

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

2024 Том 66, № 4
Vol. 66, #4

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

4

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Научно-методический журнал

Том 66, № 4
2024

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 4 раза в год

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY AND EXPLORATION

Scientific methodological journal

Vol. 66, No. 4
2024

The journal has been published since 1958
Frequency: Quarterly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Иностранцы члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

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

Члены редакционного совета

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

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

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

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

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

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

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	4 раза в год
Префикс DOI	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	23.12.2024
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2024
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по пяти научным специальностям: 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение (геолого-минералогические науки); 1.6.9. Геофизика (технические науки); 1.6.10. Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения (геолого-минералогические науки); 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (геолого-минералогические науки); 2.8.3. Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр (геолого-минералогические науки). РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory.

FOCUS AND SCOPE

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Foreign members of the Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

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

Members of the Editorial Council

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

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

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

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

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

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

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	quarterly
DOI Prefix	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	23.12.2024
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	The journal is included in the list of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of Candidate of sciences, for the degree of Doctor of Sciences in five scientific specialties should be published: 1.6.7. Engineering geology, permafrost and soil science (geological and mineralogical sciences); 1.6.9. Geophysics (technical sciences); 1.6.10. Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerogeny (geological and mineralogical sciences); 1.6.11. Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields (geological and mineralogical sciences); 2.8.3. Mining and oil and gas field geology, geophysics, surveying and subsurface geometry (geological and mineralogical sciences). Russian Science Citation Index (eLIBRARY.RU), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ

- 8 **НОВЫЕ ИХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ГОТЕРИВСКИХ ПЕСЧАНИКАХ ГОРНОЙ АДЫГЕИ**
Д.А. РУБАН, С.О. ЗОРИНА, К.И. НИКАШИН, Н. МОХАММАД

- 17 **ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ**
К.В. РЕПИНА

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

- 31 **СТРОЕНИЕ МОКТАКОНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ (ЮЖНО-ТУНГУССКАЯ НГО, ЛЕНО-ТУНГУССКАЯ НГП)**
А.Р. РЯЗАНОВ, Е.С. НОСКОВА, Г.В. АГАФОНОВА, Д.В. ПОКРОВСКИЙ

- 44 **УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАСЕЙНОВ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА И ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОЙ ВНЕШНЕЙ ЗОНЫ СКЛАДЧАТОСТИ**
Л.И. БОНДАРЕВА, А.В. ОСИПОВ

ГЕОЭКОЛОГИЯ

- 55 **ЭКОПОДСОСНОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРОДОВ**
В.В. РУКАВИЦЫН, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

- 66 **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ**
У.С. СЕРИКОВА, Э.М. АЛИЕВ, С.А. ГУРЯНОВ

- 80 **ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОВИНЦИИ ШОНЛА, ВЬЕТНАМ, И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ**
Ч.Н. НГУЕН, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- 89 **ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ЗИМБАБВЕ И ВОПРОСЫ ЭКЗОГЕННОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ**
П.А. ИГНАТОВ, Е.В. ПОЛЯКОВА, А.Л. МИНЕЕВ, С.А. МАЛЮТИН

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

- 101 **ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ РУБИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЕЖНОЕ, МУЗКОЛ-РАНГКУЛЬСКИЙ АНТИКЛИНОРИЙ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПАМИР**
А.К. ЛИТВИНЕНКО, Ш.А. ОДИНАЕВ

ТЕХНИКА ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

- 112 **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**
Д.Ю. СЕРИКОВ, Н.Д. ЦХАДАЯ, Д.А. БОРЕЙКО

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 120 **РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ М.А. ТУГАРОВОЙ И Е.А. ЖУКОВСКОЙ «НЕФТЯНАЯ ЛИТОЛОГИЯ»**
В.Г. КУЗНЕЦОВ

GEOLOGY

- 8 **NEW ICHNOLOGICAL FINDINGS IN HAUTERIVIAN SANDSTONES OF MOUNTAINOUS ADYGEYA**
DMITRY A. RUBAN, SVETLANA O. ZORINA, KONSTANTIN I. NIKASHIN, NOSHEEN MOHAMMAD

- 17 **IMPROVING FORECAST RELIABILITY OF CARBONATE RAW MATERIAL QUALITY**
KSENIYA V. REPINA

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 31 **STRUCTURE OF THE MOKTAKON FORMATION OF THE LOWER CAMBRIAN (YUZHNO-TUNGUSSKAYA OIL AND GAS REGION, LENO-TUNGUSSKAYA OIL AND GAS PROVINCE)**
ALEKSANDR R. RYAZANOV, EKATERINA S. NOSKOVA, GALINA V. AGAFONOVA, DMITRY V. POKROVSKY

- 44 **FORMATION CONDITIONS FOR SEDIMENTARY BASINS OF THE JUNCTION ZONE OF PRE-URAL TROUGH AND WEST URAL OUTER FOLDING**
LIANA I. BONDAREVA, ALEXANDER V. OSIPOV

GEOECOLOGY

- 55 **ECO-MAP OF AN URBAN AREA AS AN ESSENTIAL SPATIAL PLANNING ELEMENT**
VADIM V. RUKAVITSYN, VLADIMIR N. EKZARYAN

- 66 **MAIN DIRECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY**
ULYANA S. SERIKOVA, EMIN M. ALIYEV, SANAN A. GURYANOV

- 80 **ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL CONDITIONS IN SON LA PROVINCE (VIETNAM) AND NATURAL RISK PREVENTION**
TRONG NGHIA NGUYEN, VLADIMIR N. EKZARYAN

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 89 **GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF ZIMBABWE' DIGITAL ELEVATION MODEL AND ISSUES OF EXOGENIC METALLOGENY**
PETR A. IGNATOV, ELENA V. POLYAKOVA, ALEXANDER L. MINEEV, SERGEY A. MALYUTIN

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 101 **PARAGENETIC RELATIONS OF MINERALS IN THE SNEZHNOYE RUBY DEPOSIT, MUZKOL-RANGKUL ANTICLINORIUM, CENTRAL PAMIR**
ANDREY K. LITVINENKO, SHARIFJON A. ODINAEV

GEOLOGICAL EXPLORATION TECHNIQUE

- 112 **IMPROVED DRILLING RIGS FOR UNDERGROUND VARIOUS-PURPOSE PIPELINES IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS**
DMITRY Yu. SERIKOV, NIKOLAY D. TSKHADAYA, DMITRY A. BOREYKO

CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

- 120 **REVIEW OF THE BOOK "OIL LITHOLOGY" BY M.A. TUGAROVA AND E.A. ZHUKOVSKAYA**
VITALY G. KUZNETSOV



НОВЫЕ ИХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В ГОТЕРИВСКИХ ПЕСЧАНИКАХ ГОРНОЙ АДЫГЕИ

Д.А. РУБАН^{1,*}, С.О. ЗОРИНА², К.И. НИКАШИН², Н. МОХАММАД²

¹ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия

² ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение следов жизнедеятельности ископаемых организмов весьма полезно в геологических исследованиях. Однако информация об их распространении в осадочных комплексах отличается неполнотой. Полевое изучение песчаников готеривского возраста в северной части Горной Адыгеи (Западный Кавказ) позволило установить (возможно, впервые) в одной из их пачек наличие ихнофоссилий.

Цель. Целью настоящей работы является характеристика и интерпретация комплекса ихнофоссилий из готеривских песчаников Горной Адыгеи.

Материалы и методы. Полевые исследования включали поиск и документацию следов жизнедеятельности *in situ*, а также отбор образцов. В ходе лабораторных исследований проводилась идентификация ихнофоссилий, давались оценки биотурбации и ихнофацциальной принадлежности. Также с применением петрографического и рентгеновского методов анализировалось вещество, заполняющее наиболее часто встречаемые следы.

Результаты. Установленные ихнофоссилии отличаются низким разнообразием. Они идентифицированы как *Ophiomorpha* isp., *?Ophiomorpha* isp., *Skolithos* isp., *?Taenidium* isp. Последние встречаются наиболее часто, но именно они наименее четкие и представляют наибольшую сложность для определения. Биотурбация невелика, но возрастает в отдельных локусах. Ихнофацциальная интерпретация неоднозначна, т.к. одновременно присутствуют элементы ихнофацций *Scoyenia* и *Skolithos*.

Обсуждение результатов. Ихнофоссилии указывают на активность креветок, насекомых, червей на поверхности и внутри осадка. Последний накапливался в условиях наземной части речной дельты рядом с водотоком. По всей видимости, на рассматриваемой территории в готеривском веке располагалась островная суша.

Заключение. Результаты ихнологического изучения готеривских песчаников Горной Адыгеи как представляют интерес сами по себе, так и служат важным индикатором обстановки осадконакопления.

Ключевые слова: биотурбация, дельты, следы жизнедеятельности, условия осадконакопления, нижний мел, свита Губс, Западный Кавказ

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование проведено за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («Приоритет-2030»).

Для цитирования: Рубан Д.А., Зорина С.О., Никашин К.И., Мохаммад Н. Новые ихнологические находки в готеривских песчаниках Горной Адыгеи. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):8—16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-8-16>

Статья поступила в редакцию 07.07.2024
Принята к публикации 02.11.2024
Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

NEW ICHNOLOGICAL FINDINGS IN HAUTERIVIAN SANDSTONES OF MOUNTAINOUS ADYGEYA

DMITRY A. RUBAN^{1,*}, SVETLANA O. ZORINA², KONSTANTIN I. NIKASHIN², NOSHEEN MOHAMMAD²

¹ Southern Federal University
43, 23 Liniya str., Rostov-on-Don 344019, Russia

² Kazan (Volga Region) Federal University
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

ABSTRACT

Background. Trace fossils are highly informative objects for geological investigations. However, the information about their distribution in sedimentary settings lacks completeness. The conducted field studies of sandstones of the Hauterivian age in the northern part of Mountainous Adygeya (Western Caucasus) established, to the best of our knowledge, for the first time the presence of ichnofossils in one of their members.

Aim. Characterization and interpretation of an ichnofossil assemblage from Hauterivian sandstones of Mountainous Adygeya.

Materials and methods. Field investigations included in-situ search and documentation of ichnofossils, as well as their sampling. In the course of laboratory investigations, ichnofossils were interpreted; bioturbation and ichnofacies were evaluated. In addition, petrographical and XRD methods were used to analyze the matter that fills the most widespread traces.

Results. The established ichnofossils are distinguished by a low diversity. They can be identified as *Ophiomorpha* isp., ?*Ophiomorpha* isp., *Skolithos* isp., ?*Taenidium* isp. The latter species, although occurring most commonly, are least clear and hard to identify. Bioturbation is weak, although increasing in particular loci. The ichnofacial interpretation is uncertain due to the coexistence of elements typical of the *Scoyenia* and *Skolithos* ichnofacies.

Discussion. The studied ichnofossils indicate the activity of shrimps, insects, and worms both on the surface and inside the sediment. The latter accumulated under the conditions of a subaerial part of the river delta near its stream section. Apparently, in the Hauterivian Stage, the area under study was represented by a land mass.

Conclusion. The results obtained during the conducted ichnological study of Hauterivian sandstones of Mountainous Adygeya are not only interesting per se, but also serve as an important indicator of sedimentation environments.

