—11 — geological processes: 5 — earthquakes, 6 — erosion, 7 — abrasion, 8 — flooding, 9 — landslides, 10 — waterlogging, 11 — weathering

в непосредственной близости от ее соприкосновения с бассейном Бове, характеризующимся горизонтальными структурами неметаморфизованных пород [14]. Это крупнейшее бедствие в Гвинее на сегодня. В результате 320 человек были убиты, более 10 000 ранены и почти 20 000 остались без крова, не считая существенного материального ущерба.

Для выявления сейсмических зон было выполнены исследования по оценке сейсмического риска [17]. С учетом информации о сейсмичности и геологических параметрах Гвиней выделены три сейсмические зоны (рис. 3): зона А представляет собой палеозойский кратон, зоны В и С — архейские и нижнепротерозойские породы.

Экзогенные геологические процессы

К настоящему времени предложено множество классификаций ЭГП: Ф.П. Саваренского (1939), И.В. Попова (1959), А.И. Шеко (1989), В.Т. Трофимова (2002). Наиболее фундаментальной является классификация Г.К. Бондарика (1981), в которой группы и классы экзогенных процессов выделены с учетом главных внешних естественных и искусственных причин, основных внутренних причин процессов, отношения взаимодействий к пространству и времени, вида взаимодействий [1, 3].

Гидрогенные процессы включают абразионные и эрозионные процессы.

Абразия. Атлантический океан, омывающий западное и южное побережья Гвиней, на протяжении 300 км является основной

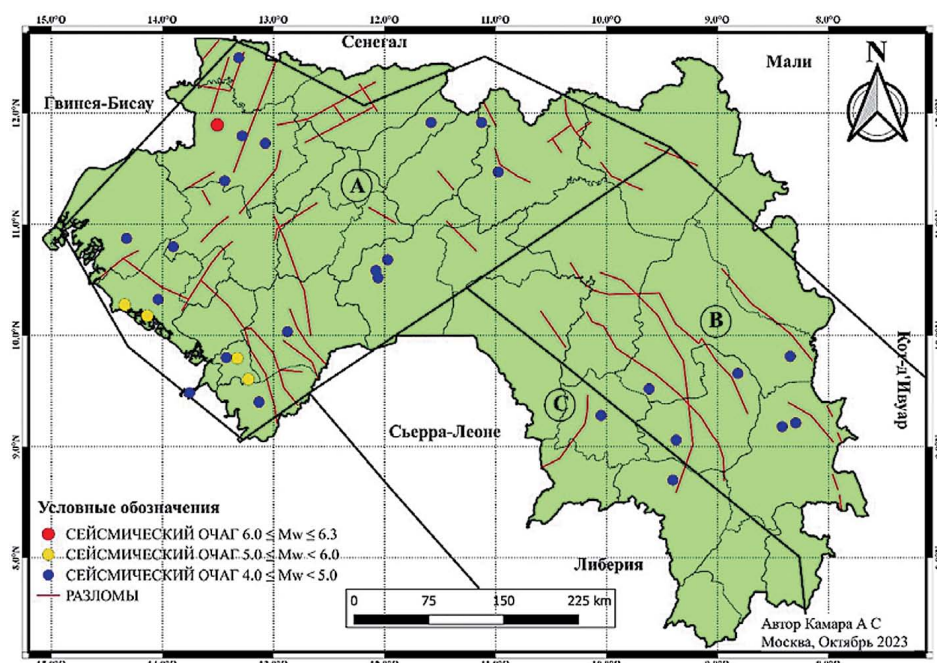


Рис. 3. Схематическая карта сейсмических зон Гвинеи [16], отредактировано одним из авторов этой статьи

Fig. 3. Schematic map of seismic zones of the Republic of Guinea [16], edited by the author of this article

причиной физической деградации ее береговой линии [21]. Разрушение горных пород берега происходит вследствие: удара волн (сила которых при штормах достигает 30—40 т/м²); абразивного действия обломочного материала, приносимого волной; растворения пород; сжатия воздуха в порах и полостях породы во время удара волн, которое приводит к растрескиванию пород под воздействием высокого давления.

Механизм и интенсивность абразии зависят от топографии и геологического строения береговой линии. Скорость отступления береговой линии, по оценкам CERESCOR, в 1997 г. в населенных пунктах Коба и Табуусу составляла примерно 1,80 м/год [22].

За последнее десятилетие береговая линия в Гвинеи отступила почти на 300 м, как в случае с островами Кабак; в Какоссе прибрежная деревня Хилифили переместилась более чем на километр из-за абразии. На острове Таиди в Камсаре зафиксировано такое же явление отступления берегов, в результате чего была разрушена сельская школа, возникла серьезная угроза для жилых домов, инфраструктуры и потери сельскохозяйственных угодий.

Наблюдается относительная стабильность скалистого побережья, протягивающегося по Капверги в префектуре Боффа и полуострове Калум.

Речная и овражная эрозия. Процесс речной эрозии в разной степени можно наблюдать практически на всех реках. Учитывая геологические, климатические, топографические условия и очень богатую гидрографическую сеть Гвинеи, речная эрозия является наиболее важным процессом. Его интенсивность (скорость) зависит от 1) состава и свойств грунтов; 2) топографии (ориентации склонов и уклона); 3) характера и степени развития растительного покрова; 4) количества и характера атмосферных осадков; 5) условий инфильтрации и испарения [15].

Результаты работ по изучению речной эрозии главных рек Гвинеи Jean et al. (табл. 3) свидетельствуют о гораздо большей скорости развития процесса в бассейне р. Мило.

Овражная эрозия — это активный современный рельефообразующий процесс (рис. 4), наносящий большой ущерб, отрицательно влияющий практически на все отрасли сельскохозяйственного производства: сокращаются площади, удобные для использования; снижается производительность работы сельскохозяйственной техники на склонах. Этот вид водной эрозии приобретает особое значение во влажных тропиках с обильными дождями; капли бомбардируют поверхность грунта, поднимая частицы почвы в воздух и отбрасывая их на расстояние до 1,5 м.

Таблица 3. Параметры эрозии главных рек в Гвинее (бассейн реки Нигер) [13]
Table 3. Erosion parameters of main rivers in Guinea (Niger River Basin) [13]

Реки	Площадь бассейна (10 ³ км ²)	Дренаж (мм/год)	Скорости эрозии (м/млн лет)
Мило (Milo)	9,6	437	11,2
Нигер (Niger)	67,6	261	6,0

Активизация эрозии происходит в результате разработок полезных ископаемых открытым способом, ежедневные потери почв из-за развития оврагов достигают сотни га. Скорость овражной эрозии очень большая — несколько метров год.

В настоящее время процесс овражной эрозии практически не изучен. Актуальным является создание научно обоснованного представления о закономерностях развития оврагов, выявление стадийности их роста с количественной оценкой процесса, что позволит определять целесообразность применения противоэрозионных мероприятий в зависимости от природных условий и вида антропогенной нагрузки в разных регионах страны.

Гравитационный процесс

Оползни. Развитие склоновых процессов на территории Гвинейской Республики достаточно обширно, что обусловлено рельефом страны. В Гвинее было зарегистрировано несколько крупных оползней [23]: в Койе в 1962 и 1963 годах, в Йому в 1991 году и в Сенько (Бейла) в 1993 году. В Секу-Сори (префектура Киндия) 26 мая 2011 года был зарегистрирован оползень длиной около 1000 метров, шириной 170 см и глубиной захвата 2 метра [23]. В 2015 году оползень произошел в деревне Колоканлан (префектура Бофф), в результате стихийного бедствия были человеческие жертвы, полностью разрушены дома, уничтожены скот,

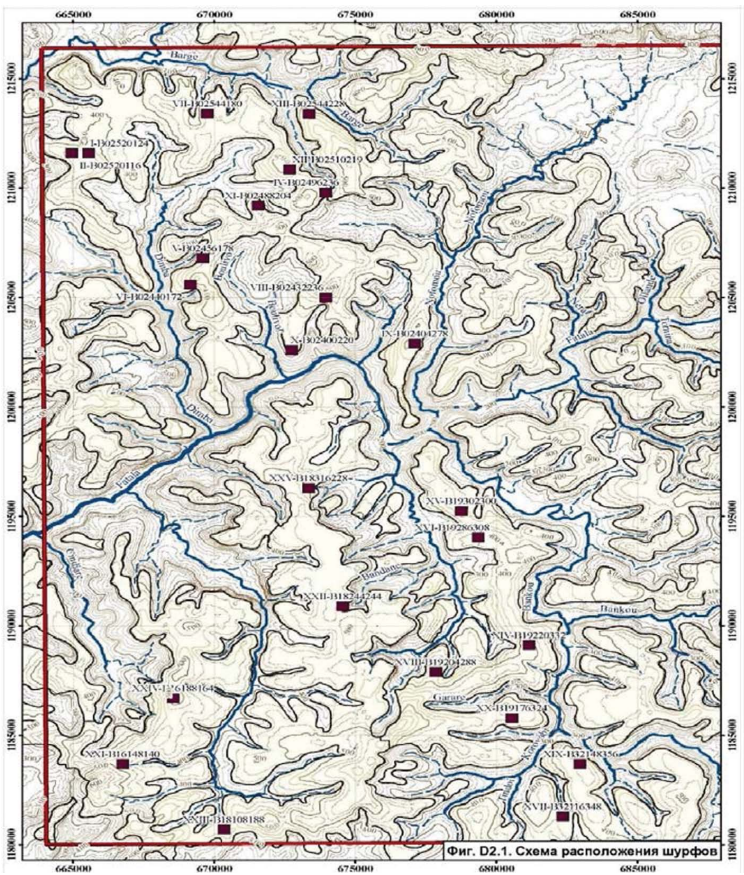


Рис. 4. Фрагмент геоморфологической карты, иллюстрирующий характер развития речной и овражной эрозии на Северо-Гвинейском плоскогорье, Фута Джалон [5]
Fig. 4. Fragment of a geomorphological map illustrating the nature of the development of river and ravine erosion (North Guinea Plateau, Futa Jalon bauxite deposit [5])

акры рисовых полей, продовольственные склады, изолирован доступ к пострадавшему селу.

Подтопление. паводковые проявления в большинстве случаев вызваны природными явлениями, они являются самыми опасными в мире, но трудно поддающимися оценке [26]. Для определения зон затопления наиболее квалифицированным остается гидрогеоморфологический метод [12], основанный на картографировании территорий затопления путем восстановления функционирования гидросистемы. Он основан на изучении русел рек, составляющих аллювиальную равнину. В Гвинейской Республике паводки происходят каждый сезон дождей после продолжительных ливней, которые усиливают сток рек. Тем самым вызывается застой дождевой воды внутри города из-за плохого естественного дренажа (рис. 5). Отсутствие технических средств делает невозможным оценку высоты подъема реки во время наводнения. Основными районами, наиболее пострадавшими, являются столица Конакри, префектуры Маму, Киндия, Дабола, Канкан, Масента, Гауаль, Мандиана, Сигири, Дингирайе, Лелума, Телимеле, Фарана, Гекеду и Лабе (рис. 5).

Заболачивание. Заболачивание широко распространено на атлантическом побережье Гвинеи, а также на островах. Заболоченные участки

неглубокие и встречаются в районах, где почвы, как правило, бедны, очень устойчивы к воде и не получают много тепла для испарения воды, поэтому вода остается на поверхности почвы в течение длительного времени. Таким образом, это приводит к образованию болот.

Современное выветривание и карстообразование. Процесс формирования коры выветривания на территории Леоно-Либерийского кристаллического массива длится начиная, предположительно, с мела, когда на всем Земном шаре господствовал жаркий и влажный климат. Продуктом этого длительного процесса являются латеритные и бокситоносные коры выветривания. Как уже отмечалось, коры выветривания имеют зональное строение, возникающее в результате миграционной подвижности элементов и перестроения состава, структуры и свойств пород (см. табл. 2).

На пути активной латеральной разгрузки подземных вод в латеритной коре выветривания образуются крупные полости карстово-суффозионного типа, сформировавшиеся на протяжении длительного развития литосистемы (рис. 6) [4].

На месторождении Debele из воронки карстового типа обнаружен вход в подземную галерею протяженностью 15 м, дно которой покрыто обрушившимися полосчатым бокситом.

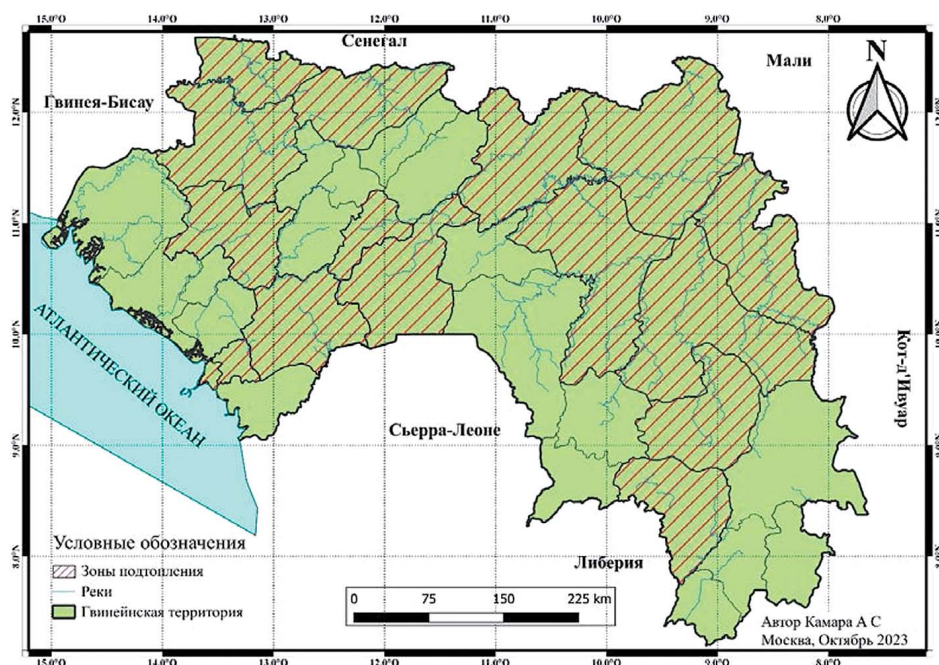


Рис. 5. Схематическая карта зон подтопления Гвинейской Республики
Fig. 5. Schematic map of flooding zones of the Republic of Guinea

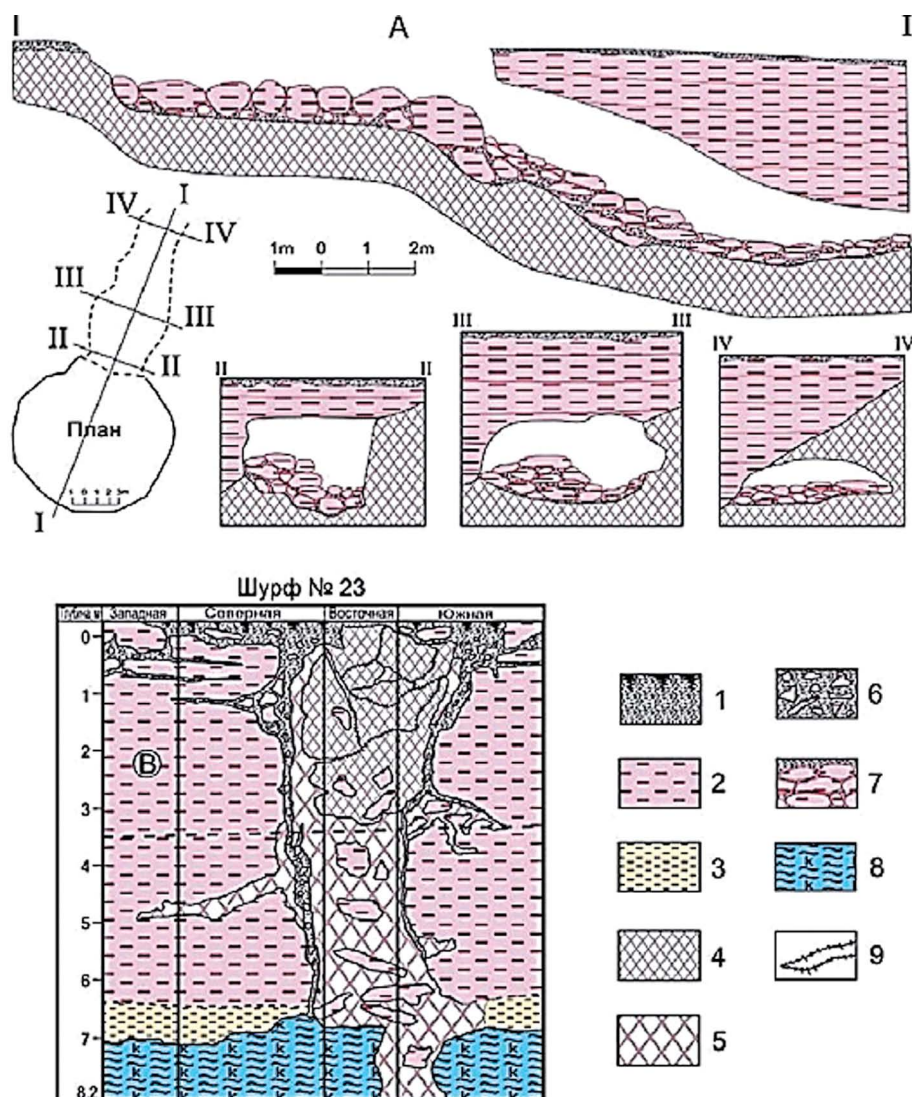


Рис. 6. Современные суффозионно-карстовые явления (А) и три генерации обломочных бокситов (В) внутри бокситоносных латеритных покровов на месторождении Débéélé [4]: 1 — почвенно-растительный слой; 2 — псевдоморфные каменистые бокситы; 3 — железистые бокситы и латериты; 4 — литифицированные брекчиевидные бокситы; 5 — каменистые и рыхло-каменистые брекчиевидные бокситы и латериты; 6 — полости и трещины, заполненные обломками бокситов и почвенным материалом с пизолитами, с коломорфным железистым веществом на стенках; 7 — глыбы и обломки бокситов с почвенным материалом в полости суффозионно-карстовых полостей; 8 — псевдоморфные каолиновые глины; 9 — железистые прожилки

Fig. 6. Modern suffusion-karst phenomena (A) and three generations of clastic bauxites (B) inside bauxite-bearing laterite covers at the Débéélé deposit [4]: 1 — soil and vegetation layer; 2 — pseudomorphic stony bauxite; 3 — ferruginous bauxites and laterites; 4 — lithified breccia bauxite; 5 — stony and loosely stony breccia bauxites and laterites; 6 — cavities and cracks filled with bauxite fragments and soil material with pisolites, with a colomorph ferruginous substance on the walls; 7 — boulders and fragments of bauxite with soil material in the canvas of suffusion karst cavities; 8 — pseudomorphic kaolinitic clays; 9 — glandular veins

Заключение

Проявления геологических процессов в Гвинейской Республике регулярно приводят к многочисленным человеческим жертвам и серьезному экономическому ущербу.

На основании сбора, анализа и обобщения общегеологических, географических и фондовых материалов были идентифицированы и классифицированы семь процессов, создающие риск инфраструктуре Гвинейской Республики.

Создана специальная инженерно-геологическая карта геологических процессов территории Гвинеи М 1:7 500 000, содержащая информацию о пространственном распространении инженерно-геологических геологических процессов.

Коры выветривания, широко распространённые на территории страны, характеризуются зо-

нальностью строения и изменчивостью состава и свойств грунтов, являются значимым компонентом при оценке инженерно-геологических условий.

Специальная инженерно-геологическая карта предназначена для использования при макроэкономическом планировании хозяйственного освоения территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондарик Г.К., Иерусалимская Е.Н., Ярз Л.А. Особенности методики оценки риска экзогенных геологических процессов на региональном уровне // Известия вузов. Геология и разведка. 2006. №1. С. 48—52.
2. Бондарик Г.К. Методологические основы мониторинга экзогенных геологических процессов. М.: Наука, 1986. 172 с.
3. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. 4-е изд. Доп. М.: КДУ, 2015. 472 с.
4. Мамедов В.И., Буфеев Ю.В., Никитин Ю.А. Геология Гвинейской республики. Т. 1. Изд-во МГУ, 2011. 341 с.
5. Мамедов В.И., Чаусов А.А., Оконов Е.А., Макарова М.А., Боева Н.М. Крупнейшая в мире бокситоносная провинция Фута-Джалон-Мандино (Западная Африка). Часть I. Общие сведения // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 2. С. 178—192.
6. Попов И.В. Инженерная геология СССР. Т. 1. Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
7. Селиверстов Ю.П. Эволюция рельефа и покровные образования влажных тропиков Сахарской платформы Л.: Недра, 1978. 285 с.
8. Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
9. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.
10. Ярз Л.А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания. М.: Недра, 1987. 236 с.
11. Ярз Л.А. Методы инженерно-геологических исследований процесса и кор выветривания. М.: Недра, 1991. 139 с.
12. Ballais J.L., et al. La méthode hydrogéomorphologique de détermination des zones inondables // PhysioGéo (www.physio-geo.fr), collection «Ouvrages». 2011. 168 p.
13. Boeglin J.L., Mortatti J., Tardy Y. // Érosion chimique et mécanique sur le bassin amont du Niger (Guinée, Mali): bilan géochimique de l'altération en milieu tropical. Comptes-rendus de l'Académie des Sciences. // Série 2a: Sciences de la Terre et des Planètes. 1997. Vol. (325), no. 3. P. 185—191.
14. Dorbath C., Dorbath, L., Gaulon R., George T., Mourgue P., Ramdani M., Robineau B., Tadili E. Seismotectonics of the Guinean earthquake of december 22, 1983. Geophysical Research Letters. 1984. Vol. 11. P. 971—974.
15. Dorofeev N.V., et al. The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system, 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 873 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/873/1/012030>
16. Dorofeev N.V., et al. The Forecasting of the Development of Suffosion Processes in Urban on the Basis of the Geoelectric Modeling by the Data of the Phasometric System of the Geodynamic Control, International Journal of Engineering & Technology. 2018. Vol. 7 No. 4.7. Special Issue 7. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.7.20561>
17. Guillaume Morin. // L'érosion et l'altération en Himalaya et leur évolution depuis le tardi-pléistocène: analyse des processus d'érosion à partir de sédiments de rivière actuels et passés au Népal central. // Sciences de la Terre. Université de Lorraine. 2015. Français. ffNNT: 2015LORR0258ff. fftel-01754542
18. Irinyemi S.A., Lombardi D., Ahmad S.M. Probabilistic seismic hazard assessment for West Africa region // Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards. 2021. <https://doi.org/10.1080/17499518.2021.1952608>
19. Irinyemi S.A., Lombardi D., Ahmad S.M. Seismic hazard assessment for Guinea, West Africa // Scientific Reports. February 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06222-7>
20. Krastanov M. Methods used for monitoring geodynamic processes on the territory of Bulgaria. Engineering Geology and Hydrogeology. 2022;36:25—34. <https://doi.org/10.52321/igh.36.1.25>
21. Kuropatkina T., Lyubimova T. Application of GIS technologies for engineering geodynamic zoning of mountain territories, in E3S Web of Conferences. 2023;383:02015. TT21C-2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338302015>
22. Ouattara Y. Structure sismique de l'Afrique de l'Ouest par tomographie d'ondes de surface. Sciences de la Terre. Université de Strasbourg ; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2019. Français. ffNNT : 2019STRAH006ff. fftel-02338926f.
23. Renforcement de la résilience et adaptation au changement climatique du littoral guinéen, Analyse de préféabilité, Avril 2018.
24. MEEF 2012, Stratégie nationale de réduction des risques de catastrophe, Conakry République de Guinée, volume 2.
25. Suleiman A.S., Doser D.I., Yarwood D.R. Source parameters of earthquakes along the coastal margin of West Africa and comparisons with earthquakes

in other coastal margin settings // *Tectonophysics*. 1993. Vol. 222. Issue 1. P. 79–91, ISSN 0040-1951. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90191-L](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90191-L)

26. Tchounga T.G.B. Gouvernance locale et gestion des risques naturels dans l'arrondissement de Douala v (littoral, Cameroun): Mémoire de master, Université de Douala (Cameroun), Avril 2016, 160 p.

REFERENCE

1. Bondarik G. K., Ierusalimskaya E.N., Yarg L.A. Features of the methods for assessing the risk of exogenous geological processes at the regional level. *News of university. Geology and Exploration*. — 2006 — P. 48–52. (in Russian).
2. Bondarik G. K. Methodological basis for monitoring exogenous geological processes. Moscow, Nauka Publ., 1986. 172 p. (in Russian).
3. Bondarik G. K., Pendin V. V., Yarg L. A. Engineering geodynamics — 4th ed. Additional. Moscow, KDU Publ., 2015. 472 p. (in Russian).
4. Mamedov V. I., Bufeov Yu. Geology of the Republic of Guinea. T. 1. MSU Publ., 2011. 341 p. (In Russian).
5. Mamedov V. I., Chaousov A. A., Okonov E. A., Makarova M. A., Boeva N. M. The World's Largest Bauxite-Bearing Province of Fouta Jalon Mandino (West Africa). Part I General Information // *Geology of Ore Deposits*. 2020. Volume 62. № 2. Pp. 178–192. (in Russian).
6. Popov I. V. Engineering Geology of the USSR. T. 1. General Fundamentals of Regional Engineering Geology. Moscow, MSU Publ., 1961. 178 p.4. (in Russian).
7. Seliverstov Y.P. Evolution of Relief and Cover Formations of the Humid Tropics of the Sahara Platform of L. Nedra. 1978. 285 p. (in Russian).
8. Trofimov V. T. Zonality of Engineering and Geological Conditions of the Earth's Continents. Moscow, MSU Publ., 2002, 348 p. (in Russian).
9. Trofimov V. T., Averkina T. I. Theoretical Foundations of Regional Engineering Geology. Moscow, GEOS Publ., 2007. 464 p. (In Russian).
10. Yarg L.A. Engineering-geological study of the weathering process. — Moscow, Nedra Publ., 1987, 236 p. (in Russian).
11. Yarg L.A. Methods of Engineering and Geological Studies of the Process and Weathering Crust. Moscow, Nedra Publ., 1991, 139. (in Russian).
12. Ballais J.L., et al. The hydrogeomorphological method for determining flood zones // *PhysioGéo* (www.physio-geo.fr), collection «Structures». — 2011. — 168 p.
13. Boeglin J.L., Mortatti J., Tardy Y. Chemical and mechanical erosion in the upstream basin of the Niger (Guinea, Mali): geochemical balance of weathering in tropical environments. *Proceedings of the Academy of Sciences. Series 2a: Earth and Planetary Sciences*. — 1997. Vol. (325), No. 3, pp. 185–191.
14. Dorbath C., Dorbath L., Gaulon R., George T., Mourgue P., Ramdani M., Robineau B., and Tadili E. Seismotectonics of the Guinean earthquake of december 22, 1983. *Geophysical Research Letters*. — 1984. — Vol (11), p. 971–974.
15. Guillaume Morin. Erosion and weathering in the Himalayas and their evolution since the Late Pleistocene: analysis of erosion processes from current and past river sediments in central Nepal. *Earth Sciences. University of Lorraine*. — 2015. French. ffNT: 2015LORR0258ff. fftel-01754542.
16. Irinyemi S.A., Lombardi D., Ahmad S.M. Probabilistic seismic hazard assessment for West Africa region // *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. — 2021. <https://doi.org/10.1080/17499518.2021.1952608>.
17. Irinyemi S.A., Lombardi D., Ahmad S.M. Seismic hazard assessment for Guinea, West Africa // *Scientific Reports*. — February 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06222-7>.
18. Krastanov, M. 2022. Methods used for monitoring geodynamic processes on the territory of Bulgaria. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 36, 25–34. <https://doi.org/10.52321/igh.36.1.25>
19. Dorofeev N V et al., The selection of parameters and control points in the geotechnical monitoring system, 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 873 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/873/1/012030>
20. Dorofeev N V. et al., The Forecasting of the Development of Suffosion Processes in Urban on the Basis of the Geoelectric Modeling by the Data of the Phasometric System of the Geodynamic Control, *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 No. 4.7 (2018): Special Issue 7 <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.7.20561>
21. Ouattara Y. Seismic structure of West Africa by surface wave tomography. *Earth Sciences. University of Strasbourg; Félix Houphouët-Boigny University (Abidjan, Côte d'Ivoire)*, 2019. French. ffNT: 2019STRAH006ff. fftel-02338926f.
22. Building Resilience and Climate Change Adaptation of the Guinean Coast, Pre-Feasibility Analysis, April 2018.
23. MEEF 2012, National Strategy for Disaster Risk Reduction, Conakry Republic of Guinea, Volume 2.
24. Suleiman, A. S., Doser, D. I., and Yarwood, D. R. Source parameters of earthquakes along the coastal margin of West Africa and comparisons with earthquakes in other coastal margin settings // *Tectonophysics*, Volume 222. — Issue 1, 1993, Pages 79–91, ISSN 0040-1951, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90191-L](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90191-L).
25. T. Kuropatkina, T. Lyubimova, Application of GIS technologies for engineering geodynamic zoning of mountain territories, in *E3S Web of Conferences* 383, 02015 (2023), TT21C-2023. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338302015>
26. Tchounga T.G.B. Local governance and management of natural risks in the district of Douala V (coast, Cameroon): Master's thesis, University of Douala (Cameroon), April 2016, 160 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Камара Абубакар Сидики — собрал материал, разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил опубликованный вариант статьи и согласен взять на себя ответственность за все аспекты работы.

Невечеря Вадим Вадимович — концептуальная идея направления исследований, обработка результатов, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ярг Людмила Александровна — осуществляла научное и методическое руководство, участвовала в разработке методологии и окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Camara Aboubacar Sidiki — 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.

Vadim V. Nevecherya — processing observations, has finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Lyudmila A. Yarg — carried out scientific and methodological guidance, participated in the development of the methodology and finally 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

Камара Абубакар Сидики* — аспирант кафедры инженерной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: aboubacarsidiki.camara@yandex.ru

тел.: +7 (901) 400-22-06

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1663-4568>

Camara Aboubacar Sidiki* — a postgraduate student of the Department of Engineering Geology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: aboubacarsidiki.camara@yandex.ru

tel.: +7 (901) 400-22-06

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1663-4568>

Невечеря Вадим Вадимович — кандидат геолого-минералогических наук, декан гидрогеологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: nevecheryavv@mgri.ru

тел.: +7 (915) 122-09-16

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3250-2016>

SPIN-код: 5598-6480

Vadim V. Nevecherya — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), head of the Faculty of Hydrogeology of the the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nevecheryavv@mgri.ru

tel. : +7 (915) 122-09-16

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3250-2016>

SPIN-code: 5598-6480

Ярг Людмила Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»; заслуженный деятель высшего образования РФ.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: liudmila.yarg@yandex.ru

тел.: +7 (903) 730-35-84

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7501-3304>

SPIN-код: 6449-9386

Lyudmila A. Yarg — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Department of Engineering Geology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: liudmila.yarg@yandex.ru

tel.: +7 (903) 730-35-84

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-7501-3304>

SPIN-code: 6449-9386

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



НОВАЯ МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ИНДИКАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

К.М. ФЕДОРОВ¹, А.П. ШЕВЕЛЕВ¹, А.Я. ГИЛЬМАНОВ^{1,*}, А.А. ИЗОТОВ², А.В. КОБЯШЕВ²

¹ ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
6, Володарского ул., г. Тюмень 625003, Россия

² ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
79/1, Осипенко ул., г. Тюмень 625003, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Индикаторные исследования скважин были предложены для детализации геологической модели пласта в прошлом веке. Исследования заключаются в закачке слабоадсорбируемых трассеров — меток в нагнетательную скважину и отборе и анализе проб в ближайших добывающих скважинах. Ожидалось, что результаты исследований уточнят связь скважин и гидропроводность межскважинного пространства. Однако применение этих исследований показало, что трассер прорывается в добывающие скважины намного быстрее, чем прогнозировалось исходя из оценок фильтрационно-емкостных свойств пласта.

Цель. Разработка новой методики интерпретации индикаторных исследований скважин.

Материалы и методы. Проведено математическое моделирование процесса движения трассера по трещине автоГРП с учетом массообмена с пластом. Апробация предложенного алгоритма интерпретации результатов индикаторных исследований проведена на примере месторождения, расположенного в Западной Сибири. Продуктивный интервал находится в юрском интервале разреза васюганской свиты. В качестве трассера использовался водный раствор тиокарбамида с концентрацией 9%. Закачка проводилась через нагнетательную скважину ХХ74 в течение 3 ч. Масса закачанного трассера составила 1 т. Замеры в 6 реагирующих добывающих скважинах ХХ72, ХХ73, ХХ75, ХХ76, ХХ77, ХХ78 проводились в течение 75 дней. За этот период было отобрано 516 проб. Интерпретация результатов индикаторных исследований проведена по всем скважинам по разработанной методике.

Результаты. Получено численно-аналитическое решение задачи о движении оторочки трассера по трещине с учетом массообмена жидкостями с пластом и диссипации оторочки трассера. На основе этого решения была разработана новая методика интерпретации индикаторных исследований, которая позволяет определить большее число параметров техногенных трещин.

Заключение. Обсуждаются примеры применения новой методики для определения параметров техногенных трещин. Показано наличие нескольких трещин, соединяющих нагнетательную и добывающие скважины. Установлено, что процесс образования таких трещин в пласте все еще продолжается.

Ключевые слова: индикаторные исследования, оторочка трассера, численно-аналитическое решение задачи, техногенные трещины — автоГРП, раскрытость, длина и траектории трещин

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по инициативной теме.

Для цитирования: Федоров К.М., Шевелев А.П., Гильманов А.Я., Изотов А.А., Кобяшев А.В. Новая методика интерпретации индикаторных исследований скважин. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):41—52.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-41-52>

Статья поступила в редакцию 15.11.2023
Принята к публикации 18.12.2023
Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

NEW INTERPRETATION TECHNIQUE FOR TRACER WELL TESTS

KONSTANTIN M. FEDOROV¹, ALEXANDER P. SHEVELEV¹, ALEXANDER Y. GILMANOV^{1,*},
ALEXEY A. IZOTOV², ALEXANDER V. KOBAYASHEV²

¹ University of Tyumen

6, Volodarsky str., Tyumen 625003, Russian Federation

² «Tyumen petroleum research center» LLC

79/1, Osipenko str., Tyumen 625003, Russian Federation

ABSTRACT

Background. Tracer well tests were proposed in the last century as an approach for elaboration of detailed reservoir models. Such tests implied injecting weakly adsorbable tracers into an injection well followed by collection and analysis of samples in nearby production wells. The results were assumed to clarify well connectivity and inter-well hydraulic conductivity. However, practical application of these tests showed that the tracer penetrates into the production well much faster than predicted from estimates of the reservoir properties.

Aim. To develop a new technique for interpreting the results of tracer well tests.

Materials and methods. The process of tracer movement along a self-induced hydraulic fracture was simulated taking into account the mass transfer parameter. The developed algorithm for interpreting the results of tracer studies was tested in a deposit located in Western Siberia. The productive interval is located in the Jurassic interval of the Vasyugan Formation. An aqueous solution of thiocarbamide with a concentration of 9% was used as a tracer. Injection was carried out through injection well XX74 for 3 h. The mass of the injected tracer was 1 t. Measurements in six reacting production wells XX72, XX73, XX75, XX76, XX77, and XX78 were conducted for 75 days. During this time period, 516 samples were collected. In the first three days, 36 samples were extracted at equal time intervals; in the following two weeks, 90 samples were extracted also at equal time intervals; during the remaining days, measurements were conducted 2—3 times per week for each well. The results of the conducted studies were interpreted based on the developed methodology for all the wells.

Results. A numerical and analytical solution of the problem of tracer slug movement along the fracture was obtained. Account was taken of the mass transfer between the fluids and the layer, as well as the dissipation of the tracer slug. This solution was used as the basis for a new technique for interpreting the results of tracer well tests, which allows a greater number of fracture parameters to be determined.

Conclusion. The developed technique for determining the parameters of technogenic fractures was applied in practice. The presence of several fractures connecting injection and production wells is shown. It is established that the process of formation of such fractures in the reservoir is still ongoing.

Keywords: tracer well tests, tracer slug, numerical and analytical solution, technogenic fractures, self-induced hydraulic fracture, openness, fracture length and trajectory

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

Financial disclosure: research was carried out on the initiative research.

For citation: Fedorov K.M., Shevelev A.P., Gilmanov A.Y., Izotov A.A., Kobayashv A.V. New interpretation technique for tracer well tests. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):41—52. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-41-52>

Manuscript received 15 November 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Введение

Индикаторные исследования были предложены для исследования геологической структуры пластов в межскважинном пространстве еще в прошлом веке [9, 10]. Они заключаются в закачке в пласт через нагнетательную скважину специального реагента — индикатора (трассера). Этот реагент распространяется по пласту, регистрируется в продукции добывающих скважин [7]. По времени прорыва трассера в добывающую скважину можно сделать вывод о скорости фильтрации по пласту и о проницаемости участка пласта между нагнетательной и реагирующей добывающей скважинами [22]. Кроме того, индикаторные исследования позволяют проанализировать распределение фильтрационных потоков в пласте [5].

В методе используются трассеры различной природы. К таковым относятся флуоресцентные трассеры, светящиеся в определенном диапазоне спектра светового излучения, различные органические соединения, например тиокарбамид, радиоактивные вещества с небольшой концентрацией и другие соединения [10].

Ожидалось, что в результате индикаторных исследований будут получены данные о связности и гидропроводности в межскважинном пространстве. Но в результате исследований обнаружилось, что время прорыва трассера в добывающие скважины составляет несколько суток. Эти результаты не интегрируются с геолого-гидродинамическими моделями, по которым время обнаружения трассера в продукции добывающих скважин должно быть существенно большим. Следовательно, в пласте имеются некоторые каналы с высокой проницаемостью [14] — каналы низкого фильтрационного сопротивления (НФС). Природа таких каналов может быть различна. Существуют гипотезы об их «ручейковой» природе [6], а также о трещинах в пористой среде различной природы [1, 3]. Проницаемость каналов НФС на порядки превосходит проницаемость пласта, поэтому индикатор по ним быстрее достигает добывающих скважин при движении от нагнетательных.

Поскольку геолого-гидродинамические модели не смогли предсказать наличие каналов НФС и определить их параметры, была предложена простая методика интерпретации результатов ин-

дикаторных исследований, основанная на балансе массы трассера, пришедшего в добывающие скважины [3, 4]. Такая методика по известным значениям массы трассера, закачанного в нагнетательную скважину и пришедшего в одну из добывающих скважин, перепада давления, вязкости флюида и пористости канала позволяет определить его проницаемость, объем и долю потока трассера, пошедшего в канал. Практическим значением такой технологии является возможность применения потокоотклоняющих технологий, позволяющих сформировать низкопроницаемые барьеры в тех областях, где сформированы каналы НФС большого объема и проницаемости [8, 15].

В последнее время сложилось мнение, что каналы НФС представляют собой трещины автогидроразрыва пласта (автоГРП) [11, 13]. Такие трещины формируются вследствие превышения забойным давлением нагнетательных скважин предельного давления, которое выдерживает порода [9]. В результате этого формируется высокопроницаемый канал, который может увеличиваться в размерах [2] и достичь зоны дренирования добывающей скважины. В этом случае наблюдается преждевременное обводнение продукции добывающих скважин, а при проведении индикаторных исследований — ранний (по сравнению с ожидаемым с учетом проницаемости пласта) прорыв трассера в добывающую скважину. Трещины автоГРП характеризуются проницаемостью, длиной, шириной и высотой. Поскольку ширина трещины намного меньше ее длины, а сама трещина, как правило, вскрывает продуктивный пласт на всю его толщину, то широкое распространение получили одномерные модели трещины [17]. В настоящее время считается, что трещина, как правило, представляет собой длинный канал с эллиптическим сечением, перпендикулярным направлению распространения трещины [17]. Такая модель называется PKN (Perkins—Kern—Nordgren) по первым буквам фамилий ее авторов [20]. Экспериментальные исследования подтверждают справедливость такой модели [16]. Развитие трещины моделируется с учетом теории напряженного состояния породы и законов сохранения массы и импульса.

В геолого-гидродинамических моделях трещины автоГРП моделируются либо наличием скин-фактора вблизи нагнетательных скважин, либо

в виде высокопроницаемых каналов, либо в виде многомерных моделей трещин, требующих предварительных геомеханических расчетов с использованием специального программного обеспечения [19]. Первые два варианта встречаются на практике чаще, поскольку имеют приемлемую точность при сравнительно небольшом объеме входных данных.

Для исследования трещин автоГРП необходим более подробный алгоритм интерпретации индикаторных исследований, который бы позволял найти длину каждой сформировавшейся трещины без дополнительных представлений, за исключением ее геометрической формы. В таком случае прямая задача заключается в определении концентрации трассера на выходе из трещины в добывающую скважину при известных параметрах трещины, а обратная — в определении параметров трещины по динамике концентрации трассера в добывающей скважине. Прямая задача была решена авторами [12]. Целью настоящей работы является предложение новой методики интерпретации индикаторных исследований и ее апробация на примере одного из российских месторождений.

Математическая модель процесса движения трассера по трещине с учетом массообмена с пластом и диссипации

Для разработки методики интерпретации результатов индикаторных исследований необходимо провести математическое моделирование процесса движения трассера по трещине автоГРП с учетом массообмена с пластом. Традиционные математические модели при решении прямой задачи дают динамику концентрации трассера на выходе в добывающую скважину в виде П-образных импульсов [18], количество которых соответствует числу трещин автоГРП на рассматриваемом участке пласта. Однако результаты промысловых измерений не согласуются с этой теорией, поскольку в реальности наблюдается куполообразный вид динамики концентрации трассера [21]. Этот эффект связывают с диссипацией концентрации трассера, природа которой в настоящее время неизвестна. Данное явление также нужно учесть в разрабатываемой математической модели.

Перенос трассера по трещине автоГРП описывается законом сохранения массы вида

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{Q_f}{A} \frac{\partial c}{\partial z} = \begin{cases} qc, q > 0, \\ q(1 - c), q < 0, \end{cases} \quad (1)$$

где m — коэффициент динамической пористости, c — концентрация трассера в воде, t — время, Q_f — расход закачанной смеси по трещине автоГРП, A — площадь поперечного сечения трещины, z — координата, направленная вдоль трещины, q — интенсивность массообмена жидкости между трещиной и пластом, которая рассчитывается по закону Дарси

$$q = \frac{2kk_{rwr}}{\mu l} \frac{p_f - p_b}{l_z}. \quad (2)$$

Здесь k — абсолютная проницаемость пласта, k_{rwr} — относительная фазовая проницаемость воды при остаточной нефтенасыщенности, μ — коэффициент динамической вязкости воды, l — длина трещины автоГРП, l_z — расстояние от трещины до границы моделируемого участка, p_f — давление в трещине автоГРП, p_b — пластовое давление.

Начальные и граничные условия соответствуют закачке трассера в трещину автоГРП в течение времени t_0 с концентрацией c_0 .

В уравнении (2) учитывается, что массообмен жидкости между трещиной и пластом идет через две боковые границы трещины, в уравнении (1) учтено, что на части трещины может наблюдаться отток жидкости в пласт, а на другой — приток. Это согласуется с результатами решения прямой задачи (1)—(2) [12]. Пластовое давление в (2) находится из решения уравнения Лапласа традиционными численными методами и аппроксимируется полиномиальными трендами.

Решение прямой задачи свидетельствует о том, что утечки жидкости из трещины в пласт малы [12]. Тогда при расчете диссипации концентрации трассера ими можно пренебречь. Уравнение для расчета концентрации трассера с учетом диссипации имеет вид

$$\frac{\partial c}{\partial t} + v_{av} \frac{\partial c}{\partial z} = D \frac{\partial^2 c}{\partial z^2}, \quad (3)$$

где v_{av} — средняя скорость движения оторочки трассера по трещине автоГРП, D — коэффициент диссипации.

Для решения уравнения (3) ставятся начальные и граничные условия

$$\begin{aligned} t = 0, z > 0: c &= 0; \\ 0 < t < t_0, z = 0: c &= c_0, \\ t > t_0, z = 0: c &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Тогда решение для динамики концентрации трассера на выходе в добывающую скважину в безразмерных переменных имеет вид

$$C = \frac{1}{2} \left(\operatorname{erf} \left(\frac{1 + \tilde{L} - T}{2\sqrt{\tilde{D}T}} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{1 - T}{2\sqrt{\tilde{D}T}} \right) \right), \quad (5)$$

где C — безразмерная концентрация, T — безразмерное время, $\tilde{L}$ — отношение времени закачки оторочки трассера t_0 ко времени его прорыва в добывающую скважину t^* , $\tilde{D}$ — безразмерный коэффициент диссипации.

С учетом наличия воды, притекающей из пласта в добывающую скважину, проводится пересчет значения концентрации трассера, поскольку продукция добывающей скважины оказывается разбавленной водой. Такой пересчет проводится с помощью коэффициента $a = Q_f/Q_p$, где Q_f — расход трассера по трещине, Q_p — дебит добывающей скважины.

Разработанная математическая модель (3), (4) позволяет определить динамику концентрации трассера (5) на выходе в добывающую скважину при известном коэффициенте диссипации. Обычно он не является известным, поэтому необходим алгоритм интерпретации результатов индикаторных исследований.

Новый алгоритм интерпретации результатов индикаторных исследований скважин

Разработанный алгоритм интерпретации результатов индикаторных исследований заключается в следующем. Сначала проводится настройка расчетной динамики концентрации трассера в добывающей скважине из (5) на промысловые данные с помощью минимизации среднеквадратичного отклонения расчетных значений концентрации от промысловых. Такая настройка позволяет определить коэффициент диссипации D . Далее из решения обратной задачи, включающей уравнения для расхода трассера по трещине автоГРП, доли расхода жидкости по трещине, связи объема оторочки с ее линейным размером, выражения для безразмерных переменных и проницаемости трещины, определяются ширина w , длина l , проницаемость k_f и объем V трещины, расход трассера по трещине Q_f и линейный размер оторочки L :

$$Q_f = Q_{in} \frac{M^*}{M}, w = 4 \sqrt[4]{\frac{Q_f^2 t_0 \mu}{\pi^2 h^2 \Delta p \tilde{L}}}, \quad (6)$$

$$l = \frac{\pi h w^3 \Delta p}{64 Q_f \mu}, L = \frac{t_0 l}{t^*}, k_f = \frac{w^2}{16}, V = AL,$$

где Q_{in} — расход закачиваемой смеси, M^* и M — массы добытого трассера и закачанного

соответственно, h — мощность пласта, Δp — перепад давления между нагнетательной и добывающей скважинами, A — площадь поперечного сечения трещины.

Таким образом, разработанная методика интерпретации результатов индикаторных исследований позволяет определить параметры трещины автоГРП из решения обратной задачи при известной динамике концентрации трассера в добывающей скважине.

Пример практической интерпретации индикаторных исследований на месторождении X

Апробация предложенного алгоритма интерпретации результатов индикаторных исследований проведена на примере месторождения X, расположенного в Западной Сибири. Продуктивный интервал находится в юрском интервале разреза васюганской свиты. Нефтенасыщенный интервал гидродинамически изолирован за счет наличия глинистых или слабопроницаемых отложений, составляющих кровлю и подошву данного пласта. Объект разработки характеризуется неоднородностью уровня водонефтяного контакта. Продуктивный пласт представляет собой трещиновато-пористый коллектор. Наличие естественных трещин осложнено образованием трещин автоГРП. Сейсмические исследования позволяют определить положение только крупных трещин. Для определения объема и проницаемости трещин необходимо проводить трассерные исследования.

В качестве трассера использовался водный раствор тиокарбамида с концентрацией 9%. Закачка проводилась через нагнетательную скважину XX74 в течение 3 ч. Масса закачанного трассера составила 1 т. Замеры в 6 реагирующих добывающих скважинах XX72, XX73, XX75, XX76, XX77, XX78 проводились в течение 75 дней. За этот период времени было отобрано 516 проб. За первые три дня извлечено 36 проб через равные интервалы времени, в последующие две недели — 90 проб также через равные интервалы времени, в остальные дни замеры проводились 2—3 раза в неделю по каждой скважине.

Интерпретация результатов индикаторных исследований проведена по всем скважинам по разработанной методике. Пример сопоставления расчетной динамики концентрации трассера в добывающей скважине XX73 с промысловыми данными приведен на рисунке 1. Такое сопоставление позволило определить коэффициент диссипации при движении трассера по каждой трещине, количество пиков концентрации трассера соответствует

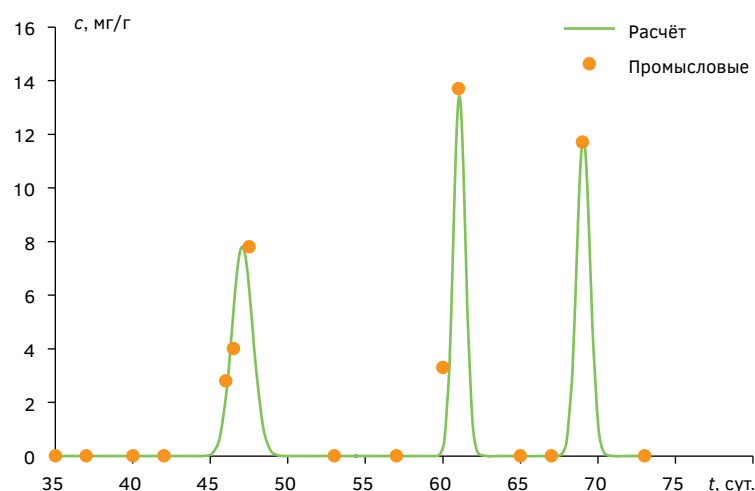


Рис. 1. Сопоставление расчетной динамики концентрации трассера в добывающей скважине XX73 с промышленными данными

Fig. 1. Comparison of the calculated dynamics of tracer concentration in the producing well XX73 with field data

количеству трещин автоГРП между нагнетательной скважиной и рассматриваемой добывающей скважиной. Результаты расчетов свидетельствуют, что не зафиксирован прорыв трассера по пласту.

Исходные данные по каждой добывающей скважине и по нагнетательной скважине приведены в таблице 1, где l^* — расстояние между нагнетательной и добывающей скважинами. Результаты интерпретации трассерных исследований и рассчитанные параметры трещин автоГРП сведены в таблицу 2. Индекс у величины означает номер трещины автоГРП. Объем трещины автоГРП, определенный по разработанной методике, в каждом случае совпадает с объемом, рассчитанным по классическому алгоритму.

Анализ результатов показывает, что различная масса трассера попала в добывающие скважины. Первый пик концентрации соответствует трещине автоГРП наименьшей длины, которая, как правило, проходит практически по прямой линии между нагнетательной и добывающей скважинами. Чем больше проницаемость трещины, тем выше скорость фильтрации по ней (рис. 2). Наибольшая средняя скорость фильтрации наблюдается на участке между скважинами XX74 и XX73 и составляет 614 м/сут. На этом участке зарегистрировано наибольшее значение массы вынесенного трассера (табл. 1).

Более поздние трещины автоГРП имеют большую длину и, в представлении авторов,

Таблица 1. Исходные данные по выбранным скважинам
Table 1. Initial data on the selected wells

Параметр	Значение по скважине						
	XX74	XX72	XX73	XX75	XX76	XX77	XX78
t_0 , с	10 800	-	-	-	-	-	-
M^* , кг	-	20,83	38,561	5,431	5,954	12,571	6,469
M , кг	1000	-	-	-	-	-	-
Q_{in} , м ³ /сут.	8,00	-	-	-	-	-	-
Q_p , м ³ /сут.	-	182	88,8	160,4	2,11	69,5	2,33
c_0 , д.е.	0,09	-	-	-	-	-	-
Δp , атм	-	160	160	175	160	165	170
μ , сП	1	1	1	1	1	1	1
h , м	-	30	30	30	30	30	30
l^* , м	-	1028	506	708	644	1188	431

Таблица 2. Результаты интерпретации трассерных исследований
Table 2. Results of tracer tests data interpretation

Параметр	Значение по скважине					
	XX72	XX73	XX75	XX76	XX77	XX78
w_1 , мм	0,0264	0,0567	0,0140	0,0109	0,0230	0,0084
w_2 , мм	0,0494	0,0605	0,0234	0,0312	0,0451	0,0254
w_3 , мм	0,0509	0,0625	0,0246	-	0,0271	0,0093
l_1 , м	1571	3616	709	665	1264	438
l_2 , м	3437	4397	1546	2229	3184	1750
l_3 , м	3754	4823	1799	-	2079	733
k_1 , Д	43,52	201,28	12,33	7,43	32,97	4,36
k_2 , Д	152,59	229,31	34,20	60,94	126,96	40,20
k_3 , Д	161,85	243,88	37,85	-	45,94	5,37
V_1 , м ³	0,976	4,830	0,235	0,171	0,684	0,086
V_2 , м ³	4,000	6,273	0,852	1,639	3,379	1,047
V_3 , м ³	4,501	7,095	1,043	-	1,327	0.160
D_1 , м ² /с	$2,10 \times 10^{-5}$	$3,22 \times 10^{-4}$	$2,59 \times 10^{-6}$	$1,21 \times 10^{-4}$	$4,35 \times 10^{-4}$	$3,72 \times 10^{-4}$
D_2 , м ² /с	$5,37 \times 10^{-6}$	$7,34 \times 10^{-5}$	$2,03 \times 10^{-6}$	$2,34 \times 10^{-3}$	$3,77 \times 10^{-5}$	$1,71 \times 10^{-3}$
D_3 , м ² /с	$1,80 \times 10^{-6}$	$7,80 \times 10^{-5}$	$8,74 \times 10^{-7}$	-	$3,56 \times 10^{-6}$	$1,10 \times 10^{-4}$
Q_{f1} , м ³ /сут.	$2,38 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-1}$	$8,64 \times 10^{-3}$	$3,97 \times 10^{-3}$	$2,01 \times 10^{-2}$	$2,88 \times 10^{-3}$
Q_{f2} , м ³ /сут.	$7,14 \times 10^{-2}$	$1,04 \times 10^{-1}$	$1,73 \times 10^{-2}$	$2,78 \times 10^{-2}$	$6,03 \times 10^{-2}$	$2,01 \times 10^{-2}$
Q_{f3} , м ³ /сут.	$7,15 \times 10^{-2}$	$1,06 \times 10^{-1}$	$1,76 \times 10^{-2}$	-	$2,02 \times 10^{-2}$	$2,35 \times 10^{-3}$

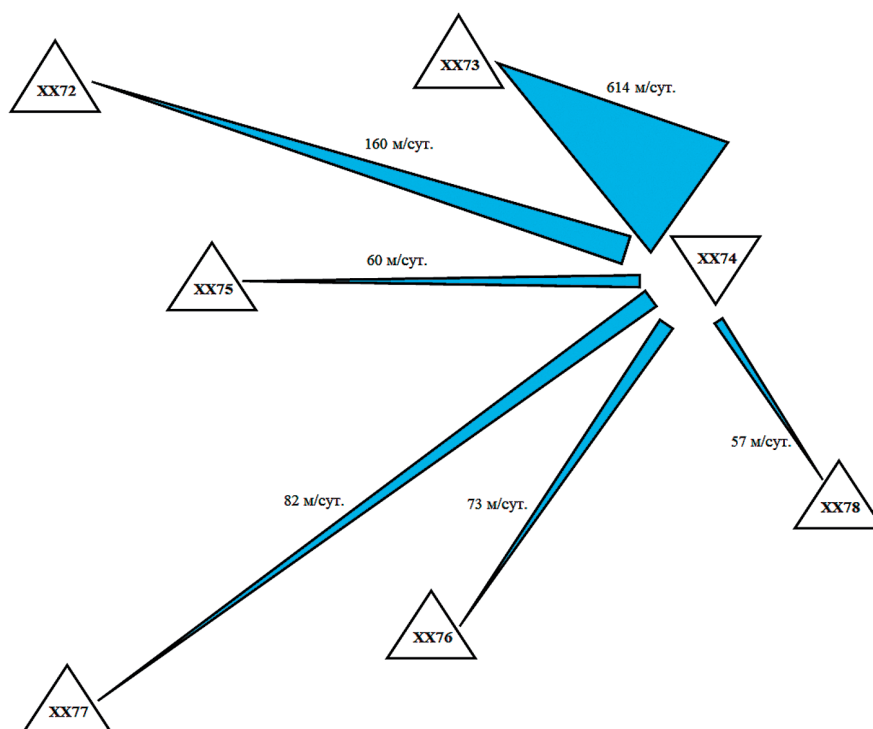


Рис. 2. Распределение средних по трещинам скоростей фильтрации на рассматриваемом участке пласта
Fig. 2. Distribution of average fracture velocities in the considered section of the reservoir

параболическую траекторию (рис. 3). Проницаемость трещин на порядки превышает проницаемость пласта. Некоторые трещины, имеющие сравнительно небольшой объем, еще до конца не сформировались. Отклонение траектории трещины от прямолинейной вызвано наличием нескольких окружающих добывающих скважин.

Выводы

1. Разработана новая методика интерпретации индикаторных исследований, позволяющая определить геометрические и фильтрационные параметры трещины автоГРП с учетом диссипации оторочки трассера в трещине.

2. Результаты апробации разработанной методики показали наличие нескольких трещин авто-

ГРП, причем, как правило, первый пик концентрации соответствует трещине автоГРП, проходящей по кратчайшему расстоянию между нагнетательной и добывающей скважинами.

3. Верификация результатов расчетов объема трещины автоГРП по разработанной методике путем сопоставления с данными интерпретации индикаторных исследований по классическому алгоритму свидетельствует о корректности разработанной модели.

4. Показано, что расходные характеристики трещин автоГРП, связывающей нагнетательную и добывающую скважины, коррелируют с массой вынесенного в этой добывающей скважине трассера: чем больше расходные характеристики, тем больше масса вынесенного трассера.

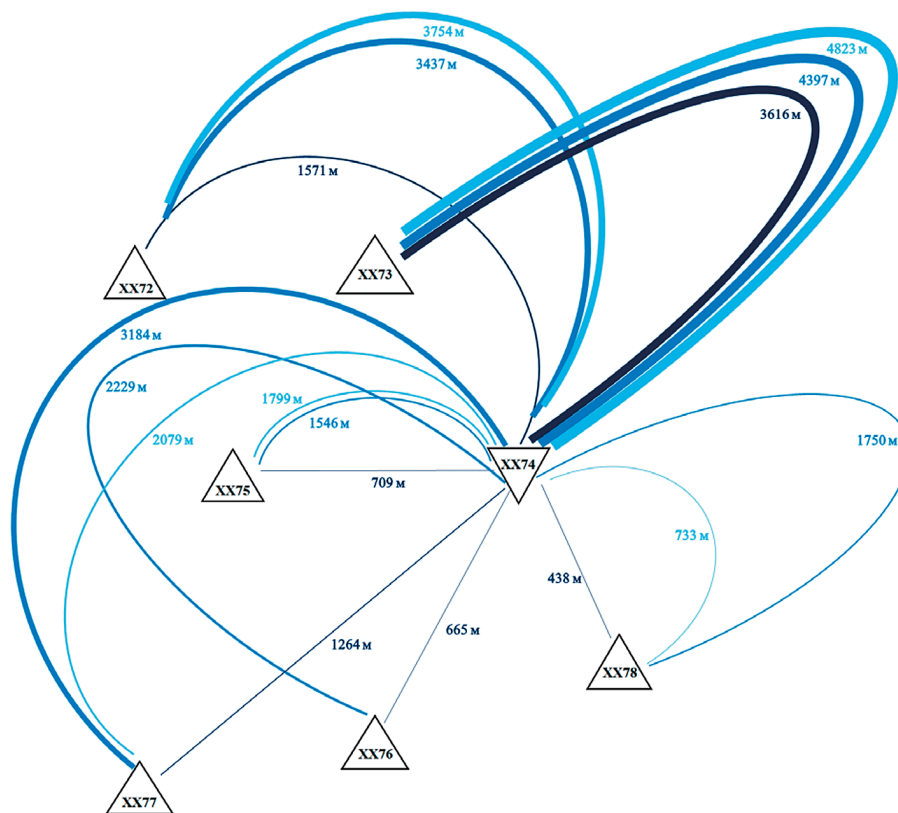


Рис. 3. Схематичное представление трещин автоГРП, выявленное при интерпретации индикаторных исследований. Длина и раскрытость трещин коррелируют с размером и толщиной линий, траектории трещин сформированы по представлениям авторов

Fig. 3. Schematic representation of the hydraulic fractures near injector, revealed during the interpretation of tracer tests. The length and width of fractures correlates with the size and thickness of the lines, the trajectories of fractures are formed according to the authors' ideas

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгин Д.В., Николаев А.Н., Елесин А.В. Гидродинамическая оценка эффективности потокоотклоняющих технологий в условиях образования техногенных каналов фильтрации // Георесурсы. 2018. Т.20. №3. С.172—177.
2. Давлетова А.Р., Федоров А.И., Щутский Г.А. Анализ риска самопроизвольного роста трещины гидроразрыва пласта в вертикальном направлении // Нефтяное хозяйство. 2019. № 6. С. 50—53.
3. Изотов А.А., Афонин Д.Г. О техногенной трансформации продуктивных пластов вследствие повышенного давления нагнетания при заводнении // Нефтепромысловое дело. 2021. № 5(629). С. 18—25.
4. Киреев Т.Ф., Булгакова Г.Т. Интерпретация трассерных исследований с помощью дискретной модели трещины // Вычислительная механика сплошных сред. 2018. Т. 11. № 3. С. 252—262.
5. Конев Д.А. Исследование нефтяных пластов с помощью индикаторного метода // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 7-2. С. 23—26.
6. Медведский Р.И. Ручейковая теория вытеснения нефти водой // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1997. № 6. С. 69—69.
7. Павлов И.В., Мозговой Г.С. Трассерные методы идентификации и мониторинга притока флюидов в добывающие скважины // Нефть, газ. Новации. 2020. № 1. С. 63—66.
8. Ручкин А.А., Ягафаров А.К. Оптимизация применения потокоотклоняющих технологий на Самотлорском месторождении. Тюмень: Изд-во «Вектор Бук», 2005. 165 с.
9. Сафаров Ф.Э., Вежнин С.А., Вульфович С.Л., Исмагилов О.З., Малыхин В.И., Исаев А.А., Тахаутдинов Р.Ш., Телин А.Г. Трассерные исследования и работы по выравниванию профиля приемистости в скважине Дачного месторождения // Нефтяное хозяйство. 2020. № 4. С. 38—43.
10. Соколовский Э.В., Соловьев Г.Б., Тренчиков Ю.И. Индикаторные методы изучения нефтеносных пластов. М.: Недра, 1986. 157 с.
11. Тарасов М.Г., Волков В.Н., Сианисян Э.С., Трунов Н.М. Формирование техногенных гидрогеодинамических систем при эксплуатации нефтяных месторождений // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2015. № 2. С. 1—8.
12. Федоров К.М., Гильманов А.Я., Шевелев А.П., Изотов А.А., Кобышев А.В. Численно-аналитическая модель для интерпретации результатов трассерных исследований нефтяных пластов: решение прямой задачи при наличии каналов низкого фильтрационного сопротивления // Вычислительная механика сплошных сред. 2023. Т.16. №.4. С. 429—437.
13. Шель Е.В., Кабанова П.К., Ткаченко Д.Р., Базыров И.Ш., Логвинюк А.В. Моделирование инициации и распространения трещины гидроразрыва пласта на нагнетательной скважине для нетрещиноватых терригенных пород на примере Приобского месторождения // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2020. № 2(16). С. 36—42.
14. Щербакова К.О. Анализ проблемы высокой обводненности добываемой продукции горизонтальных скважин // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 29—38.
15. Эпов И.Н., Зотова О.П. Потокоотклоняющие технологии как метод увеличения нефтеотдачи в России и за рубежом // Фундаментальные исследования. — 2016. № 12 (часть 4). С. 806—810.
16. Cheng C., Milsch H. Hydromechanical investigations on the self-propping potential of fractures in tight sandstones // Rock Mech. Rock Eng. 2021. V. 54. P. 5407—5432.
17. Detournay E., Cheng A.H.-D., McLennan J.D. A poroelastic PKN hydraulic fracture model based on an explicit moving mesh algorithm // Journal of Energy Resource Technology. 1990. V. 112. No. 4. pp. 224—230.
18. Doorwar S., Tagavifar M., Dwarakanath V. A 1D analytical solution to determine residual oil saturations from single-well chemical tracer test // Society of Petroleum Engineers Conference Paper SPE-200420-MS presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, USA, 31 August — 4 September 2020. pp. 1—16.
19. Feng N., Chang Y., Wang Z., Liang T., Guo X., Zhu Y., Hu L., Wan Y. Comprehensive evaluation of waterflooding performance with induced fractures in tight reservoir: a field case // Geofluids. 2021. V. 2021. pp. 1—11.
20. Nordgren R.P. Propagation of a vertical hydraulic fracture // SPE Journal. 1972. V. 12. No. 4. pp. 306—314.
21. Shen T., Moghanloo R.G., Tian W. Decoupling of channeling and dispersion effects by use of multiwell tracer test // SPE Reservoir Evaluation and Engineering. 2017. V. 21. № 1. pp. 54—72.
22. Zecheru M., Goran N. The use of chemical tracers in water injection processes applied on Romanian Reservoirs // EPJ Web of Conferences. 2013. Vol. 50. № 02005. pp. 1—6.

REFERENCES

1. Bulygin D.V., Nikolaev A.N., Elesin A.V. Hydrodynamic evaluation of the efficiency of flow deflecting technologies in conditions of formation of man-made filtration channels // Georesources. 2018. Vol. 20, No. 3. pp. 172—177 (In Russian).
2. Davletova A.R., Fedorov A.I., Shatsky G.A. Risk analysis of self-induced hydraulic fracture growth in vertical plane // Neftyanoe khozyaystvo — oil industry. 2019. No. 6. pp. 50—53 (In Russian).
3. Izotov A.A., Afonin D.G. On the technogenic

- transformation of productive formations due to increased injection pressure during flooding // *Oilfield Engineering*. 2021. No. 5(629). pp. 18—25 (In Russian).
4. Kireev, T. F., Bulgakova, G. T. Interpretation of interwell tracer tests using discrete fracture model. *Computational Continuum Mechanics*, 2018. Vol. 11 No. 3. pp. 252—262 (In Russian).
 5. Konev D.A. Issledovanie neftnykh plastov s pomosh'ju indikatornogo metoda [Investigation of oil reservoirs using the indicator method] // *Sovremennye naukoemkie tehnologii [Modern high-tech technologies]*. 2014. № 7-2. pp. 23—26 (In Russian).
 6. Medvedsky R.I. Ruchejkovaya teoriya vytesneniya nefti vodoj [The stream theory of oil displacement by water] // *Izvestiâ vysshikh uchebnykh zavedenij. Neft' i gaz [Oil and Gas Studies]*. 1997. No. 6. pp. 69—69 (In Russian).
 7. Pavlov I.V., Mozgovoy G.S. Trassernye metody identifikatsii i monitoringa pritoka fluidov v dobyvayushhie skvazhiny [Tracer methods of identification and monitoring of fluid inflow into producing wells] // *Neft', gaz. Novicii. [Oil, gas. Innovations]*. 2020. No. 1. pp. 63—66 (In Russian).
 8. Ruchkin A.A., Yagafarov A.K. Optimizatsiya primeneniya potokootklonjajushhih tehnologij na Samotlorskom mestorozhdenii. [Optimization of the application of flow-bending technologies at the Samotlorskoye field]. Tyumen: Publishing house «Vector Book», 2005. 165 p. (In Russian).
 9. Safarov F.E., Vezhnin S.A., Vulfovich S.L., Ismagilov O.Z. Malykhin V.I., Isaev A.A., Takhautdinov R.Sh., Telin A.G. Tracer tests and conformance control in the well of Dachnoye field // *Neftyanoe khozyaystvo — oil industry*. 2020. No. 4. pp. 38—43 (In Russian).
 10. Sokolovsky E.V., Solovyov G.B., Trenchikov Yu.I. Indikatornye metody izucheniya neftenosnykh plastov [Indicator methods for studying oil-bearing formations]. M.: Nedra, 1986. 157 p. (In Russian).
 11. Tarasov M.G., Volkov V.N., Sianisyan E.S., Trunov N.M. Formation of technogenic hydrogeodynamic systems during the exploitation of oil fields // *Georesursy, geojenergetika, geopolitika [Geo-resources, geo-energy, geopolitics]*. 2015. No. 2. pp. 1—8 (In Russian).
 12. Fedorov K.M., Gilmanov A.Ya., Shevelev A.P., Izotov A.A., Kobyshev A.V. Chislenno-analiticheskaya model' dlja interpretatsii rezul'tatov trassernykh issledovanij neftnykh plastov: reshenie prjamoj zadachi pri nalichii kanalov nizkogo fil'tracionnogo soprotivlenija [A numerical and analytical model for interpreting the results of tracer studies of oil reservoirs: solving a direct problem in the presence of low filtration resistance channels] // *Vychislitel'naja mehanika sploshnykh sred. [Computational Continuum Mechanics]*. 2023. Vol.16. No. 4. pp. 429—437 (In Russian).
 13. Shel E.V., Kabanova P.K., Tkachenko D.R., Bazyrov I.Sh., Logvinyuk A.V. Modelirovanie iniciatsii i rasprostraneniya treshhiny gidrorazryva plasta na nagnetatel'noj skvazhine dlja netreshhinovatykh terrigennykh porod na primere Priobskogo mestorozhdenija [Modeling the initiation and propagation of hydraulic fracturing in an injection well for non-fractured terrigenous rocks on the example of the Priobskoye field] // *PRONEFT". Professional'no o nefti. [PRONEFT. Professionally about oil]*. 2020. No. 2. pp. 36—42 (In Russian).
 14. Shcherbakova K.O. The problem of high water cut in the products of horizontal wells // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022. No. 6. pp. 29—38 (In Russian).
 15. Epov I.N., Zotova O.P. Flow diverting technologies as a method of enhanced oil recovery in Russia and abroad // *Fundamental research*. 2016. № 12 (part 4). pp. 806—810 (In Russian).
 16. Cheng C., Milsch H. Hydromechanical investigations on the self-propping potential of fractures in tight sandstones // *Rock Mech. Rock Eng.* 2021. V. 54. P. 5407—5432.
 17. Detournay E., Cheng A.H.-D., McLennan J.D. A poroelastic PKN hydraulic fracture model based on an explicit moving mesh algorithm // *Journal of Energy Resource Technology*. 1990. V. 112. No. 4. pp. 224—230
 18. Doorwar S., Tagavifar M., Dwarakanath V. A 1D analytical solution to determine residual oil saturations from single-well chemical tracer test // *Society of Petroleum Engineers Conference Paper SPE-200420-MS presented at the SPE Improved Oil Recovery Conference held in Tulsa, USA, 31 August — 4 September 2020*. pp. 1—16.
 19. Feng N., Chang Y., Wang Z., Liang T., Guo X., Zhu Y., Hu L., Wan Y. Comprehensive evaluation of water-flooding performance with induced fractures in tight reservoir: a field case // *Geofluids*. 2021. V. 2021. pp. 1—11.
 20. Nordgren R.P. Propagation of a vertical hydraulic fracture // *SPE Journal*. 1972. V. 12. No. 4. pp. 306—314.
 21. Shen T., Moghanloo R.G., Tian W. Decoupling of channeling and dispersion effects by use of multiwell tracer test // *SPE Reservoir Evaluation and Engineering*. 2017. V. 21. № 1. pp. 54—72.
 22. Zecheru M., Goran N. The use of chemical tracers in water injection processes applied on Romanian Reservoirs // *EPJ Web of Conferences*. 2013. Vol. 50. № 02005. pp. 1—6.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Федоров К.М. — сформулировал общую постановку задачи, предложил методы ее решения, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Шевелев А.П. — принял участие в разработке концепции статьи, подготовил текст статьи, выполнил анализ экспериментальных данных, выполнил этап работ по гидродинамическому моделированию, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Гильманов А.Я. — принял участие в разработке концепции статьи, подготовил текст статьи, выполнил анализ экспериментальных данных, выполнил этап работ по гидродинамическому моделированию, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Изотов А.А. — выполнил анализ экспериментальных данных, выполнил редактирование текста статьи.