Keywords: bioturbation, deltas, trace fossils, sedimentation environments, Lower Cretaceous, Gubs Formation, Western Caucasus

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

Financial disclosure: This paper has been supported by the Kazan Federal University Strategic Academic Leadership Program (PRIORITY-2030).

For citation: Ruban D.A., Zorina S.O., Nikashin K.I., Mohammad N. New ichnological findings in Hauterivian sandstones of Mountainous Adygeya. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):8—16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-8-16>

Manuscript received 07 July 2024

Accepted 02 November 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Изучение следов жизнедеятельности ископаемых организмов имеет огромное значение для понимания биотической истории и геологической эволюции, помогает при поисках месторождений полезных ископаемых [8]. Данное направление исследований традиционно присуще отечественной науке, и в настоящее время российскими учеными уделяется значительное внимание ихнофоссилиям: в частности, важные результаты были получены в недавнее время для палеозоя и мезозоя Русской плиты [1, 5], протерозоя Урала [3], мезозоя Сибири [4]. Тем не менее изученность следов жизнедеятельности в осадочных толщах многих регионов сравнительно невелика, что определяет наличие значительного потенциала для новых исследований.

Горная Адыгея представляет собой территорию, известную исключительным богатством геологических и палеонтологических феноменов и расположенную в западной части горного сооружения Большого Кавказа. На ее севере распространены аллювиальные песчаники готеривского возраста (ранний мел). При проведении полевых исследований летом 2023 г. в них был обнаружен (возможно, впервые) целый комплекс ихнофоссилий. Целью настоящей работы является его характеристика и интерпретация. С учетом немногочислен-

ности палеонтологических остатков в указанных породах новые находки имеют большое значение для понимания палеоэкологических и палеогеографических особенностей данной территории. Кроме того, уникальность этих находок определяется еще и редкостью самих аллювиальных отложений среди мезозойских толщ западной части Большого Кавказа.

Материалы и методы

Изученное ихнологическое местонахождение приурочено к заброшенному карьере, расположенному на склоне г. Шахан в 1,5 км к северо-востоку от пос. Каменномоетского в Майкопском районе Республики Адыгея (рис. 1). В нем представлены преимущественно песчаники, которые могут быть отнесены к свите Губс и, следовательно, датированы готеривским веком раннемеловой эпохи. Общая характеристика этих отложений была дана В.В. Друщицом и И.А. Михайловой [2]; также публиковались некоторые результаты их изучения непосредственно в данном карьере [6, 12]. Песчаники крупно-, средне- и мелкозернистые, олигомиктовые (кварц-полевошпатовые) и полимиктовые, слабо- и среднесцементированные, с гравийными и галечными включениями и фрагментами обугленной древесины. Представленная



Рис. 1. Географическое положение изученного местонахождения ихнофоссилий

Fig. 1. Geographical location of the studied ichnofossil locality

в карьере толща отчетливо разделяется на две пачки. В нижней пачке (~20 м) песчаники косо-слоистые. В верхней пачке (~10 м) преобладает субпараллельное напластование. Контакт между пачками резкий. Ближе к основанию верхней пачки имеется интервал (~2 м) тонкого переслаивания песчаных и глинистых пород. Следы жизнедеятельности установлены в песчаниках верхней пачки непосредственно выше отмеченного интервала переслаивания.

В полевых условиях были осуществлены поиск ихнофоссилий, их фотографирование *in situ* и опробование. При этом обращалось внимание на их морфологическое разнообразие. Далее в лабораторных условиях проводилась их идентификация и ихнофациальная интерпретация. Соответствующие процедуры опирались на общеизвестные принципы ихнологических исследований [8, 14]. На основании полевых наблюдений была дана оценка характера биотурбации, в том числе с использованием показателя Тэйлора — Голдринга (BI), значения которого изменяются от 0 (отсутствие ихнофоссилий) до 6 (тотальная переработка породы) [8].

Также было проведено детальное изучение состава вещества, заполняющего наиболее часто встречаемые следы жизнедеятельности. Для этого в лабораториях Института геологии и нефтегазовых технологий КФУ (г. Казань) был выполнен петрографический и рентгеновский количественный фазовый анализ. Для первого применялся оптический поляризационный микроскоп «Carl Zeiss AxioLab» с цифровой камерой «AxioCam 506 color». Для рентгенографических исследований использовался дифрактометр «D2 Phaser» («Bruker»); дифрактограммы сопоставлялись с эталонной международной картотекой порошковых рентгенографических стандартов PDF-2 ICDD.

Результаты

Установленные в готеривских песчаниках ихнофоссилии различны, однако в целом разнообразие их низкое (рис. 2). Среди них выделяются горизонтально, реже наклонно и вертикально ориентированные «трубочки», заполненные песчаным материалом и имеющие четко выраженные «стенки». Их наблюдаемая длина, которая может быть значительно меньше фактической, достигает 5 см и более, а диаметр составляет около 0,5 см (реже до 1 см). «Стенки» толщиной 0,1—0,3 см представляют собой результат футеровки. При ориентации перпендикулярно поверхности обнажения «трубочки» кажутся пустыми из-за

процессов выветривания и могут быть спутаны с фрагментами ростров белемнитов. Эти следы отнесены к ихнороду *Ophiomorpha* (рис. 2). Рядом с ними встречаются по-разному ориентированные вытянутые следы, которые также выглядят как «трубочки» и имеют аналогичные размеры, но при этом отличаются значительно менее правильной формой и нечетко выраженной футеровкой. Условно они определены как *?Ophiomorpha* *isp.* (рис. 2). Единично встречены небольшие (первые миллиметры в диаметре), вертикально ориентированные следы, которые рельефно выступают (приблизительно на 1 см) с нижней, выветрелой части слоев песчаников, как бы «протыкая» их. Они отнесены к ихнороду *Skolithos* (рис. 2).

Наиболее распространены следы, часто ориентированные субпараллельно напластованию, которые имеют облик галерей, состоящих из отдельных сегментов «комковатого» облика, что может быть проявлением менискового строения. Максимальная наблюдаемая длина этих следов измеряется первыми сантиметрами, а диаметр может превышать 1 см. Фактически они, скорее всего, длиннее, но при изучении массива породы фиксируются лишь отдельными фрагментами. Идентификация их представляет сложность в силу нечеткой проявленности их взаимоотношения друг с другом в породе. Их детальное изучение с применением петрографического и рентгеновского анализа (рис. 3) показало, что заполнены они мелкозернистым песчаным веществом, представленным угловатыми зернами кварца свежего облика (50—60%) размером преимущественно 0,1—0,2 мм (реже — окатанными до 0,4 мм), угловатыми зернами калиевого полевого шпата (10—20%) размером 0,2—0,3 мм, обломками горных пород (кремней) (10—20%) размером 0,2—0,3 мм. Единично отмечаются зерна плагиоклаза, чешуйки биотита и мусковита. Сортировка хорошая, окатанности почти нет. Присутствуют также глинистые и железистые минералы. Цемент по краю хода илоеда глинисто-лимонитовый базальный (30—40%), в центре хода — хлоритизированный, пленочный и контактный. Такие различия состава цемента связаны с тем, что краю следа соответствовал своего рода геохимический барьер. Пористость участками достигает 20%. С долей условности эти следы жизнедеятельности определены как *?Taenidium* *isp.* (рис. 2).

В целом в изученных слоях готеривских песчаников биотурбация невелика, однако она явно присутствует и отличается разнородностью. Особо следует отметить разную пространственную

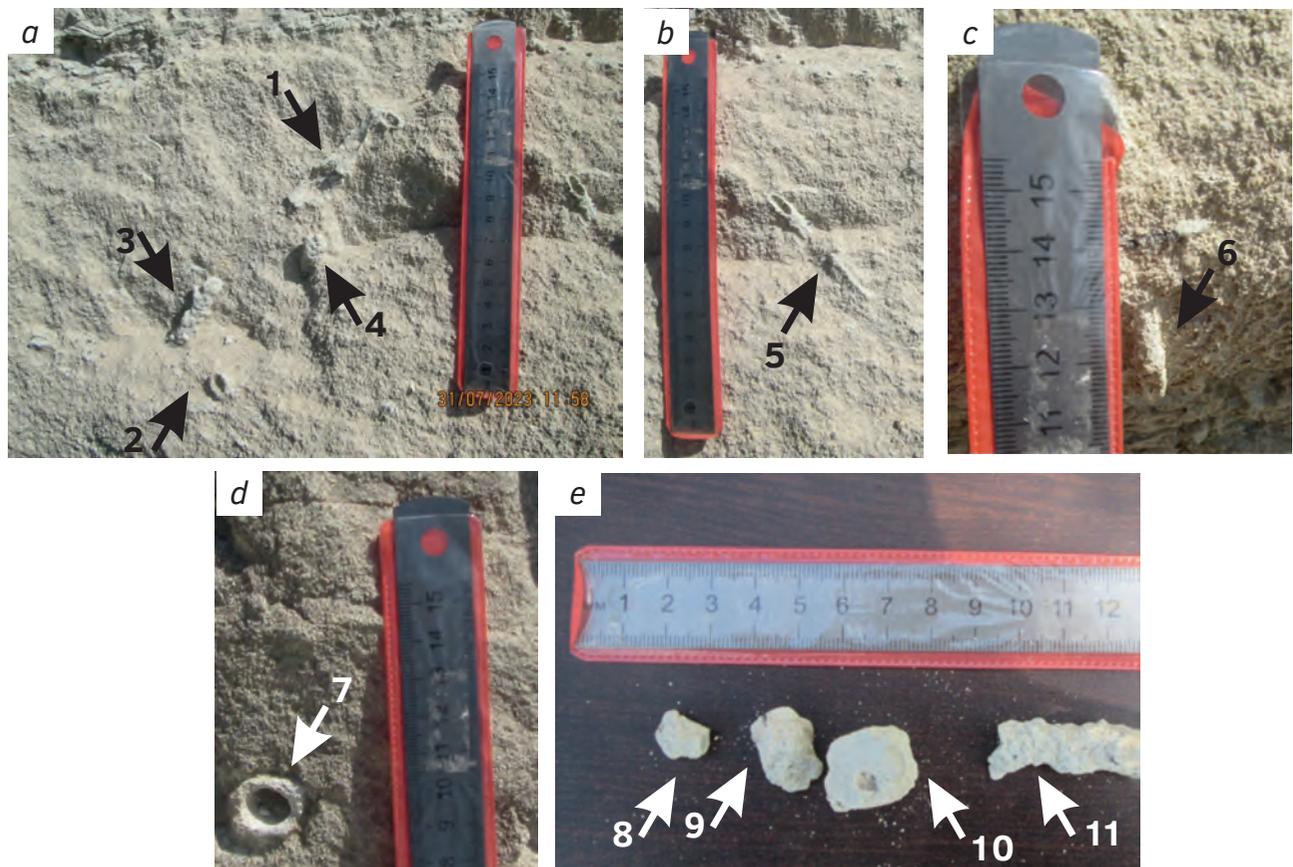


Рис. 2. Готеривские ихнофоссилии из изученного местонахождения: а—d — в поперечном профиле пластов песчаника, е — обломки следов, выделенные из песчаника. Определенные ихнотаксоны: 1, 2, 5, 7 — *Ophiomorpha* isp., 3, 4 — ?*Ophiomorpha* isp., 6 — *Skolithos* isp., 8—11 — ?*Taenidium* isp.