Кобяшев А.В. — разработал концепцию статьи, разработал дизайн экспериментов, оказал экспертную поддержку на всех этапах работ, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Konstantin M. Fedorov — formulated a general statement of the problem, proposed the solution methods approved the final version of the article.

Alexander P. Shevelev — participated in the development of the concept of the article, prepared the text of the article, performed the analysis of experimental data, performed the stage of work on hydrodynamic modeling, finally approved the published version of the article.

Alexander Y. Gilmanov — participated in the development of the concept of the article, prepared the text of the article, performed the analysis of experimental data, performed the stage of work on hydrodynamic modeling, finally approved the published version of the article.

Alexey A. Izotov — performed the analysis of experimental data, edited the text of the article.

Alexander V. Kobyashev — developed the concept of the article, developed the design of experiments, provided expert support at all stages of the work, finally approved the published version of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Федоров Константин Михайлович — доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель Физико-технического института ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

6, Володарского ул., г. Тюмень 625003, Российская Федерация

e-mail: k.m.fedorov@utmn.ru

Scopus ID: 7006284104

Konstantin M. Fedorov — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor, Scientific advisor of the Institute of Physics and Technology, Tyumen State University.

6, Volodarskogo str., 625003, Tyumen, Russian Federation

e-mail: k.m.fedorov@utmn.ru

Scopus ID: 7006284104

Шевелев Александр Павлович — кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры моделирования физических процессов и систем Физико-технического института ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия.

6, Володарского ул., г. Тюмень 625003, Российская Федерация

e-mail: a.p.shevelev@utmn.ru

Scopus ID: 37013734300

Alexander P. Shevelev — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Associate Professor, Professor, Department of Modeling of Physical Processes and Systems, Institute of Physics and Technology, University of Tyumen.

6, Volodarskogo str., 625003, Tyumen, Russian Federation

e-mail: a.p.shevelev@utmn.ru

Scopus ID: 37013734300

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

Гильманов Александр Янович* — кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры моделирования физических процессов и систем кафедры моделирования физических процессов и систем Физико-технического института ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

6, Володарского ул., г. Тюмень 625003, Российская Федерация

e-mail: a.y.gilmanov@utmn.ru

SPIN-код: 3330-0695

Scopus ID: 57205429154

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-1629>

Alexander Y. Gilmanov* — Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Lecturer of the Department of Modeling of Physical Processes and Systems, Institute of Physics and Technology, University of Tyumen.

6, Volodarskogo str., 625003, Tyumen, Russia

e-mail: a.y.gilmanov@utmn.ru

SPIN-code: 3330-0695

Scopus ID: 57205429154

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7115-1629>

Изотов Алексей Александрович — руководитель проектного офиса по технологическому развитию, ООО «Тюменский нефтяной научный центр».

e-mail: aaizotov@tnnc.rosneft.ru

79/1, Осипенко ул., г. Тюмень 625003, Россия

Alexey A. Izotov — head of the project office for technological development, “Tyumen oil research center” LLC.

79/1, Osipenko str., 625002, Tyumen, Russia

e-mail: aaizotov@tnnc.rosneft.ru

Кобяшев Александр Вячеславович, главный менеджер, ООО «Тюменский нефтяной научный центр».

79/1, Осипенко ул., г. Тюмень 625003, Россия

e-mail: AVKobyashev@tnnc.rosnet.ru

Scopus ID: 57200390853

Alexander V. Kobyashev — General manager, “Tyumen petroleum research center” LLC

79/1, Osipenko str., 625002, Tyumen, Russia

e-mail: AVKobyashev@tnnc.rosnet.ru

Scopus ID: 57200390853

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-53-65>
УДК 550.8.013



ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРОВ ПРИСАХАЛИНСКОГО ШЕЛЬФА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.К. ШАТЫРОВ

*Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия,*

АННОТАЦИЯ

Введение. Сложное тектоническое строение шельфа Охотского моря, высокая геодинамическая активность и присутствие ловушек неантиклинального типа в продуктивных комплексах обуславливают необходимость использования специальных технологий для изучения вторичных фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов. Прогноз расположения и направленности открытых трещин осложняется их небольшими размерами. Они настолько малы, что находятся за пределами возможности обнаружения многих обычно используемых инструментов, таких как каротажные или сейсмические. Обнаружение трещиноватости сейсмическими методами невозможно в принципе, но некоторые каротажные инструменты с высокой разрешающей способностью при благоприятных обстоятельствах могут обнаруживать трещины. Если ни каротаж, ни сейсморазведка не могут обнаружить трещин, в качестве последнего средства часто обращаются к геомеханическому моделированию. Геомеханическое моделирование позволяет прогнозировать эффективную пористость и проницаемость в межскважинном пространстве.

Цель. Оценка геомеханических свойств коллекторов Присахалинского шельфа, показателей вторичной проницаемости.

Материалы и методы. Методика использования геомеханического моделирования для оценки ФЕС коллекторов Присахалинского шельфа была реализована с помощью программного комплекса ROXAR.

Результаты. Выявлено современное сдвиговое поле напряжений. Проведен расчет прогнозной проницаемости для каждого стратиграфического горизонта. Показана фильтрационная особенность локальных структур.

Ключевые слова: Присахалинский шельф, моделирование, геомеханика, проницаемость, сложные коллекторы

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Шатыров А.К. Оценка геомеханических свойств коллекторов Присахалинского шельфа по результатам моделирования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):53—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-53-65>

Статья поступила в редакцию 03.08.2023

Принята к публикации 05.12.2023

Опубликована 29.12.2023

ASSESSMENT OF THE GEOMECHANICAL PROPERTIES OF RESERVOIRS OF THE SAKHALIN SHELF BASED ON THE RESULTS OF MODELING

A.K. SHATYROV

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

ABSTRACT

Background. The complex tectonic structure of the Sea of Okhotsk shelf, its high geodynamic activity and the presence of non-anticlinal traps in plays requires special technologies for studying the secondary filtration-volumetric parameters of reservoirs. The prediction of the location and direction of open fractures is complicated by their small size. Such fractures are frequently too small to be detected by such conventional logging or seismic instruments. The detection of fracturing by seismic methods is impossible in principle; however, some high-resolution logging tools are capable of detecting fractures under favorable circumstances. In cases where neither logging nor seismic exploration can detect fractures, geomechanical modeling can be used. Geomechanical modeling makes it possible to predict the effective porosity and permeability in the crosshole space.

Aim. To assess the geomechanical properties and secondary permeability parameters of the Sakhalin shelf reservoirs.

Materials and methods. The ROXAR reservoir modeling software was used to assess the secondary filtration-volumetric parameters of the Sakhalin shelf reservoirs.

Results. The modern shear stress field was revealed. The permeability of each stratigraphic horizon was calculated. The filtration capacity of local structures was established.

Keywords: Sakhalin shelf, modeling, geomechanics, permeability, complex reservoirs

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

Financial disclosures: the study had no sponsorship.

For citation: Shatyrov A.K. Assessment of Sakhalin shelf reservoirs by geomechanical modeling. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):53—65.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-53-65>

Manuscript received 03 August 2023

Accepted 05 December 2023

Published 29 December 2023

В данной работе на примере Кириńskiego, Аяшского и Восточно-Одоптинского участка лицензионных блоков реализована технология оценки вторичной флюидной проницаемости горных пород (рис. 1).

Объектами исследования являлись:

- структурные ловушки окобыкайско-дагинского резервуарного комплекса;
- структурные и литологические ловушки нижненутовского резервуарного комплекса;
- структурные ловушки верхненутовского резервуарного комплекса.

Результаты исследований

Геомеханическая модель коллекторских свойств в Киринеском лицензионном участке

Геомеханическая модель Киринеского ЛУ базируется на 3D структурно-геологической модели, представляющей собой объемное поле в координатах X, Y, Z. Адаптация ячеек к поверхностям выполнена методом присоединения ячеек (Attach cells) (рис. 2).

Установленное субширотное сжатие Аз. Пр. 90° рассматривается как граничное условие при построении модели. В качестве реперных горизонтов

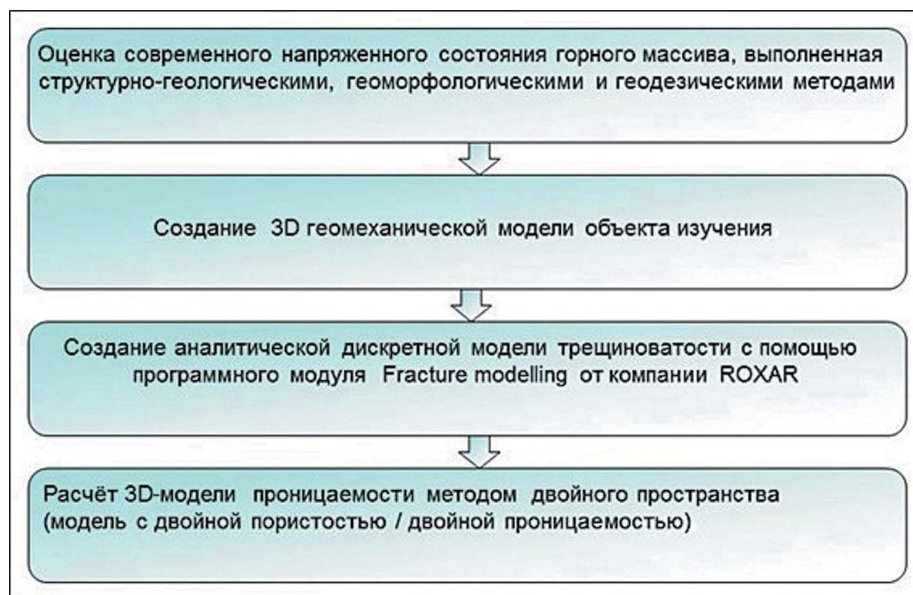


Рис. 1. Технология оценки вторичной флюидной проницаемости горных пород

Fig. 1. Technology for assessing secondary fluid permeability of rocks

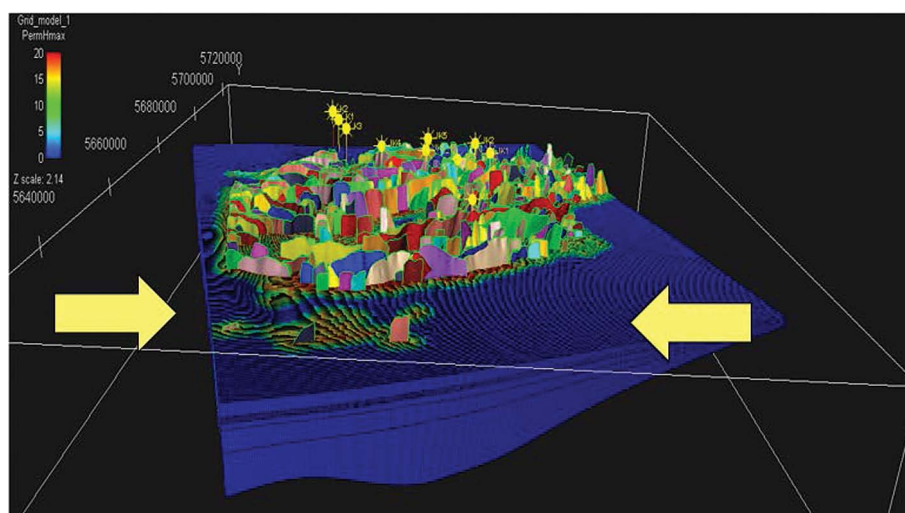


Рис. 2. 3D-сетка и разломы, построенные с помощью программы IrapRMS для геомеханической модели месторождений Киринского ЛУ

Fig. 2. 3D grid and faults constructed using the IrapRMS program for the geomechanical model of the Kirinsky license area fields

были использованы следующие структурные поверхности: подошва даехуриинского горизонта (P_3^2), кровля даехуриинского горизонта (P_3^2), кровля нижнедагинского подгоризонта ($N_1^{1-2}dg_1$), кровля среднедагинского подгоризонта ($N_1^{1-2}dg_{1-2}$), кровля верхнедагинского подгоризонта ($N_1^{1-2}dg_3$), кровля окобыкайского горизонта ($N_1^{2-3}ok$) [14].

Проведенные расчеты параметра вероятности образования трещин «Fracture Likelihood» позволили сделать ряд выводов, отражающих общий

характер появления новообразованных трещин. Во-первых, площадь появления новообразованных трещин значительно уступает стабильным, слабдеформированным территориям. Во-вторых, наиболее деформированным участком является южная часть ЛУ. В результате проведенных исследований были построены прогнозные аналитические модели трещиноватости Киринского лицензионного участка (ЛУ) месторождений, для всех реперных горизонтов, причем

каждая модель рассчитывалась по шести параметрам [9].

Для описания сложных коллекторов, обладающих значительным количеством трещин, при моделировании фильтрационных процессов в пласте применяется метод двойного пространства (двойной пористости и проницаемости). Первичная пористость и проницаемость, связанная с межзерновыми параметрами терригенного коллектора, изучается с помощью традиционных методов. Вторичная — с помощью специальных, в том числе тектонофизических методов, позволяющих прогнозировать плотность, апертуру и ориентировку систем трещин. Месторождения Киринского ЛУ, по-видимому, обладают именно таким, сложным коллектором. В этом случае эффективные фильтрационно-емкостные свойства коллектора представляют собой «сумму» первичной и вторичной пористости и проницаемости. Для выявления зон повышенных значений вторичной проницаемости Киринского ЛУ были использованы следующие исходные данные: информация о местоположении и локальной плотности трещин (либо эффект от их присутствия); данные о степени раскрытости трещин (либо параметры, влияющие на степень раскрытости); фильтрационные параметры трещин (либо данные о работе скважин) [4].

Оценка вторичной пористости и проницаемости была выполнена с помощью программного модуля Dual-Porosity Modelling компании Roxar. Данный модуль позволяет рассчитывать трещинную проницаемость для разных гидродинамических симуляторов. Рассчитанную трещинную проницаемость можно автоматически сложить с параметром матричной проницаемости или же создать параметр только трещинной проницаемости [1].

Кроме этого, можно рассчитать параметр трещинной пористости, представляющий собой 3D-параметр, в каждой ячейке которого содержится значение объема пустотного пространства, образованного трещинами, в долях объема ячейки. Данный параметр следует использовать очень осторожно, поскольку вариации в модели трещиноватости могут быть весьма существенными. На рисунке 3а представлен 3D-куб трещинной проницаемости Perm K_hmax для Киринского ЛУ. Видно, что разные участки изучаемого района неодинаково затронуты процессом трещинообразования. Интересно отметить, что с глубиной максимумы вторичной проницаемости становятся менее распределенными, локализуясь вдоль разломов в фундаменте. Особенно хорошо это видно на разрезе через весь ЛУ (рис. 3б) [2].

Детальный разрез значений вторичной проницаемости через скважины Южно-Киринского месторождения показал, что есть соответствие между дебитами скважин и величиной вторичной проницаемости.

По итогу проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- геомеханическая модель позволила оценить напряженное состояние пород, создать дискретную модель трещиноватости и рассчитать вторичную пористость и проницаемость;
- разные участки изучаемого района неодинаково затронуты процессом трещинообразования, причем с глубиной максимумы вторичной проницаемости локализуются вдоль пологопадающих разломов фундамента;
- большинство зон повышенных значений проницаемости вытянуты в северо-восточном направлении согласно общему простиранию разрывных нарушений. Блоки, не затронутые трещинной проницаемостью, имеют более изометричную форму и приурочены, как правило, к областям локальных опусканий;
- Южно-Киринское месторождение имеет сложное строение зон повышенных значений вторичной проницаемости. Отметим, что скважины ЮК-4, ЮК-6 и ЮК-3 находятся в пределах максимума вторичной проницаемости и именно по этим скважинам получены притоки нефти [3].

Геомеханическая модель коллекторских свойств в Аяшском ЛУ

Аяшский ЛУ, в отличие от Киринского ЛУ, изучен крайне слабо. Несмотря на это программный модуль RMSFracture позволяет создать вероятностную дискретную модель трещиноватости, используя геомеханическую модель и ряд геологических параметров, таких как удаленность от разрыва, степень кривизны структурной поверхности, удаленность от конца разрыва и др. При этом мы можем рассчитать относительную величину вторичной проницаемости и пористости. Получить абсолютные значения данных параметров (нормировать прогнозные карты) можно будет впоследствии, когда появятся первые результаты ГДИС. Отметим, что при моделировании трещиноватости, как правило, уровень неопределенности очень высок и только комплексный анализ помогает преодолеть эту неоднозначность [18].

Построенная детальная цифровая трехмерная геологическая модель позволила перейти к следующему этапу — построению геомеханической модели (рис. 4).

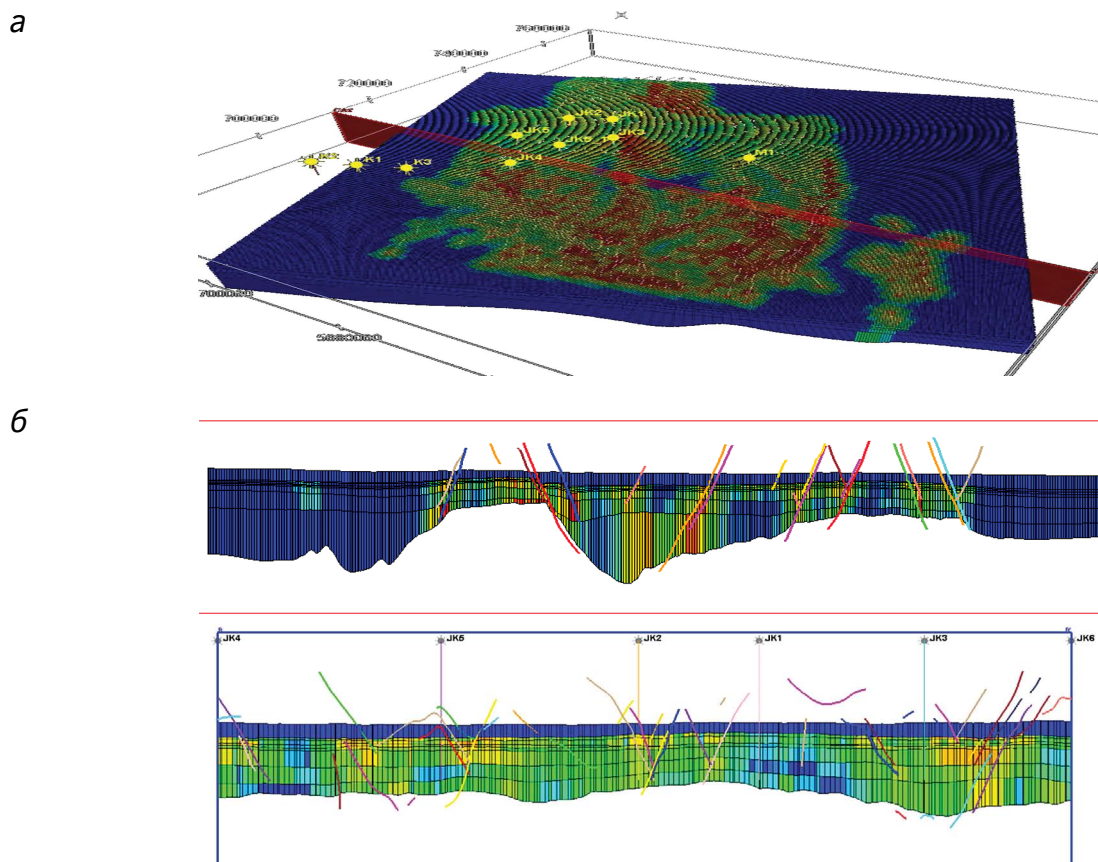


Рис. 3. а — трещинная проницаемость $Kh \max$, построенная с помощью дискретной модели трещиноватости для Киринского лицензионного блока месторождений; б — разрез значений вторичной проницаемости через скважины Южно-Киринского месторождения

Fig. 3. а — fracture permeability $Kh \max$, constructed using a discrete fracturing model for the Kirinsky licensed block of fields; б — section of secondary permeability values through wells of the Yuzhno-Kirinskoye field

Напряженное состояние коллектора в программном модуле RMSFracture создается с помощью упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress). В результате приложенной нагрузки происходит смещение по существующим разломам, что приводит к появлению локального поля напряжений. Основной целью моделирования является выявление локального поля напряжений и оценка его влияния на появление новых или изменение степени раскрытости существующих трещин. Области повышенных значений сжимающих напряжений (s_3) локализованы в южной половине Аяшского ЛУ в верхних частях разреза, в то время как нижние части, наоборот, максимально деформированы на севере. Максимумы значений вытянуты в субширотном направлении. Помимо величины напряжений построены схемы ориентировок максимального и минимального сжатия. Расчеты появления новообразованных трещин в горных породах «Fracture Likelihood» и «Fracture

Regions» делаются на основании математической модели Мора — Кулона, описывающей зависимость появления касательных напряжений от величины приложенных нормальных напряжений. Данная теория используется для расчета трендов «вероятность образования трещин» и «местоположение новообразованных трещин» [6].

Проведенные расчеты, выполненные для каждого горизонта (стратиграфического интервала) от поверхности фундамента до кровли помырского горизонта, позволили сделать ряд выводов, отражающих общий характер появления новообразованных трещин. Во-первых, площадь появления новообразованных трещин примерно равна стабильным, слабо деформированным районам. Во-вторых, наиболее деформированным участком является южная часть Аяшской ЛУ для верхних частей стратиграфического разреза (нижненутовского и верхненутовского горизонтов), в то время как отложения, близкие

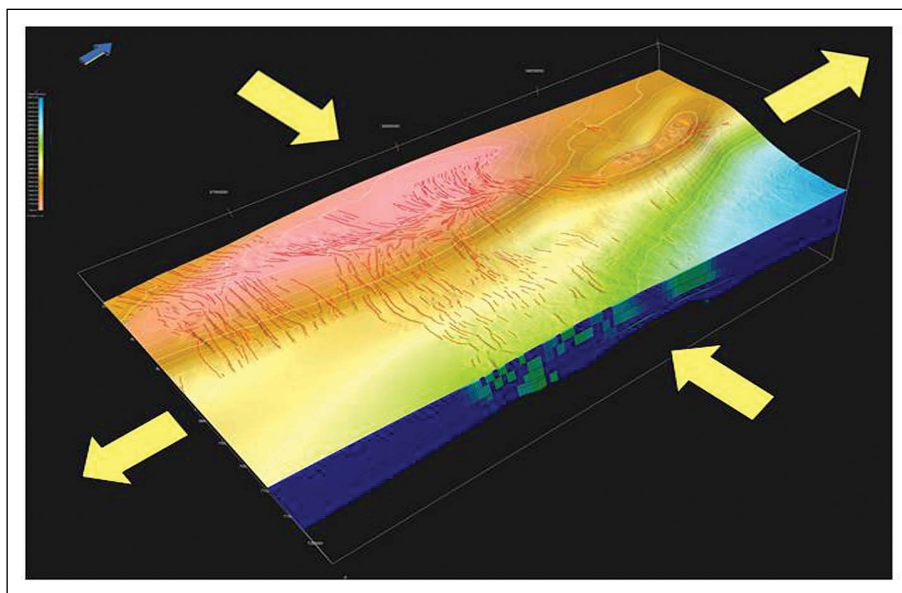


Рис. 4. 3D-сетка и разломы, построенные с помощью программы IrapRMS для геомеханической модели Аяшского ЛУ
Fig. 4. 3D grid and faults constructed using the IrapRMS program for the geomechanical model of the Ayashsky license area

к фундаменту (даехуриинский и дагинский горизонты) располагаются по площади более или менее равномерно [8].

Следующий этап прогноза вторичной проницаемости — создание аналитической дискретной модели трещиноватости Аяшского ЛУ с помощью программы «Create Fracture Mode». Для этого ЛУ удалось установить шесть параметров, определяющих появление новых или изменение степени раскрытости существующих трещин. В результате проведенных исследований были построены прогнозные аналитические модели трещиноватости Аяшского ЛУ для всех реперных горизонтов. Для каждого горизонта модель была построена по шести параметрам [5].

Вторичная пористость и проницаемость моделируются с помощью специальных методов, позволяющих прогнозировать плотность, апертуру и ориентировку систем трещин. Нефтегазоспособность Аяшского ЛУ связывают с различными коллекторами. Если в верхней части стратиграфического разреза ожидают структурные ловушки с классическим поровым коллектором (окобыкайско-дагинский, нижненутовский и верхненутовский резервуарные комплексы), то нижние части (комплекс пород миоцен-олигоценевого возраста и даже фундамента) связывают с трещинно-поровыми и кавернозно-трещинными резервуарами. При этом характер тектонической нарушенности верхних горизонтов, а это более

400 разрывных нарушений, косвенно свидетельствует о значительном влиянии трещиноватости на фильтрационные свойства коллектора. В таком случае эффективные ФЕС коллектора должны представлять собой «сумму» первичной и вторичной пористости и проницаемости. Построенная и адаптированная дискретная модель трещиноватости Аяшского блока послужила основой для расчета вторичной проницаемости. В качестве примера представлена схема относительной трещинной проницаемости Perm Khmax даехуриинского горизонта (рис. 5), которая показала, что области повышенных значений становятся более вытянутыми, локализуясь в виде 4-х прерывистых полос, вытянутых параллельно основной структуре. разных горизонтов Аяшского ЛУ [17].

Подводя итог проделанной работе по Аяшскому блоку, можно сделать следующие выводы:

- выявленная вторичная проницаемость существенным образом отличается у верхних и нижних стратиграфических горизонтов, причем поверхностью раздела служит окобыкайская глинистая пачка;
- большинство зон повышенных значений проницаемости вытянуты в субмеридиональном направлении согласно общему простиранию структуры. Наиболее высокопроницаемые участки локализованы на крутых склонах поднятий;
- разные участки изучаемой территории неодинаково затронуты процессом трещинообразования,

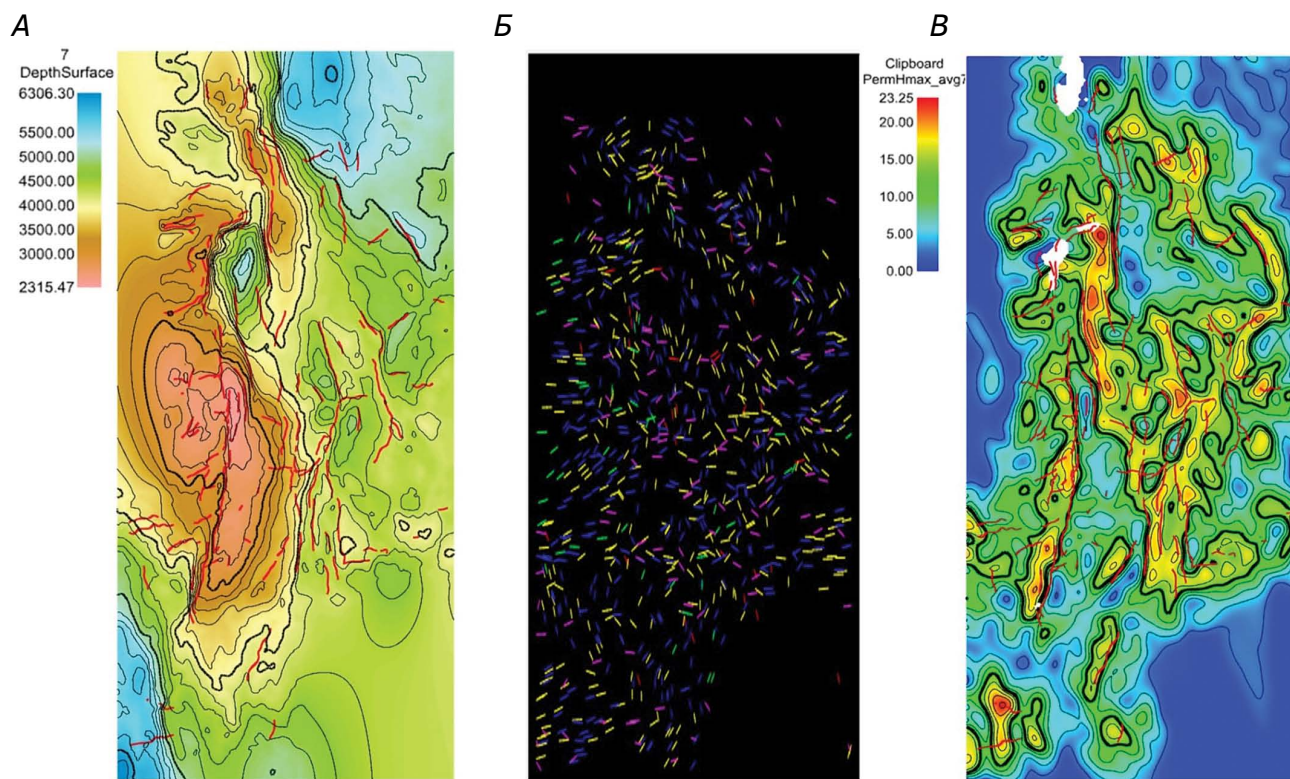


Рис. 5. Схемы структурной поверхности (А), дискретной модели трещиноватости (Б) и вторичной проницаемости (В) даехуриинского горизонта Аяшского ЛУ

Fig. 5. Schemes of the structural surface (A), discrete model of fracturing (Б) and secondary permeability (В) of the Daekhuri horizon of the Ayashsky license area

причем с глубиной максимумы вторичной проницаемости локализуются вдоль пологопадающих разломов фундамента;

- вторичная проницаемость верхних горизонтов более проявлена в пределах южной половины Аяшского блока.

Геомеханическая модель коллекторских свойств в Восточно-Одоптинском ЛУ

В пределах этого ЛУ работами прошлых лет выделены и оконтурены Восточно-Одоптинская, Лозинская, Южно-Лозинская, Шивчибинская антиклинальные структуры. В непосредственной близости от участка исследования выявлены крупные нефтегазоконденсатные месторождения Одопту-море (Северный, Центральный и Южный купола), Пильтун-Астохское, Аркутун-Дагинское и Чайвинское, продуктивность которых связана с отложениями нижненутовской толщи [15].

Для построения геомеханической модели необходимо знать современную ориентировку внешнего сжатия и тип напряженного состояния. Аналогично с Киринским и Аяшским ЛУ для Восточно-Одоптинского ЛУ установлено

изменяющееся сжатие от субширотного на юге до северо-восточного на севере. Соответственно, ориентировка растяжения меняется от субмеридиональной до северо-западной. Помимо этого, сдвиговый тип напряженного состояния выявляется по данным решения фокальных механизмов высокомагнитудных землетрясений и кулисообразного расположения мелких разрывных нарушений, свидетельствующих о наличии крупных левосдвиговых смещений, вытянутых в северо-западном направлении [17].

Исходной для построения геомеханической модели является трехмерная цифровая геологическая модель (рис. 6). При создании модели было учтено более 300 разрывов. Отметим, что главными структурообразующими нарушениями являются взбросы, сбросы и сдвиги, кинематика которых хорошо видна на сейсмических разрезах. Некоторые взбросы достигают поверхности дна моря или фиксируются до средней части верхненутовского комплекса и при этом имеют значительную амплитуду смещения по нижним горизонтам, достигающую 1000 м. Подобные разрывные нарушения являются отражением хрупких

деформаций горных пород фундамента и палеогена в более пластичных отложениях осадочного чехла. Таким образом, разломообразование происходило вдоль ослабленных зон древних, погребенных разломов фундамента Восточно-Одоптинского ЛУ [16].

Напряженное состояние коллектора было рассчитано с помощью упругой конечно-элементной модели (Elastic Stress). Напомним, что данный метод позволяет моделировать процесс образования трещин в результате деформирования горных пород при превышении предела прочности. Региональное поле напряжений рассматривается как внешнее граничное условие. В результате приложенной нагрузки происходит смещение по существующим разломам, что приводит к появлению локального поля напряжений, которое определяет характер трещиноватости исследуемого района [11].

Расчеты появления новообразованных трещин были сделаны с помощью математической модели Мора — Кулона.

С помощью программного модуля «Fracture modelling» для Восточно-Одоптинского ЛУ были рассчитаны пять параметров, которые определяют появление новых тектонических трещин или изменение степени раскрытости существующих

неоднородностей. Этими трендами являлись: распределения максимального горизонтального напряжения и его ориентировка; вероятность появления новообразованных трещин (Fracture Like), ориентировка трещин — Shmaxdir; кривизна структурной поверхности, ориентировка трещин — Max Curvature Direction; близость к разломам (Fault Proximity), ориентировка трещин — Fault Strike; близость к концам разломов (Fault Tip Proximity), ориентировка трещин — Fault Strike [12].

Проведенные расчеты, выполненные для каждого горизонта (от поверхности фундамента до подошвы помырского горизонта), позволили перейти к созданию аналитической дискретной модели трещиноватости с помощью программы «Create Fracture Mode». В данной программе трещины создаются пропорционально плотности рассчитанных трендов и данных об их ориентировках. При моделировании соблюдается геометрическое подобие, которое сводится к сходству «роз-диаграмм» между трещиноватостью и разрывными нарушениями [13].

Вторичная пористость и проницаемость были рассчитаны с помощью специальных методов, основанных на прогнозной оценке плотности, апертур и ориентировки систем трещин. Нефтегазоносность Восточно-Одоптинского ЛУ связывают с различными коллекторами. Если в верхней части стратиграфического разреза ожидают структурные ловушки с классическим поровым коллектором, то нижние части (комплекс пород миоцен-олигоценного возраста и фундамент) связывают с трещинно-поровыми и кавернозно-трещинными резервуарами. При этом характер тектонической нарушенности верхних горизонтов, а это более 200 разрывов, косвенно свидетельствует о значительном влиянии трещиноватости на фильтрационные свойства коллектора. В таком случае эффективные фильтрационно-емкостные свойства резервуара должны представлять собой «сумму» первичной и вторичной пористости и проницаемости [19].

Расчет вторичной проницаемости Восточно-Одоптинского ЛУ был выполнен с помощью программного модуля Dual-Porosity Modelling компании Roxar. В качестве примера ниже показаны схемы структурной поверхности (А), дискретной модели трещиноватости (Б) и вторичной проницаемости (В) уйнинско-дагинского комплекса (ОГ 6) Восточно-Одоптинского ЛУ (рис. 7) [7].

Уйнинско-дагинский комплекс сложен разнофациальными глинисто-песчаными и песчано-глинистыми отложениями при общем преобладании песчано-алевритовых пород. Причем в нижней

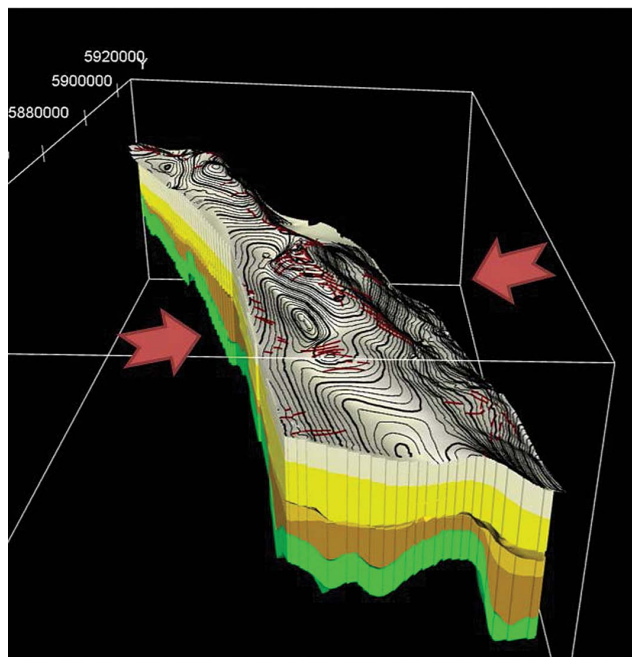


Рис. 6. Трехмерная структурно-геологическая модель Восточно-Одоптинского лицензионного участка

Fig. 6. Three-dimensional structural-geological model of the East Odoptinsky license area

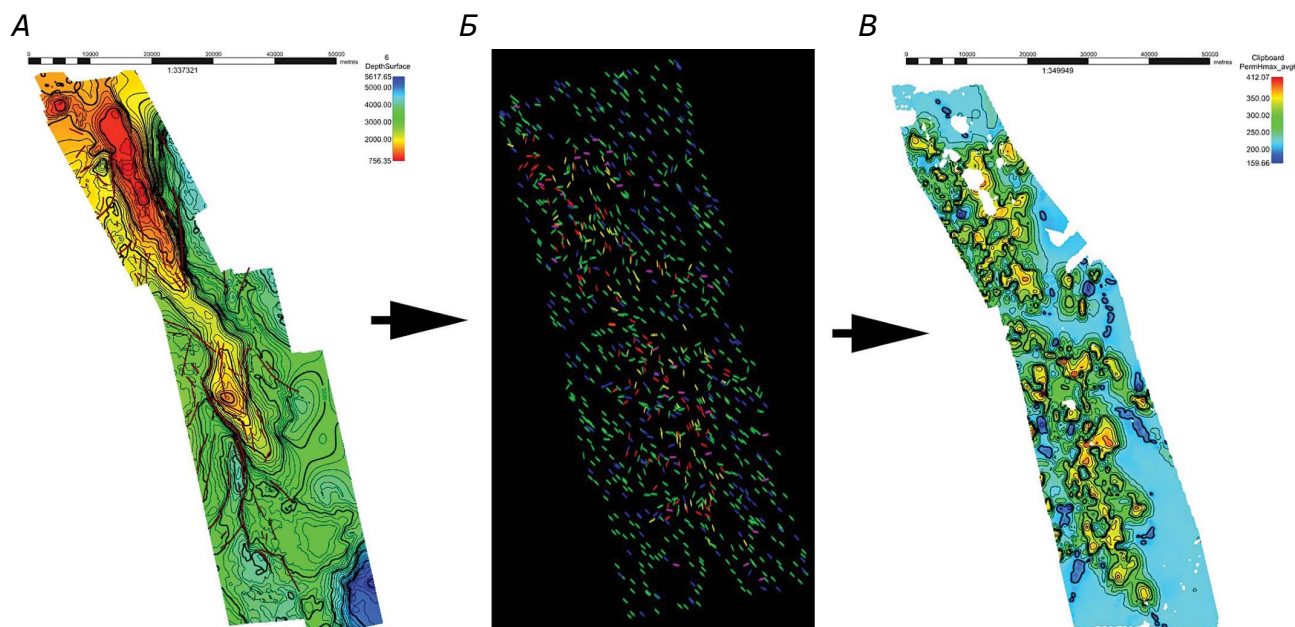


Рис. 7. Схемы структурной поверхности (А), дискретной модели трещиноватости (Б) и вторичной проницаемости (В) уйнинско-дагинского комплекса (ОГ 6) Восточно-Одоптинского ЛУ

Fig. 7. Schemes of the structural surface (A), discrete model of fracturing (Б) and secondary permeability (В) of the Uininsky-Daginsky complex (OG 6) of the East Odoptinsky license area

части разреза преобладают флюидоупоры, а в верхней — коллекторы. Пласты-коллекторы сложены преимущественно песчаниками от мелкозернистых до среднезернистых. Толщина песчаных пластов в толще изменяется от первых метров до 50 м. Пористость 12—25 %, проницаемость 0,0001—1 мкм². В резервуарах данного стратиграфического комплекса с поровым и трещинно-поровым типом коллектора содержатся промышленные залежи углеводородов на месторождениях шельфа: Лунском, Венинском, Киринском, и прилегающей суши — Монги, Мирзоева, Усть-Томи, Усть-Эвайском и других. На рисунке 7 представлена схема относительной трещинной проницаемости Perm Khmax для данного горизонта. Так же как для подстилающего его мачигарско-даехуриинского горизонта, характерны вытянутые в северо-западном направлении зоны высоких значений вторичной проницаемости (рис. 7В). Для Восточно-Одоптинской и Лозинской структур наибольшие значения проницаемости тяготеют к сводовым частям поднятий. Для Шивчибинской антиклинали повышенные значения проницаемости располагаются на западной половине структуры. Область высоких значений отмечена в седловине между Лозинской и Шивчибинской структурами. На схеме вторичной проницаемости дагинского комплекса (ОГ 6) Киринского, Аяшского и Восточно-Одоптинского ЛУ хорошо видна обособленность структур

Восточно-Одоптинской, Лозинско-Шивчибинской, Баутинской, Южно-Баутинской, Айашской, Южно-Осенгинской [5].

Подводя итог проделанной работе по Восточно-Одоптинскому ЛУ, можно сделать следующие выводы:

- геомеханическая модель позволила оценить вторичную пористость и проницаемость для каждого стратиграфического комплекса;
- выявленная вторичная проницаемость существенно образом отличается у верхних и нижних стратиграфических горизонтов, причем поверхностью раздела служит окобыкайская глинистая пачка;
- разные участки изучаемого района неодинаково затронуты процессом трещинообразования, причем с глубиной максимумы вторичной проницаемости локализуются вдоль пологопадающих разломов фундамента. Наиболее проницаемыми участками фундамента являются западный склон и восточное крыло Восточно-Одоптинской антиклинальной структуры, а также западный борт Лозинской антиклинальной ловушки;
- вторичная проницаемость определяет обособленность локальных структур рассматриваемого ЛУ (Восточно-Одоптинская, Лозинская, Шивчибинская);
- относительная проницаемость над глинистой толщей окобыкайского горизонта практически вдвое выше, чем в остальных частях разреза горизонта.

• для верхнемиоцен-плиоценовых отложений наиболее проницаемыми становятся северная, центральная и южная части Лозинской антиклинали. Эти зоны появились благодаря трем системам кулис мелких разрывных нарушений, расположенных над левосторонними сдвигами северо-западной ориентировки [5].

Заключение

В результате выполненных работ установлено, что Присахалинский шельф в пределах Киринского, Аяшского и Восточно-Одоптинского ЛУ испытывает современное сдвиговое поле напряжений с субширотной ориентировкой оси максимального сжатия. В результате приложенной нагрузки происходит смещение по существующим неоднородностям (разломам), что приводит к появлению локального поля напряжений, которое влияет на образование новых или изменение степени раскрытости существующих трещин, определяющих вторичную пористость и проницаемость горных пород. 3D геомеханическое моделирование, выполненное для данного региона, позволило рассчитать прогнозную проницаемость для каждого стратиграфического горизонта. Отметим, что выявленная

вторичная проницаемость существенным образом отличается у верхних и нижних стратиграфических горизонтов, причем поверхностью раздела служит окобыкайская глинистая пачка.

На схеме вторичной проницаемости даехурийского горизонта Киринского, Аяшского и Восточно-Одоптинского ЛУ видно, что южнее Восточно-Одоптинского поднятия зоны высоких значений вторичной проницаемости приобретают все более вытянутую форму (особенно это заметно при переходе к Аяшскому и Киринскому ЛУ) (рис. 8А). При этом меняется ориентировка этих зон — от северо-западной для Восточно-Одоптинского участка к субмеридиональной для Аяшского участка и к северо-восточной для Киринского ЛУ. Вторичная проницаемость дагинского горизонта на Киринском ЛУ заметно уменьшается, в то время как на Аяшском и Восточно-Одоптинском ЛУ она практически остается без изменений (рис. 8Б). Основные максимумы повышенных значений вторичной проницаемости протягиваются вдоль крупных разрывных нарушений, создают сеть фильтрационных каналов, определяющих миграцию УВ (особенно это характерно для НГМТ уйнинского, окобыкайского и даехурийского комплексов).

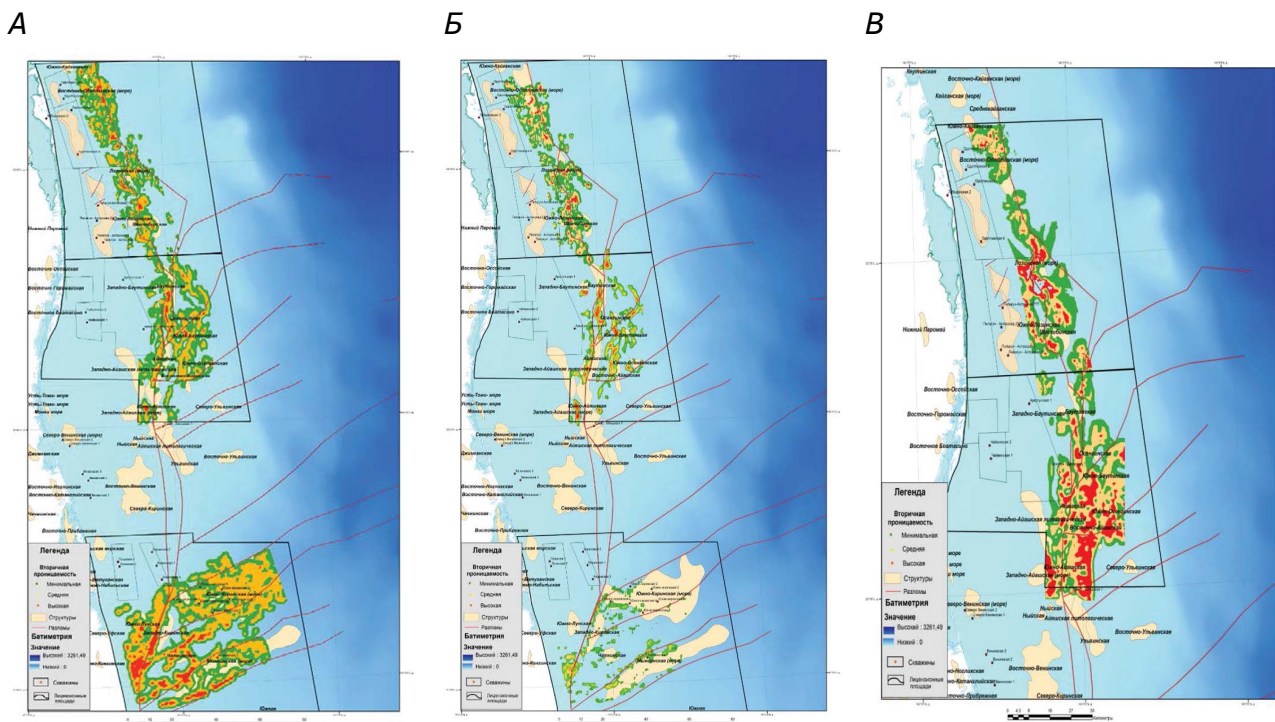


Рис. 8. Схема вторичной проницаемости даехурийского горизонта (А), дагинского комплекса ОГ-6 (Б), верхненутовского подкомплекса ОГ 2 (В) Аяшского, Киринского и Восточно-Одоптинского ЛУ
Fig. 8. Scheme of secondary permeability of the Daekhurinsky horizon (A), Daginsky complex OG-6 (B), Verkhnenutovsky subcomplex OG 2 (C) of the Ayashsky, Kirinsky and East Odoptinsky license areas

Крупные разрывные нарушения в окобыкайской свите являются каналами вертикальной миграции УВ, которые соединяют НГМТ палеогенового возраста с коллекторами верхнего миоцена и плиоцена. Для этого горизонта актуальным является вопрос сохранности (тектонической ненарушенности). С данных позиций можно объяснить отсутствие скоплений УВ под активными тектоническими зонами.

Для верхнемиоцен-плиоценовых отложений наиболее проницаемыми становятся южная часть Восточно-Одоптинского и южная половина Аяшского ЛУ (рис. 8В). Отметим, что вторичная проницаемость определяет фильтрационную обособленность локальных структур.

Важно отметить, что вклад значений вторичной проницаемости в полную (или эффективную) проницаемость у разных стратиграфических подразделений неодинаков. Так, например, в комплексе пород фундамента предполагается присутствие кавернозно-трещинного резервуара, для которого вторичная проницаемость равна полной.

Для эоцена — позднеолигоценового мачигарско-даехурийского комплекса, обладающего трещинно-поровым резервуаром, вклад вторичной проницаемости при оценке эффективной преобладает, и, следовательно, площади с высокими значениями вторичной проницаемости являются перспективными для поиска месторождений УВ (см. рис. 8). В залегающих выше отложениях ранне-среднемиоценового комплекса, также характеризующихся трещинно-поровым коллектором, составляющая вторичной проницаемости становится меньше. Для преимущественно терригенных отложений верхнего миоцена-плиоцена, обладающих поровым резервуаром, роль вторичной проницаемости существенно ниже, тем не менее ее необходимо учитывать.

Выявленная вторичная проницаемость может существенным образом дополнить информацию о фильтрационных параметрах коллектора. Все расчеты выполняются на сетке 3D геологической модели, что позволяет использовать полученные данные для гидродинамического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астафьев Д.А., Кабалин М.Ю., Скоробогатов В.А. Оценка и освоение углеводородного потенциала недр Охотоморской провинции // Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2021. С. 161—177.
2. Бакулина Л.П. Фациальный анализ // Ухта: Изд-во УГТУ, 2008. 34 с.
3. Гереш Г.М. Роль доразведки в процессе эксплуатационного разбуривания месторождений шельфа о. Сахалин // Научно-технический сборник «Вести газовой науки», 2020. С. 32—39.
4. Дегтярев В.А., Сизанов Б.И., Костров Ю.В., Хмарин Э.К., Халиулин Р.Р. Уточнение фациальной модели северо-восточной части острова Сахалин с целью локализации кремнистых отложений // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2021. № 2. С. 4—19.
5. Керимов В.Ю., Хоштария В.Н., Бондарев А.В., Сизиков Е.А. Очаги генерации углеводородов в Присахалинском шельфе Охотского моря / Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. 2016. № 2(283). С. 5—15.
6. Кудымов А.В. Условия седиментации в готеривсеноманском морском бассейне Сихотэ-Алиня и Нижнего Приамурья // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 22, № 6. С. 102—114.
7. Монакова А.С., Осипов А.В. Условия формирования и перспективы поисков залежей нефти и газа в зоне передовых складок западного склона Южного Урала // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. 2015. № 1. С. 17—26.
8. Никитенко О.А., Ершов В.В. Гидрогеохимические критерии поиска и разработки углеводородных месторождений: обзор, анализ и перспективы использования на острове Сахалин // Геосистемы переходных зон. 2021. № 4. С. 361—377.
9. Серикова У.С. Мировая история освоения ресурсов нефти и газа в морских акваториях / Нефть, газ и бизнес. 2015. № 9. С. 13—16.
10. Ступакова А.В., Суслова А.А., Кнунпер А.А., Карношина Е.Е., Крылов О.В., Шелков Е.С., Коротков С.Б., Карнаухов С.М., Осипова О.Н. Особенности геологического строения и нефтегазоносности шельфов дальневосточных морей / Георесурсы. 2021. № 2. С. 26—34.
11. Guliev 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.
12. 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. P. 78—89.
13. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry. 2017. P. 36—41.
14. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Cretaceous-cenozoic hydrocarbon systems of the eastern arctic seas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.

- "International Science and Technology Conference "Earth Science". Bristol: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 032016.
15. 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. 2019. No. 52(6). P. 344—355.
16. Mofei Du, Jianshe Lei, Dapeng Zhao. New seismic constraints on arc magmatism and subduction dynamics beneath the Japan Islands from Sn tomography // Journal of Asian Earth Sciences. 2023. Vol. 256. P. 105802.
17. Shegai V.I., Tolstikov A.V. Upper miocene and pliocene deposits of north-eastern shelf of Sakhalin Island: new seismic data on structure and petroleum potential // Geology of oil and gas. 2022. No. 3. P. 67—83.
18. Volkova P.A., Tikhomirov N.P., Bobrov A.A., Ivanova M.O., Dadykin I.A., Grigoryan M.Y., Kopylov-Guskov Y.O. Unexpected burst of new data on vascular plants flora for the lesser Kuril ridge and the whole Kuril archipelago // Journal of asia-pacific biodiversity. 2020. P. 738—744.
19. Zhi-Xin Guo, Yuan-Peng Shi, Yong-Tai Yang, Shuan-Qi Jiang, Lin-Bo Li, Zhi-Gang Zhao. Inversion of the Erlian Basin (NE China) in the early Late Cretaceous: Implications for the collision of the Okhotomorsk Block with East Asia // Journal of Asian Earth Sciences. 2018. Vol. 154. P. 49—66.

REFERENCES

1. Astafiev D.A., Kabalin M.Yu., Skorobogatov V.A. Assessment and development of the hydrocarbon potential of the subsoil of the Sea of Okhotsk province // Scientific and technical collection "News of Gas Science", 2021. pp. 161—177.
2. Bakulina L.P. Facies analysis // Ukhta: USTU Publishing House, 2008. 34 p.
3. Geresh G.M. The role of additional exploration in the process of operational drilling of shelf deposits on the island. Sakhalin // Scientific and technical collection "News of Gas Science", 2020. pp. 32—39.
4. Degtyarev V.A., Sizanov B.I., Kostrov Yu.V., Khmarin E.K., Khaliulin R.R. Refinement of the facies model of the northeastern part of Sakhalin Island for the purpose of localizing siliceous deposits // Oil and Gas Geology. Theory and practice. 2021. No. 2. P. 4—19.
5. Kerimov V.Yu., Khoshtaria V.N., Bondarev A.V., Sizikov E.A. Foci of hydrocarbon generation in the Sakhalin shelf of the Sea of Okhotsk / Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkina. 2016. No. 2(283). pp. 5—15.
6. Kudymov A.V. Sedimentation conditions in the Hauterivian-Cenomanian sea basin of the Sikhotealin and Lower Amur region // Pacific Geology. 2009. T. 22, No. 6. P. 102—114.
7. Monakova A.S., Osipov A.V. Conditions for the formation and prospects for searching for oil and gas deposits in the zone of advanced folds of the western slope of the Southern Urals // Proceedings of the Russian State University of Oil and Gas named after THEM. Gubkina. 2015. No. 1. P. 17—26.
8. Nikitenko O.A., Ershov V.V. Hydrogeochemical criteria for the search and development of hydrocarbon deposits: review, analysis and prospects for use on Sakhalin Island // Geosystems of transition zones. 2021. No. 4. pp. 361—377.
9. Serikova U.S. World history of the development of oil and gas resources in offshore areas / Oil, gas and business. 2015. No. 9. P. 13—16.
10. Stupakova A.V., Suslova A.A., Knipper A.A., Karnyushina E.E., Krylov O.V., Shelkov E.S., Korotkov S.B., Karnaukhov S.M., Osipova O.N. Features of the geological structure and oil and gas content of the shelves of the Far Eastern seas / Georesources. 2021. No. 2. P. 26—34.
11. Guliev 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.
12. 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. P. 78—89.
13. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits // Neftyanoe Khozyaystvo — Oil Industry. 2017. P. 36—41.
14. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Shcherbina Yu.V., Mamedov R.A. Cretaceous-cenozoic hydrocarbon systems of the eastern arctic seas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. "International Science and Technology Conference "Earth Science". Bristol: IOP Publishing Ltd, 2022. P. 032016.
15. 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. 2019. No. 52(6). P. 344—355.
16. Mofei Du, Jianshe Lei, Dapeng Zhao. New seismic constraints on arc magmatism and subduction dynamics beneath the Japan Islands from Sn tomography // Journal of Asian Earth Sciences. 2023. Vol. 256. P. 105802.
17. Shegai V.I., Tolstikov A.V. Upper miocene and pliocene deposits of the north-eastern shelf of Sakhalin Island: new seismic data on structure and petroleum potential // Geology of oil and gas. 2022. No. 3. P. 67—83.
18. Volkova P.A., Tikhomirov N.P., Bobrov A.A., Ivanova M.O., Dadykin I.A., Grigoryan M.Y., Kopylov-Guskov Y.O. Unexpected burst of new data on vascular plants flora for the lesser Kuril ridge and the whole Kuril archipelago // Journal of Asia-pacific biodiversity. 2020. P. 738—744.
19. Zhi-Xin Guo, Yuan-Peng Shi, Yong-Tai Yang, Shuan-Qi Jiang, Lin-Bo Li, Zhi-Gang Zhao. Inversion of the

Erlian Basin (NE China) in the early Late Cretaceous:
Implications for the collision of the Okhotomorsk

Block with East Asia // Journal of Asian Earth
Sciences. 2018. Vol. 154. P. 49—66.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Шатыров А.К. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, построение и моделирование, выполнил перевод на английский язык, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Shatyrov A.K. — developed the concept of the article, prepared the text of the article, contributed to the work during construction and modeling, translated into English, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Шатыров Анар Камандарович — инженер лаборатории «Моделирование углеводородных систем» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: anar.shatyrov@mail.ru

тел.: +7 (926) 142-77-63

SPIN-код: 5794-0287

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-5325>

Anar K. Shatyrov — engineer of the Laboratory “Modeling of Hydrocarbon Systems” of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: anar.shatyrov@mail.ru

tel.: +7 (926) 142-77-63

SPIN-code: 5794-0287

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-5325>



КОМПЛЕКСНАЯ ОБРАБОТКА И ПОДБОР МЕТОДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ДЕТАЛИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МЕГАРЕЗЕРВУАРОВ (БЛОК ХАЯН, ПАЛЬМИРИДСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

В.Л. ШУСТЕР¹, О.В. ТЮКАВКИНА^{2,*}, И. КАРТАЛ²

¹ Институт проблем нефти и газа РАН
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведен анализ параметров данных геофизических исследований скважин (ГИС), которые были применены в пределах месторождения Джихар (блок Хаян, Пальмиридский складчатый пояс) для установления границ коллектора формации «Куррачайн-Доломит». В связи со сложной обстановкой в Сирии исследования данной территории проводятся в крайне ограниченном количестве.

Цель. Провести комплексную обработку данных ГИС, в том числе с применением корреляционной матрицы, для оценки возможности использования полученных данных в качестве экспресс-метода для интерпретации данных ГИС и установления границ формации «Куррачайн-Доломит» в пределах блока Хаян и прилегающих территорий.

Материалы и методы. Скважинные данные для проведения эмпирических исследований предоставлены Сирийской нефтяной компанией. В работе получены корреляционные матрицы между каротажными данными: CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE, что позволило установить хорошую корреляционную связь между их числовыми значениями и результатами лабораторных исследований керна, проведенных для установления литологических характеристик и фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллекторов на территории северо-западной части блока Хаян.

Результаты. Обработанные материалы позволили подобрать наиболее эффективный комплекс ГИС для выделения границ и зон выклинивания отложений формации «Куррачайн-Доломит», рассматриваемой как мегарезервуар, и выделять первоочередные объекты разработки, аналогичные по геологическому строению и коллекторским свойствам.

Заключение. Предложенный метод обработки промыслово-геофизических материалов (построение корреляционных матриц и статистическая обработка геолого-промысловых данных) может быть использован при подборе оптимального комплекса ГИС для выделения границ распространения и количественной оценки ФЕС коллектора формации «Куррачайн-Доломит» (мегарезервуар блока Хаян), а также для повышения эффективности разработки месторождения Джихар.

Ключевые слова: мегарезервуар, Пальмиридский складчатый пояс, блок Хаян, коэффициент корреляции, корреляционная матрица

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по теме Госзадания 122022800253-3 «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла». Институт проблем нефти и газа РАН (ИПНГ РАН).

Для цитирования: Шустер В.Л., Тюкавкина О.В., Картал И. Комплексная обработка и подбор методов геофизических исследований для детализации геологического строения

мегарезервуаров (блок Хаян, Пальмиридский складчатый пояс). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):66—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-66-78>

Статья поступила в редакцию 28.10.2023

Принята к публикации 18.12.2023

Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

COMPLEX PROCESSING GEOPHYSICAL SURVEY AND SELECTION OF METHODS FOR DETAILING THE GEOLOGICAL STRUCTURE OF MEGA-RESERVOIRS (HAYAN BLOCK, OF THE PALMYRIDE FOLD BELT)

VLADIMIR L. SCHUSTER¹, OLGA V. TYUKAVKINA^{2,*}, IBRAHIM KARTAL²

¹ Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

² Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

ABSTRACT

Background. An analysis was conducted out to establish the boundaries of the Kurrachi-Dolomite formation reservoir (Jihar field, Hayan block, Palmyra fold belt). In the process of research, data from geophysical surveys of wells were used and statistical processing of the obtained data was carried out. Currently, due to the difficult situation in Syria, scientific research in this area is extremely limited.

Aim. To conduct a combined processing of geophysical well data (GWD), including by using a correlation matrix, and to assess the applicability the results obtained as an express method for interpreting geophysical data and identifying the boundaries of the Kurrachine-Dolomite formation within the Hayan block and adjacent areas.

Materials and methods. The well data for the empirical study was provided by the Syrian Petroleum Company. Correlation matrices were obtained between the following logging data: CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, and PE. This allowed a good correlation to be determined between their numerical values and the results of core studies, which were carried out to establish lithological characteristics and reservoir properties of the area under study (northwestern part of the Hayan block).

Results. The processed materials made it possible to select the most effective GWD combination for identifying the boundaries and fringe zones of sediments in the Kurrachine-Dolomite formation, considered as a mega reservoir, and to identify priority development objects similar in geological structure and reservoir properties.

Conclusion. The proposed method for processing field geophysical materials (construction of correlation matrices and statistical processing of geological and field data) can be used in selecting an optimal combination of GWD for establishing the reservoir boundaries of the Kurrachine-Dolomite formation, quantifying the reservoir properties, and increasing the efficiency of the Jihar field development (mega reservoir of the Hayan block).

Keywords: mega reservoirs, Palmyra fold belt, Hayan block, correlation coefficient, correlation matrix

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

Financial disclosure: the research was carried out on the topic of State Assignment 122022800253-3 "Scientific and methodological foundations for searching and exploring oil and gas accumulations associated with mega-reservoirs of the sedimentary cover". Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

For citation: Schuster V.L., Tyukavkina O.V., Kartal I. Complex processing geophysical survey and selection of methods for detailing the geological structure of mega-reservoirs (Hayan block, of the Palmyride fold belt). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):66—78. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-66-78>

Manuscript received 28 October 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Современный этап поисков и разведки месторождений нефти и газа позволяет проводить обработку полученных геолого-промысловых данных посредством применения программных продуктов или отдельных модулей, которые направлены на исследование различных измерений свойств горной породы непрерывно с глубиной. Пакет прикладных программ для решения прикладных и технических задач «Матлаб» позволяет представить анализируемые параметры в виде матрицы, в которую вносятся определенные предикторы, полученные как при геолого-промысловых исследованиях, так и испытаниях скважин. Возможность получения корреляционных зависимостей, применение современных программных комплексов для статистической обработки данных являются актуальными направлениями исследований для площади месторождений, разбуренных как большим количеством, так и ограниченным числом скважин.

Материалы исследований

В данной статье представлен только первый этап работы, который позволил провести первичные исследования, обработку и группировку параметров, полученных по результатам геофизических исследований скважин (ГИС). Исследования проведены по параметрам, полученным в результате ГИС: кавернометрия (CAL), акустический каротаж (AC), гамма-каротаж (GR), удельное электрическое сопротивление породы (RD, RS), плотностной каротаж (RHOV), параметры фотоэлектрического эффекта (PE). Для решения поставленных задач использовался пакет прикладных программ — система «Матлаб» [2], который занимает особое место при выполнении исследовательских проектов, связанных с обработкой разнотипной геолого-промысловых информации. «Матлаб» выбран нами как инструмент решения научных задач геофизики, а именно задачи исследования и анализа данных, необходимых для проведения корреляции параметров

каротажных кривых, полученных при бурении скважин на нефтегазовом месторождении Джихар.

Особенности геологического строения исследуемой территории. Сирия расположена на северо-западном участке Аравийской плиты, вблизи ее западной и северной активных границ (рис. 1) [1].

Основные месторождения углеводородов в Сирии расположены в позднепалеозойских или мезозойских бассейнах, которые позднее, в кайнозой, были деформированы в результате тектонической активности территории [4]. Основными тектоническими областями на территории Сирии являются: Пальмирский складчато-надвиговый пояс (в центре); Абд-эль-Азиз-Синджар (грабены на северо-востоке); грабен Евфрат (на востоке); Прибрежный хребет — Левантский разлом (система разломов Мертвого моря на западе) [5, 6, 10].

Для проведения исследований использовались промысловые данные, полученные по результатам исследования скважин, расположенных в пределах блока Хаян, который является частью района Пальмирид (центральная часть Сирии), где в настоящее время активно проводятся региональные поисковые работы на нефть. Зона Пальмирид представляет собой внутриконтинентальный складчато-надвиговый пояс длиной 400 км и шириной 100 км, простирающийся от зоны разлома Мертвого моря (на западе) до системы разломов Евфрата (на востоке) [5, 6, 11].

Пальмириды принято подразделять на юго-западные и северо-восточные Пальмириды, разделенные разломом Джихар [5, 6]. Юго-западные Пальмириды представлены поясом складок и надвигов, тогда как северо-восточные Пальмириды включают блоки Билас и Бишри. Между разломом Джихар и складками южных Пальмирид расположен низкорельефный бассейн Аль-Дау длиной более 100 км и шириной около 20 км [5, 6, 11, 18]. Блок Хаян приурочен частично к территории бассейна Аль-Дау и простирается в сторону блока Билас. Геофизические аномалии,

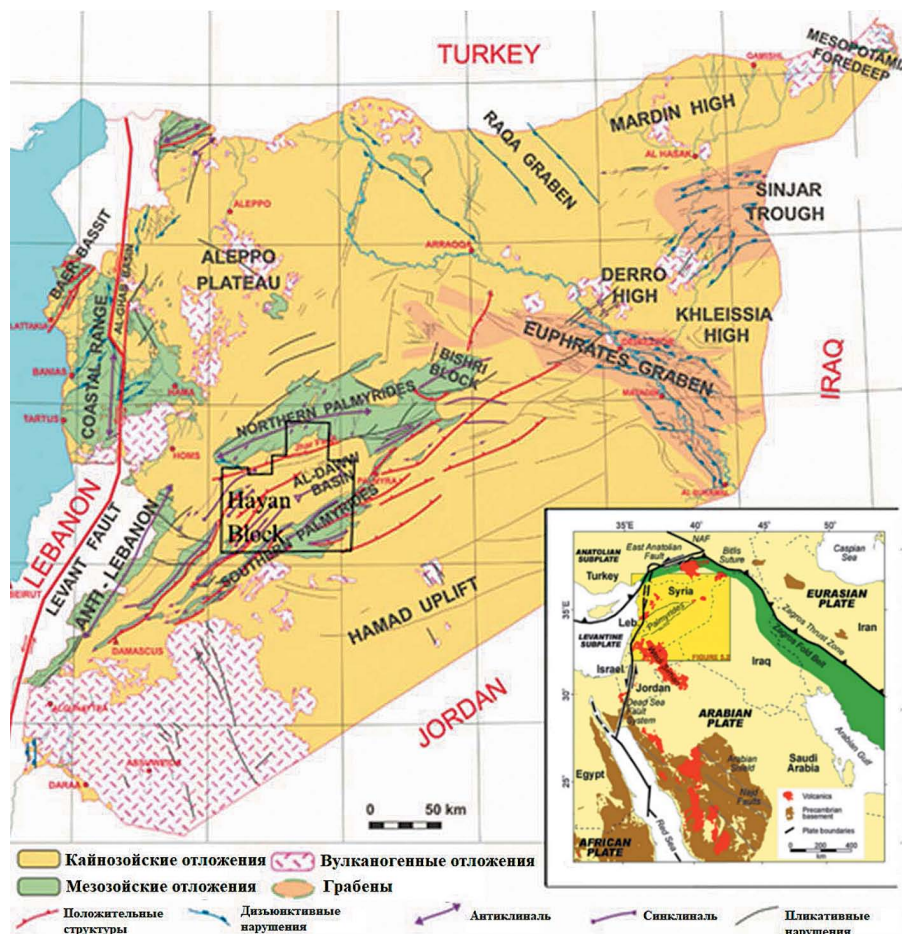


Рис. 1. Основные структурно-тектонические зоны территории Сирии. Основные системы разломов: грабен Евфрат, прогиб Синджар, Пальмириды и Левантийский трансформный разлом (справа — региональная тектоническая карта северной части Аравийской плиты и прилегающих регионов (приуроченность территории Сирии ко многим активным границам тектонических плит); слева — исследуемая территория, блок Хаян, Lebanon — Северо-Анатолийский разлом [5, 6])

Fig. 1. The main structural and tectonic zones of the territory of Syria. The main fault systems: the Euphrates graben, the Sinjar trough, the Palmyrides and the Levantine transform fault (on the right — a regional tectonic map of the northern part of the Arabian Plate and adjacent regions (the territory of Syria is confined to many active boundaries of tectonic plates); on the left — the study area, the Hayan block, Lebanon — North Anatolian Fault [5, 6])

выявленные по результатам сейсмических исследований в пределах Пальмиридского складчато-надвигового пояса и вокруг прилегающих к нему территорий, показывают, что в течение палеозоя, мезозоя и части кайнозоя данная территория была тектонически нестабильной [5—7, 9, 18].

В работе использованы промысловые скважинные данные для проведения исследований, которые получены по территории месторождения Джихар, расположенного в зоне большого разлома Джихар, представляющего собой сдвиговый тип нарушения, который разделяет зону Пальмиридского складчатого пояса на северную и южную с вклинившимся между ними бассейном Аль-Дау

[14]. Исследование проведено для пород формации «Куррачайн-Доломит»: карбонатные отложения среднего триаса с ритмичным чередованием доломита, известняка, эвапорита и сланца. Сирийское главное нефтяное управление [17] условно разделило породы данной формации на несколько продуктивных пластов-коллекторов: С2, D1, D2-1 и D2-2. Из них коллектор С2 представляет собой серию ритмично переслаивающихся доломита, известняка, аргиллита/сланца. Коллектор D1 равномерно разработан практически по всей площади и состоит из микрокристаллического известняка, классифицируемого как доломитовый известняк и сланец. Коллектор

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

D2-1 представлен известняками, доломитовыми известняками и доломитами с прослоями аргиллита. Солевой интервал (D2) разделяет коллекторы D2-1 и D2-2, которые обладают различными гидродинамическими свойствами. Коллектор D2-2 состоит из прослоев алевроитового сланца и вариаций отложений известняка и доломита. Нижнетриасовая (скифская) формация «Аманус-Сланец» представлена аргиллитовыми сланцами, глинистыми породами, песчаниками, алевролитами, известняками и доломитами. Песчаники и алевролиты характеризуются наличием прослоев сланца (глины) и доломита, они преобладают в пермской формации «Аманус-Песок». Каменноугольная формация «Маркада» — обломочная толща, состоящая в основном из сланца с прослоями глинистых пород, которая местами характеризуется наличием пропластков песчаника, известняка и доломита, толщина которых достигает нескольких метров [8,12,15].