Fig. 2. Hauterivian ichnofossils from the studied locality: а—d — in cross sections of sandstone layers, е — fragments extracted from sandstone. Identified ichnotaxa: 1, 2, 5, 7 — *Ophiomorpha* isp., 3, 4 — ?*Ophiomorpha* isp., 6 — *Skolithos* isp., 8—11 — ?*Taenidium* isp.

ориентацию следов жизнедеятельности (рис. 2). При этом их пересечений не зафиксировано. Значение показателя VI равно 2, но в отдельных локусах слоя повышается до 3. Идентифицированные ихнотаксоны и характер биотурбации не позволяют однозначно установить ихнофацию. В рассматриваемом случае присутствуют элементы ихнофаций *Scoyenia*, характерной для континентальных условий [8], и *Skolithos*, более типичной для прибрежно-мелководных условий [8].

Отметим, что на внешний облик ихнофоссилий должны были повлиять диа- и эпигенетические процессы, а также физическое выветривание песчаников после их экспонирования на поверхности в недавнее время, т.е. после заложения карьера. Последнее также влияет на сохранность следов на экспонированной поверхности пластов песчаника, в особенности в их поперечном профиле. Безусловно, лучшую сохранность демонстрируют

следы *Ophiomorpha* isp., в том числе из-за футеровки стенок, усиливающей их прочность. При этом выветривание песчаника в ряде случаев привело к одностороннему разрушению «трубочек», в результате чего они представлены в продольном сечении. Различия вещественного состава материала заполнения *Taenidium* isp. между центральной и краевой частями, вероятно, способствовали их обособлению в породе.

Обсуждение результатов

Идентифицированные ихнофоссилии указывают на активность древних организмов как на поверхности песка, так и внутри его. С учетом ранее предложенных интерпретаций соотношения ихнотаксонов с конкретными группами организмов [9, 11, 13] можно предполагать деятельность креветок, насекомых и червей на изученной территории в готеривском веке.

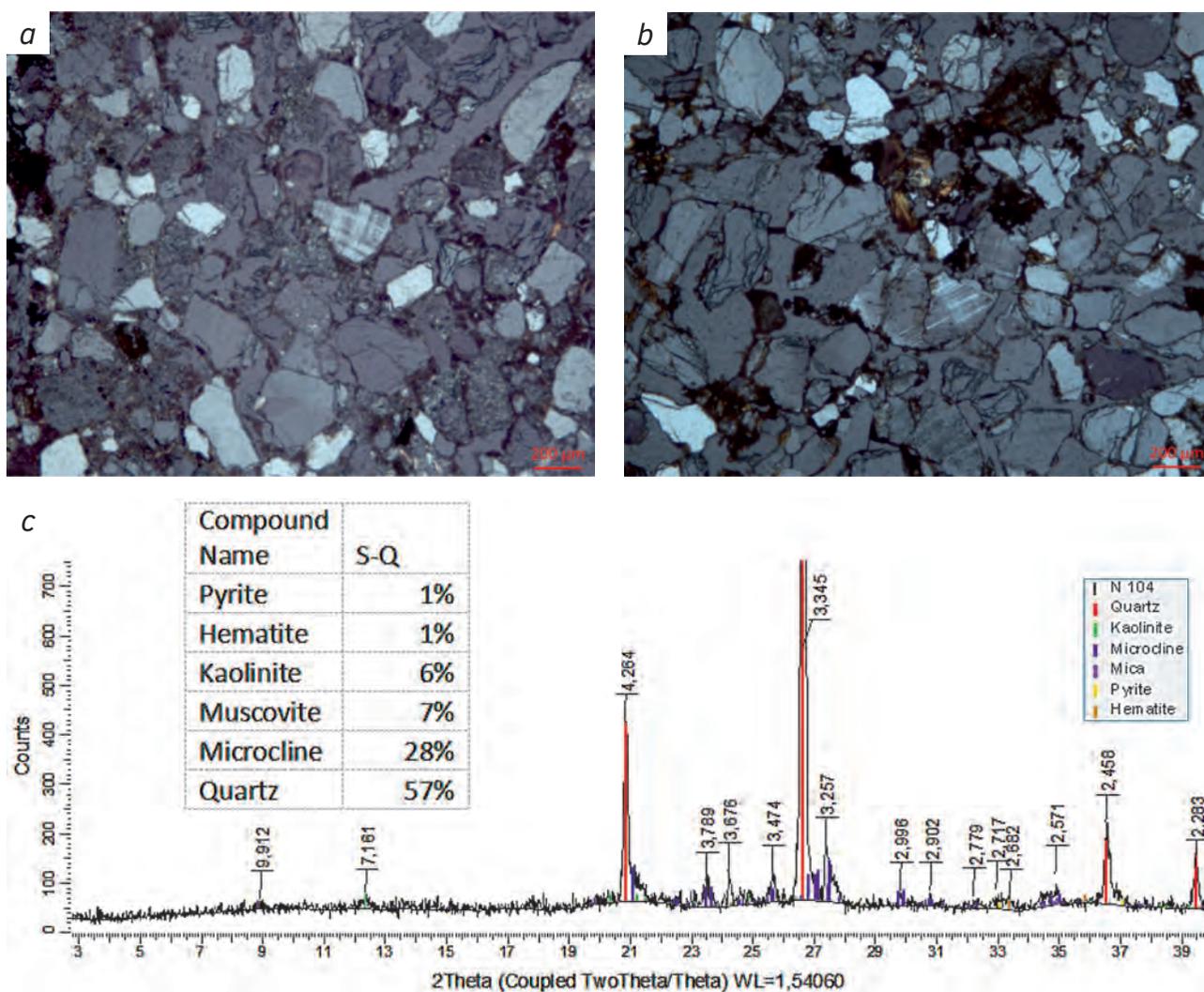


Рис. 3. Песчаное вещество, заполняющее след жизнедеятельности *Taenidium* isp.: a, b — шлифы (николи скрещены, линейка — 200 мкм, a — краевая часть следа, b — центральная часть следа), c — рентгенограмма
Fig. 3. Sandy matter filling the trace fossil *Taenidium* isp.: a, b — thin sections (P.P.L., scale — 200 μ m, a — marginal part of trace, b — central part of trace), c — XRD diagram

Таксономический состав комплекса ихнофоссилий и характер биотурбации довольно примечательны и однозначно указывают на накопление песчаных пород вблизи водотока в наземной (возможно, периодически затапливаемой морем) части дельты древней реки [8]. В этой связи следует отметить, что свита Губс характеризуется не только литологическим своеобразием, отличающим ее от подстилающих и перекрывающих ее пород, но и не вполне ясной природой. В ее составе присутствуют разные по составу и, вероятно, фациальной принадлежности отложения (в том числе карбонатные), в которых встречены растительные остатки и редкие морские беспозвоночные (в частности, аммониты) [2, 7]. Аллювиальное

происхождение косослоистых песчаников, составляющих нижнюю пачку в изученном карьере, не вызывает сомнения; они формировались непосредственно в русле реки, которая протекала в северо-западном направлении по прибрежной равнине крупного острова [12]. Что касается верхней пачки, то с учетом интерпретаций, основанных на ихнологических данных, можно предположить ее формирование в условиях дельты, развивавшейся на бывшей аллювиальной равнине при изменении профиля равновесия и смещении береговой линии, связанных с резким подъемом глобального уровня моря в готеривском веке [10], а также при значительных объемах выноса обломочного материала из внутренних областей суши.

Представления об островной суше, периодически возникавшей в мезозойских морских бассейнах западной части Большого Кавказа вследствие тектонических процессов, остаются предельно неполными. С учетом полученных результатов, указывающих на аллювиальную природу не только нижней, но и верхней пачки толщи песчаников, можно говорить о довольно продолжительном существовании такой суши на изученной территории в готеривском веке. Наличие следов жизнедеятельности в песчаниках указывает на развитие в ее пределах дельтовой экосистемы.

Заключение

Проведенное изучение ихнофоссилий из готеривских песчаников Горной Адыгеи позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, в пачке песчаников с субпараллельной слоистостью установлено присутствие *Ophiomorpha* isp., *?Ophiomorpha* isp., *Skolithos* isp., *?Taenidium* isp. Во-вторых, биотурбация невелика, хотя локально

несколько усиливается. В-третьих, ихнологические данные свидетельствуют об осадконакоплении в наземной части речной дельты.

С практической точки зрения новые находки ихнофоссилий указывают на значительную уникальность готеривских песчаников Горной Адыгеи, которые примечательны еще и сами по себе в силу аллювиальной природы. Это важно для обоснования наличия объектов геологического наследия, составляющих новый вид геологических ресурсов, имеющих социально-экономическое значение (в силу их важности для развития геологической науки, образования и туризма).

Информация, полученная в ходе настоящей работы, говорит о необходимости более тщательно изучать свиты Губс на предмет возможного присутствия следов жизнедеятельности, а также их распространения в связи с фациальной изменчивостью отложений. С учетом распространенности и мощности данной свиты потенциал ее ихнологического изучения представляется значительным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабошкин Е.Е. Сверления *Gastrochaenolites* ips. в фосфоритах зоны *Dorsoplanites panderi* (волжский ярус верхней юры) Москвы и Подмосковья. Труды Геологического института. 2017. № 615. С. 320—325.
2. Друщиц В.В., Михайлова И.А. Биостратиграфия нижнего мела Северного Кавказа. М.: Изд-во МГУ, 1966. 190 с.
3. Колесников А.В., Десяткин В.Д., Терехова В.А., Паньков В.Н., Маслов А.В. Древнейшие ископаемые следы жизнедеятельности в ассоциации с биотой эдиакарского типа из верхнего венда Южного Урала. Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2023. № 2. С. 281—288.
4. Попов А.Ю., Шурыгин Б.Н. Ихнотаксон *Rosselia* из базальных горизонтов мыса Аиркат (север Сибири). Геология и геофизика. 2020. № 2. С. 263—274.
5. Староверов В.Н., Гребенникова А.В. Генетическое значение ихнофоссилий для литолого-фациальных исследований пород среднего девона и нижнего карбона на юго-востоке Волго-Уральской антеклизы. Недра Поволжья и Прикаспия. 2018. № 95. С. 29—50.
6. Рубан Д.А. Геологические исследования в Горной Адыгее. Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2024. 149 с.
7. Стратиграфический словарь СССР. Триас, юра, мел. Л.: Недра, 1979. 592 с.
8. Buatois L.A., Mangano M.A. Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 358 p.
9. Frey R.W., Howard J.D., Pryor W.A. Ophiomorpha: Its morphologic, taxonomic, and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 1978. V. 23. P. 199—229.
10. Haq B.U. Cretaceous eustasy revisited. *Global and Planetary Change*. 2014. V. 113. P. 44—58.
11. Rodríguez-Tovar F.J., Alcalá L., Cobos A. Taenidium at the lower Barremian El Hoyo dinosaur tracksite (Teruel, Spain): Assessing palaeoenvironmental conditions for the invertebrate community. *Cretaceous Research*. 2016. V. 65. P. 48—58.
12. Ruban D.A. Islands in the Caucasian Sea in Three Mesozoic Time Slices: Novel Dimension of Geoheritage and Geotourism. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. V. 10. P. 1300.
13. Thacker H.A., Hembree D.I. Neoichnological study of two species of burrowing darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) from larval to adult stages. *Ichnos*. 2021. V. 28. P. 290—308.
14. Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Amsterdam: Elsevier, 2012. 924 p.