Центральная часть Пальмирид представляет собой складчатые сооружения, которые изучены до глубины 3500—4000 м и согласно стратиграфической шкале представлены отложениями карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена и четвертичными образованиями (рис. 2).

Фактический материал для проведения исследований

Для проведения обработки результатов исследований использовались скважинные данные (результаты каротажа с шагом изменения по глубине 0,1 м).

В процессе бурения были получены параметры кавернометрии, удельного электрического сопротивления породы, потенциала самопроизвольной поляризации, плотности породы, акустического каротажа, гамма-каротажа, нейтронного каротажа и количественные параметры

фотоэлектрического эффекта. Некоторые из представленных данных удалось записать только на небольших участках (по глубине), поэтому объектами исследований являлись интервалы, охваченные максимальным комплексом ГИС: кавернометрии (CAL), акустического каротажа (AC), гамма-каротажа (GR), удельного электрического сопротивления породы (RD, RS), плотностного каротажа (RHOB), фотоэлектрического эффекта (PE). По площади месторождения Джихар наиболее полный комплекс ГИС получен только по трем скважинам: 1, 2, и 6 (табл. 1).

Обработка результатов ГИС выполнялась с целью устранения «статистических выбросов», которые в рассмотренных файлах встречаются двух типов: 1 — каротажная система в бурильной колонне не может определить значение какого-либо параметра, она записывает в файл специальное значение -999,25 или -9999, свидетельствующее об отсутствии данных в этой точке; 2 — в файл может быть записано значение, явно превышающее максимально возможное и сильно отличающееся от значений в близлежащих точках. Во втором случае имеет место «выброс». Для поиска выбросов определялось пороговое значение, превышение которого по модулю приводило к признанию данного значения параметра «выбросом». Оба случая в данной работе были обработаны по принципу — невалидные значения были заменены на 0 [3].

Так же необходимо отметить, что если в исходных файлах прописано разное количество точек замеров, то для вычисления коэффициентов корреляции необходимо исключить часть точек, чтобы оставшееся их количество в исследуемых файлах было одинаковым.

По обработанным данным в ПК «Матлаб» были построены графики изменения исследуемых параметров (рис. 3).

Таблица 1. Исходные скважинные данные для обработки
Table 1. Initial well data for processing

Информативные данные	скв. Джихар-1	скв. Джихар-2	скв. Джихар-6
Координаты	X: 343469.82 Y: 296607.4	X: 350740.89 Y: 295240.3	X: 348225.52 Y: 296056
GL, м	601,88	584,52	622,55
T.D., м	3200	4168	4400
KB, м	609,48	592,14	630,17
Шаг записи данных в файл, м	0,1	0,1	0,1
Данные каротажа скважин	CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE		
Компания, проводившая бурение скважин и ГИС	INA		

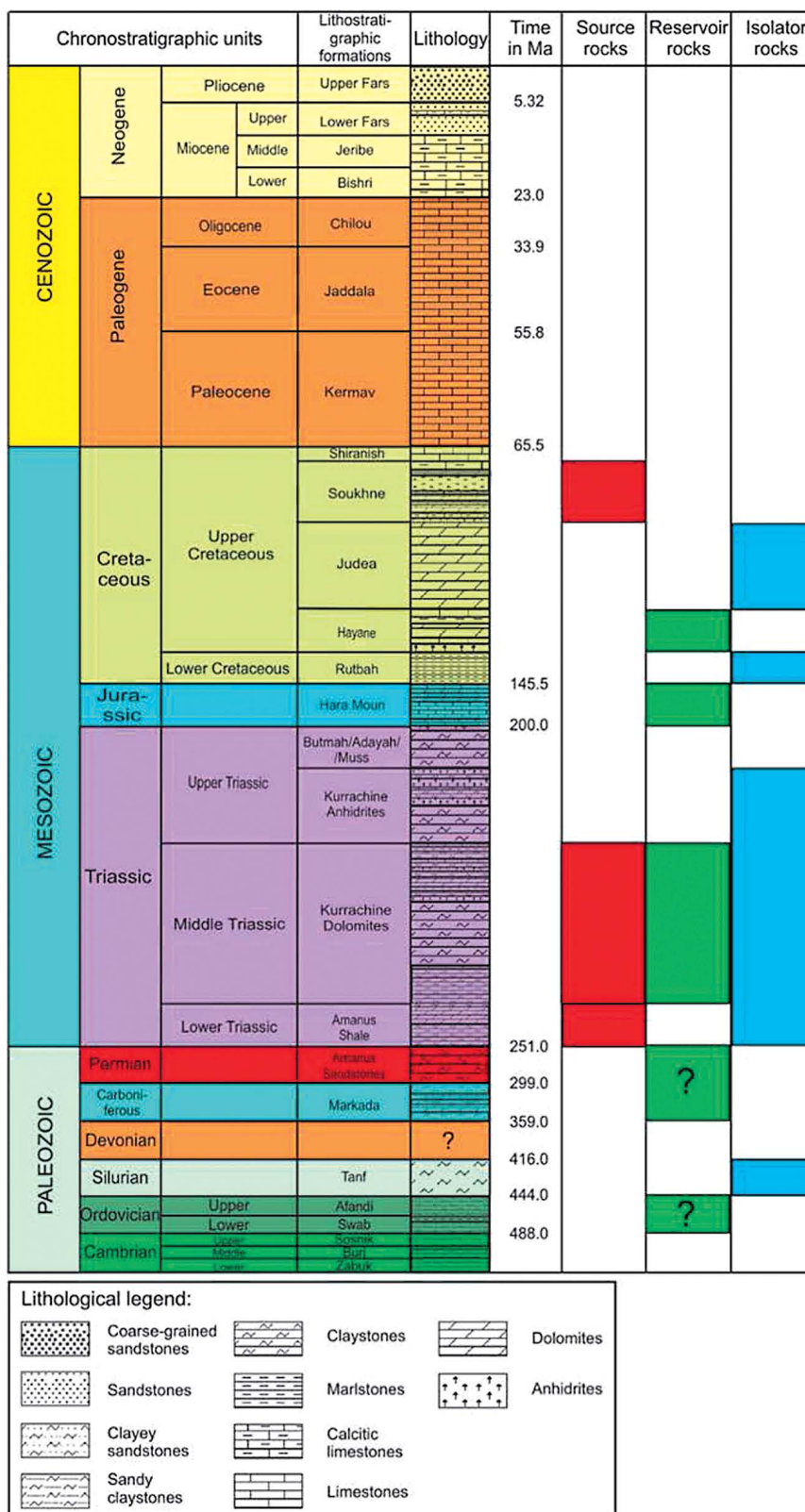


Рис. 2. Стратиграфическая колонка отложений Пальмиридского складчатого пояса (Сирия). Графический материал И.Футивича (2011) [8, 13]

Fig. 2. Stratigraphic column of sediments of the Palmyrid fold belt (Syria). Graphic material by I. Futivich (2011) [8, 13]

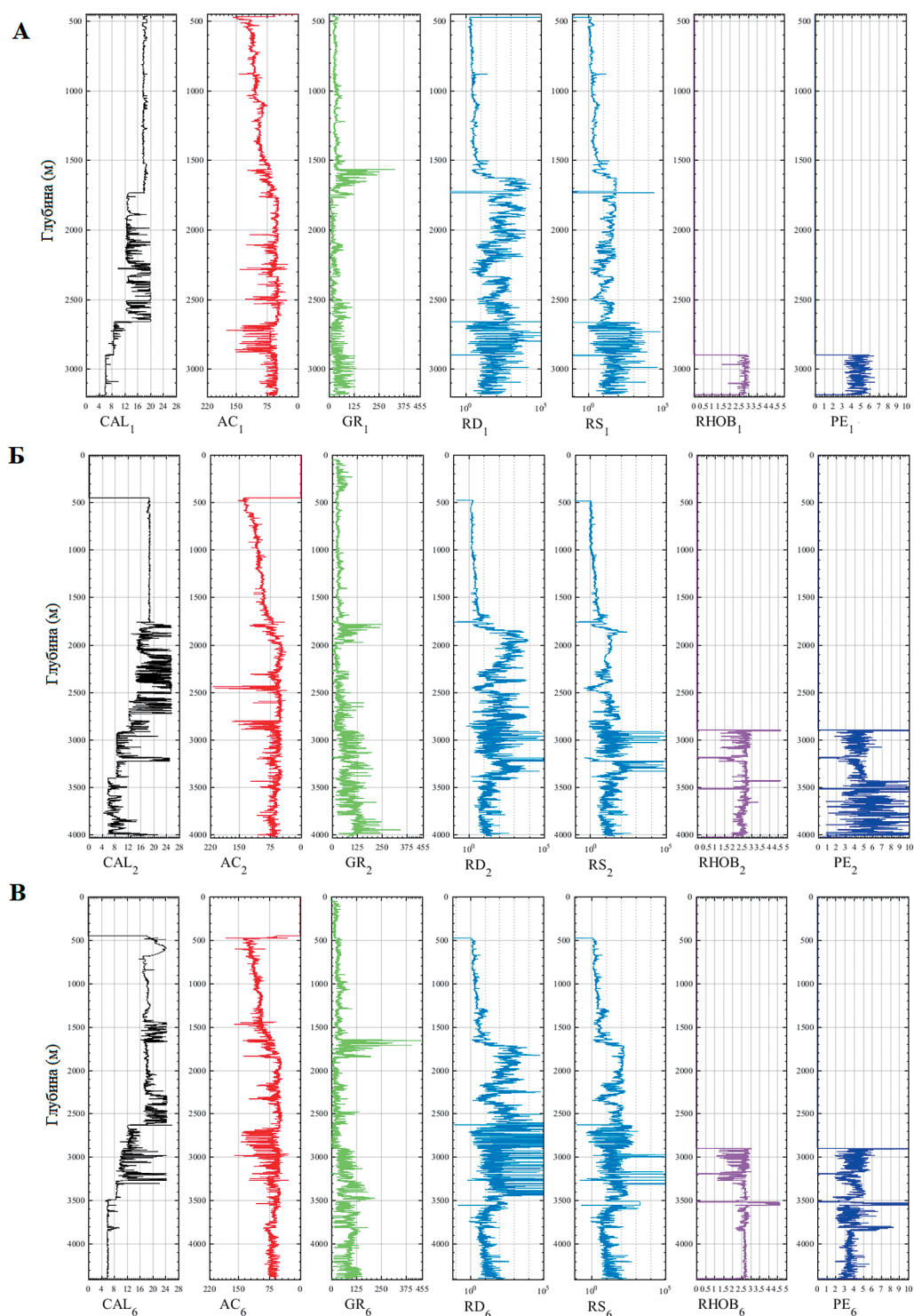


Рис. 3. Исходные графические данные ГИС для проведения обработки результатов по скважинам: А — скважина 1; Б — скважина 2; В — скважина 6
Fig. 3. Initial graphical GWD data for processing results for wells: A — well 1; Б — well 2; В — well 6

Анализ данных ГИС для построения корреляционных матриц

При изучении комплекса полученных каротажных параметров были поставлены задачи: 1) определить местонахождение коллектора (отметки кровли и подошвы); 2) провести литолого-петрографическое описание интервала зоны коллектора; 3) определить насыщенность коллектора (вода, нефть, газ).

При интерпретации данных и установлении морфологических границ коллектора за основу были приняты данные гамма-каротажа (низкие показания гамма-излучения). Высокие показатели гамма-излучения, скорее всего, указывали на наличие зон сланцеватых пород. Значения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) коллектора получены при расчете пористости — общая эффективная пористость устанавливалась комплексом плотностного, нейтронного и акустического каротажей.

Определение насыщенности коллектора (нефть, газ или вода) является достаточно сложной задачей, при решении которой нами использованы результаты испытаний скважин и параметры удельного электрического сопротивления (УЭС) пород. Основную сложность представляли интервалы, в которых установлена достаточно высокая соленость пластовых вод (более 200 г/л).

Анализ полученных каротажных диаграмм показал, что данные семи видов каротажей существенно отличаются друг от друга, за исключением измерений фотоэлектрического эффекта и плотностного каротажа. Фотоэлектрический каротаж в комплекс ГИС был введен компанией «Шлюмберже» в качестве каротажной кривой литоплотности, которая используется в стандартном комплексе ГИС. Установлено, что параметры RD и RS наиболее эффективно определяют границы нефтеносных интервалов. Высокие сопротивления, полученные при RD и RS, могут указывать на наличие зон, соответствующих коллекторам [13].

По результатам исследований каротажных кривых в пределах площади месторождения Джихар были рассчитаны коэффициенты корреляции между одинаковыми параметрами ГИС, взятыми из разных скважин (табл. 2).

В таблице 2 исключены избыточные значения коэффициентов корреляции по результатам интерпретации значений: 1 — коэффициенты корреляции по диагонали равны 1, поскольку каждая переменная идеально коррелирует сама с собой. Эти ячейки бесполезны для интерпретации (желтый цвет), остальные коэффициенты корреляции

указывают на корреляцию между различными парными комбинациями переменных; 2 — без построения корреляционной таблицы сложно оценить взаимосвязь между исследуемыми переменными, а обработанные данные с помощью определения коэффициента корреляции позволяют отобрать параметры (предикторы) для дальнейших детальных исследований. Такие параметры были использованы для подбора комплекса ГИС, наиболее эффективного для выделения отложений разных по генезису.

После выбора параметров с максимальным значением коэффициента корреляции был применен подход установления суммарного коэффициента корреляции между двумя соседними скважинами, который стал основой для принятия решения по наличию границы в изучаемом разрезе и определению глубины залегания границы (пласта, литологической формации). Для установления границ зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» были вычислены коэффициенты корреляции по соответствующим данным ГИС между двумя соседними скважинами (рис. 4).

Аналогичные результаты исследования корреляционных зависимостей для зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» были проведены между скважинами Джихар 2 и Джихар 6, Джихар 6 и Джихар 12. Далее по результатам статистической и геолого-промысловой обработки полученных данных были выделены границы формации «Куррачайн-Доломит» (рис. 5) в пределах месторождения Джихар, которые подтверждены данными бурения.

Исследование свойств пород окружающего пласта (например, пустотного пространства пород), может быть проведено посредством применения модуля, который дает возможности измерения, обработки и хранения информации и может включать в себя ядерное измерительное устройство или нейтронный инструмент позволяющий определить пористость окружающего пласта [16].

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что проведение комплексной обработки данных ГИС позволило обосновать границы формации «Куррачайн-Доломит» в пределах месторождения Джихар и представить результаты применения методов статистических исследований для прогноза и обнаружения аналогичных нефтегазоносных интервалов в пределах всего мегарезервуара Пальмиридского складчатого пояса.

Таблица 2. Корреляционная матрица каротажных параметров скважин 1, 2, 6 (месторождение Джихар)
Table 2. Correlation matrix of logging parameters of wells 1, 2, 6 (Jihar field)

	CAL ₁	AC ₁	GR ₁	RD1	RS1	RHOB ₁	PE ₁	CAL ₂	AC ₂	GR ₂	RD2	RS2	RHOB ₂	PE ₂	CAL ₆	AC ₆	GR ₆	RD6	RS6	RHOB ₆	PE ₆
CAL ₁	1,0000																				
AC ₁	0,4419	1,0000																			
GR ₁	-0,0241	0,1400	1,0000																		
RD1	-0,0817	-0,1101	-0,0597	1,0000																	
RS1	-0,1274	-0,0545	-0,0547	0,1076	1,0000																
RHOB ₁	-0,6800	-0,2595	0,2688	-0,0396	0,0381	1,0000															
PE ₁	-0,6731	-0,2624	0,2482	-0,0376	0,0435	0,9903	1,0000														
CAL ₂	0,6828	0,1488	-0,1789	-0,0478	-0,0869	-0,6732	-0,6648	1,0000													
AC ₂	0,5625	0,7446	0,0005	-0,1002	-0,0652	-0,2912	-0,2891	0,2843	1,0000												
GR ₂	-0,3952	-0,2827	0,1497	0,0269	0,0466	0,5344	0,5254	-0,3111	-0,1514	1,0000											
RD2	-0,1071	-0,1598	-0,0843	0,0268	0,0118	0,0070	0,0107	-0,0648	-0,1602	0,0646	1,0000										
RS2	-0,0444	-0,0225	0,0054	-0,0004	0,0020	0,0555	0,0581	-0,0154	-0,0236	0,0553	0,1419	1,0000									
RHOB ₂	-0,6714	-0,2549	0,2693	-0,0398	0,0352	0,9868	0,9821	-0,6665	-0,2897	0,5088	0,0054	0,0419	1,0000								
PE ₂	-0,6545	-0,2487	0,2627	-0,0393	0,0313	0,9636	0,9615	-0,6480	-0,2868	0,4722	0,0084	0,0424	0,9853	1,0000							
CAL ₆	0,7062	0,1776	-0,1146	-0,0595	-0,1125	-0,6085	-0,6004	0,5709	0,3268	-0,3420	-0,0392	-0,0357	-0,6002	-0,5854	1,0000						
AC ₆	0,4579	0,8091	0,0323	-0,0778	-0,0313	-0,2748	-0,2726	0,1693	0,7608	-0,2527	-0,1762	-0,0248	-0,2728	-0,2672	0,2600	1,0000					
GR ₆	-0,0635	-0,0364	0,3031	0,0266	-0,0080	0,3130	0,3082	-0,1598	0,0248	0,2424	-0,1041	0,0043	0,3064	0,2965	-0,0883	0,1246	1,0000				
RD6	-0,2306	-0,0742	-0,0116	0,0757	0,0854	0,0129	0,0143	-0,1450	-0,1423	0,0325	0,0196	0,0025	0,0103	0,0124	-0,2500	-0,1413	-0,1713	1,0000			
RS6	-0,0613	-0,0399	0,0015	0,0024	0,0042	0,0716	0,0753	-0,0509	-0,0401	0,0579	0,0024	-0,0002	0,0526	0,0455	-0,0587	-0,0470	-0,0014	0,0858	1,0000		
RHOB ₆	-0,6738	-0,2546	0,2696	-0,0399	0,0351	0,9895	0,9804	-0,6697	-0,2896	0,5233	0,0082	0,0582	0,9843	0,9653	-0,6199	-0,2862	0,2963	0,0201	0,0756	1,0000	
PE ₆	-0,6495	-0,2467	0,2588	-0,0395	0,0286	0,9557	0,9521	-0,6377	-0,2789	0,4923	0,0128	0,0572	0,9730	0,9702	-0,5891	-0,2782	0,2743	0,0249	0,0709	0,9680	1,0000

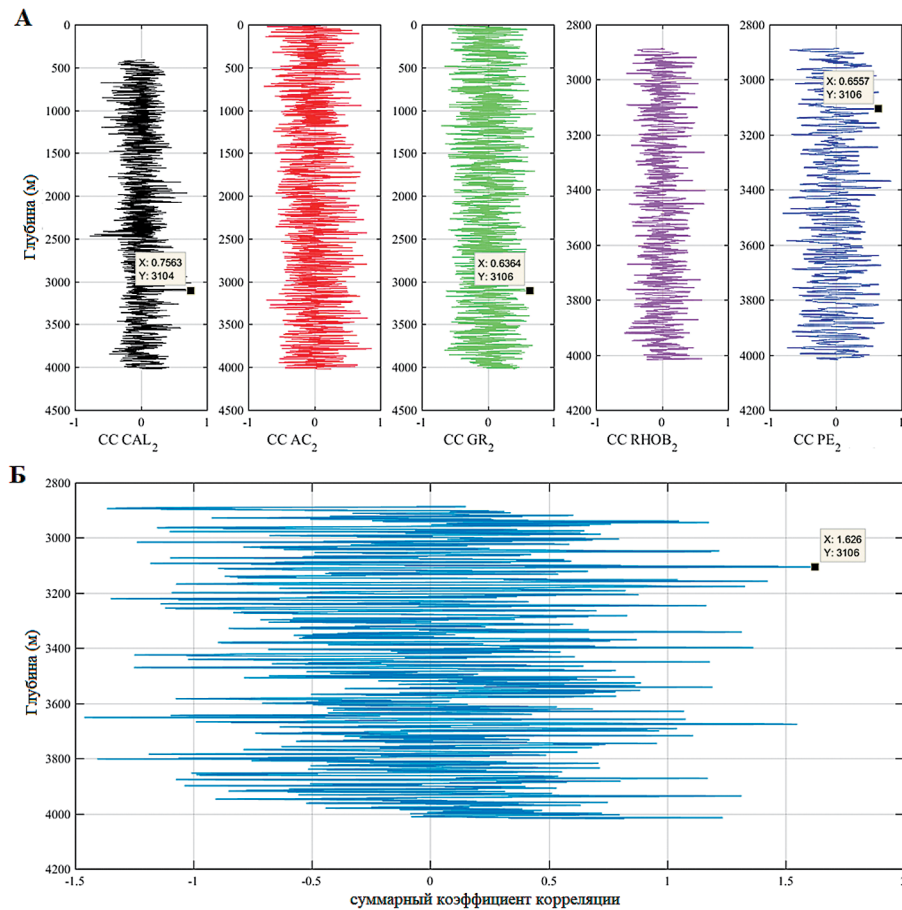


Рис. 4. Определение коэффициента корреляции: А — установление корреляционной связи по параметрам CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE между скважиной Джихар 1 (зона D1) и скважиной Джихар 2; Б — определение суммарного коэффициента корреляции между скважиной Джихар 1 (зона D1) и скважиной Джихар 2

Fig. 4. Determination of the correlation coefficient: A — establishment of a correlation relationship according to the parameters CAL, AC, GR, RD, RS, RHOB, PE between the Dzhikhar 1 well (zone D1) and the Dzhikhar 2 well; B — Determination of the total correlation coefficient between the Dzhikhar 1 well (zone D1) and the Dzhikhar 2 well

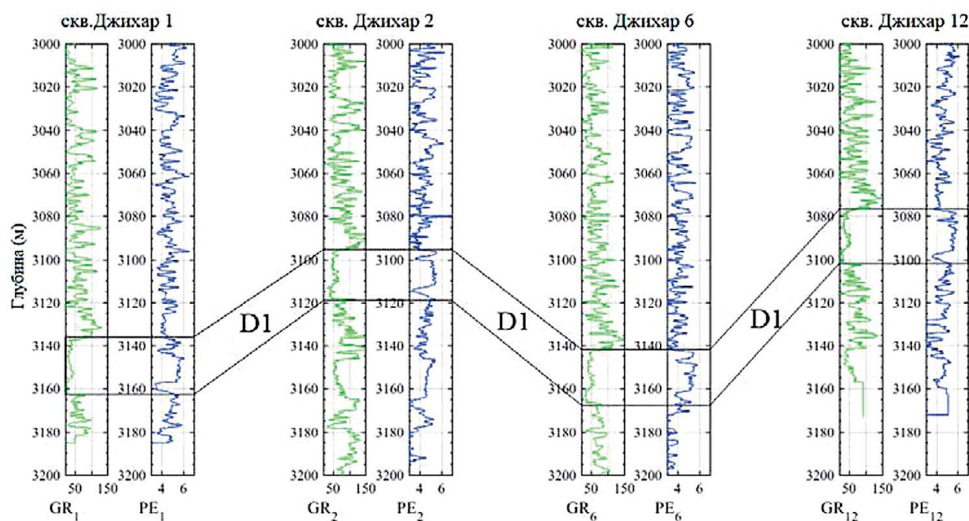


Рис. 5. Корреляция зоны D1 формации «Куррачайн-Доломит» по линии скважин Джихар 1—Джихар 12

Fig. 5. Correlation of zone D1 of the Kurrachain-Dolomite formation along the line of wells Jihar 1—Jihar 12

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

На основании анализа данных проведенных исследований сделаны следующие основные выводы:

- детализировано геологическое строение месторождения Джихар: обоснованы границы нефтегазоносной формации «Куррачайн-Доломит» и дан прогноз аналогичных нефтегазоносных интервалов в разрезе всего мегарезервуара Пальмирского складчатого комплекса;
- представленный подход к обработке данных, полученных комплексом ГИС (CAL, AC, GR, RD, RS, RHOV, PE), позволяет применять предложенный алгоритм (метод) для обнаружения нефтегазоносных отложений аналогичных по литологическому составу формации «Куррачайн-Доломит» в пределах всего нефтегазоносного мегарезервуара блока Хаян;
- предложенный метод обработки промыслово-геофизических материалов, заключающийся

в построении корреляционных матриц и статистической обработки геолого-промысловых данных, может быть использован при выборе оптимального комплекса ГИС для установления и анализа насыщенности коллектора формации «Куррачайн-Доломит» (мегарезервуар блока Хаян), а также для повышения эффективности разработки месторождения Джихар;

- корреляционные матрицы являются одним из способов количественной оценки связи между двумя переменными (коэффициент корреляции Пирсона);
- применяя алгоритмы математической статистики, можно установить корреляционную связь между более чем одной парой переменных и в дальнейшем обосновать эффективность комплекса ГИС для решения задач установления морфологических границ пласта-коллектора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девяткин Е.В., Додонов А.Е., Доброва М.Р., Копп М.Л., Кузнецова К.И., Леонов Ю.Г., Шарков Е.В. Очерки геологии Сирии. Труды ГИН РАН. Вып. 526. М.: Наука, 2000. 204 с.
2. Потемкин В.Г. Система инженерных и научных расчетов MATLAB 5.x. В 2 т. М.: Диалог — МИФИ, 1999. Т. 1. 366 с. Т. 2. 304 с.
3. Ширяев П.Р., Цветков Г.А. Исследование корреляции каротажных параметров, полученных при бурении скважин на соседних территориях с одинаковой геологической структурой, на примере скважин в округах Расселл и Эллис штата Канзас, США // Вестник Пермского университета. 2016. Вып. 4(33). С. 41—49.
4. Barrier E., Machhour L. Blaizot M. Petroleum systems of Syria / In L. Marlow, C. Kendall, L. Yose (eds.). Petroleum systems of the Tethyan region. AAPG Memoir 106, 2014. P. 335—378.
5. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf, T. Tectonic and geologic evolution of Syria // GeoArabia. 2001. No. 6/4. P. 573—616.
6. Brew G.E. Tectonic evolution of Syria interpreted from integrated geophysical and geological analysis // PhD Thesis, Cornell University. Ithaca, New York, 2001. 323 p.
7. Chaimov T.A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the south-western intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. // Geol. Soc. Am. Bull. 1992. No. 104. P. 704—715. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(192\)104](https://doi.org/10.1130/0016-7606(192)104).
8. Ivica Vulama. Source rock generative potential and volumetric characteristics of the Kurrachine Dolomite Formation, Hayan Block, central Syrian Palmyrides // Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2011. P. 259—272.
9. Križ J., Foršek G., Ivković Ž., Lučić, D. Hydrocarbon discoveries in Syria-Carboniferous, Permian and Triassic petroleum systems // In: Velić I., Vlahović I., Biondić, R. (eds.). Proceedings, Third Croatian Geological Congress, Opatija, Croatia, 2005. P. 79—80.
10. Litak R.K., Barazangi M., Brew, G., Sawaf T., Al-Youssef W. Structure and evolution of the petroliferous Euphrates graben system, southeast Syria // AAPG Bulletin. 1998. No. 82/6. P. 1173—1190.
11. Lučić D., Foršek G. Palmyride evolution: geologic, stratigraphic and structural overview (Central Syria) / In: Vlahović I., Biondić R. (eds.). Proceedings, Second Croatian Geological Congress, Cavtat, Croatia, 2000. P. 311—316.
12. Lučić D., Maretić S., Foršek G., Takač D., Mesić I. Mesozoic Carbonate Facies and Reservoirs in Central Palmyrides, Syria // Abstract, Cd, American Association of Petroleum Geologists Conference, Cairo, 2002. 311 p.
13. Malvić T., et al. INA Plc. exploration and production activities in Syria, successful achievement of hydrocarbon discoveries and developments // NAFTA. 2011. No. 62. P. 297—302.
14. Mouty M., Al-Maleh, K. The geological study of the Palmyridian chain using ideal geological sections for exploration purposes and geological survey // General Establishment of Geology and Mineral Resources, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus, Syria, 4, 1983. 950 p.
15. North American Commission On Stratigraphic Nomenclature — NACSN North American Stratigraphic Code // AAPG Bulletin. 2005. No. 89(11). P. 1547—1591.
16. Patent US 8664587 B2. Non-rotating logging-while-drilling neutron imaging tool, 2014.

17. Syrian Oil Company. Final reports on the wells of the Jihar field. unpublished study Damascus, Syria, 2002.
18. Tomljenović B., Veseli V., Takač D. Surface and subsurface structural styles in central Syria. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2008. 81 p.

REFERENCES

1. Devyatkin E.V., Dodonov A.E., Dobrova M.R., Kopp M.L., Kuznetsova K.I., Leonov Yu.G., Sharkov E.V. Essays on the geology of operations. / (Tr. GIN RAS; Issue 526), Moscow: Nauka, 2000. 204 p. (In Russian).
2. Potemkin V.G. System of engineering and scientific calculations MATLAB 5.x. In 2 volumes. Moscow: Dialogue — MEFHI, 1999. Vol. 1. 366 p. Vol. 2. 304 p. (In Russian).
3. Shiryaev P.R., Tsvetkov G.A. Study of the correlation of logging parameters obtained when drilling wells in neighboring territories with the same geological structure, using the example of wells in Russell and Ellis counties, Kansas, USA // Bulletin of Perm University. 2016. Issue 4(33). P. 41—49 (In Russian).
4. Barrier E., Machhour L., Blaizot M. Petroleum systems of Syria / In L. Marlow, C. Kendall, L. Yose (eds.). Petroleum systems of the Tethyan region. AAPG Memoir 106, 2014. P. 335—378.
5. Brew G., Barazangi M., Al-Maleh A.K., Sawaf, T. Tectonic and geologic evolution of Syria // GeoArabia. 2001. No. 6/4. P. 573—616.
6. Brew G.E. Tectonic evolution of Syria interpreted from integrated geophysical and geological analysis // PhD Thesis, Cornell University. Ithaca, New York, 2001. 323 p.
7. Chaimov T.A., Barazangi M., Al-Saad D., Sawaf T., Gebran A. Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the south-western intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria. // Geol. Soc. Am. Bull. 1992. No. 104. P. 704—715. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(192\)104](https://doi.org/10.1130/0016-7606(192)104).
8. Ivica Vulama. Source rock generative potential and volumetric characteristics of the Kurrachine Dolomite Formation, Hayan Block, central Syrian Palmyrides // Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2011. P. 259—272.
9. Križ J., Foršek G., Ivković Ž., Lučić, D. Hydrocarbon discoveries in Syria-Carboniferous, Permian and Triassic petroleum systems // In: Velić I., Vlahović I., Biondić, R. (eds.). Proceedings, Third Croatian Geological Congress, Opatija, Croatia, 2005. P. 79—80.
10. Litak R.K., Barazangi M., Brew, G., Sawaf T., Al-Youssef W. Structure and evolution of the petroliferous Euphrates graben system, southeast Syria // AAPG Bulletin. 1998. No. 82/6. P. 1173—1190.
11. Lučić D., Foršek G. Palmyride evolution: geologic, stratigraphic and structural overview (Central Syria) / In: Vlahović I., Biondić R. (eds.). Proceedings, Second Croatian Geological Congress, Cavtat, Croatia, 2000. P. 311—316.
12. Lučić D., Maretić S., Foršek G., Takač D., Mesić I. Mesozoic Carbonate Facies and Reservoirs in Central Palmyrides, Syria // Abstract, Cd, American Association of Petroleum Geologists Conference, Cairo, 2002. 311 p.
13. Malvić T., et al. INA Plc. exploration and production activities in Syria, successful achievement of hydrocarbon discoveries and developments // NAFTA. 2011. No. 62. P. 297—302.
14. Mouty M., Al-Maleh, K. The geological study of the Palmyridian chain using ideal geological sections for exploration purposes and geological survey // General Establishment of Geology and Mineral Resources, Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus, Syria, 4, 1983. 950 p.
15. North American Commission On Stratigraphic Nomenclature — NACSN North American Stratigraphic Code // AAPG Bulletin. 2005. No. 89(11). P. 1547—1591.
16. Patent US 8664587 B2. Non-rotating logging-while-drilling neutron imaging tool, 2014.
17. Syrian Oil Company. Final reports on the wells of the Jihar field. unpublished study Damascus, Syria, 2002.
18. Tomljenović B., Veseli V., Takač D. Surface and subsurface structural styles in central Syria. Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Croatia, 2008. 81 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Шустер В.Л. — разработал концепцию статьи, провел структуризацию материала, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Shuster V.L. — development of the concept of the article, structuring of the material, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

Тюкавкина О.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, провела моделирование и статистическую обработку параметров ГИС (работа в ПК Petrel, Statistica-Base), утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Картал И. — собрал фактический материал, провел моделирование (работа в ПК Petrel, Techlog), утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tyukavkina O.V. — development of the concept of the article, preparation of the text of the article, modeling and statistical processing of GWD parameters (work in Petrel, Statistica-Base), approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Kartal I. — collecting factual material, conducting modeling (working in PC Petrel, Techlog), approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Шустер Владимир Львович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН.

3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

e-mail: tshuster@mail.ru

SPIN-код: 6887-7740

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6809-0135>

Vladimir L. Shuster — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Chief Researcher Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences.

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia

e-mail: tshuster@mail.ru

SPIN-code: 6887-7740

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6809-0135>

Тюкавкина Ольга Валерьевна* — доктор технических наук, профессор кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: tov.sing@mail.ru

тел.: +7-932-416-39-83

SPIN-код: 7884-6870

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1607-531X>

Olga V. Tyukavkina — Dr. of Sci. (Tech.), 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: tov.sing@mail.ru

tel.: +7-932-416-39-83

SPIN-code: 7884-6870

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1607-531X>

Картал Ибрагим — обучающийся программы магистратуры ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: ibrahimkartal940@gmail.com

Kartal Ibrahim — master's program student Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: ibrahimkartal940@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



О ТРАНСФОРМАЦИИ ПОДХОДОВ К АУДИТУ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЛЯ ПРИРАЩЕНИЯ ЦЕННОСТЕЙ РОССИИ В СЛОЖИВШЕЙСЯ ПОЛИТИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ

Д.А. ПАВЛОВСКИЙ*, Ю.В. ЗВОРЫКИНА

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Минерально-сырьевая база является стратегической составляющей экономической безопасности России и критически важным инструментом укрепления позиций страны на международной арене. В то же время экономические потрясения и геополитическая напряженность негативным образом отражаются на качестве оценки результатов аудита в нефтегазовой и добывающих отраслях РФ, влияющих на инвестиционную привлекательность геолого-разведочных проектов, которые очень важны для непрерывного воспроизводства минерально-сырьевой базы страны.

Цель. Рассмотрение возможностей аудита месторождений полезных ископаемых для приращения национальных богатств России.

Задачи: 1) анализ структуры и состояния методов проведения аудита в добывающих отраслях в РФ; 2) изучение перспектив и возможностей применения международного опыта в аудировании добывающих отраслей в России; 3) применение новых инструментов и подходов для оптимизации проведения аудита в отечественной практике.

Материалы и методы исследования. Для проведения исследования авторами использовались работы отечественных и зарубежных ученых, а также отчеты и публикации Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федерального агентства по недропользованию, аналитические материалы и руководства по аудиту CAAF, INTOSAI, AFROSAI-E McKinsey. Для достижения поставленной цели был использован комплекс общенаучных и специальных методов познания, в частности: методы прогнозирования для оценки состояния и перспектив финансирования геологоразведки в РФ; методы сравнительного анализа и синтеза, индукции и дедукции для изучения международного опыта проведения аудита в добывающей отрасли.

Результаты. В процессе исследования сформулированы предложения, касающиеся расширения возможностей привлечения дополнительных финансовых ресурсов на различных стадиях геологического исследования недр благодаря созданию целевых фондов прямых инвестиций. Также уделено внимание таким методам, как стриминг и приобретение фиксированного процента прибыли от добычи в обмен на авансовый платеж, которые могут быть применены на более поздних этапах геолого-разведочных работ.

Заключение. Для привлечения инвестиционных ресурсов для геологического изучения недр на различных стадиях в отечественной практике целесообразным является применение новых инструментов и подходов, а также использование передового опыта из мировой практики. Это в совокупности позволит привлечь альтернативные бюджетным ресурсам источники, диверсифицировать методы финансового обеспечения, а также повысить уровень инвестиционной привлекательности геологической отрасли.

Ключевые слова: аудит месторождений полезных ископаемых, недра, новая экономическая модель, геолого-разведочные работы, фонд, прибыль, обоснование, бюджет, дисконт

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проведено при финансовой поддержке Минобрнауки России (грант № FSZS-2023-0004).

Для цитирования: Павловский Д.А., Зворыкина Ю.В. О трансформации подходов к аудиту месторождений полезных ископаемых для приращения ценностей России в сложившейся политической ситуации. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):79—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-79-90>

Статья поступила в редакцию 02.10.2023

Принята к публикации 18.12.2023

Опубликована 29.12.2023

* Автор, ответственный за переписку

TRANSFORMATION OF APPROACHES TO MINERAL RESOURCE AUDITING FOR AUGMENTATION OF RUSSIA'S WEALTH IN THE CURRENT POLITICAL SITUATION

DANEK A. PAVLOVSKIY*, JULIA V. ZVORYKINA

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

ABSTRACT

Background. The mineral resource base is a strategic component of Russia's economic security and a critical tool for strengthening the country's position in the international arena. At the same time, economic turmoil and geopolitical tensions negatively affect the quality of resource auditing in the oil and gas and other extractive industries of the Russian Federation. This has an effect on the investment attractiveness of exploration projects, which are highly important for the continuous reproduction of the country's mineral resource base.

Aim and objectives. In order to consider the potential of mineral resource auditing for augmentation of Russia's wealth, the following objectives were undertaken: 1) to analyze the structure and state of audit methods in Russian extractive industries; 2) to study the prospects and possibilities of applying international experience in auditing Russian extractive industries; 3) to apply new tools and approaches to optimize auditing activities in the domestic practice.

Materials and methods. Both domestic and foreign research publications were reviewed, along with the reports of the Ministry of Natural Resources and the Environment of the Russian Federation and the Federal Subsoil Resources Management Agency, analytical materials and audit guides by CAAF, INTOSAI, and AFROSAI-E McKinsey. A set of general scientific and special methods were used: forecasting methods to assess the state and prospects of financing geological exploration in the Russian Federation; methods of comparative analysis and synthesis, induction and deduction to study the international experience of auditing in the extractive industry.

Results. It is proposed to attract financial resources at various stages of geological exploration through the creation of special-purpose direct investment funds. Attention is also paid to such methods as streaming and acquisition of fixed profit margins from production activities in exchange for an advance payment, which can be applied at later stages of geological exploration.

Conclusion. In order to attract investments for geological exploration of subsoil resources, Russian companies should apply new tools and approaches, as well as international best practices. In combination, this will facilitate the process of attracting funds alternative to budgetary resources, thereby diversifying the methods of financial support, and will increase the investment attractiveness of the Russian geological industry.

Keywords: audit of mineral resources, subsoil, new economic model, exploration, subsoil, fund, profit, justification, budget, discount

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

Financial disclosure: the research was conducted with financial support from the Russian Ministry of Education and Science (grant № FSZS-2023-0004).

For citation: Pavlovskiy D.A., Zvorykina Y.V. Transformation of approaches to mineral resource auditing for augmentation of Russia's wealth in the current political situation. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):79—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-79-90>

Manuscript received 02 October 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

* Corresponding author

Период 2022—2023 гг. ознаменовался существенными изменениями в системе управления отраслями экономики России, в то же время методология оценки запасов полезных ископаемых и экономические модели управления ими остаются практически неизменными. Нельзя не отметить, что зарубежные идеологи и экономисты начали формировать новую методологию управления движением инвестиционного капитала, одной из задач включающую ценностный потенциал российских природных богатств, при этом непосредственного участия России в управлении не предполагается. Речь идет о создании мировой бухгалтерской книги, предполагающей объединение всех разрозненных элементов криптовалютных систем в новый тип инфраструктуры финансового рынка — **«единую бухгалтерскую книгу»** [5].

С позиций формирования новой экономической модели стоящая перед Россией задача приращения национальных богатств непосредственно связана не только с природными богатствами, но и с развитием денежной системы. Исторически появление денег в виде записей в бухгалтерских книгах, за которыми следят доверенные посредники, открыло двери для создания новых финансовых инструментов, которые преодолели как географические расстояния, так и длительные задержки между доставкой товаров и проведением платежей. Внедрение электронных технологий привело к дематериализации и оцифровке взаимодействия между денежной системой и экономикой, что провоцирует глубочайшие изменения в обществе в целом.

Анализ волатильности рынков энергоресурсов и курсов мировых валют позволяет предположить, что в настоящее время мировая финансовая система стоит на пороге очередного крупного скачка. После дематериализации и оцифровки ключевым процессом становится **токенизация** [1] — процесс представления требований в цифровом виде на *программируемой* платформе [8].

Попытки официального создания единой бухгалтерской книги подтверждают наши гипотезы о том, что в системе управления глобальной финансовой архитектурой предпринимается попытка обеспечить новые зарубежные финансовые модели стимулирования экономического роста российскими природными ресурсами.

Подходы зарубежных авторов к новым экономическим моделям основываются на том, что Россия входит в группу мировых стран — лидеров по сумме разведанных и оцененных минеральных ресурсов стратегического характера, в том числе Россия обладает 37% мирового запаса алмазов, 15% золота, 7% никеля. По оценкам международных экспертов, доля России в общемировых запасах полезных ископаемых составляет 11,7%, что составляет около 29 трлн долларов США [10].

В то же время российская экономическая наука предложений по согласованным и оформленным платформенным решениям в сфере недропользования пока не выработала. Стоит отметить, что ряд инструментариев для поэтапного включения сектора природопользования в российские национальные платформенные решения на основе единой цифровой платформы Гостех уже создан. Начато проектировано домена «Экология и природопользование», формируется сервис кадастра техногенных месторождений «Экокарьер».

Как известно, в российской практике в настоящее время применяются две методики оценки запасов полезных ископаемых — государственная экспертиза и инвестиционная экспертиза (аудит запасов). Согласно первой, российской, сложившейся в период Советского Союза, оцениваются ресурсы на основе возможности их технического извлечения из недр. По второй методике, результаты которой признаются финансовыми организациями в мире, ресурсы оцениваются не только по техническим возможностям, но и по экономической рентабельности их добычи. Оценку по этой методике на территории России проводили в основном западноориентированные зарубежные компании,

и полученные на их основе результаты использовались для принятия инвестиционных решений.

С учетом международной обстановки меняется роль России в современном мире, происходит переосмысление этой роли, прошедшие три десятилетия были периодом подстраивания нашей страны под различные стандарты и рейтинги Запада, которые приводили лишь к имиджевым и финансовым потерям. Сегодня «догоняющая» модель себя исчерпала, в ней изначально был заложен внешний тормоз для развития [3].

До западных санкций против топливно-энергетического комплекса (ТЭК) нашей страны различие в двух параллельных системах оценки не вызывало методологических проблем. Государство аккумулировало данные о реальных объемах запасов полезных ископаемых в наших недрах, а коммерческим компаниям требовалась экономическая оценка перспективности разработки того или иного месторождения, учитывая конъюнктуру рынка, для вкладывания денег в добычу, а при необходимости в доразведку.

В настоящее время аудит запасов по западному образцу для целей финансовых организаций, инвесторов, рейтинговых агентств не имеет смысла, поскольку доступ к западным инвестициям закрыт, более того, даже если предположить скорейшее смягчение санкций, с геополитической точки зрения не следует ставить добывающую промышленность в зависимость от инвестиций недружественных стран. Назрела острая необходимость формирования собственной методической базы аудита запасов, которая могла бы получить статус международной при ее согласовании на дружественных России площадках.

Определенные шаги в создании национальной системы аудита уже сделаны. Так, для преодоления проблем, возникающих в процессе проведения контрольно-надзорных мероприятий, Министерством природных ресурсов Российской Федерации (МПР) неоднократно предпринимались попытки организовать аудит недропользования. Приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 2 апреля 1998 г. № 95 «О создании системы аудита недропользования» были утверждены «Основные положения аудита недропользования». Создание системы было направлено на усиление контроля за исполнением лицензионных условий на недропользование в части недопущения незаконной переуступки лицензий, безлицензионного (самовольного) пользования недрами, своевременного и правильного внесения платежей за право пользования недрами,

а также для повышения эффективности изучения, воспроизводства, использования и охраны недр, а также окружающей среды, создания дополнительных условий для привлечения инвестиций в освоение минерально-сырьевой базы [2].

Необходимость создания и внедрения системы аудита недропользования диктуется спецификой горного производства, связанного с опасностью для экологии, а также жизнедеятельности, как на уровне ландшафтов, так и в подземных условиях. Аудит недропользования направлен на выработку решений, которые обеспечивали бы экономическую эффективность функционирования объектов недропользования, безопасность жизнедеятельности населения в районах ведения горных работ при соблюдении норм и правил недропользования с целью охраны окружающей среды. Следовательно, аудит недропользования является инструментом контроля и оказания содействия в наиболее эффективном использовании потенциальных возможностей недропользования.

До сих пор отечественная система подсчета запасов полезных ископаемых ориентирована на инвентаризацию и документирование максимального количества запасов, независимо от сложности и возможности их извлечения, в то время как международная система исходит из нужд рынка и построена на принципах обеспечения инвестиционной прозрачности и стандартизации отчетности горных компаний о минеральных активах перед инвесторами для определения последними экономической целесообразности эксплуатации месторождений [9].

Отличия систем выразились в дифференцированных подходах к классификации запасов полезных ископаемых. Поэтому отечественным компаниям, выходящим на международные рынки, требуется перевод количественной оценки запасов, выполненный по отечественным правилам, в количественную оценку запасов, включающую экономическую целесообразность, выполненную по международным стандартам, и проверку правильности данного перевода признанными на международных биржах инжиниринговыми аудиторскими фирмами, работающими в сфере геолого-экономического аудита.

Таким образом, под геолого-экономическим аудитом, или аудитом запасов, понимается проверка достоверности данных технических и иных отчетов компаний о величине ресурсов и запасов полезных ископаемых. Он заключается в проверке достоверности (due diligence) количественной оценки ресурсов и запасов полезных ископаемых.

Данная проверка является обязательной процедурой перед совершением любых крупных сделок горными компаниями, листингом, определением капитализации и в других случаях.

Российские компании, заказывающие геолого-экономический аудит по международным стандартам, ожидают, что после его проведения их капитализация серьезно возрастет в связи с появившейся стоимостной оценкой располагающейся в недрах части имущества, признаваемой международными финансовыми институтами. После проведения геолого-экономического аудита данные о ресурсах и резервах используются компаниями для отчетности перед акционерами, планирования деятельности и осуществления операций с ценными бумагами и операциями на биржах.

Веками западные страны внедряли рычаги управления финансовыми рынками. Для того чтобы получить инвестиции, недропользователь должен подтвердить свои запасы — предоставить банку аудиторское заключение. На этом ключевом узле прочно обосновались американские компании: Gaffney, Cline & Associates, Sproule, Miller and Lents, Ltd., DeGolyer and MacNaughton, Ryder Scott, Netherland, Sewell & Associates Inc. (NSAI), Lloyd's Register (LR), Evolution Resources, Cawley, Gillespie & Associates Inc. (CG&A) и другие.

Сегодня многие американские компании *de jure* ушли с российского рынка, на самом же деле — зарегистрировав новые аудиторские компании с другими российскими названиями. Однако эти компании *de facto* все так же продолжается поддержка:

- зарубежных интересов и поддержка зависимости российских компаний и России в целом;
- отчетности о проделанной работе и отправка ценных, а порой и секретных данных в виде отчетов своим головным иностранным компаниям;
- необходимости работы по иностранным стандартам, которые в то же время находятся на том же международном уровне признания, что и российские стандарты;
- членства и значимости иностранных некоммерческих экспертных организаций, все так же отрицающая существование российских [5].

В этом контексте представляется важным изучить иностранный опыт в определении основных этапов и шагов в проведении аудиторских проверок в различных сферах недропользования с учетом экологической повестки. Для анализа выбран опыт Фонда по адаптации к изменению климата (CAAF), созданный Канадой в партнерстве с Программой развития Организации Объединенных

Наций (UNDP), Международной организации высших органов аудита (INTOSAI). В статье представлен краткий обзор ключевых шагов аудита, которые аудиторы должны выполнить при проведении аудита добывающего сектора.

Обзор ключевых этапов аудита

Аудит недропользования — процедура проверки деятельности недропользователей на соответствие нормативным актам в сфере недропользования и охраны окружающей среды и выработка рекомендаций по повышению эффективности использования ресурсов недр. К основным задачам аудита недропользования относят определение направлений повышения рационального и комплексного использования природных ресурсов, охраны недр и окружающей среды, контроль за выполнением условий соглашений (договоров) о разделе продукции в части поисков, разведки и добычи минерального сырья, раздела произведенной продукции, а также ее транспортировки, обработки, хранения, контроль за исполнением лицензионных условий на недропользование, в части недопущения незаконной переуступки лицензий, безлицензионного (самовольного) пользования недрами, снижение отрицательного воздействия недропользования на окружающую природную среду, на здоровье населения и персонала предприятий-недропользователей, а также подготовка рекомендаций по совершенствованию финансово-хозяйственной деятельности субъектов недропользования.

Выбор аудита

Выбор тем аудита рассматривается как часть общего процесса аудит-результативности, и зачастую выбор темы аудита осуществляется в рамках процесса стратегического планирования. Стратегическое планирование обычно осуществляется старшими руководителями и основывается на знаниях аудиторского бюро о бизнесе, а также на анализе существенности, значимости, рисков и известных проблем. Другие важные соображения включают мандат аудиторского бюро, наличие квалифицированных аудиторов и ресурсов, а также возможность проверки потенциальных тем аудита. В результате процесса выбора аудита обычно составляется список запланированных аудитов, которые необходимо провести с течением времени.

Существует множество веских причин, по которым аудиторские организации включают аудит нефтегазового сектора в свои долгосрочные

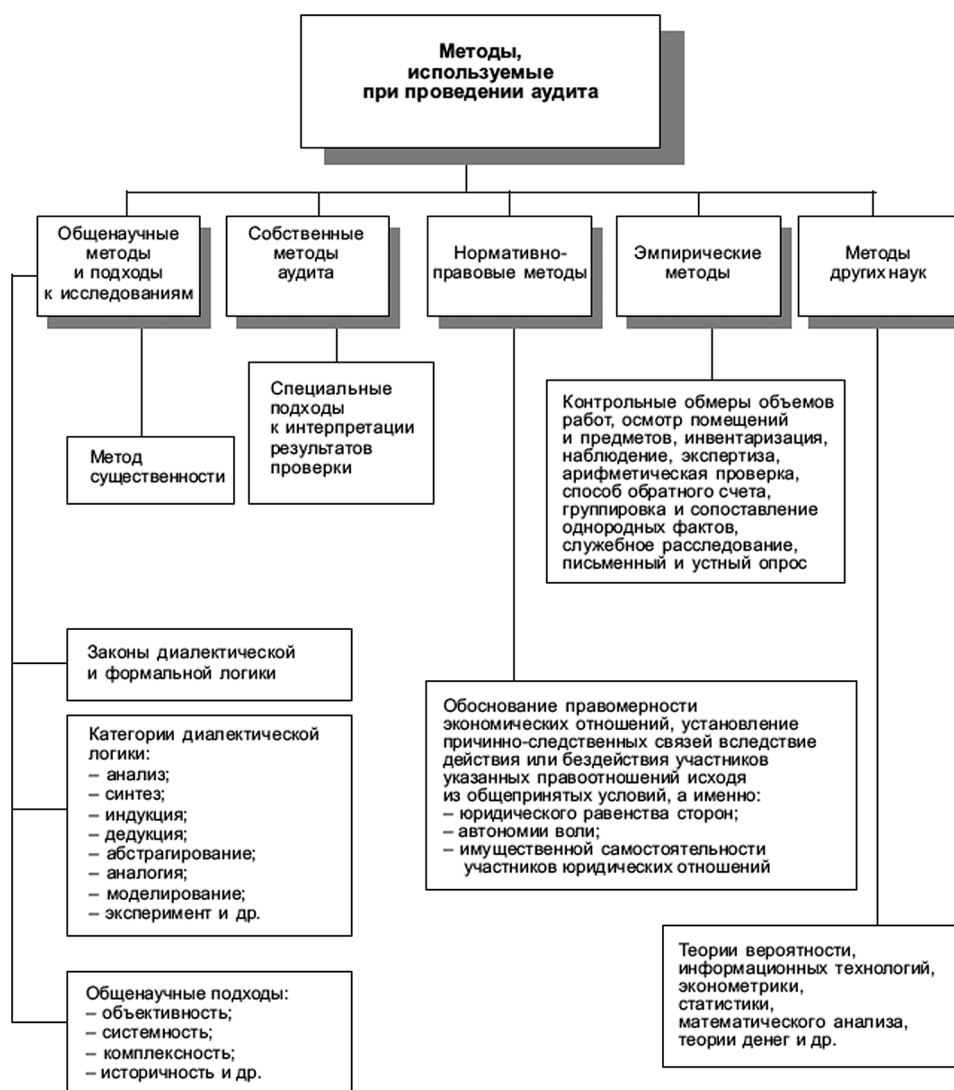


Рис. 1. Структура методов, используемых при проведении аудита в РФ
Fig. 1. Structure of methods used when conducting audits in the Russian Federation

планы: от опасений по поводу воздействия на окружающую среду до значительной экономической роли, которую этот сектор играет во многих юрисдикциях.

Определение фокуса аудита

После выбора темы аудита начинается этап планирования. Этот этап включает в себя приобретение знаний о бизнесе, оценку рисков и проведение анализа, чтобы определить фокус аудита и подготовить почву для подготовки подробного плана аудита, который будет включать цель аудита, критерии, методы сбора доказательств и аналитические методы.

Первым шагом в процессе планирования аудита является определение того, что именно следует

проверять в нефтегазовом секторе. Чтобы реализовать эти цели, аудиторам необходимо будет выполнить две первоначальные исследовательские и аналитические задачи путем расширения знания о бизнесе с помощью сбора и анализа соответствующей информации о нефтегазовом секторе и об обязанностях правительства в регулировании, мониторинге и надзоре за этим сектором, а также путем выявления и оценки факторов риска, которые могут помешать правительству эффективно выполнять свои обязанности в этом секторе и достигать своих целей.

Детальное планирование аудита

Детальное планирование включает в себя принятие решения о том, какие программы и средства

контроля подлежат аудиту. Это реализуется с помощью приобретения дополнительных знаний о бизнесе путем сбора и анализа соответствующей информации о различных типах доходов или финансовых гарантиях, которые правительство собирает и которыми управляет, а также о системах и методах, которые оно использует для этого. Оцениваются факторы риска, которые могут помешать правительству получить доходы, или все финансовые гарантии, необходимые для обеспечения надлежащего восстановления выведенных из эксплуатации объектов добычи нефти и газа.

Обладая необходимой информацией, аудиторские группы смогут определить, какие программы доходов или финансового обеспечения и средства контроля подлежат аудиту. После принятия этих решений аудиторы смогут составить проект целей аудита, выбрать критерии аудита, а также подготовить планы с подробными процедурами аудита.

Получение знаний о бизнесе и оценка рисков

Аудиторские процедуры обычно требуют от аудиторов приобретения знаний о проверяемой организации и объекте аудита, а также подготовки плана аудита с учетом рисков, что проиллюстрировано таблицей 1 [6]. На практике это означает, что после принятия решения о проверке полноты доходов от добычи нефти и газа

(и связанных с этим вопросов) аудиторской группе необходимо приступить к проведению исследований и опросу должностных лиц с целью получения (или дальнейшего развития) получения информации о бизнесе и понимания рисков, с которыми сталкиваются проверяемые организации. Собранная информация затем используется для определения основных областей риска и того, куда следует направить усилия по аудиту. План проверки полноты нефтегазовых доходов, разрабатывается аудиторами с учетом трех основных вопросов:

- Каковы источники доходов?
- Какие доходы проверять?
- Какие элементы управления следует проверить?

Составление целей аудита

Цели аудита должны быть реалистичными и достижимыми и давать проверяемым организациям достаточную информацию о целях аудита. Аудит может иметь одну или несколько целей в зависимости от его широты. Практика бюро, проводящего аудит, также будет влиять на количество целей и на то, будут ли использоваться подцели. Подцели могут быть включены в планы аудита, но от аудиторов, решивших это сделать, все равно ожидается, что они сделают вывод об основной цели аудита.

Таблица. Матрица идентификации рисков (AFROSAI, 2019)

Table. Risk identification matrix (AFROSAI, 2019)

Сектор:					Дата последнего обновления:		
Подготовлено:					Рассмотрено:		
Цепочка создания стоимости / Управление рисками	Процедура и законодательная база	Деятельность правительства / решение о разведке/извлечении	Заключение контрактов и лицензий	Мониторинг операций	Оценка и сбор доходов	Управление доходами и их распределение	Реализация устойчивой политики
Государственная деятельность							
Государственное учреждение(-ия)							
Другие заинтересованные стороны							
Факторы риска / индикаторы							
Риски							
Средства контроля рисков							

Объекты аудита недропользования

- предприятия по добыче полезных ископаемых на стадии разведки, опытной и промышленной эксплуатации, консервации, включая систему транспортировки сырья и продукции и управления горно-геологическими отходами;
- предприятия, использующие шахты, тоннели, бункеры, резервуары и иные подземные сооружения для переработки, транспортировки, хранения сырья и продукции;
- специальные транспортные подземные сооружения (метрополитены и пр.);
- системы подземных коммуникаций, используемые для транспортировки и передачи воды, различных энергоносителей, электроэнергии;
- подземные полигоны отходов, в том числе радиоактивных, на стадии оборудования, эксплуатации и консервации, включая систему транспортировки отходов и их производных [4].

Экологические аспекты аудита в добывающей отрасли

Экологический аудит как вид экономической деятельности относится к аудиторской деятельности и рассматривается как одно из направлений специального аудита. Специальный аудит представляет собой проверку не всей финансовой отчетности для выражения мнения о степени ее достоверности, а какого-либо отдельного вопроса, какой-то узкой темы в целях выдачи экспертного заключения пользователям по конкретному заданию. Целью экологического аудита является проверка экологических аспектов деятельности аудируемого лица, соблюдения определенных процедур и правил, а также эффективности порядка и методов функционирования хозяйственной системы. Соответственно, под экологическим аудитом понимается вид экономической деятельности — независимая проверка экологических аспектов деятельности аудируемого лица в целях выражения мнения о достоверности отражения в финансовой отчетности экологических вопросов, соблюдения определенных процедур и правил, а также эффективности порядка и методов функционирования хозяйственной системы в области экологии.

Так, согласно нормам, INTOSAI [7] процесс проведения аудита с учетом экологических проблем предлагается в несколько шагов, в том числе туда входит определение деятельности по добыче полезных ископаемых и существование в связи с этим экологических угроз, связанных с этой деятельностью, определение реакции правительств

на экологические угрозы, выбор тем и целей аудита, а также определение объема аудита.

При определении деятельности по добыче полезных ископаемых и существовании в связи с этим экологических угроз аудиторы должны как следует рассмотреть возможность привлечения эксперта по окружающей среде и определить, какие экологические проблемы возникают и каковы краткосрочные и долгосрочные последствия для окружающей среды, экономики и общества. При осуществлении добывающей деятельности основными затронутыми секторами являются земельный сектор и населенные пункты, поскольку горнодобывающая промышленность вытесняет людей, подрывает их средства к существованию и вызывает значительные изменения в динамике населения. Другие экологические проблемы затрагивают водный сектор — вода загрязняется и становится дефицитной. Еще одним сектором, на который сильно влияет горнодобывающая деятельность, является сектор здравоохранения: люди, живущие в горнодобывающих комплексах и вблизи них, страдают от загрязняющих веществ.

С другой стороны, сектор планирования и развития также не остался нетронутым. Объекты инфраструктуры, такие как дороги, больницы и школы, улучшаются горнодобывающими компаниями. Возможности трудоустройства расширяются, но существует также экономическое неравенство, рост стоимости жизни и разочарование среди людей в районе добычи полезных ископаемых и вблизи него.

В определении реакции правительства в вопросах смягчения или предотвращения экологических угроз аудитор должен знать, отразило ли правительство экологические, социальные и экономические проблемы, связанные с горнодобывающей промышленностью, посредством национальных обязательств, политики, программ, мониторинга и обеспечения соблюдения своих правил. Экологический подход государственных предприятий может отражать неэффективные режимы работы, избыточные мощности, поломки и остановки, а также неэффективные процедуры управления, которые часто способствуют усилению загрязнения. В этом случае экологическое регулирование представляет собой один из элементов государственной политики управления окружающей средой в горнодобывающем секторе.

При выборе темы и приоритета аудита важно определить направленность аудиторской проверки. В частности, проверяется общее воздействие на окружающую среду, потенциальные

загрязнители воды, возможные загрязнители воздуха и другие воздействия загрязнения. При оценке угроз окружающей среде, вызванных горнодобывающей деятельностью, аудитор должен учитывать масштаб фактического и потенциально-го воздействия на окружающую среду, общество и экономику. При установлении ущерба окружающей среде оценивается, насколько обратим этот ущерб, является ли он необратимым. Кроме того, аудитор должен учитывать, насколько интенсивен ущерб, поскольку устранение и предотвращение острых угроз является приоритетом.

В последнем шаге определяются объем аудита. На этом этапе аудитору необходимо выбрать подход к аудиту, цели, критерии, направления исследования и методологию аудита. Используя традиционные методы финансового аудита, аудиторы могут расследовать использование государственных средств в проектах и программах, направленных на сохранение окружающей среды, в отношении полезных ископаемых и горнодобывающей промышленности. В частности, проверяется правильное распределение средств, расходуемых на охрану окружающей среды в связи с программами добычи полезных ископаемых и горнодобывающей промышленности, соответствии выделенных финансовых ресурсов на защиту окружающей среды, кем контролируется выплата средств, а также по каким критериям оценивается расходование средств.

Роль аудиторской проверки в снижении риска мошенничества и коррупции в добывающих отраслях

Мошенничество и коррупция в нефтегазовом секторе могут сильно различаться по масштабам, и в них могут участвовать должностные лица с разным уровнем полномочий. Некоторые мошенничества незначительны и совершаются государственными служащими под влиянием взяток или других льгот, в то время как другие имеют массовый характер, например, когда высокопоставленные чиновники в богатых ресурсами странах перенаправляют незаконные средства на свои личные банковские счета в налоговых убежищах. Мошенничества могут иметь место в юрисдикциях, где контроль минимален, но они также могут иметь место в юрисдикциях с хорошо развитой нормативно-правовой средой. Всегда существует риск мошенничества и коррупции, и этот риск выше, когда существует сильная зависимость от данных, предоставляемых самой отраслью, и есть много возможностей для суждений и осмот-

рительности при применении существующих регуляторных процессов.

В этой связи аудиторы по оценке эффективности могут сыграть роль в борьбе с мошенничеством и коррупцией в секторе природных ресурсов. Хотя полномочия аудиторских учреждений в отношении мошенничества и коррупции часто могут быть ограничены, аудиторы оценки эффективности могут выявлять случаи мошенничества и сообщать о них соответствующим органам.

Кроме того, аудиторы эффективности могут планировать свои аудиты предприятий государственного сектора, включающие проверку существующих механизмов контроля для предотвращения и выявления мошенничества и коррупции.

Для этого необходимо раскрыть общепринятые определения мошенничества и коррупции.

Под мошенничеством понимаются умышленные действия одного или нескольких лиц из числа руководства, лиц, отвечающих за управление, сотрудников или третьих лиц, связанных с использованием обмана для получения несправедливого или незаконного преимущества. Относительно коррупции: к ней будет относиться злоупотребление государственной властью, авторитетом, доверием и ресурсами для частной или политической выгоды.

Когда дело доходит до мошенничества и коррупции, управление природными ресурсами, включая нефть и газ, является сектором высокого риска. В основном это связано с тремя факторами:

- очень большие доходы, которые правительства могут получать от природных ресурсов, могут обеспечить значительное финансовое вознаграждение для отдельных лиц и компаний, совершающих мошенничество;
- во многих странах общественности доступна ограниченная информация о доходах от природных ресурсов. Это ограничивает возможности надзора и снижает вероятность обнаружения мошенничества;
- правительства часто имеют исключительный контроль над этим сектором и создают сложную нормативно-правовую среду, которая позволяет использовать значительные профессиональные суждения при оценке соблюдения требований. Поскольку чиновники часто имеют большую свободу действий в применении правил, существует много возможностей для злоупотреблений.

Действительно, существует много возможностей для мошенничества и коррупции в управлении природными ресурсами. Например, распределение прав на разведку и разработку

открывает такие возможности, как подкуп чиновников с целью фальсификации торгов или распределения прав без соблюдения надлежащей правовой процедуры. Аналогичным образом этап производства, во время которого генерируется большой объем доходов, может привести к различным злоупотреблениям, включая незаконную добычу (осуществление деятельности без лицензии), занижение отчетности о производстве, уклонение от уплаты налогов, откаты по счетам и подкуп чиновников, чтобы те закрывали глаза на случаи несоблюдения требований, и это лишь некоторые из них.

Потенциал российской геолого-экономической системы

Российская Федерация, обладая собственным международно признанным механизмом верификации запасов (в виде Кодекса НАЭН, СУУР/PRMS и российских аудиторских компаний), в рамках собственного интереса и интереса компаний должна способствовать его развитию на своей территории. Термин «суверенный аудит» точно отражает суть вопроса: вопрос, касающийся обеспечения суверенного развития отраслей, вне контроля и давления со стороны иностранных государств, и шире — вопрос обеспечения сырьевого суверенитета государства.

Смысл внедрения, поддержки и развития собственной российской системы суверенного аудита запасов заключается в том, чтобы освободить этот важный механизм аудита недропользования от доминирования и диктатуры других стран, для обеспечения нашей страны объективной и прозрачной оценкой, понятной каждому и предоставляющей доступ к международным рынкам капитала.

Для эффективности системы в ней в первую очередь должны учитываться интересы покупателя. Стратегический покупатель российских ресурсов находится за рубежом. Созданная российская система геолого-экономического аудита обеспечивает объективное международное признание запасов российских недропользователей, одновременно привлекая инвесторов со всего мира прозрачностью и обоснованностью принимаемой оценки. Поэтому создание именно международно признанной системы было единственным правильным путем решения задачи, которую удалось успешно осуществить.

Вполне ожидаемо, что Россия будет первой страной, предпринявшей определенные шаги к суверенитету в сфере аудита. Сделает она это не только потому, что существование в рамках прежней парадигмы более не является возможным, но и потому, что именно у РФ есть крупнейшие запасы, компетенции в их изучении и учете, огромное экспертное и научное сообщество, а также колоссальный опыт, существенно опережающий опыт многих стран. Поддержка, развитие и дальнейшее внедрение российской системы геолого-экономического аудита будет стратегическим достижением в борьбе за суверенитет нашей страны в отношении запасов на российской территории. Опыт России заинтересует самые разные страны, в первую очередь страны ЕАЭС и ШОС, а после и все международное сообщество.

Заключение

Текущая ситуация нестабильности и неопределенности, которая наблюдается в геοэкономике России, не является поводом отказываться от применения международной методологии проведения оценочного аудита, тем более что нефтегазовые доходы формируют значительную часть бюджета страны. Для оптимизации проведения аудита в отечественной практике целесообразным является применение новых инструментов и подходов с учетом передовой мировой практики.

С целью выстраивания устойчивой системы геолого-экономического аудита запасов в России в рамках импортозамещения при выборе аудитора в первую очередь необходимо отдавать предпочтение российским аудиторским компаниям, работающим по российскому национальному суверенному международно признанному Кодексу «НАЭН» для твердых полезных ископаемых и СУУР (PRMS) для углеводородного сырья.

С целью развития российской суверенной системы геолого-экономического аудита необходимо поддерживать и развивать российские профильные некоммерческие организации в лице АООН «НАЭН» и НТО НГ им. Губкина, занимающихся как развитием и популяризацией российских стандартов (Кодекс НАЭН и СУУР), так и развитием российского научно-экспертного сообщества, исчисляемого тысячами экспертов по всей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альдасоро Я., Доэрт С., Гамбакорта Л., Гарратт Р., Ку Уилкенс П. Токенизации. Бюллетень BIS. Апрель 2023 № 72, С. 2—3, <https://www.bis.org/publ/bisbull72.pdf>
2. Аспекты аудита для добывающих отраслей. Руководство для аудиторов. Pretoria, South Africa: AFROSAI-E, 2019. 18 с.
3. Аудит в добывающей отрасли. Руководство для аудиторов. Vienna, Austria: INTOSAI, 2010. С. 35—43. <https://www.intosaicbc.org/download/increase-use-and-impact-of-audit-reports-eng/>
4. Аудит в нефтегазовой отрасли. Практическое руководство по аудиту доходов от нефти и газа и финансовым гарантиям восстановления объектов. Ottawa, Canada: CCAF-FCVI, 2016. С. 23—69. <https://www.caaf-fcar.ca/images/pdfs/practice-guides/Practice-Guide-to-Auditing-Oil-and-Gas-Revenues-and-Financial-Assurances-for-Site-Remediation.pdf>
5. Банк международных расчетов (БМР). Будущая денежная система. Годовой экономический отчет за 2022 год, июнь, глава III, стр. 90–93, <https://www.bis.org/publ/arpdf/ar2022e.pdf>, ISSN 2616-9436, ISBN 978-92-9259-571-5.
6. Дудиков М.В. Аудит недропользования как инструмент реализации экологических требований. Юрист. 2012. № 5. С. 8—12.
7. Задера С., Тихонов С. В России откажутся от зарубежного аудита полезных ископаемых // Российская газета, Федеральный выпуск № 29 (8974) 2023, <https://rg.ru/2023/02/08/uglubilis-v-nedra.html>
8. Карстенс А. «Инновации и будущее денежной системы», Программная речь в Валютном управлении Сингапура, 22 февраля 2023. <https://www.bis.org/speeches/sp230222.htm>
9. Третьяков А.В. Геолого-экономический аудит в России: особенности и перспективы развития. 2022 <https://andreytreyakov.ru/publications/Geological-economic-audit-in-Russia/>
10. Экономическое значение природных ресурсов. Ключевые моменты для реформаторов в Восточной Европе, Кавказе и Центральной Азии. Paris: OECD, 2011. 47 с.