REFERENCES

1. Baraboshkin E.E. Borings of *Gastrochaenolites ips.* in phosphorites of the Zone Dorsoplanites *panderi* (Volgian Stage of the Upper Jurassic) of Moscow and Moscow's vicinities. Proceedings of the Geological Institute. 2017. No. 615. P. 320—325 (In Russ.).
2. Drushits V.V., Mikhailova I.A. Biostratigraphy of the Lower Cretaceous of the Northern Caucasus. Moscow: MSU, 1966. 190 p. (In Russ.).
3. Kolesnikov A.V., Desyatkin V.D., Terekhova V.A., Pan'kov V.N., Maslov A.V. The oldest trace fossils in association with the biota of Ediacaran type from the Upper Vendian of the South Urals. Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences. 2023. No. 2. P. 281—288 (In Russ.).
4. Popov A.Yu., Shurygin B.N. An ichnotaxon *Rosselia* from the basal horizons of the Cap Airkat (North Siberia). Geology and Geophysics. 2020. No. 2. P. 263—274 (In Russ.).
5. Staroverov V.N., Grebennikova A.V. Genetic significance of ichnofossils for the lithologic-facial investigations of Middle Devonian and Early Carboniferous rocks in the southeast of the Volga-Ural antecline. Interiors of Volga and Precaspian. 2018. No. 95. P. 29—50 (In Russ.).
6. Ruban D.A. Geological investigations in Mountainous Aдыгея. Rostov-on-Don: DGTU-Print, 2024. 149 p. (In Russ.).
7. Stratigraphical dictionary of the USSR. Leningrad: Nedra, 1979. 592 p. (In Russ.).
8. Buatois L.A., Mangano M.A. Ichnology: Organism-substrate interactions in space and time. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 358 p.
9. Frey R.W., Howard J.D., Pryor W.A. Ophiomorpha: Its morphologic, taxonomic, and environmental significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1978. V. 23. P. 199—229.
10. Haq B.U. Cretaceous eustasy revisited. Global and Planetary Change. 2014. V. 113. P. 44—58.
11. Rodríguez-Tovar F.J., Alcalá L., Cobos A. Taenidium at the lower Barremian El Hoyo dinosaur tracksite (Teruel, Spain): Assessing palaeoenvironmental conditions for the invertebrate community. Cretaceous Research. 2016. V. 65. P. 48—58.
12. Ruban D.A. Islands in the Caucasian Sea in Three Mesozoic Time Slices: Novel Dimension of Geoheritage and Geotourism. Journal of Marine Science and Engineering. 2022. V. 10. P. 1300.
13. Thacker H.A., Hembree D.I. Neoichnological study of two species of burrowing darkling beetles (Coleoptera: Tenebrionidae) from larval to adult stages. Ichnos. 2021. V. 28. P. 290—308.
14. Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Amsterdam: Elsevier, 2012. 924 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рубан Д.А. — работа в Южном федеральном университете и проводя инициативные исследования, разработал концепцию статьи, предпринял полевые исследования, идентифицировал ихнотаксоны, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Зорина С.О. — работа в Казанском федеральном университете и проводя инициативные исследования, провела лабораторное изучение образцов, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Никашин К.И. — обучаясь в аспирантуре Казанского федерального университета и проводя инициативные исследования, провел лабораторное изучение образцов, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry A. Ruban — working at the Southern Federal University and conducting initiative research, developed the article concept, carried out field investigations, identified ichnotaxa, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Svetlana O. Zorina — working at the Kazan Federal University and conducting initiative research, carried out laboratory investigations of samples, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Konstantin I. Nikashin — studying at the post-graduate program at the Kazan Federal University and conducting initiative research, carried out laboratory investigations of samples, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Мохаммад Н. — обучаясь в аспирантуре Казанского федерального университета и проводя инициативные исследования, провел лабораторное изучение образцов, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Nosheen Mohammad — studying at the post-graduate program at the Kazan Federal University and conducting initiative research, carried out laboratory investigations of samples, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рубан Дмитрий Александрович* — Ph. D. (Университет Претории, ЮАР), кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент Южного федерального университета.
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия
e-mail: ruban-d@mail.ru
тел.: +7 (903) 4634344
SPIN-код: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

Dmitry A. Ruban* — Ph. D. (University of Pretoria, South Africa), Cand. Sci. (Geol.-Min.), Docent, Associate Professor at the Southern Federal University.
43, 23 Liniya str., Rostov-on-Don 344019, Russia
e-mail: ruban-d@mail.ru
tel.: +7 (903) 4634344
SPIN-code: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

Зорина Светлана Олеговна — доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор Казанского федерального университета.
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: svzorina@yandex.ru
SPIN-код: 1312-3910
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

Svetlana O. Zorina — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Docent, Professor at the Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya Street, Kazan 420008, Russia
e-mail: svzorina@yandex.ru
SPIN-code: 1312-3910
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6315-1672>

Никашин Константин Игоревич — аспирант Казанского федерального университета.
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: kostya97@inbox.ru
SPIN-код: 9668-1451
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

Konstantin I. Nikashin — post-graduate student at the Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia
e-mail: kostya97@inbox.ru
SPIN-code: 9668-1451
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4749-9895>

Мохаммад Ношин — аспирант Казанского федерального университета.
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: nosheen.g.mohammad@gmail.com
SPIN-код: 5807-0080
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>

Nosheen Mohammad — post-graduate student at the Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia
e-mail: nosheen.g.mohammad@gmail.com
SPIN-code: 5807-0080
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3893-041X>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗА КАЧЕСТВА КАРБОНАТНОГО СЫРЬЯ

К.В. РЕПИНА

ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела»
ул. Челюскинцев, 291, Донецк 83004, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Проблема селективной отработки сортов нерудного сырья весьма актуальна, поскольку сокращает цепочку операций переработки и обогащения сырья, уменьшает отходы горного производства. Геолого-технологическое картирование решает эту задачу для многих видов сырья. Для его проведения на месторождениях карбонатных пород необходимо предварительно выполнить прогнозирование участков карстовых образований в толще первичных пород, которое не реализовано на производстве.

Цель. Разработка методики и проведение геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита.

Материалы и методы. Фактическим материалом для исследования служили результаты геолого-разведочных работ масштаба 1:200 000, документация керна разведочных скважин, химические анализы керновых и технологических проб при эксплуатации месторождений карбонатных пород.

Результаты. Расположение месторождений карбонатных пород на сопряжении двух тектонических структур — Донбасса и Приазовского блока Украинского щита, имевших в течение геологической истории развития региона разные знаки вертикальной составляющей тектонических движений, привело к блочной структуре карбонатной толщи. Глубина залегания кристаллического фундамента и мощность карбонатной толщи, установленные в блоках, позволяют определить пространственное положение блоков с полным геологическим разрезом. Большая глубина залегания кристаллического фундамента и стабильное положение блока обеспечивали большую мощность карбонатной толщи и сохранность высокого качества первичных карбонатных пород. Получено уравнение регрессии между глубиной залегания кристаллического фундамента и мощностью карбонатной толщи, которое обеспечивает первоначальный прогноз расположения блоков высокого качества карбонатного сырья. На этой основе разработана методика выделения блоков однородного карбонатного сырья с последующей разбивкой по сортам, реализация которой на участках Новотроицкого месторождения приведена в статье.

Заключение. С блоковой тектонической структурой геологического строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита связана сохранность первичных пород и качество карбонатного сырья. Геолого-технологическое картирование карбонатного сырья следует проводить после детального анализа тектонического строения, который обеспечивает выделение зон эпигенетических преобразований первичных карбонатных пород. Границы сортовых блоков карбонатного сырья рационально проводить не в пределах месторождения, а в границах отдельных блоков геологического строения региона.

Ключевые слова: карбонатные породы, качество минерального сырья, геолого-технологическое картирование, тектонические зоны, зона сочленения Донбасса с Приазовским блоком

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Репина К.В. Повышение достоверности прогноза качества карбонатного сырья. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):17–30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-17-30>

Статья поступила в редакцию 26.07.2024

Принята к публикации 28.11.2024

Опубликована 23.12.2024

IMPROVING FORECAST RELIABILITY OF CARBONATE RAW MATERIAL QUALITY

KSENIYA V. REPINA

*Republican Academic Research and Engineering Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Mine Surveying
291, Chelyuskintsev St., Donetsk 83004, Donetsk People Republic, Russian Federation*

ABSTRACT

Background. Selective mining of non-metallic raw materials provides the possibility of shortening the chain of processing and beneficiation operations, while reducing mining waste. Geological and technological mapping facilitates implementation of this approach for many types of raw materials. Implementation of selective mining of carbonate rock deposits requires preliminary forecasting of karst formations in the strata of primary rocks.

Aim. Development of a methodology for geological and technological mapping and to carry out its implementation in the carbonate rock deposits of the Donbass junction zone with the Priazovsky block of the Ukrainian shield.

Materials and methods. The research materials involved the data obtained during geological exploration works on a scale of 1:200,000, documentation of the core of exploration wells, chemical analyses of core and technological samples during the exploitation of carbonate rock deposits.

Results. The location of carbonate rock deposits at the junction of two tectonic structures, i.e., Donbass and the Priazovsky block of the Ukrainian shield, which had different signs of the vertical component of tectonic movements during the geological history of the region, led to the block structure of the carbonate strata. The depth of the crystalline basement and the thickness of the carbonate strata installed in the blocks make it possible to determine the spatial position of the blocks with a complete geological section. The large depth of the crystalline basement and the stable position of the block ensured a significant thickness of the carbonate column and the preservation of high-quality primary carbonate rocks. A regression equation between the depth of the crystalline basement and the thickness of the carbonate column is derived, which provides a preliminary forecast of the location of blocks of high-quality carbonate raw materials. This formed the basis for the development of a methodology for identification of blocks of homogeneous carbonate raw materials with subsequent breakdown by grades. The implementation of this methodology in the areas of the Novotroitsk field is described.

Conclusion. The block tectonic structure of the geological formation of the Donbass junction zone with the Priazovsky block of the Ukrainian shield is associated with the preservation of primary rocks and the quality of carbonate raw materials. Geological and technological mapping of carbonate raw materials should be carried out after a detailed analysis of the tectonic structure, which ensures the identification of zones of epigenetic transformations of primary carbonate rocks. It is rational to draw the boundaries of the varietal blocks of carbonate raw materials within the boundaries of individual blocks of the geological structure of the region, rather than within the boundaries of the deposit.

Keywords: carbonate rocks, quality of mineral raw materials, geological and technological mapping, tectonic zones, junction zone of Donbass and Priazovsky block

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

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

For citation: Repina K.V. Improving the reliability of the forecast of the quality of carbonate raw materials. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):17—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-17-30>

Manuscript received 26 July 2024

Accepted 28 November 2024

Published 23 December 2024

Введение

При разработке месторождений нерудных полезных ископаемых основной проблемой является сортовая отработка сырья в соответствии с требованиями отраслей промышленности. Для ее реализации рекомендовано проведение геолого-технологического картирования еще на стадиях разведки месторождения [4]. Это позволяет снизить затраты на обогащение и переработку сырья, уменьшить отходы горного производства, прогнозировать участки заложения карьеров и направления расширения их работы [1]. Месторождения карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита были основным источником карбонатного сырья на Украине. Здесь разрабатываются Еленовское, Новотроицкое и Каракубское месторождения, в резерве находятся Родниковское, Южно-Шевченковское и Первомайское. Целью данной статьи является разработка методики и проведение геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком Украинского щита (УЩ).

Материалы и методы

Фактическим материалом для исследования служили результаты геолого-разведочных работ масштаба 1:200 000, документация керна, химические анализы проб, данные эксплуатации месторождений карбонатных пород.

Зона сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ — это тектонический шов, разделяющий Донбасс и Приазовский мегаблок УЩ. Южной и северной границами региона считаются субширотные соответственно Южно- и Северо-Волновахский разломы, западной — глубинный Криворожско-Павловский разлом, восточной — Грузско-Еланчикский разлом. Кроме региональных разломов в исследуемой структуре прослежены субмеридиональные, субширотные и диагональные разломы более низкого ранга. Основные черты геологического строения региона показаны на рисунке 1.

Сформированная в докембрии структура изменялась в герцинский и альпийский этапы тектономагматической активизации Восточно-Европейской платформы [6]. Тектонические движения в регионе исследования происходили в течение всего времени формирования Днепровско-Донецкого авлакогена и разделены на три этапа:

- доскладчатый ($D_3—C_1$) проявился крупными разломами северо-западного простирания;
- складчатый ($C_3—T$) характеризовался тангенциальными движениями, которые привели к формированию складчатой структуры субширотного простирания и разломов северо-восточного простирания;
- с послескладчатым ($J_3—K_1$) этапом связано формирование поперечных складок, купольных структур, разломов северо-западного и субмеридионального простирания.

В геологическом разрезе зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ четко выражены три структурных этажа, образованных в разные периоды ее развития. Они разделены поверхностями несогласия. Нижний структурный этаж сформирован в докембрии и представлен архей-протерозойскими гранитами, мигматитами и гнейсами. Они образуют кристаллический фундамент для вышележащих отложений региона. Выходы архей-протерозойских пород на дневную поверхность встречаются по берегам рек и верховьям балок, вдоль южной границы региона. По свойствам они аналогичны породам северной окраины Приазовского мегаблока.

К среднему герцинскому этажу относят осадочно-вулканогенные толщи девона и терригенно-карбонатную толщу карбона. Отложения карбона трансгрессивно залегают на различных свитах девона или с резким несогласием — на породах кристаллического фундамента. Карбонатная толща представлена отложениями турнейского и визейского ярусов нижнего карбона и, согласно последней утвержденной стратиграфической схеме, относится к микроволновахской серии нижнего карбона (C_1, mv). Выше по разрезу известняки визейского яруса сменяются глинистыми и песчаными сланцами, песчаниками

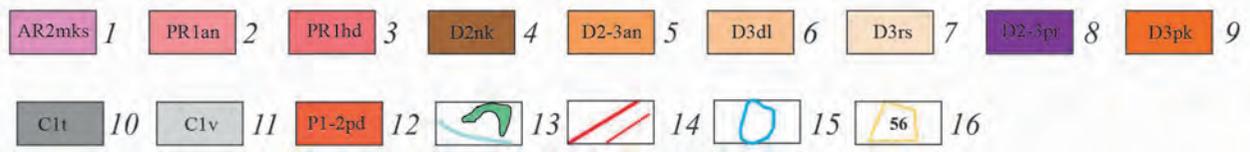
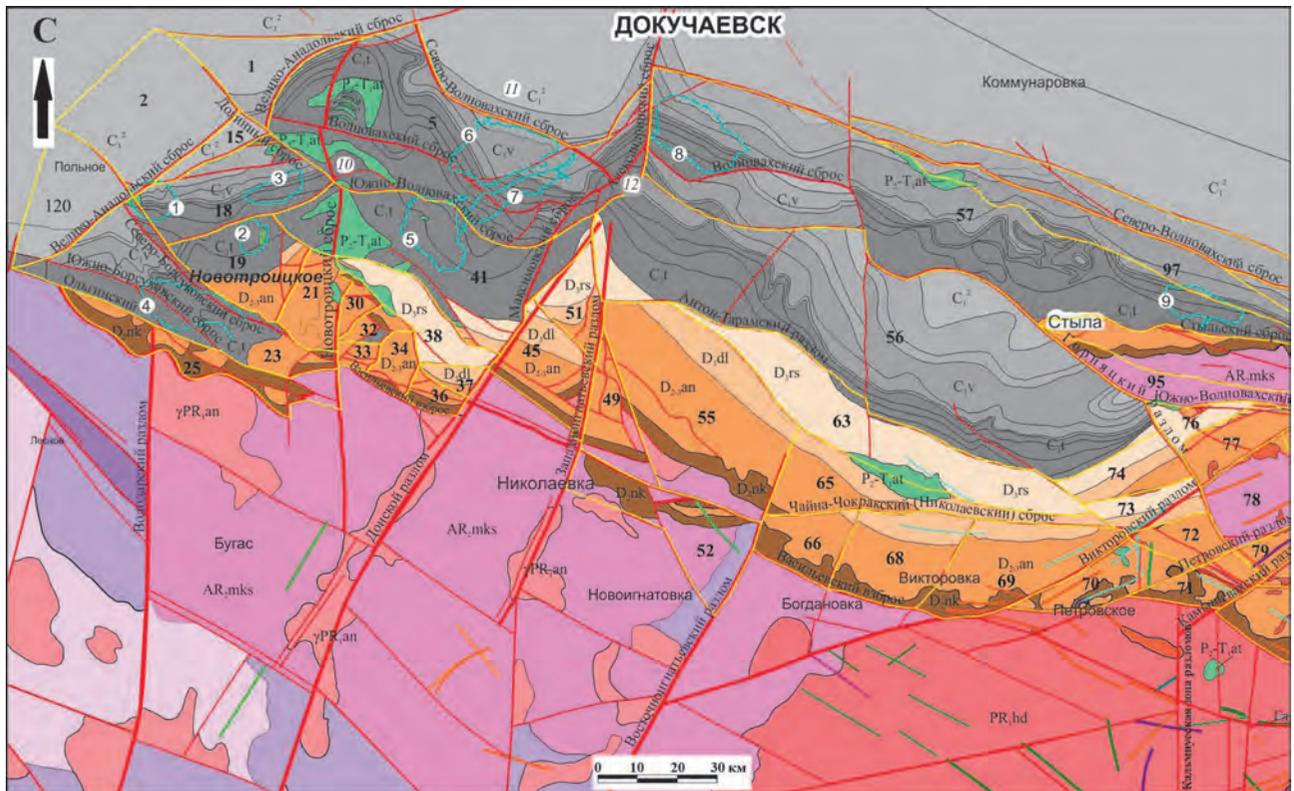


Рис. 1. Карта геологического строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ (по данным Приазовской КГРЭ): 1 — ассоциация максимовских гранодоритов (AR₂mks), 2 — анадольский комплекс (PR₁an), 3 — хлебодаровский комплекс (PR₁hd), 4 — николаевская свита (D₂nk), 5 — антоновская свита (D₂₋₃an), 6 — долгинская свита (D₃dl), 7 — раздольненская свита (D₃rs), 8 — приазовский комплекс (D₂₋₃pr), 9 — покрово-киреевский комплекс (D₃pk), 10 — турнейский ярус мокроволновухской серии (C₁t), 11 — визейский ярус мокроволновухской серии (C₁v), 12 — южно-донбасский комплекс (P₁₋₂pd), 13 — андезит-трахиандезитовый комплекс (P₂-T₁at); 14 — разломы (цифры в кружочках): 1 — Южно-Волновухский (Васильевский), 2 — Викторовский, 3 — Петровский, 4 — Камышевский, 5 — Комсомольский, 6 — Ксантовский, 7 — Горняцкий, 8 — Николаевский, 9 — Войковский, 10 — Северо-Волновухский, 11 — Волновухский, 12 — Антон-Тарамский; 15 — контуры карьеров; 16 — границы и номера тектонических блоков, выделенных по результатам данного исследования

Fig. 1. The map of the geological structure of the Donbass junction zone with the Priazovskiy block of the Ukrainian Shield (according to the data of the Priazov GRE): 1 — Association of Maximov granodiorites (AR₂mks), 2 — Anadolsky complex (PR₁an), 3 — Khlebodarovsky complex (PR₁hd), 4 — Nikolaevskaya suite (D₂nk), 5 — Antonovskaya suite (D₂₋₃an), 6 — Dolginskaya suite (D₃dl), 7 — Razdolnenskaya suite (D₃rs), 8 — Priazovskiy complex (D₂₋₃pr), 9 — Pokrovo-Kireevskiy complex (D₃pk), 10 — Tournai tier of the Mokrovolnovakha series (C₁t), 11 — the Vise tier of the Mokrovolnovakha series (C₁v), 12 — The South Donbass complex (P₁₋₂pd), 13 — andesite-trachyandesite complex (P₂-T₁at), 14 — faults (numbers in circles): 1 — Yuzhno-Volnovakhsky (Vasilyevsky), 2 — Viktorovsky, 3 — Petrovsky, 4 — Kamyshevakhsky, 5 — Komsomolsky, 6 — Xanthovsky, 7 — Gornyatsky, 8 — Nikolaevsky, 9 — Voykovsky, 10 — Severo-Volnovakhsky, 11 — Volnovakhsky, 12 — Anton-Taramsky; 15 — contours of quarries; 16 — boundaries and numbers of tectonic blocks identified by the results of this research

и алевролитами с прослойками известняков и угля серпуховского яруса нижнего карбона, башкирского

яруса среднего карбона. Эти породы ограничено распространены в северной части района.

В пермь-триасовый период герцинского этапа тектономагматической активизации Восточно-Европейской платформы в регионе проходило внедрение штоков и даек южно-донбасского ($P_{1-2}pd$) и андезит-трахиандезитового (P_2-T_1at) магматического комплекса пород, главным образом по тектоническим нарушениям.

Верхний кайнозойский структурный этаж неогласно залегает на отложениях нижнего карбона, иногда девона, реже — на докембрийских породах. Породы палеогенового возраста представлены песчаными пестрыми глинами, которые содержат значительную долю углистого материала, каолинита с примесями кварцевых песков. Наибольшая мощность палеогена (до 80—90 м) наблюдается в районе тектонических нарушений. Средняя мощность палеогеновой толщи составляет около 20 м и почти всюду перекрыта делювиальными и аллювиальными отложениями четвертичной системы. Мощность четвертичных отложений колеблется в пределах от 0 до 63 м.