REFERENCES

1. Aldasoro Y., Doerr S., Gambacorta L., Garratt R., Ku Wilkens P. Tokenization. BIS Bulletin. April 2023 No. 72, pp. 2-3, <https://www.bis.org/publ/bisbull72.pdf>.
2. Audit aspects for the extractive industries. Guide for auditors. Pretoria, South Africa: AFROSAI-E, 2019. 18 p. (In Russian).
3. Audit in the mining industry. Guide for auditors. Vienna, Austria: INTOSAI, 2010. P. 35—43 (In Russian). <https://www.intosaicbc.org/download/increase-use-and-impact-of-audit-reports-eng/>
4. Audit in the oil and gas industry. A Practical Guide to Oil and Gas Revenue Audits and Financial Assurance for Remediation: Ottawa, Canada: CCAF-FCVI, 2016. P. 23—69 (In Russian). <https://www.caaf-fcar.ca/images/pdfs/practice-guides/Practice-Guide-to-Auditing-Oil-and-Gas-Revenues-and-Financial-Assurances-for-Site-Remediation.pdf>
5. Bank for International Settlements (BIS). The Future Monetary System. Annual Economic Report 2022, June, Chapter III (In Russian).
6. Dudikov M.V. Subsoil use audit as a tool for implementing environmental requirements. 2012. No. 5. P. 8—12 (In Russian).
7. Zadera S., Tikhonov S. Russia will refuse foreign audits of mineral resources // Rossiyskaya Gazeta newspaper. 2023 (In Russian). <https://rg.ru/2023/02/08/uglubilis-v-nedra.html>
8. Carstens A. Innovation and the future of the monetary system, keynote speech at the Monetary Authority of Singapore, 22 February 2023 (In Russian). <https://www.bis.org/speeches/sp230222.htm>.
9. Tretyakov A.V. Geological and economic audit in Russia: features and development prospects. 2022 (In Russian). <https://andreytreyakov.ru/publications/Geological-economic-audit-in-Russia/>
10. Economic importance of natural resources. Key points for reformers in Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia. Paris: OECD, 2011. 47 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Зворыкина Ю.В. — подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Danek A. Pavlovskiy — developed the concept and prepared text of the article, approved the final published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Julia V. Zvorykina — 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

Павловский Данэк Анатольевич* — аспирант кафедры производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: dnk1990@ya.ru

тел.: +7 (926) 206-06-05

Danek A. Pavlovskiy* — Postgraduate student of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: dnk1990@ya.ru

tel.: +7 (926) 206-06-05

Зворыкина Юлия Викторовна — доктор экономических наук, проректор по развитию и инновациям, профессор кафедры производственного и финансового менеджмента ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: zvorykina@mgri.ru

тел.: +7 (495) 255-15-10 (доб. 20-03)

SPIN-код: 4530-9922

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9282-7114>

Julia V. Zvorykina — Dr. of Sci. (Econ.), Vice-Rector for Development and Innovation, Professor of the Department of Production and Financial Management of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: zvorykina@mgri.ru

tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 20-03)

SPIN-code: 4530-9922

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9282-7114>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-91-105>
УДК 338.45:622.323



СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА (К 130-ЛЕТИЮ ГРОЗНЕНСКОЙ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ)

Н.А. КАСЬЯНОВА

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В работе представлен анализ становления и развития нефтяной промышленности (НП) Кубанской и Терской (Грозненской) областей Северного Кавказа за период XIX—XXI вв.; наибольшее внимание уделено Грозненской нефтяной промышленности в связи с ее 130-летием в этом году. Предложена периодизация становления и развития нефтяной промышленности Северного Кавказа, выполненная с учетом государственного строя и роли государственного управления нефтяной промышленностью на разных этапах истории развития страны (царская Россия, СССР, Российская Федерация) как основополагающего фактора, который определяет курс и темпы развития любой промышленности в стране. В становлении и развитии НП Северного Кавказа выделено 3 этапа: 1-й этап — царская Россия, рассматриваемый период XIX — начало XX в.; 2-й этап — СССР; 3-й этап — Российская Федерация. В хронологическом порядке освещены наиболее значимые исторические события и события в истории развития техники и технологий кубанской и грозненской нефтяной промышленности. Показана роль государственного управления в развитии нефтяной промышленности в тяжелые для страны годы (революционные и военные годы, экономический кризис, разруха). Показан неоценимый вклад грозненских талантливых инженеров и техников, ученых, тружеников нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности в развитие отечественной и мировой нефтяной отрасли.

Цель. Периодизация истории становления и развития нефтяной промышленности Северного Кавказа с учетом анализа истории государственного управления нефтяной промышленностью.

Материалы и методы. Методом комплексного анализа исследован большой объем материалов по истории страны, по истории развития нефтяной промышленности Северного Кавказа.

Результаты. Предложена периодизация становления и развития нефтяной промышленности Северного Кавказа с учетом государственного строя и роли государственного управления в развитии нефтяной промышленности на разных исторических этапах страны.

Заключение. В становлении и развитии нефтяной промышленности Северного Кавказа главную роль играли два фактора: технико-технологический прогресс и государственное управление, из них второй фактор является основополагающим в развитии нефтяной отрасли в Советском Союзе и Российской Федерации.

Ключевые слова: нефтяная промышленность, Северный Кавказ, периодизация, технико-технологический прогресс, государственное управление

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Касьянова Н.А. Становление и развитие нефтяной промышленности Северного Кавказа (к 130-летию грозненской нефтяной промышленности). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):91—105. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-91-105>

Статья поступила в редакцию 01.11.2023

Принята к публикации 18.12.2023

Опубликована 29.12.2023

FORMATION AND DEVELOPMENT OF NORTH CAUCASUS OIL INDUSTRY (TO THE 130th ANNIVERSARY OF GROZNY OIL INDUSTRY)

NATALIA A. KASYANOVA

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

ABSTRACT

Background. The author presents an analysis of the emergence and development of the oil industry in the Kuban and Terek (Grozny) regions in the North Caucasus during 19th—21st centuries, paying particular attention to the Grozny oil industry on the occasion of its 130th anniversary. The process of developing the North Caucasus oil industry is divided into periods depending on the governmental and administration system at different stages of Russian history (Royal Russia, USSR, Russian Federation). As a result, there main stages are defined: 1st stage (Royal Russia for the period of the 19th — early 20th centuries); 2nd stage (USSR); and 3rd stage (Russian Federation). The most important historical events in the course of evolution of the Kuban and Grozny oil industry are given in chronological order. The role of public administration in different historical periods, including revolutionary and war years, economic crisis, and wartime devastation, is shown. The invaluable contribution of Grozny engineers, scientists, and workers of the oil production, oil refining and petrochemical industries to the development of the domestic and world oil industry is demonstrated.

Aim. To analyze the history of formation and development of the North Caucasus oil industry taking into account the role of public administration.

Materials and methods. A large amount of information on Russian history and the history the North Caucasus oil industry was analyzed.

Results. The process of developing the North Caucasus oil industry is divided into periods depending on the governmental and administration system at different stages of Russian history.

Conclusion. To identify the main factors influencing the development of the North Caucasus oil industry, i.e., technological progress and public administration. The latter played a fundamental role in the development of the oil industry in the Soviet Union and the Russian Federation.

Keywords: oil industry, North Caucasus, periodization, technological progress, public administration

Conflict of interests: the authors declare no conflict interests.

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

For citation: Kasyanova N.A. Formation and development of North Caucasus oil industry (to the 130th anniversary of Grozny oil industry). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):91—105. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-91-105>

Manuscript received 01 November 2023

Accepted 18 December 2023

Published 29 December 2023

Введение

Становление и развитие нефтяной промышленности (НП) на Северном Кавказе тесно связано с основанием форпостов по линии Кавказских укреплений на юге России (Владикавказская крепость, 1784 г.; крепость Грозная, 1818 г.; Майкопская крепость, 1857 г.), а также с образованием войскового града Екатеринодар, основанного

в 1793 г. в результате дарения Екатериной II кубанских земель Черноморскому казачьему войску (рис. 1). После утраты военно-стратегического назначения крепости приобретали статус городов, соответственно: г. Майкоп (1857 г.), г. Владикавказ (1860 г.), г. Грозный (1869 г.), а Екатеринодар был переименован большевиками в г. Краснодар в 1920 г.



Рис. 1. Военные укрепления на юге России в XVIII—XIX вв.: а — Владикавказская крепость (1784 г.). Современная фотография; б — сторожевой пост. Казачий войсковой град Екатеринодар (1793 г.). Художник неизвестен; в — крепость Грозная (1818 г.). Художник неизвестен; г — Майкопская крепость (1857 г.). Современная фотография

Fig. 1. Military fortifications in the south of Russia in the XVIII—XIX centuries: а — Vladikavkaz Fortress (1784). Modern photography; б — cossack military city Ekaterinodar (1793). Unknown artist; в — the Fortress of Grozny (1818). Unknown artist; г — Maikop Fortress (1857). Modern photography

Используемые в статье архивные и другие данные по становлению и развитию Грозненской НП заимствованы из трудов [1, 4—9, 15, 16, 18, 22], Кубанской (Майкопской) — из трудов [2—4, 7, 11, 12, 16, 19, 21, 23].

Как правило, в юбилейных монографиях, диссертационных работах и других трудах история становления и развития НП Северного Кавказа, рассмотрена традиционно в историко-технико-технологическом аспекте [5, 7, 9, 18], без излишней их политизации. Ограничиваясь только этими критериями, исследователи расходятся во мнениях относительно количества выделяемых этапов (8—12) и периодов (4—10) развития нефтяной промышленности Северного Кавказа [7, 9, 18], что носит явно субъективный характер и во многом зависит от продолжительности рассматриваемого периода и детальности исходной информации.

Однако нельзя не считаться с тем фактом, что нефть во все времена являлась выгодной статьей дохода, и, как следствие, история нефтяной промышленности всегда связана с политикой и властью. Во все времена власти, осознавая, что нефть является стратегическим сырьем, всячески стремились повысить свое влияние на развитие НП, принимая активное участие в нефтяном бизнесе.

В данной статье предложена периодизация становления и развития НП Северного Кавказа, выполненная с учетом государственного строя, как основополагающего фактора, который определяет курс и темп развития любой промышленности в стране. Так, в истории становления и в развития НП Северного Кавказа выделено 3 этапа, отличающиеся государственным строем (табл.): 1-й этап — царская Россия, рассматриваемый период XIX — начало XX в.,

Таблица. Этапы и периоды становления и развития нефтяной промышленности (НП) на Северном Кавказе в XIX—XXI вв.
Table. Stages and periods of formation and development of the oil industry (NP) in the North Caucasus in the XIX—XX centuries

Этапы	Периоды	Характеристика
1	2	3
I этап (царская Россия) Государственный строй, основанный на рыночной экономике, слабо контролируемой государством	1.1. Становление и начало развития НП (от основания военных укреплений по Кавказской линии на юге России до 1864 г.)	Рост потребности в нефти, связанный с основанием форпостов по Кавказской линии укреплений на юге России (крепости Владикавказ, 1784 г., Грозная, 1818 г., Майкопская, 1857 г.) и основанием казачьего войскового града Екатеринодар, 1793 г. Использование примитивной техники добычи нефти (колодезный способ добычи). Введение в 1811 г. откупной системы эксплуатации нефтеносных земель, в 1819 г. все нефтяные источники, ранее взятые на откуп казачьими полками, перешли в собственность Кавказского войска. Становление нефтеперерабатывающей промышленности (изобретение братьями Дубининными способа перегонки нефти (1822) и осуществление его на построенном ими небольшом заводе около Моздока (1823). Открытие группы нефтяных источников в Кубанской и Терской (Грозненской) областях
	1.2. Активное развитие, монополизация НП (1864—1917 гг.)	Бурение первых нефтяных скважин в Кубанской области (1864 г.) и Терской области (1893 г.). Отмена откупной системы (1872), сдерживавшей развитие НП, увеличены сроки аренды. Арендаторы стали больше вкладывать средств в добычу и переработку нефти. Прогресс в технике добычи (бурение скважин вытеснило колодезный способ добычи) и транспортировки нефти — строительство железнодорожного и трубопроводного транспорта. Получение промышленной нефти в Кубанской области (у Анапы, 1866; Майкопа, 1909), в Грозненской области (1893), вызвавших нефтяной ажиотаж. Поступление крупных инвестиций в Кубанские и Грозненские промыслы, в т.ч. иностранные. Монополизация нефтяной промышленности. К началу Первой мировой войны на Кавказе образовалось 3 монополии трестового типа: «Ройял Датч Шелл» (британско-нидерландская), «Братьев Нобель» (шведская) и «Российская Генеральная нефтяная корпорация «Ойл» (созданная нефтяным магнатом Степаном Лианозовым), которые контролировали в России (на Кавказе) 86% всех акционерных капиталов, 60% всей добычи в стране, 12 из 15 кавказских нефтепроводов. 1917 г. — социалистическая революция, смена власти осложнилась Гражданской войной
II этап (СССР) Государственный строй, основанный на плановой экономике	2.1. Довоенный период (1920—1941 гг.)	В 1920 г. — национализация нефтяной промышленности, которую провели сразу после окончания Гражданской войны (1917—1920 гг.), и создание Центрального нефтеуправления. В 1920—1928 гг. власти приступили к созданию условий для подготовки квалифицированных кадров нефтяников и научно-технической базы для развития всех звеньев нефтяной отрасли. В конце 1920-х гг. создана система государственного планирования (по пятилеткам). Довоенные три пятилетки характеризуются: - форсированием технической реконструкции всей инфраструктуры нефтяной отрасли; - созданием условий для активного развития нефтяной промышленности Северного Кавказа (созданием учебного заведения для подготовки кадров нефтяников и профильных проектных и научно-исследовательских институтов). <i>Достигнутые успехи:</i> открытие новых нефтяных месторождений и нефтяного района (Избербаш); строительство новых заводов, магистральных нефтепроводов; ноу-хау во всех звеньях нефтяной отрасли (поиски, разведка, добыча, переработка нефти; бурение скважин; строительство НПЗ, нефтетрубопроводов)

Продолжение таблицы

Этапы	Периоды	Характеристика
1	2	3
	2.2. Военный период Великая Отечественная война (1941—1945 гг.)	Резкое возрастание потребности в нефти и нефтепродуктах и усиление государственного управления нефтяной отраслью в условиях войны. Главная задача, поставленная перед нефтяниками, — добыча нефти и ее переработка в моторное топливо, необходимое для фронта, выполнена с честью оставшимися на производстве нефтяниками при совместном героическом подвиге всего населения, построившего меньше чем за год два кольца противотанковых рвов (200 км) вокруг грозненских промыслов и нефтеперерабатывающих заводов. Литейно-механический завод «Красный молот» осуществлял ремонт автомашин, танков, бронепоездов. Грозненский нефтяной институт бесперебойно выпускал кадры нефтяников
	2.3. Послевоенный период, до распада СССР (1946—1991 гг.)	С 1946 г. восстановление инфраструктуры нефтяной отрасли. Введены в эксплуатацию заводы: Новогрозненский НПЗ имени Анисимова (1951), Грозненский химический завод имени 50-летия СССР (1954) и др. Пик максимальной нефтедобычи в Грозненской нефтяной области пришелся на 1956—1971 гг. за счет открытия и освоения мезозойских залежей нефти в Грозненском нефтяном районе. 1988 — декабрь 1991 г. (распад СССР) — глубокий кризис плановой экономики, социально-экономические потрясения, упадок развития НП. 1989 г. — образование государственного газового концерна «ГАЗПРОМ» по инициативе министра газовой промышленности СССР В. Черномырдина, возглавившего его.
III этап (Российская Федерация) Государственный строй, основанный на рыночной экономике, управляемой государством	3.1. Современный период (декабрь 1991 г. — по н.в.)	1992—1994 гг. — приватизация промышленных предприятий. Создание нефтяных компаний: НК «ЮКОС» (1993—2007 гг.) и НК «ЛУКОЙЛ» (1993 г. — по н.в.), НК «Роснефть» (1993 г., с 1995 г. — ОАО «Роснефть», с 2004 г. — ПАО НК «Роснефть») С 2000 г. по н.в. — национализация нефтяной промышленности, газовый концерн «ГАЗПРОМ» (1989) реформирован в Публичное акционерное общество «ГАЗПРОМ» (ПАО «ГАЗПРОМ»), контрольный пакет акций которого принадлежит государству. 1994—2001 гг. — полный упадок грозненской нефтяной отрасли в годы навешения в Чечне конституционного порядка (1994—1996 гг.) и уничтожение ее в результате ведения боевых действий Российской армии против вооруженных формирований чеченских сепаратистов и иностранных наемников (1999—2001 гг.). С 2001 г. по н.в. — восстановление города Грозного и Грозненского нефтяного института имени М.Д. Миллионщикова. К восстановлению Грозненской нефтегазоперерабатывающей промышленности власти еще не приступали

государственный строй основан на рыночной экономике, слабо контролируемой государством; 2-й этап — СССР, государственный строй основан на плановой экономике; и 3-й этап — Российская Федерация, государственный строй основан на рыночной экономике, управляемой государством.

Ниже перечислены наиболее важные социально-экономико-политические события и технико-технологические успехи, оказавшие влияние на развитие НП Северного Кавказа на каждом из рассматриваемых этапов истории страны.

1-й этап (царская Россия, период XIX — начало XX века)

Становление НП на Северном Кавказе связано с резким увеличением потребности в нефти в связи с основанием военных укреплений на юге России (рис. 1).

В 1811 г. — введена откупная система эксплуатации нефтеносных земель, по которой откупщики становились на 4 года хозяевами нефтеносных участков.

В 1819 г. все нефтяные источники, ранее взятые на откуп казачьими полками, перешли в собственность Кавказского линейного войска.

Техника добычи нефти — колодезный способ: вычерпывание нефти из колодцев ведрами и черпаками. После истощения колодцы расчищали и углубляли. До отмены крепостного права (1861) для этой работы эксплуатировались крепостные крестьяне.

В 1822—1823 гг. впервые в России и в мире крепостные крестьяне братья Василий, Герасим и Макар Дубинины изобрели способ и осуществили переработку нефти (рис. 2) на построенном ими небольшом нефтеперегонном заводе около г. Моздока, на котором перерабатывали нефть Вознесенского месторождения и получали керосин [8].

Опыт братьев Дубининых быстро стал общим достоянием и распространился среди заинтересованных отечественных и иностранных нефтепромышленников. При этом авторское право на изобретение крепостных Дубининых никогда не оспаривалось благодаря их многолетним и многочисленным обращениям к разного уровня чиновникам того времени с просьбой о финансовой поддержке их деятельности. Хотя никакой поддержки ни от кого они не получили, но их запомнили.

В 1833 г. открыта Грозненская группа нефтяных источников в центральной части Терского

хребта (Старогрозненские промыслы). Техника добычи нефти здесь сводилась к вычерпыванию ее из колодцев. Некоторые предприниматели имели свои кустарные нефтеперегонные заводы, где получали керосин.

В 1864 г. пробурены первые нефтяные скважины на Северном Кавказе и в России — в Кубанской области (около Анапы, ст. Новотитаровской и пос. Фонтановского), однако ни одна из скважин не принесла результатов [19]. Разведочное механизированное бурение скважин методом «дикий кошки» (наугад) проводила американская буровая бригада из штата компании Standart Oil (принадлежавшей Джону Рокфеллеру), которую за большие деньги «пригласил» А.Н. Новосильцев (первый нефтедобытчик на Кубани, гвардейский полковник). Не получив результатов, А.Н. Новосильцев расторг сотрудничество с высокооплачиваемой иностранной бригадой [25, с. 138], а поисковое бурение перенес на Таманский полуостров, собрав бригаду из отечественных инженеров, механиков и слесарей, знающих геологические условия.

3 февраля 1866 г. получен первый фонтан нефти на Таманском полуострове (в долине р. Кудако у станции Киевской). Место для разведочного бурения было выбрано отечественным геологом

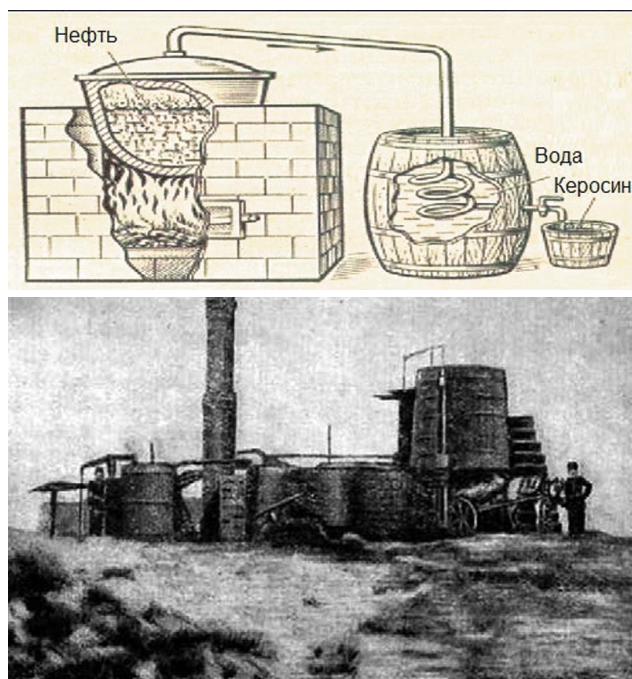


Рис. 2. Слева — нефтеперегонная установка и завод братьев Дубининых (1822—1823), справа — памятник крепостным крестьянам братьям Дубининым, установленный в 1983 г. в г. Моздоке в детском парке возле школы-интерната № 1

Fig. 2. Left — the Dubinin Brothers Oil Refinery and Factory (1822—1823); on the right is a monument to the Dubinin brothers serfs, installed in 1983 in Mozdok, in a children's park near boarding school No. 1

Ф.Г. фон Кошкулем, и скважина № 1 оказалась первооткрывательницей кубанской нефти (рис. 3) [2, 3, 12, 19].

Скважины А.Н. Новосильцева бурились на лучшем уровне того времени, с использованием механического ударного бурения (вместо ручного привода станков бурения) и крепления стенок скважин металлическими обсадными трубами. На Кудакинском промысле впервые использовали промысловые трубопроводы для транспортировки нефти [12], глубинный насос для извлечения нефти из скважин (изобретение инженера Иваницкого, 1865 г.) [16, с. 46].

С успешным бурением на Кудакинском участке в 1860-е годы стал поступать иностранный капитал на кубанские промыслы. После смерти А.Н. Новосильцева (1878) все буровые работы были свернуты [23]. В 1883 г. кубанские промыслы монополизировала французская компания «Русский стандарт» (группа Ротшильдов), которая в 1892 г. стала сокращать здесь свою деятельность под предлогом бедности кубанских нефтяных источников и к 1903 г. полностью прекратила здесь свою деятельность. После этого развитие кубанской нефтяной промышленности в очередной раз затормозилось на многие годы [20].

Примечательно, что Кудакинский промысел, которому уже более 150 лет, до сих пор в строю и является частью разрабатываемого газонефтяного Кудак-Киевского месторождения.

В 1872 г. — отмена откупной системы и увеличение срока аренды. За отмену откупной системы активно выступал Д.И. Менделеев, он первым изучил причины, тормозившие добычу и нефтепереработку (1867 г.): «Препятствия нефтяному делу, в сущности, лежат в эксплуатации нефтяных источников. Откупщикам нефти нет никакого расчета, имея краткосрочный откуп, заводить большое и хлопотное дело, затрачивать на него капиталы. Откуп парализует правильный ход нефтяной разработки, а следовательно, и все нефтяное дело» [17]. Д.И. Менделеев организовал и возглавил общественное мнение против откупной системы, и его голос был услышан политическими деятелями страны.

Увеличение срока аренды нефтяных источников создало условия для быстрого развития отечественной нефтепереработки. Нефтепромышленники начали больше вкладывать средств в нефтедобычу и строить свои нефтеперегонные заводы. В частности, крупный нефтепромышленник-откупщик И.М. Мирзоев, арендовавший грозненские



Рис. 3. Памятный обелиск, установленный на месте скважины № 1 в долине р. Кудак, первооткрывательнице кубанской нефти, в народе получившей название «Бабушка-вышка»

Fig. 3. A commemorative obelisk installed on the site of well No. 1 in the valley of the Kudak River, the discoverer of the Kuban oil, popularly called the "Grandmother Tower"

нефтяные колодцы в период 1865—1885 гг., построил в Грозненской балке собственный небольшой нефтеперегонный завод. Примечательно, что этот завод для И.М. Мирзоева строил простой рабочий-самоучка бакинец Джевад Меликов, который в 1863 г. в Баку сумел возродить давно забытый способ первичной перегонки нефти, открытый и примененный братьями Дубиниными в Моздоке в 1822 г. Позже И.М. Мирзоев занялся переработкой нефти [18].

6 октября 1893 г. на грозненском промысле скважина № 1/1 фирмы «И.А. Ахвердов и К^о» (арендаторы владикавказские адвокат И.А. Ахвердов и купец Е.Х. Киреев) стала первооткрывательницей грозненской нефти (рис. 4) [6], что окончательно положило конец использованию здесь колодезного способа добычи нефти, не выдержавшему конкуренцию.

6 (19) октября 1893 г. считается датой зарождения грозненской нефтяной промышленности.

В 1895 г. скважиной 7/977 фирмы «И.А. Ахвердов и К^о» получен выдающийся фонтан нефти с максимальным дебитом 16 000 тонн нефти в сутки, который фонтанировал 3 года со среднесуточным дебитом (за 1895—1898 гг.) около 700 тонн нефти. За 3 года эта скважина фонтаном дала около 1 миллиона тонн нефти. В результате такого «нефтепада» море нефти прорвало плотину земляного

амбара и устремилось в долину реки Нефтянки (говорящее название), соседние скважины оказались под уровнем нефти до 1896 г. [6, 18]. Желая увидеть это явление своими глазами, в 1895 г. скважину посетил Д.И. Менделеев, в 1897 г. — участники Международного геологического конгресса. Во Владикавказ (столицу Терской области того времени) на торги стали съезжаться крупные нефтепромышленники и миллионеры, в том числе Эммануил Нобель. В грозненские промыслы хлынули инвестиции, в том числе иностранные (английские, французские, бельгийские, немецкие) [20].

10 ноября 1895 г. введен в эксплуатацию керосиновый завод фирмы «И.А. Ахвердов и К^о» (прародитель Грозненского нефтеперерабатывающего завода имени В.И. Ленина) (рис. 5).

10 (17) ноября 1895 г. считается датой зарождения грозненской нефтеперерабатывающей промышленности.

На окраине Грозного в 1896 г. было построено еще несколько заводов, к строительству которых активно привлекались инвесторы и специалисты-англичане: нефтеперегонные заводы «Общества Владикавказской железной дороги», «Успех» и др. и чугуномеднолитейный завод «Молот» для ремонта и изготовления нефтяного оборудования (прародитель завода «Красный молот», который в СССР в 1922 г. стал ведущим машиностроительным предприятием республики и единственным

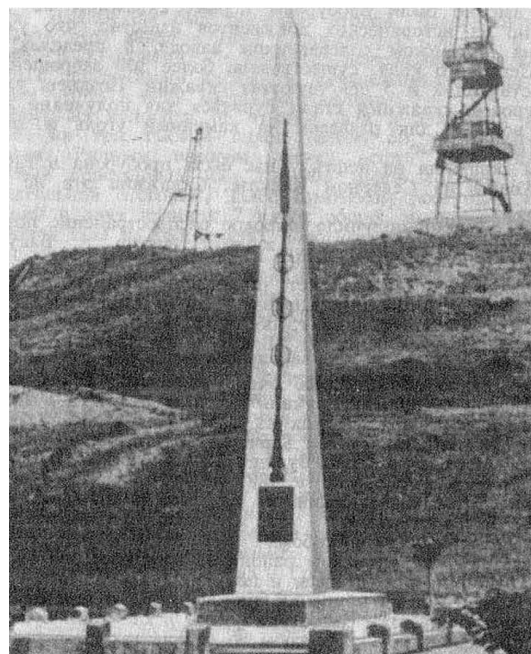


Рис. 4. Памятный обелиск, установленный в 1968 г. на месте скважины № 1/1 фирмы «И.А. Ахвердов и К^о»
Fig. 4. Memorial obelisk installed in 1968 on the site of well No. 1/1 of the company "I.A. Akhverdov & Co."



Рис. 5. Грозненские нефте- и газоперерабатывающие заводы и нефтехимический завод XIX и XX вв.: а — керосиновый завод И.М. Мирзоева (1864) (фото конца XIX в.); б — нефтеперегонный завод (1895) фирмы «И.А. Ахвердов и Ко» (слева, фото конца XIX в.), прародитель Грозненского НПЗ имени В.И. Ленина (1939) (справа, фото конца XX в.); в — Новогрозненский ГПЗ имени Н. Анисимова (1951) (фото конца XX в.); г — Грозненский химический завод имени 50-летия СССР (1954) (фото конца XX в.)

Fig. 5. Grozny oil and gas processing plants and petrochemical plant XIX and XX centuries: а — I.M. Mirzoev kerosene plant (1864) (photo of the end of the XIX century); б — oil refinery (1895) of the company “I.A. Akhverdov and Co.” (left, photo of the end of the XIX century.), the progenitor of the Grozny refinery named after V.I. Lenin (1939) (right, photo of the end of the XX century.); в — Novogrozny Refinery named after N. Anisimov (1951) (photo of the late twentieth century); г — Grozny Chemical Plant named after the 50th Anniversary of the USSR (1954) (photo of the late twentieth century)

в стране заводом по производству оборудования для гидроразрыва пластов).

Нефтяной ажиотаж 1895 г. принес немалые доходы Военному министерству, в ведении которого находилось Терское войско и его земли. Министерство воспользовалось ситуацией: 1) увеличило стоимость аренды почти в 2 раза и 2) расширило границы «нефтеносных земель» за пределами нефтеносной Старогрозненской антиклинали, где в спешке крупные компании из Баку («Каспийско-Черноморское общество», «Товарищество братьев Нобель», «Бакинское нефтяное общество», «Торговый дом Шпис, Стукен и К°» и др.), французская компания «Русский стандарт» и другие арендовали множество заведомо бесперспективных земельных участков. После безрезультативного бурения и крупных финансовых потерь нефтепромышленники стали больше прислушиваться к мнению геологов [20].

Грозненские нефтяники на рубеже XIX—XX вв. первыми применили новейшие изобретения того времени: глубинно-штанговый насос (1895); ударно-канатное бурение на пеньковом канате (1896); заменили на буровом станке манильский пеньковый канат на металлический (1902), применили вращательное роторное бурение с промывкой забоя скважины глинистым раствором (1902); новый способ тартания (1909); утилизацию попутного нефтяного газа (1909) [18].

В дореволюционные годы XX в. кубанская нефтяная промышленность была представлена тремя нефтепромыслами (Кудаковский, Ильский, Суворовско-Черкесский), двумя магистральными нефтепроводами (Кудако — Крымская, Ильская — Новороссийск) и тремя нефтеперегонными заводами (Ильский, Крымский и Новороссийск) [2]. Вместе с тем, несмотря на успехи в нефтяном бизнесе, добыче и переработке нефти, Кубанская область всегда занимала скромное место по сравнению с Бакинской и Грозненской нефтяными областями.

В 1907 г. с целью «оживить» кубанские промыслы Геологический комитет в царской России развернул масштабное нефтегеологическое исследование Майкопского района «на казенные средства» [3]. В 1908 г. было образовано Бакинско-Черноморское товарищество, которое приступило к буровым работам в Майкопском районе. В результате 30 августа 1909 г. у станицы Ширванской был получен мощный фонтан нефти, вызвавший Майкопский нефтяной бум: «за две недели выбросил свыше 3 млн пудов». Центр промысловой предпринимательской деятельности переместился в Майкопский район, дававший в разные годы

от 75 до 99% всей кубанской добычи нефти [2]. Для разработки майкопских нефтяных месторождений были учреждены десятки акционерных обществ, в основном английских, которые объединились в рамках Англо-Майкопской корпорации, на которую в 1915 г. приходилось 94% местной нефтедобычи [21].

Открытие новых грозненских промыслов (Новогрозненские промыслы) привлекло внимание крупных нефтепромышленников и предпринимателей, стали поступать крупные инвестиции. В Грозный пришли транснациональные гиганты: Нобели и Лианозовы из Баку, Ротшильды из порта Батуми.

Монополизация НП. В 1914 г. фирма «И.А. Ахвердов и К°» сдала Нобелям все свое имущество по транспортировке, хранению и продаже нефтепродуктов и вошла в состав треста «Товарищество братьев Нобель». Интересно, как указано в работе [20, с. 36—37], основной исходной составляющей фонда Нобелевских премий явились прибыли, полученные Нобелями от участия в кавказской нефтепромышленности в конце XIX в.

К началу Первой мировой войны здесь утвердились три монополистических объединения трестового типа: британско-нидерландская нефтяная корпорация «Ройял Датч Шелл», шведская — «Товарищество братьев Нобель» и Российская Генеральная нефтяная корпорация «Ойл», созданная нефтяным магнатом Степаном Лианозовым и его партнерами. Они контролировали 86% всех акционерных капиталов, 60% всей добычи в стране, 12 из 15 кавказских нефтепроводов (90% выхода промышленной нефти к заводам и пристаням) [20, 26].

Перед этими трестовыми объединениями стояла сложная задача — создание крупной организации для экспорта нефти, поскольку главным конкурентом была американская нефтяная корпорация «Standard Ойл» (организованная Джоном Рокфеллером), контролировавшая большую часть мирового рынка нефти в начале XX в. [20].

Царское правительство, осознавая, что нефть является стратегическим сырьем, стремилось усилить свое влияние в этой области, особенно после возникших разногласий между Нобелями и Д.И. Менделеевым, который выступал против экспорта сырой нефти (дешевой) и продвигал идею об экспорте исключительно нефтепродуктов (более дорогостоящих). Это обстоятельство заставило царское правительство подключиться к управлению грозненским нефтяным бизнесом, согласившись с мнением Д.И. Менделеева [20, 22].

II-й этап (СССР) развития нефтяной промышленности Северного Кавказа

В нем выделяются три периода: довоенный (до Великой Отечественной войны), военный период и послевоенный (до распада СССР).

Довоенный период (1920—1941). Свержение самодержавия в России (1917) осложнилось началом Гражданской войны, которая продолжалась в Грозненской области до апреля 1920 г. В эти годы добыча и бурение скважин на грозненских промыслах прекратились [18].

Основные вехи в становлении советской нефтяной промышленности Северного Кавказа.

Сразу после Гражданской войны НП была национализирована (апрель 1920 г.) и создано Центральное нефтеуправление, которое позже было преобразовано в три треста: «Азнефть», «Грознефть» и «Эмбанефть». Власти приступили к созданию условий для подготовки квалифицированных кадров нефтяников и научно-технической базы для развития НП.

В августе 1920 г. был открыт Грозненский нефтяной техникум по подготовке кадров для нефтяной отрасли, который в 1929 г. реконструирован в нефтяной институт (позже — Грозненский нефтяной институт имени акад. М.Д. Миллионщикова).

В 1921—1922 гг. начат экспорт грозненских нефтепродуктов.

В 1923—1924 гг. проведена техническая реконструкция всей грозненской нефтяной отрасли, выполнен огромный объем работ по реконструкции старых промыслов, капитальному строительству и бурению новых скважин. Реконструирован НПЗ фирмы «И.А. Ахвердов и К^о» (рис. 5) и переименован в Грозненский НПЗ имени В.И. Ленина (1924 г.) (рис. 5); литейно-механический завод «Молот» переименован в «Красный молот» (1924 г.).

В 1925—1927 гг. созданы научно-исследовательские и проектные организации: ГрозНИИ, СевКавНИПИнефть, «Проектная контора» (позже — Грозгипронефтехим), которой разработаны кроме грозненских проекты нефтеперерабатывающих заводов в Махачкале, Казани, Туапсе, Ростове-на-Дону.