Продуктивная карбонатная толща (C_1mv) зоны сочленения Донбасса с Приазовьем содержит несколько видов полезных ископаемых: известняки, доломитизированные известняки и доломиты. Основная часть известняков состоит из органогенного кластического материала (детритуса): обломков ракушек, сцементированных перекристаллизованным кальцитом, иногда пелитоморфным карбонатным и глинистым материалом. Известняки содержат многочисленные остатки фораминифер, острокод, моховаток, криноидей, пелиципод. Скелеты организмов наполнены пелитоморфным кальцитом, внутренние полости — зернистым кальцитом. Обычными структурами известняков под микроскопом являются органогенная и полиморфная, редко встречается кристаллически-зернистая. В нижней части разреза (турнейский ярус) распространены афанитовые или сливные известняки. Цементирующая масса пород представлена крупнозернистым, реже мелкозернистым кальцитом. Водорослевые известняки имеют меньшее распространение, преимущественно в верхней части разреза (визейский ярус), где они представлены фораминиферо-водорослевыми мелкозернистыми известняками. Они состоят из многочисленных остатков трубчатых водорослей, наполненных крупнозернистым кальцитом и более редкими остатками других организмов.

Глинистые породы мокроволновахской серии карбонатной толщи распространены в нижней части разреза отложений турнейского яруса нижнего карбона. Они представлены разноцветны-

ми глинистыми сланцами. В карбонатных породах визейского яруса глинистые породы представлены серыми сланцами, содержащими микрофауну. Сложены они образованиями типа гидрослюда — монтмориллонит с небольшим количеством каолинита. Литологический состав горизонтов карбонатных пород Новотроицкого месторождения представлен в таблице 1.

Доломиты и доломитизированные известняки приурочены к нижней части разреза (турнейский ярус). Они представляют собой мелко-, среднезернистые породы, сложенные идиоморфными, изометричными зернами доломита. Вследствие сильной степени перекристаллизации основной массы в этих породах остатки органогенной структуры встречаются редко. Для них характерна кристаллически-зернистая, реже мозаичная структура, которая в значительной степени подтверждает осадочное происхождение этих литологических разновидностей. Они образовались на стадии диагенеза карбонатных отложений, за счет частичной замены катиона кальция катионом магния. Содержание последнего в породах меняется в зависимости от степени доломитизации известняков, которые с ее повышением переходят в доломиты.

Карбонатные породы на отдельных горизонтах месторождений по качеству соответствуют флюсовому сырью (табл. 2). Большие объемы сырья используются в цементной и пищевой промышленности.

Как видно из данных таблицы 2, средневзвешенные на всю мощность карбонатной толщи показатели качества (столбец 2) значительно хуже, чем на отдельных горизонтах. Отработка карбонатной толщи по горизонтам частично позволяет разделить сырье по сортам, но не решает задачу обеспечения промышленности требуемыми сортами.

Главной причиной снижения качества сырья является появление карстовых образований, предварительный прогноз которых на производстве не выполняется. Для обоснования потерь карбонатного сырья при эксплуатации рассчитывается коэффициент закарстованности каждого горизонта как отношение суммарной мощности зон карста к мощности горизонта по всем разведочным скважинам. При подсчете запасов определяется его средняя величина по каждому стратиграфическому горизонту карбонатной толщи. Наибольший коэффициент закарстованности установлен на горизонтах кондиционных флюсовых известняков: $C_1^t c$, $C_1^t d$, $C_1^v(b+c)$. В процессе отработки месторождения значения коэффициента закарстованности

Таблица 1. Литологические разновидности карбонатных пород Новотроицкого месторождения
Table 1. Lithological varieties of carbonate rocks of the Novotroitsk deposit

Стратиграфический горизонт	Литологические разновидности карбонатных пород
$C_1^t a_1$	Темно-серые и черные высококремнистые известняки с частыми прослойками известняковых углисто-глинистых сланцев. Известняки неравномерно доломитизированы. Подгоризонт завершает брекчия, состоящая из обломков известняка, сцементированных известняково-глинистым материалом
$C_1^t a_2$	Сливные и полусливные известняки, переслаивающиеся с неравномерно доломитизированными известняками и доломитами с небольшими прослоями глинистых сланцев
$C_1^t b_1$	Серые, мелко- и среднезернистые доломиты, доломитизированные известняки с равномерной степенью доломитизации, частично известняки
$C_1^t b_2$	Известняки серые, темно-серые до черных, сливные, полусливные скрытокристаллические; мелко- и среднезернистые доломиты с прослойками углисто-глинистых и известняково-глинистых сланцев, следы окремнения и доломитизации в нижней части подгоризонта
$C_1^t c$	Толстослоистые, серые и светло-серые, мелкозернистые известняки с зернами кальцита размером до 2—3 мм, вмещают пачку черных и темно-серых полусливных известняков с линзами и желваками кремней
$C_1^t d_1$	Сливные известняки серого и синевато-серого цвета с тонкими линзами кремней и прослоями окремненных известняков
$C_1^t d_2$	Темно-серые, почти черные мелко- и тонкозернистые известняки с большим количеством фауны
$C_1^v a$	Мелко- и среднезернистые тонкослойные битуминозные известняки темно-серого, почти черного цвета с прослойками углисто-глинистых сланцев и множеством ископаемой фауны
$C_1^v (b+c)$	Однообразные, довольно плотные средне- и тонкозернистые темно-серые и серые известняки, встречаются породы более светлоокрашенные и более крупнозернистые; редко в кровле горизонта наблюдаются желваки кремня
$C_1^v d$	Темно-серые и серые средне- и крупнозернистые известняки с тонкодисперсным рассеянным окремнением, в верхней и нижней 20-метровых пачках содержатся желваки и маломощные (до 5—7 см) слои черных кремней. В средней 30—35-метровой пачке слои кремней отсутствуют и содержание желваков кремня незначительное

Таблица 2. Химический состав карбонатных пород Новотроицкого месторождения
Table 2. Chemical composition of carbonate rocks of the Novotroitsk deposit

Показатели качества известняков	Средние значения показателей качества по всей продуктивной толще, %	Средние значения показателей качества по стратиграфическим горизонтам, %							
		$C_1^t a_1$	$C_1^t a_2$	$C_1^t b_1$	$C_1^t b_2$	$C_1^t c$	$C_1^t d$	$C_1^v a$	$C_1^v (b+c)$
CaO	40,33	38,8	36,3	34,4	47,7	50,8	52,8	47,2	52,5
MgO	10,6	6,6	14,7	16,1	3	0,7	0,9	1,4	0,9
SiO ₂	2,2	7,8	2,1	2,9	4,6	3,9	2,1	6,8	1,9
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	0,67	0,1	0,05	0,04	0,8	0,5	0,8	2,1	0,5
S·10 ⁻²	6	6	8	3	9	3	6	2	0,5
P·10 ⁻³	3	3	3	3	3	3	3	3	3

уточняются и учитываются в балансе запасов. Поэтому главной задачей геолого-технологического картирования на месторождениях карбонатных пород является определение факторов распределения карстовых образований.

Степень закарстованности карбонатных пород зависит от многих факторов: физико-механических свойств, структуры и текстуры пород, их гипсометрического положения относительно уровня подземных вод, мощности покрывающих отложений,

рельефа местности и др. [2, 3]. Нами установлено, что вся толща вулканогенно-осадочных отложений региона, начиная от кристаллического архей-протерозойского фундамента и до покрывающих четвертичных отложений, разбита на блоки структурно-тектоническими дислокациями, проходившими в регионе в течение длительной истории формирования региона [5]. Блоки характеризуются различной полнотой геологического разреза и мощностью карбонатной толщи. Блоки, расположенные в северной части региона, прилегающей к Донбассу, характеризуются полным стратиграфическим разрезом и максимальной мощностью карбонатной толщи (рис. 2). Номера блоков, указанные на схеме геологического строения региона (см. рис. 1), совпадают с номерами на рисунке 2.

Южная часть региона характеризуется блоками укороченного разреза с выходом на поверхность архей-протерозойских и девонских пород. Карбонатная толща в большинстве таких блоков либо отсутствует полностью, либо имеет минимальную мощность. Роль факторов развития карста и его интенсивность меняются в каждом блоке различных частей изучаемого региона [9]. Поэтому прогнозирование карстовых образований следует проводить в каждом отдельном тектоническом блоке. Было

получено более точное значение коэффициента закарстованности по документации керн разведочных скважин для каждого блока как отношение суммы длин интервалов карста и выщелачивания к мощности карбонатной толщи в этой скважине. Его величина отражает близость скважины к тектоническим границам блока, а между блоками — близость блока к региональным тектоническим нарушениям [8]. Представленная на рисунке 2 схема представляет собой геологическую модель пространственного размещения однородных блоков карбонатных пород в регионе: чем ниже отметка кристаллического фундамента блока, указанная возле его номера на рисунке, тем меньше коэффициент тектонической нарушенности, больше полнота геологического разреза и мощность карбонатной толщи. Корреляционным анализом между мощностью карбонатной толщи в скважине и отметкой кристаллического фундамента показано, что существует тесная связь, что позволило рассчитать достоверное уравнение регрессии:

$$Y = -0,385 \times X + 136,9,$$

где Y — мощность карбонатной толщи,
 X — отметки кристаллического фундамента.

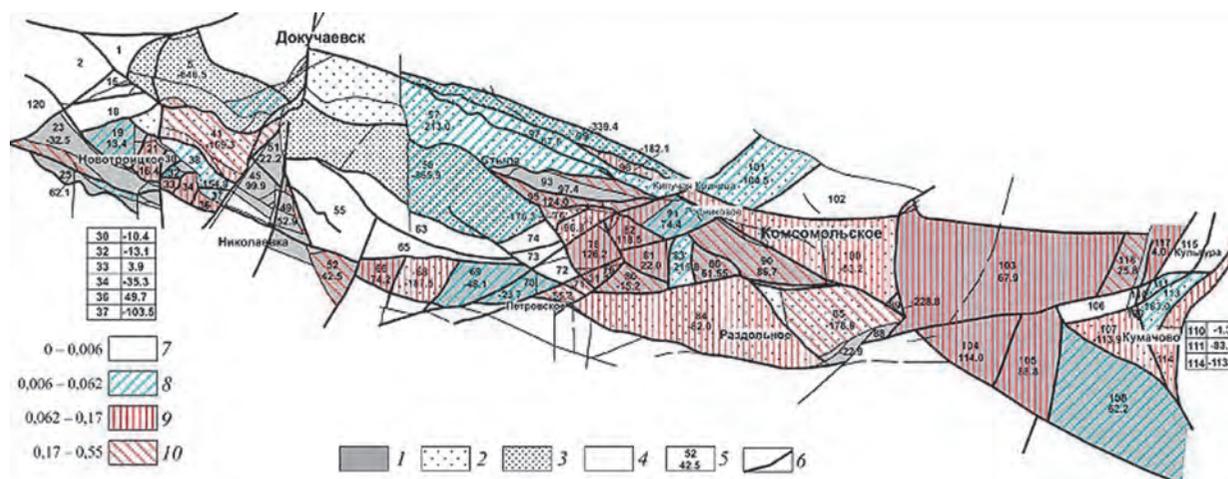


Рис. 2. Схема блокового строения зоны сочленения Донбасса с Приазовским блоком УЩ: 1—3 — диапазон абсолютных отметок кровли кристаллического фундамента в скважине: 1 — от -50 до +127; 2 — от -320 до -50; 3 — от -866 до -320; 4 — нет данных или скважина не добурена до пород фундамента; 5 — номер блока, среднее значение отметок фундамента в блоке; 6 — тектонические нарушения, границы блоков; 7—10 — средние значения коэффициента тектонической нарушенности (K_z) по скважинам в блоке, где $K_z = \sum \text{мощн.} / L$, где $\sum \text{мощн.}$ — суммарная мощность тектонических интервалов скважин, L — глубина скважины
Fig. 2. Diagram of the block structure of the Donbass junction zone with the Priazov block of the Ukrainian shield: 1—3 — the range of absolute marks of the roof of the crystalline foundation in the well: 1 — from -50 to +127; 2 — from -320 to -50; 3 — from -866 to -320; 4 — there is no data or the well is not drilled to the foundation rocks; 5 — block number, the average value of the foundation marks in the block; 6 — tectonic disturbances, block boundaries; 7—10 — average values of the tectonic disturbance coefficient (K_z) by wells in the block, where $K_z = \sum \text{мощн.} / L$, where $\sum \text{мощн.}$ — the total capacity of the tectonic intervals of wells, L — depth of the well

Это уравнение используется для планирования участков заложения карьеров, направления их продвижения. Проверка распространения карстовых образований в статье приведена только для западной части, где эксплуатируются Новотроицкое и Еленовское месторождения (рис. 3).

Новотроицкое месторождение расположено вблизи регионального Южно-Волновахского разлома, который является южной границей региона. Александрийский и Новотроицкий разломы совпадают с осевыми частями одноименных антиклиналей. Здесь распространены дайки и штоки пермь-триасового (P_{1-2} —Т) магматического комплекса пород, большая часть которых приурочена к тектоническим нарушениям. С этими образованиями связаны зоны развития гипогенного термального выщелачивания карбонатных пород, что доказано изотопным анализом проб этой зоны [7]. Наиболее крупный шток магматических пород расположен в осевой части Новотроицкой антиклинали — главного структурного элемента западной части региона. На ее восточном крыле расположены карьеры Еленовского месторождения, а на западном крыле — карьеры Новотроицкого месторождения.

Участки, расположенные на западном крыле Новотроицкой антиклинали, имеют большую мощность карбонатной толщи и низкие отметки кристаллического архей-протерозойского фундамента, что определяет положение высококачественных блоков карбонатного сырья. Восточное крыло Новотроицкой антиклинали имеет более сложное строение за счет значительной тектонической нарушенности. Наблюдается большое число андезитовых даек значительной мощности, которые ухудшают качество карбонатного сырья. Расположенный здесь карьер Центральный, от-

рабатывающий сырьем Еленовского месторождения, имеет незначительные перспективы сортовой отработки сырья высокого качества. В южном направлении происходит уменьшение мощности карбонатной толщи, на поверхность выходят отложения девона. В северном направлении расположены еще два карьера Еленовского месторождения — Восточно-Комсомольский и Восточный, которые имеют перспективы расширения в северном направлении. Характеристики тектонических блоков этих участков западной части региона по данным разведочно-поисковых скважин приведены в таблице 3.

Перспективная площадь (блоки № 1—3, 5, 15) имеют низкую степень разведанности. Здесь расположено небольшое количество скважин, по которым определены характеристики блоков. Мощность карбонатной толщи, рассчитанная по уравнению регрессии с глубиной залегания кристаллического фундамента блока, имела высокую степень совпадения с определением по единичным скважинам блока.

Более детальный анализ изменения мощности карбонатной толщи с определением сортового состава по каждому стратиграфическому горизонту был выполнен в блоке № 18 по скважинам опережающей эксплуатационной разведки. Здесь расположены два карьера — Западный известняковый и Мехрудник. Мощности карстовых образований нами установлены по документации керн проб разведочных скважин этого блока. Были рассчитаны значения коэффициента закарстованности как отношение суммы длин интервалов карстовых образований к мощности карбонатной толщи в скважине. Далее в программе SURFER были построены карты изопахит продуктивной толщи (рис. 4), карстовых образований

Таблица 3. Характеристика тектонических блоков Новотроицкого месторождения
Table 3. Characteristics of the tectonic blocks of the Novotroitsk field

Название карьера или участка	№ блока на рисунке	Мощность карбонатной толщи	Мощность карстовых зон	Глубина залегания кристаллического фундамента блока	Отметки устьев скважин
Перспективная площадь	1	266,1	18,04	от -363,1 до 86,4	186,3
	2	230,0	30,5	от -319,9 до 41,6	202,0
	3	182,8	38,5	от -250,0 до -140,3	198,5
	5	231,5	18,5	от -474,6 до 127,4	169,2
	15	181,3	31,0	от -126,5 до -71,5	204,0
Западный известняковый и Мехрудник	18	189,9	18,9	от -117,5 до -23,5	200,6
Западный доломитный	23	242,7	32,2	от -105,0 до -32,5	183,2

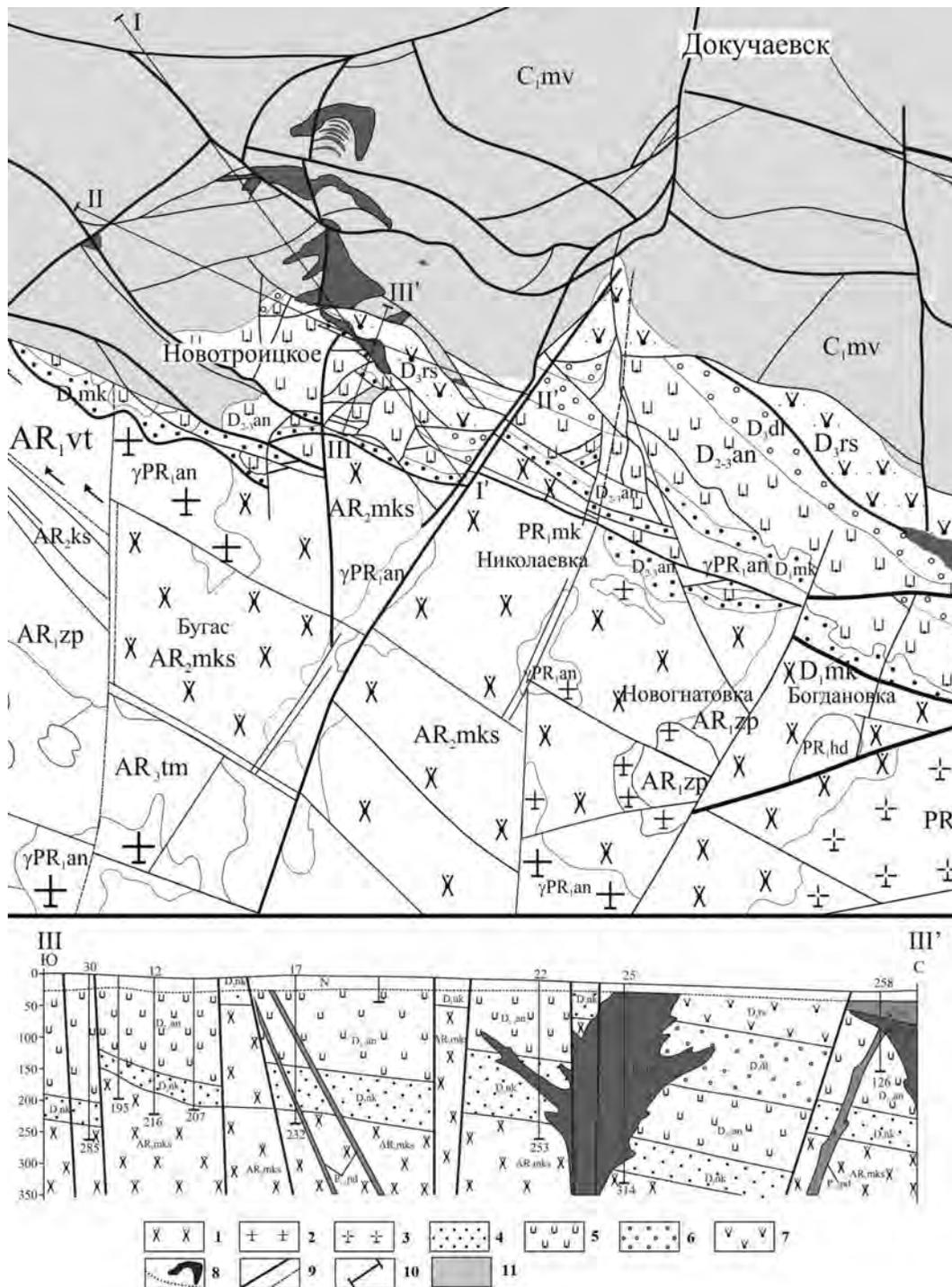


Рис. 3. Схематический план и разрез западной части региона исследования: 1 — максимовские гранодиориты (AR₂mks), 2 — анатольские граниты (PR₁an), 3 — хлебодаровский комплекс (PR₁hd), 4 — николаевская свита (D₃nk), 5 — антоновская свита (D₂₋₃an), 6 — долгинская свита (D₃dl), 7 — раздольненская свита (D₃rs), 8 — андезит-трахиандезитовый комплекс (P₂-T₁at), 9 — разломы; 10 — линии разрезов; 11 — мокроволновихская серия карбонатных пород (C₁mv)

Fig. 3. Schematic plan and section of the western part of the study region: 1 — Maximov granodiorites (AR₂mks), 2 — Anatolian granites (PR₁an), 3 — Khlebodarovsky complex (PR₁hd), 4 — Nikolaevskaya suite (D₃nk), 5 — Antonovskaya suite (D₂₋₃an), 6 — dolginskaya suite (D₃dl), 7 — Razdolnenskaya suite (D₃rs), 8 — andesite-trachyandesite complex (P₂-T₁at), 9 — faults; 10 — geological section lines; 11 — Mokrovolnovakhskaya series of carbonate rocks (C₁mv)

(рис. 5), изолиний линейного коэффициента закарстованности (рис. 6) по всей мощности карбонатной толщи и на отдельных горизонтах.

На юге граница тектонического блока проходит по региональному Южно-Волновахскому разлому, который тянется с запада на восток в пределах всей зоны сочленения Донбасса с Приазовьем. Дополнительное негативное влияние оказывает субширотный Доломитный сброс. Западная граница участка проходит по Велико-Анадольскому сбросу. Полный стратиграфический разрез карбонатной толщи имеют всего две скважины блока. На западе — это скважина № 14 и скважина № 57, которая расположена на северной границе участка. Несмотря на присутствие всех горизонтов от $C_1^t a_1$ по $C_1^v(b+c)$ включительно, сортовой состав карбонатного сырья очень нестабилен.

На площади блока мощность карбонатной толщи (рис. 4) следует установленной закономерности ее изменения для всего региона исследования: увеличивается в северном направлении, к Донбассу, и уменьшается в южном направлении, к Приазовскому блоку Украинского щита.