Форсирование индустриализации в СССР в конце 1920-х годов совпало с созданием системы государственного планирования (по пятилеткам) развития народного хозяйства в общенациональном масштабе. В условиях плановой экономики и государственного контроля за выполнением поставленных властями задач за первые три пятилетки (начиная с 1928 г.) в развитии

НП Северного Кавказа были достигнуты колоссальные успехи, некоторые из них:

- в 1928 г. 4/5 всего бензина и керосина, вырабатываемого в стране, стали давать грозненские заводы, 38% всего нефтяного экспорта страны осуществлялось из г. Грозного через морские порты Новороссийска и Туапсе; построен нефтепровод Грозный — Туапсе (618 км), впервые в мировой практике трубопроводостроения применен метод электродуговой сварки, получивший позже широкое применение на нефтепроводах высокого давления [4, 6, 9, 18];

- в 1929 г. сделано открытие существования в нефтеносных песчаниках связанной воды, что в корне изменило представление о нефтенасыщенности и нефтеотдаче пластов, методике подсчета запасов нефти в залежах (приоритет СССР, авторы сотрудники ГрозНИИ В.М. Николаев и Н.Т. Линдтроп) [13, 16];

- в 1928—1929 гг. впервые в стране проведена электроразведка (на территории Грозненского нефтяного района);

- в 1933—1941 гг. — открыт ряд новых месторождений в Грозненском районе, открыт новый нефтяной район (Избербаш в Дагестане), построен нефтепровод Грозный — Махачкала (160 км), выполнены первые в мире систематические научно-исследовательские работы на опытной штольне, заложенной на Старогрозненском месторождении и позволившей решить вопросы движения нефти, газа и воды в песчаниках, мергелях и глинах; применен периодический газлифт; бурение двух скважин из одной точки; направленное бурение нефтяных скважин и др.

В довоенный период введены в эксплуатацию первые в стране газолиновый (1924) и парафиновый (1927) заводы; также Туапсинский НПЗ (1929) и НПЗ имени А. Шерипова (1939); установки термического крекинга «Виккерс» (1929) и «Нефтепроект» (1936).

Военный период (1941—1945 гг.) требовал усиления государственного управления нефтяной отраслью в условиях войны. При Народном комиссариате нефтяной промышленности был создан специальный штаб по обеспечению фронта горючим, который возглавил известный нефтяник Н.К. Байбаков (с 1940 г. заместитель народного комиссара нефтяной промышленности СССР), одновременно назначенный в 1942 г. уполномоченным Государственного комитета обороны по уничтожению нефтяных скважин и нефтеперерабатывающих предприятий в Кавказском регионе. В монографии [14] приведены воспоминания

Н.К. Байбакова, задание ему поставил лично И.В. Сталин, который напутствовал его следующим образом: «Вы должны немедленно вылететь на юг. Если оставите немцам хоть каплю нефти, мы вас расстреляем. Но если вы уничтожите промыслы, а немец не придет, и мы останемся без нефти, — тоже расстреляем». Были приняты следующие действия: при приближении противника нефтяное оборудование демонтировалось и эвакуировалось на восток страны, малодебитные скважины — ликвидировались, высокодебитные — эксплуатировались таким образом, чтобы в любой момент их ликвидировать. В результате немцам не удалось использовать ресурс краснодарских нефтепромыслов.

Подвиг бакинских и грозненских нефтяников в Великую Отечественную войну не оценим, поскольку Кубанский район в это время был оккупирован, а восточные нефтяные районы СССР были введены в эксплуатацию после войны.

Главная задача, поставленная, в частности, перед грозненскими нефтяниками в военный период (добыча нефти и ее переработка в моторное топливо, необходимое для фронта), была выполнена с честью благодаря не только оставшимся на производстве нефтяникам, но и героическому подвигу всего населения. Летом 1941 г. было начато строительство двух колец противотанкового рва (200 км) вокруг нефтяных грозненских промыслов и нефтеперерабатывающих заводов, которые героически построили 40 тысяч нефтяников, колхозников, студентов, учеников и домохозяек.

В 1943 г. в связи с наступлением перелома в войне почти всех нефтяников отозвали из армии для восстановления нефтяных промыслов и заводов. В 1943 г. создан «Грозненский крекинг-завод» объединивший первый и второй крекинг-заводы.

Грозненский нефтяной институт имени М.Д. Миллионщикова бесперебойно выпускал кадры нефтяников, не прекращались научные исследования (создан первый отечественный испытатель пластов, автор К.И. Лошкарев, 1943 г.) [16].

Послевоенный период, до распада СССР (1946 — декабрь 1991 г.). Первое послевоенное десятилетие характеризуется героическим быстрым восстановлением НП на Северном Кавказе с последующим активным ее развитием (пик максимальной добычи грозненской нефти пришелся на 1956—1971 гг., он был связан с открытием и освоением мезозойских залежей нефти в Грозненском нефтяном районе).

Некоторые технико-технологические достижения грозненских нефтяников. Впервые в стране: созданы и начаты производства адсорбентов-цеолитов (1960), полиэтилена низкого давления (1962) и пищевого парафина (1971); начаты работы по автоматизации глубиннонасосных скважин, изобретена система телеуправления (1956 г.) [1]; применен метод раздельной эксплуатации двух пластов одной скважиной (1953); введена в эксплуатацию компрессорная станция по закачке газа в пласт с целью повышения нефтеотдачи, после чего начали применять разные методы увеличения нефтеизвлечения (1978); применена одноколонная конструкция скважины (1954); смонтирована первая буровая установка с башенной вышкой (1960); смонтирована первая в стране буровая установка на постоянном токе (1989) и др.

В советское время на Северном Кавказе *введено в эксплуатацию несколько новых нефте- и газоперерабатывающих заводов:* Новогрозненский НПЗ имени Анисимова (1951), Грозненский химический завод имени 50-летия СССР (1954), Афицкий НПЗ (1963), Грозненский ГПЗ (1969 г.) и др.

1988 — декабрь 1991 гг. (распад СССР) — глубокий кризис плановой экономики, социально-экономические потрясения, упадок нефтяной промышленности;

в 1989 г. — образование государственного газового концерна «ГАЗПРОМ» по инициативе министра газовой промышленности СССР В. Черномырдина, возглавившего его.

3-й этап (Российская Федерация, с 26.12.1991 г. по н. в.)

В современный период отечественная нефтяная промышленность, в том числе и Северного Кавказа, развивается в условиях рыночной экономики, контролируемой государством, знаковые события и государственные решения:

- 1992—1994 гг. — активная приватизация промышленных предприятий;
- создание нефтяных компаний: «ЮКОС» (1993—2007), «ЛУКОЙЛ» (1993 г. — по н. в.), НК «Роснефть» (1993 г., с 1995 г. — ОАО «Роснефть», с 2004 г. — ПАО НК «Роснефть»);
- с 2000 г. по н. в. — национализация НП, в этот год газовый концерн «ГАЗПРОМ» (1989) реформирован в Публичное акционерное общество «ГАЗПРОМ» (ПАО «ГАЗПРОМ»), и контрольный пакет акций стал принадлежать государству;
- 1994—2001 гг. — полный упадок грозненской нефтяной отрасли в годы наведения в Чечне конституционного порядка (1994—1996) и уничтожение

ее в результате ведения боевых действий российской армией против вооруженных формирований чеченских сепаратистов и иностранных наемников (1999—2001).

Масштаб последствий этих событий можно представить на судьбе одного из грозненских предприятий — литейно-механического завода «Красный молот» по ремонту и изготовлению оборудования для нефтяной промышленности. В Великую Отечественную войну на заводе выпускали мины и минометы, ремонтировали танки и бронепоезда. К началу 1990-х годов продукция завода, на котором трудилось около 5 тысяч человек, закрывала потребности нефтянки всей страны и экспортировалась в 34 страны мира. С распадом СССР и началом беспорядков в Чеченской Республике в 90-х годах XX в. некоторые цеха на заводе сепаратисты переоборудовали под изготовление оружия и военной техники [28]. В результате боевых действий «Красный молот» одним из первых подвергся бомбежкам, позже — распродался и разворовывался на металлолом. Ныне в заново отстроенном городе Грозном на заводской территории располагается рынок.

С 2000 г. — восстановление города Грозного и Грозненского нефтяного института имени М.Д. Миллионщикова [5].

В 2000 г. организовано предприятие ОАО «Грознефтегаз» на базе нефтяных активов Чеченской Республики (бывшая советская «Грознефть»). По состоянию на 01.01.2023 г. ПАО «НК «Роснефть» является, по существу, монополистом по добыче нефти на территории Чеченской Республики, а ОАО «Грознефтегаз» осуществляет в основном отгрузку нефти с ППС «Червленая-Узловая» железнодорожным транспортом [27].

В 2010 г. создано ОАО «Чеченнефтехимпром», которое занимается управлением пользования недрами Чеченской Республики. Чеченская Республика обладает 100% акций.

Следует отметить, что если трудный процесс возрождения грозненской нефтедобычи потихоньку идет [27], то только обсуждение проекта строительства нефтеперерабатывающего завода мощностью около 1 млн т в сутки (подготовлен

правительством Чеченской Республики совместно с «Роснефтью») проводилось три года по кабинетам чиновников и в результате отложено на долгий срок.

Справка: До войны в Чечне было три крупных нефте- и газоперерабатывающих завода суммарной мощностью 19 млн т в год (завод имени Шерипова, Грозненский завод и Новогрозненский им. Анисимова). Все эти заводы уничтожены под бомбежками во время второй чеченской войны.

В начале 2000-х был взят курс на стабилизацию социально-политической обстановки в Чеченской Республике и интеграцию региона в общеевропейское экономическое и политическое пространство [24], где *ключевым вопросом программы восстановления и развития экономики было прежде всего развитие нефтяной и нефтехимической промышленности* [15]. В связи с этим очевидна необходимость усиления госконтроля за выполнением принятых решений и усиления государственного влияния на системное решение проблем нефтегазового комплекса Чеченской Республики.

В это же время в Краснодарском крае построено три завода: ООО «Ильинский нефтеперерабатывающий завод имени А.А. Шамара» (ООО «КНГК-ИНПЗ») (2001); ООО «Роснефть-Туапсинский нефтеперерабатывающий завод» (2005 г.), созданный на базе Туапсинского НПЗ (1929); ООО «Славянск Эко» по выпуску и экспорту нефтепродуктов: мазута, нефти, судового топлива (2011).

Заключение

Выполненные исследования позволили выяснить, что в становлении и развитии НП Северного Кавказа главную роль играли два фактора: технико-технологический прогресс и государственное управление, последний фактор выходит на первый план в Советском Союзе и Российской Федерации.

Автор посчитал практически невыполнимым сопроводить текст статьи именами многочисленных заслуженных геологов, геофизиков, буровиков, нефтепромысловиков, строителей, ученых и производственных руководителей, за что приносит свои извинения.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 107355 (СССР). Система телеуправления / В.А. Слюсарев и др. Заявка № 55617 от 14.08.1956 г.
2. Багаева Е.М. Зарождение нефтяной промышленности на Кубани: (60—70-е годы XIX века) // Культурная жизнь Юга России. 2012. № 2. С. 37—39.
3. Байбаков Н.К., Гарушев А.Р., Антониади Д.Г. Кубань — колыбель нефтегазовой промышленности России. Краснодар: Центр информационного и экономического развития печати, телевидения и радио Краснодарского края, 1999. 308 с.
4. Вдовыкин Г.П. История нефтяного дела в России. М.: Компания Спутник +, 2003. 50 с.

5. Грозненский нефтяной институт им. М.Д. Миллионщикова (1920—2005) / Под ред. И.А. Керимова. Грозный, 2005. 325 с.
6. 90 лет. Грозненская нефтяная промышленность / Под ред. Н.Н. Бараниченко. Грозный: Чечено-Ингушское издательство, 1983. 53 с.
7. Даукаев А.А. История геологоразведочных работ на нефть и газ на территории Северного Кавказа. Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Москва, 2013. 42 с.
8. Дорогочинский А.З., Суманов В.Т. Изобретение крепостных крестьян братьев Дубининых (История зарождения нефтеперерабатывающей промышленности). Грозный: Чечено-Ингушское издательство, 1973. 70 с.
9. Джафаров К.И., Джафаров Ф.К. История Грозненских нефтяных промыслов. М.: Газоил пресс, 2010. 384 с.
10. Дьячкова Е.А. Экономическое регулирование нефтегазовой отрасли в постсоветской России. М.: Геоинформмарк, 2011. 240 с.
11. Канукова З.В. Старый Владикавказ. Историко-этнологическое исследование. Владикавказ: Иростон, 2002. 316 с.
12. Кубань — колыбель нефтяной и газовой промышленности России / Под ред. М.А. Шаулова. Краснодар: Совет. Кубань, 1999. 365 с.
13. Кулиев С.М. Даты развития бурения в нашей стране // Нефтяник. 1960. № 1—2. С. 29.
14. Куманев Г.А. Говорят сталинские наркомы. Смоленск: Русич, 2005. 632 с.
15. Липина С.А. Нефтяная отрасль Чеченской Республики: потенциал и стратегия развития // Региональная экономика: теория и практика. 2007. № 4 (43). С. 8—12.
16. Лисичкин С.М. Выдающиеся деятели отечественной нефтяной науки и техники. М.: Недра, 1967. 404 с.
17. Менделеев Д.И. «Границ познанию предвидеть невозможно» — мысли к познанию России. М.: Советская Россия, 1991. 592 с.
18. Нефть и газ Чечни и Ингушетии. К 100-летию грозненской нефтяной промышленности (1893—1993 гг.) / Под ред. Л.Х. Ибрагимова. М.: Недра, 1993. 272 с.
19. Пономарев Б.Б. Кудако — первый нефтяной промысел России // Нефтяное хозяйство, 2009. № 8. С. 122—125.
20. Россия и мировой бизнес: дела и судьбы / Под ред. В.И. Бовыкина. М.: Российская политическая энциклопедия, 1996. С. 36—37.
21. Рыжова А.В. Британский бизнес в Баку и Майкопе: ожидания и результаты // Нефтяное хозяйство. 2007. № 1. С. 109—111.
22. Сулумов З.Х. Становление и развитие нефтяной промышленности Чечни (90-е гг. XIX в. — начало 90-х гг. XX вв.). Автореф. дис. ... канд. ист. наук. Грозный, 2016. 19 с.
23. Трошин А.К. Ардалион Николаевич Новосильцев, 1816—1878. Основоположник механического бурения на нефть в России. М.: Наука, 1996. 74 с.
24. Федеральная целевая программа «Восстановление экономики и социальной сферы Чеченской Республики (2002 год и последующие годы)» // <http://www.government.ru/docs/all/55291/> (дата обращения: 10.11.2023).
25. Фукс И.Г., Матишев В.А. Иллюстрированные очерки по истории российского нефтегазового дела. Часть 1. Север и Юг Европейской части России (до 1917 г.). М.: Нефть и газ, 2000. 176 с.
26. Фурсенко А.А. Нефтяные тресты и мировая политика (1880-е годы — 1918 г.). М.- Л.: Наука, 1965. 496 с.
27. https://www.rosneft.ru/about/Glance/OperationalStructure/Dobicha_i_razrabotka/JUzhnij_Federalnij_Okrug/grozneftegaz/history/ (дата обращения: 08.11.2023).
28. https://ru.wikipedia.org/wiki/Красный_молот (дата обращения: 05.11.2023).

REFERENCES

1. A.s. 107355 (USSR). Telecontrol system / V.A. Slyusarev et al. Application N 55617 of 14.08.1956. (In Russian).
2. Bagaeva E.M. The origin of the oil industry in the Kuban: (60—70s of the XIX century) // Cultural life of the South of Russia. 2012. No. 2. Pp. 37—39. (In Russian).
3. Baibakov N.K., Garushev A.R., Antoniadi D.G. Kuban is the cradle of the Russian oil and gas industry. Krasnodar: Center for Information and Economic Development of Press, Television and Radio of Krasnodar Krai, 1999. 308 p. (In Russian).
4. Vdovykin G.P. History of the oil business in Russia. Moscow: Sputnik company, 2003. 50 p. (In Russian).
5. Grozny Oil Institute named after M.D. Millionshchikov (1920—2005) / Eds. I. Kerimov. Grozny, 2005. 325 p. (In Russian).
6. 90 years old. Grozny Oil Industry / Eds. N. Baranichenko. Grozny: Chechen-Ingush Publishing House, 1983. 53 p. (In Russian).
7. Daukaev A.A.: History of oil and gas exploration in the North Caucasus: Abstract of the thesis of the doctor of geology-mineralogical sciences. Moscow, 2013. 42 p. (In Russian).
8. Dorogochinsky A.Z., Sumanov V.T. The invention of the Dubinin brothers'serfs (History of the origin of the oil refining industry). Grozny: Chechen-Ingush Publishing House, 1973. 70 p. (In Russian).
9. Jafarov K.I., Jafarov F.K. History Grozny oil fields. Moscow: Gazoil press, 2010. 384 p. (In Russian).
10. Dyachkova E.A. Economic regulation of the oil and gas industry in post-Soviet Russia. Moscow: Geoinformmark, 2011. 240 p. (In Russian).
11. Kanukova Z.V. Old Vladikavkaz. Historical and

- ethnological research. Vladikavkaz: Iriston, 2002. 316 p. (In Russian).
12. Kuban is the cradle of the Russian oil and gas industry / Eds. M. Shaulov. Krasnodar: Soviet. Kuban, 1999. 365 p. (In Russian).
 13. Kuliev S.M. Dates of drilling development in our country // Oilman, 1960. No. 1—2. P. 29. (In Russian).
 14. Kumanev G.A. They say Stalin's People's Commissar. Smolensk: Rusich, 2005. 632 p. (In Russian).
 15. Lipina S.A. Oil industry of the Chechen Republic: potential and development strategy // Regional economy: theory and practice, 2007. No. 4 (43). Pp. 8—12. (In Russian).
 16. Lisichkin S.M. Outstanding figures of national oil science and technology. Moscow: Nedra, 1967. 404 p. (In Russian).
 17. Mendeleev D.I. «It is impossible to foresee the boundaries of cognition» — thoughts to the knowledge of Russia. Moscow: Soviet Russia, 1991. 592 p. (In Russian).
 18. Oil and gas of the Chechnya and Ingushetia. To the 100th anniversary of the Grozny oil industry (1893—1993) / Eds. L. Ibragimov. Moscow: Nedra, 1993. 272 p. (In Russian).
 19. Ponomarev B.B. Kudako is Russia's first oil industry // Oil industry. 2009. No. 8. Pp. 122—125. (In Russian).
 20. Russia and world business: deeds and destinies / Ed. V. Bovykina. Moscow: Russian Political Encyclopedia, 1996. Pp. 36—37. (In Russian).
 21. Ryzhova A.V. British business in Baku and Maykop: expectations and results // Oil industry. 2007. No. 1. Pp. 109—111. (In Russian).
 22. Sulumov Z.H. Formation and development of the oil industry of Chechnya (90s of the XIX century — early 90s of the XX century): Abstract of the thesis of the candidate of historical sciences. Grozny, 2016. 19 p. (In Russian).
 23. Troshin A.K. Ardalion Nikolaevich Novosiltsev, 1816—1878. The founder of mechanical oil drilling in Russia. Moscow: Science, 1996. 74 p. (In Russian).
 24. Federal target program «Restoring the economy and social sphere of the Chechen Republic (2002 and subsequent years)» (last accessed 05.11.2023). (In Russian).
 25. Fuks I.G., Matishev V.A. Illustrated essay on the history of the Russian oil and gas business. Part 1. North and South of the European part of Russia (until 1917). Moscow: Oil and Gas, 2000. 176 p. (In Russian).
 26. Fursenko A.A. Oil trusts and world politics (1880s — 1918). Moscow — Leningrad: Science, 1965. 496 p. (In Russian).
 27. https://www.rosneft.ru/about/Glance/OperationalStructure/Dobicha_i_razrabotka/JUzhnij_Federalnij_Okrug/grozneftegaz/history/ (last accessed 08.11.2023). (In Russian).
 28. https://ru.wikipedia.org/wiki/Красный_молот (last accessed 05.11.2023). (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Касьянова Н.А. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Natalia A. Kasyanova — developed 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 article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Касьянова Наталья Александровна — доктор геолого-минералогических наук, профессор (звание), профессор кафедры «Геология и разведка месторождений углеводородов» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия.
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN-код: 1528-5332

Kasyanova Natalia Alexandrovna — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor (academic title), Professor of the Department “Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits”, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: nkasyanova@mail.ru
SPIN-code: 1528-5332



У ИСТОКОВ НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ. РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ А.А. МАТВЕЙЧУКА «ПЕРВЫЕ ГЕОЛОГИ–НЕФТЯНИКИ РОССИИ. ИСТОРИЧЕСКИЕ ОЧЕРКИ»

В.П. КАРПОВ

*ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
38, ул. Володарского, г. Тюмень 625048, Россия*

АННОТАЦИЯ

В рецензии рассмотрена проблематика исторических очерков А.А. Матвейчука о выдающихся геологах–нефтяниках России. Через призму их жизни и деятельности автор показывает первые шаги в становлении отечественной нефтяной геологии. Рассмотрен вклад Г.П. Гельмерсена, Г.В. Абиha, К.И. Богдановича, их соратников и единомышленников в геологическое исследование различных районов страны, в создание новых организационных структур и научных школ. Показано, что активность пионеров нефтяной геологии в значительной мере определила поворот к нефти в перечне приоритетов государства, а это обеспечило успехи в индустриализации страны в конце XIX — начале XX вв. Исследованы особенности тех исторических событий, свидетелями и участниками которых стали геологи. Персонализированный подход к изучению начального этапа истории нефтяной геологии позволил создать живую, достаточно полную и объективную картину ранней истории отрасли.

Ключевые слова: геологи, нефть, биография, наука, экспедиция, карта

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Карпов В.П. У истоков нефтяной геологии. Рецензия на книгу А.А. Матвейчука «Первые геологи–нефтяники России. Исторические очерки». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(6):106—110. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-106-110>

Статья поступила в редакцию 23.11.2023

Принята к публикации 05.12.2023

Опубликована 29.12.2023

AT THE ORIGINS OF PETROLEUM GEOLOGY. A REVIEW OF THE BOOK BY A.A. MATVEYCHUK "THE FIRST PETROLEUM GEOLOGISTS OF RUSSIA. HISTORICAL SKETCHES"

VIKTOR P. KARPOV

*Tyumen Industrial University
38, Volodarsky str., Tyumen 625048, Russia*

ABSTRACT

This book review analyzes historical essays by A.A. Matveychuk about outstanding Russian petroleum geologists. Through the prism of their lives and activities, Matveychuk outlines the first steps in the formation of Russian petroleum geology. Particular attention is paid to the contribution of G.P. Gelmersen, G.V. Abih, and K.I. Bogdanovich, as well as their associates and like-minded people, to the geological study of various Russian regions and to the creation of new organizational structures and scientific schools. It is the activity of the pioneers of petroleum geology that largely determined the shift in the state's priorities towards oil exploration, which further supported the country's industrialization in the late 19th—early 20th centuries. The historical events, in which geologists became contemporaries and active participants, were studied. The personalistic approach used by the author in his studies of the initial historical stage of petroleum geology has created a vivid and fairly comprehensive picture of the early history of the industry.

Keywords: geologists, petroleum, biography, science, expedition, map

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

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

For citation: Karpov V.P. At the origins of petroleum geology. A review of the book by A.A. Matveychuk "The first petroleum geologists of Russia. Historical sketches". *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(6):106—110. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-6-106-110>

Manuscript received 23 November 2023

Accepted 05 December 2023

Published 29 December 2023

Новый труд известного историка нефтяной промышленности А.А. Матвейчука [1] посвящен людям, стоявшим у истоков зарождения отечественной нефтяной геологии. Ее проблематика, организационные структуры, география, основные этапы развития, трудности, поиски и открытия рассматриваются через призму научной и организаторской деятельности Г.П. Гельмерсена, Г.В. Абиha, К.И. Богдановича, Г.Д. Романовского и других выдающихся отечественных геологов. Широкая документальная основа исследования, использование разнообразных источников — архивов, мемуаров, научных публикаций, данных периодики — позволили автору из отдельных судеб ученых-первооткрывателей, талантливых организаторов горного дела сложить не только яркую, но и достаточно полную и объективную картину

становления нефтяной геологии в нашей стране, дополнив панораму событий малоизвестными сюжетами.

Книга включает 9 очерков, героями которых стали геологи, чьим самоотверженным трудом в дореволюционный период стали закладываться основы отечественной школы нефтяной геологии, включая методику поисков залежей, представления о породах-коллекторах, о роли структуры осадочных пород в формировании и разрушении залежей, а также о происхождении нефти и связи с ней твердых битумов. А.А. Матвейчук опровергает распространенное мнение об отсталости геологической науки в дореволюционной России. Уже в XVIII веке российские ученые выдвинули первые гипотезы происхождения нефти. В трудах академиков М.В. Ломоносова («О слоях земных»

(1750)) и В.М. Севергина («Первые основания минералогии, или естественной истории ископаемых тел» (1798)) получила развитие органическая теория происхождения нефти. В первой трети XIX в. на Северном Кавказе и в Закавказье работали горные специалисты Н.И. Воскобойников, А.В. Гурьев, П.И. Фоллендорф. В 1860—1870-е гг. начались геологические исследования в Поволжье и на Кубани, в 1890-е гг. они приобрели планомерный характер в нефтеносных районах Северного Кавказа, Поволжья, Апшерона, Сахалина и Туркестана. Успешное проведение именно в России (Санкт-Петербург, август 1897 г.) VII сессии Международного геологического конгресса, подчеркивает А.А. Матвейчук, стало признанием успехов российской геологии со стороны мирового научного сообщества.

В первом очерке книги показано, какой мощный импульс развитию геологических исследований на нефть придал Григорий Петрович Гельмерсен (1803—1885). Судьбоносной вехой в творческой биографии геолога и стартом его академической карьеры стала «Генеральная карта горных формаций европейской России с пояснительными примечаниями», изданная в Санкт-Петербурге в 1841 году. С этой работы началось развитие в России важнейшей ветви наук о Земле — геологической картографии.

Г.П. Гельмерсен был инициатором создания Геологического комитета России (31 (19 по старому стилю) января 1882 г.) и его первым директором. В состав высшего органа Геолкома вошли известные ученые: Н.И. Кошкарлов, Ф.Б. Шмидт, В.И. Меллер, А.П. Карпинский, А.А. Иностранцев. Важное место среди задач Геолкома занимали поиски нефти. Не обошел ее вниманием и сам Гельмерсен, опубликовавший еще в 1850—1860-е гг. обширные статьи о поисках нефтяных месторождений в научных журналах, в отчетах о полевых исследованиях на юге страны. В начале 1866 г. ученый завершил статью о результатах работы в Крыму и Тамани. В том же году его прогнозы подтвердились. 15 (3) февраля 1866 г. из скважины № 1 на берегу реки Кудак в Кубанской области ударил первый в России нефтяной фонтан, открывший новые перспективы развития отрасли. Результатом исследований почти всей европейской и значительной части азиатской России стало более 130 сочинений Г.П. Гельмерсена, составивших творческое наследие ученого.

Герой следующего исторического очерка академик Герман Вильгельмович Абих (1806—1886) заложил основы фундаментального геологического

изучения Кавказа. В 1859 г. ученый издал первое геологическое описание Кавказа с общей орографической характеристикой. Он первым в России обратился к рассмотрению формирования нефтяных залежей на отдельных участках Каспийской впадины и выдвинул предположение о закономерной связи скоплений нефти и природного газа с антиклинальными складками. К числу важнейших выводов академика следует отнести и то, что нефть и газ скапливаются в породах-коллекторах, а не в породах-кавернах, трещинах и других подземных пустотах, как это считалось ранее. Итогом многолетней деятельности Г.В. Абиха на Кавказе стал капитальный труд в четырех томах «Геологические изыскания в кавказских странах», получивший высокую оценку в европейском научном сообществе. В России он был отмечен в 1882 г. золотой Константиновской медалью, которую «отцу кавказской геологии» вручило Русское географическое общество.

Много внимания А.А. Матвейчук уделил Геннадию Даниловичу Романовскому (1830—1906), предсказавшему в 1860-е гг. нефтяное будущее Урало-Волжского района, Тимано-Печоры и Ферганской долины. Профессор внес весомый вклад и в разведку российских нефтяных месторождений, и в становление отечественного машинного бурения скважин.

Карл Иванович Богданович (1864—1947), герой четвертого очерка, известен своими геологическими работами на Кавказе, в Кубано-Черноморском и Эмбенском нефтеносных районах. Его исследования стали началом новой эпохи в изучении третичных отложений Северного Кавказа, позволили разработать основу стратиграфии кайнозойских и частью меловых отложений в Кубано-Черноморском нефтяном районе. С 1912 г. профессор Богданович впервые в России стал читать лекции по геологии нефти (в Горном институте). Они были выстроены на основе последних исследований в области палеонтологии и стратиграфии. Учебный курс сначала был издан в Горном институте, затем в советское время вышел в виде монографии «Очерк месторождений нефти и других битумов». Впоследствии этот курс послужил основой для создания ряда учебных пособий для советских нефтяных вузов: И.М. Губкина «Учение о нефти» (1932 г.), М.Ф. Мирчинка «Геология нефтяных и газовых месторождений СССР» (1933 г.) и «Нефтепромысловая геология» (1938 г.), А.Я. Кремса «Нефтяные месторождения и их разработка» (1935 г.), С.Ф. Фёдорова «Нефтяные месторождения Советского Союза» (1935 г.).

Казалось бы, герой пятого очерка Владимир Афанасьевич Обручев (1863—1956) не нуждается в представлении — его жизнь и деятельность описана во многих книгах. Но в очерке о первом геологе Сибири А.А. Матвейчук заострил внимание на нефтяных заслугах академика, приводит интересные подробности его преподавательской карьеры, организаторской деятельности. Академик В.А. Обручев создал научную школу, подготовившую целую плеяду выдающихся ученых и специалистов в области горного дела. Им были разработаны общие вопросы тектоники и тектонического строения Сибири, обосновано значение вертикальных движений земной коры в неоген-четвертичное время, предложен термин «неотектоника», заложены основы науки о вечной мерзлоте. Академик опубликовал свыше 700 научных трудов общим объемом в 1500 печатных листов, а также более 2500 научных рецензий. Пятитомный труд В.А. Обручева «История геологического исследования Сибири» (1931—1949) до сих пор является необходимым справочником для ученых, занимающихся геологическими проблемами Сибири.

Другие герои очерков — Д. В. Голубятников (1866—1933), П. И. Полевой (1873—1938), С.И. Миронов (1883—1959), Е.М. Юшкин (1872—1937) — тоже по праву вошли в число тех российских геологов-нефтяников, чей вклад в становление и развитие нефтяной геологии трудно переоценить. Одни из них больше известны, другие — меньше, одни приняли после 1917 г. новую власть, другие — нет. Но каждый из них был в чем-то первым и этим прежде всего интересен автору очерков и читателю. Пётр Игнатьевич Полевой — пионер в исследовании на нефтеносность Дальнего Востока и Сахалина, автор «Десятиверстной карты русского Сахалина», опубликованной в 1914 г. и на долгие годы ставшей основой для проведения последующих геолого-разведочных работ [1, с. 136]. Он — первооткрыватель нефтяных месторождений в восточной части острова: Пильтунского, Мало-Имчинского (Уйглекуты), Кыдыланьского.

Сахалин и Урало-Эмбенский район стали полем исследования Степана Ильича Миронова, назначенного в 1929 г. первым руководителем Нефтяного геологоразведочного института (НГРИ). Под его руководством работа коллектива НГРИ была направлена на формирование и развитие научных направлений, ставших фундаментом советской нефтяной геологии. Это было время, когда со всей очевидностью стало ясно, что без повышения уровня теоретической базы геологических исследований невозможно осваивать новые, все более

сложные районы Волго-Уральского региона. Так, институт стал пионером по разработке и внедрению геофизических методов в исследование геологии нефтяных месторождений. По инициативе профессора С.И. Миронова в НГРИ была организована в 1930 г. первая в СССР микропалеонтологическая лаборатория. Под его научным руководством разрабатывались вопросы изучения микрофауны и систематизации ископаемых микроорганизмов. Все это дало важные результаты в научном и практическом отношении при поисках нефти в перспективных районах.

Первопроходцем в создании детальных карт нефтяных пластов, а затем атласов стал горный инженер Дмитрий Васильевич Голубятников, работавший на Апшероне. По существу, он стал первым в создании конкретных представлений о строении недр нефтяных месторождений, в деле графического их изображения. Выделенные им опорные горизонты разреза в дальнейшем позволили геологам разобраться в пестрой картине расположения нефтеносных слоев на полуострове. Таким образом, Д.В. Голубятников заложил основы нового, нефтепромыслового направления геологии.

В представленных исторических очерках мы встречаем и тех специалистов, с которыми пересеклись судьбы главных героев книги. Это И.М. Губкин, К.П. Калицкий, А.П. Карпинский, В.В. Тихонович, А.И. Косыгин, М.В. Абрамович, Н.А. Кудрявцев, Д.И. Дамперов и другие известные геологи. В приложении к основной части книги помещен раздел «Краткие сведения о первых российских геологах-нефтяниках», где приведены биографические материалы о целом ряде известных и малоизвестных российских ученых и специалистов горного дела с указанием их главных печатных работ в области нефтяной геологии.

Книга А.А. Матвейчука продолжает важную работу по сохранению памяти о первопроходцах, а иногда и возвращению из небытия имен, без которых не может быть полной и объективной истории отечественной геологии. Герои исторических очерков заслуживают внимания не только потому, что посвятили свою жизнь неустанному изучению отечественных недр — их научные биографии помогают автору показать некоторые важные особенности тех исторических событий и общественных явлений, свидетелями и участниками которых они были. Следует подчеркнуть талант автора говорить просто о сложном, выстраивать сюжет увлекательно не в ущерб научности.

Знакомство с жизнью и деятельностью геологов, внесших большой вклад в создание и становление

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ / CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

научной школы нефтяной геологии, необходимо как для лучшего понимания прошлого отрасли, так и для решения ее современных проблем. Но новая книга представляет не только академический интерес — она несет в себе большой воспитательный заряд. В свое время известный в стране Тюменский музей истории науки и техники Зауралья родился из стремления руководителей нового нефтегазового вуза страны

(Тюменского индустриального института) познакомить будущих специалистов с именами ученых и инженеров, прославивших Родину. Стремление объяснимое, ведь без прочного знания о прошлом не может быть успешного будущего. Таким образом, новая книга А.А. Матвейчука решает целый ряд важных задач и будет интересна не только специалистам, но и всем, кто интересуется историей геологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвейчук А.А. Первые геологи-нефтяники России. Исторические очерки. М.: «ОнтоПринт», 2023. 284 с.

REFERENCES

1. Matveychuk A.A. The first oil geologists of Russia. Historical essays. Moscow: OntoPrint, 2023. 284 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Карпов В.П. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Viktor P. Karpov — contributed 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 assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Карпов Виктор Петрович — доктор исторических наук, доцент, профессор кафедры гуманитарных наук и технологий ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет». 38, ул. Володарского, г. Тюмень 625048, Россия
e-mail: 7654321.58@mail.ru
тел.: +7 (922) 266 44 81
SPIN-код: 6422-9568

Viktor P. Karpov — Dr. of Sci. (Hist.), Associate Professor, Professor of the Department of Humanities and Technologies of Tyumen Industrial University. 38, Volodarsky str., Tyumen 625048, Russia
e-mail: 7654321.58@mail.ru
tel.: +7 (922) 266 44 81
SPIN-code: 6422-9568

Area with horizontal dashed lines for notes.