Поэтому в южной части участка наблюдается уменьшение мощности и сокращение стратиграфического разреза карбонатной толщи. Наиболее полный разрез нижнего карбона наблюдается в северо-западной части. Здесь скважины (№ 87, 94, 93, 99) имеют качественное карбонатное

сырье начиная с нижних горизонтов турнейского яруса ($C_1^t b_1$) до верхних горизонтов визейского яруса ($C_1^v(b+c)$) нижнего карбона. На скважинах восточной части блока сказывается влияние Новотроицкой антиклинали, где распространены дайки и штоки андезитов.

Здесь установлен укороченный разрез, который начинается с доломитового горизонта $C_1^t b$ и заканчивается известняками горизонта $C_1^v d$. В центральной и южной частях блока карбонатное сырье представлено исключительно нижними горизонтами доломитов и доломитизированных известняков ($C_1^t a_2, C_1^t b_1$), которые меньше подвержены карсту. Поэтому здесь происходит снижение до нулевых значений мощности карстовых образований (рис. 5).

В юго-западной части блока в скважине № 65 резко увеличивается мощность карста. Причиной большой мощности карстовых образований является присутствие дайки андезитов, что привело к распространению процесса термального выщелачивания. Сырье в этой скважине полностью некондиционное. Влияние дайки андезитов установлено и в скважине № 912 в северо-восточной части участка. Вне зоны влияния дайки в скважине № 83 (западная часть блока) мощность карстовых образований значительно меньше и составляет всего 7,8 метра, а сырье пригодно для сталеплавильной промышленности (сорт $C_{1д}$).

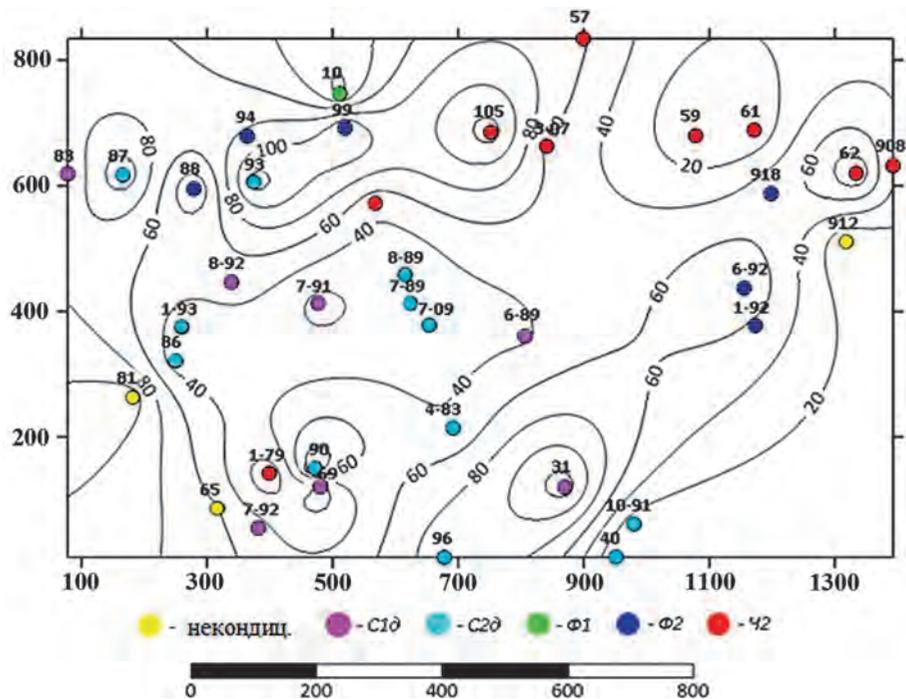


Рис. 4. Изопачиты продуктивной толщи и сорта карбонатного сырья
Fig. 4. Isopachites of productive strata and grades of carbonate raw materials

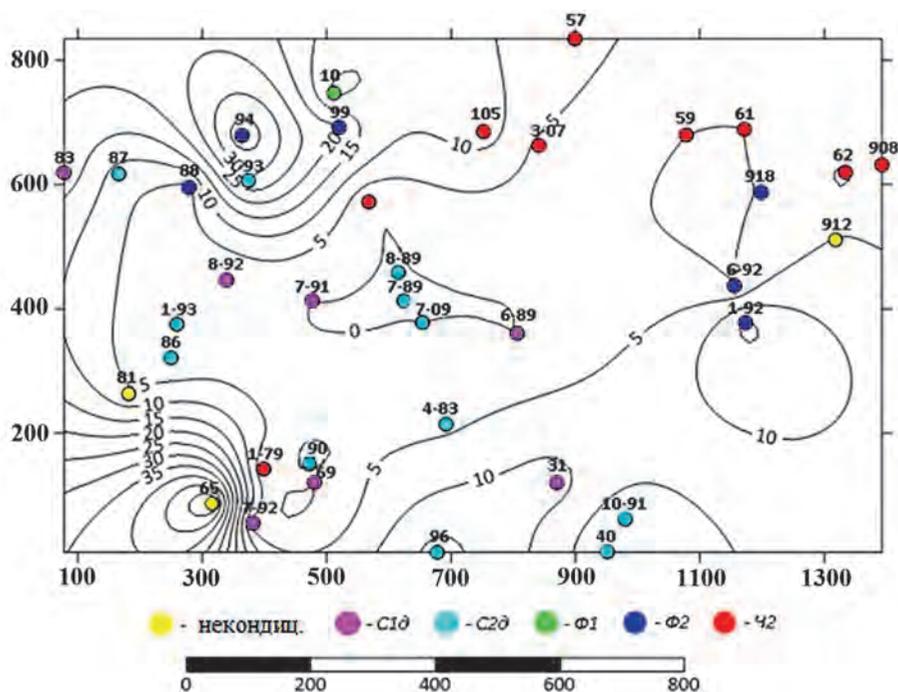


Рис. 5. Изопахиты карста и сорта карбонатного сырья
 Fig. 5. Karst isopachites and grades of carbonate raw materials

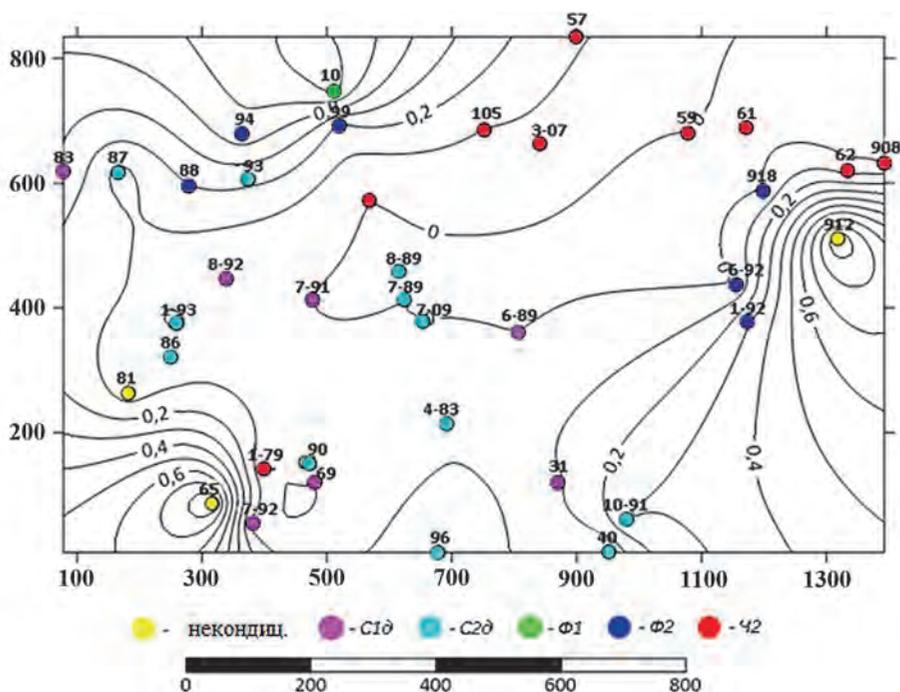


Рис. 6. Изолинии коэффициента закарстованности и промышленные сорта
 Fig. 6. Isolines karst coefficient and industrial grades

Значения коэффициента закарстованности (рис. 6) достаточно низкие в пределах всего блока, что говорит о стабильном, высоком качестве сырья, пригодном для сталеплавильной

промышленности (сорт $C_{1д}$, $C_{2д}$) и флюса (сорт Φ_1 и Φ_2).

Неравномерность распространения карстовых образований показана в западной части блока:

в скважине № 94 сырье соответствует высшему сорту для металлургической промышленности (сорт Ф₂), в скважине № 93, имеющей полный стратиграфический разрез, качественное карбонатное сырье чередуется с интервалами карстовых образований мощностью от 2 до 6 м. Суммарная мощность карста в скважине составляет 29,4 м. На большей части блока, за исключением крайней западной и восточной частей, установлено высокое качество сырья, соответствующее требованиям к флюсовому сырью (сорт Ф₁ и Ф₂) и сталеплавильной промышленности (сорт С_{1д}, С_{2д}). Исключение составляют крайняя западная и восточная части участка, которые близки к тектоническим границам блока. с некондиционным сырьем. Мощность продуктивной толщи (см. рис. 4) здесь соответствует средней по участку в целом.

Вышеприведенные карты сортов блока №18 построены с осреднением значений показателей качества (см. табл. 2) на всю мощность карбонатной толщи. Для погоризонтной отработки нами была построена сортовая карта горизонта С_γ(b+c) (рис. 7).

На этом горизонте наблюдается достаточно разнообразный сортовой состав сырья. Выделены дополнительные сорта (S₁ и S₂) для производства кальцинированной соды. В юго-восточной части блока горизонт С_γ(b+c) отсутствует. В связи с влиянием Новотроицкой антиклинали, в осевой части которой расположен шток андезитов, произошло сокращение разреза. Вдали от штока, в западной части блока, наблюдается более высокая мощность горизонта и качество сырья. Мощность горизонта максимальна в центральной

части блока, в отличие от мощности всей карбонатной толщи (см. рис. 4).

Заключение

Таким образом, основным фактором распределения качества карбонатного сырья в зоне сочленений Донбасса с Приазовским блоком УЩ является структурно-тектонический. С ним связано изменение мощности карбонатной толщи, сохранность геологического разреза в регионе и качество карбонатного сырья отдельных тектонических блоков. Геолого-технологическое картирование рационально проводить не в пределах всего региона, а в границах отдельных блоков карбонатной толщи однородного строения в следующей последовательности.

1. По сети тектонических нарушений региона провести границы блоков в толще карбонатных пород, учитывая элементы неоднородности строения и полноту геологического разреза.
2. Определить глубину залегания кристаллического фундамента и мощность карбонатной толщи в тектонических блоках, что позволит планировать участки заложения карьеров, убрать эродированные блоки из процедуры геолого-технологического картирования.
3. В результате детального анализа геологического строения перспективного блока выделить наиболее стабильные по качеству блоки карбонатного сырья с минимальной мощностью карстовых образований, определить возможность и границы селективной отработки по сортам на каждом горизонте.
4. При наличии в геологическом строении блока неоднородностей, влияющих на сортовой состав

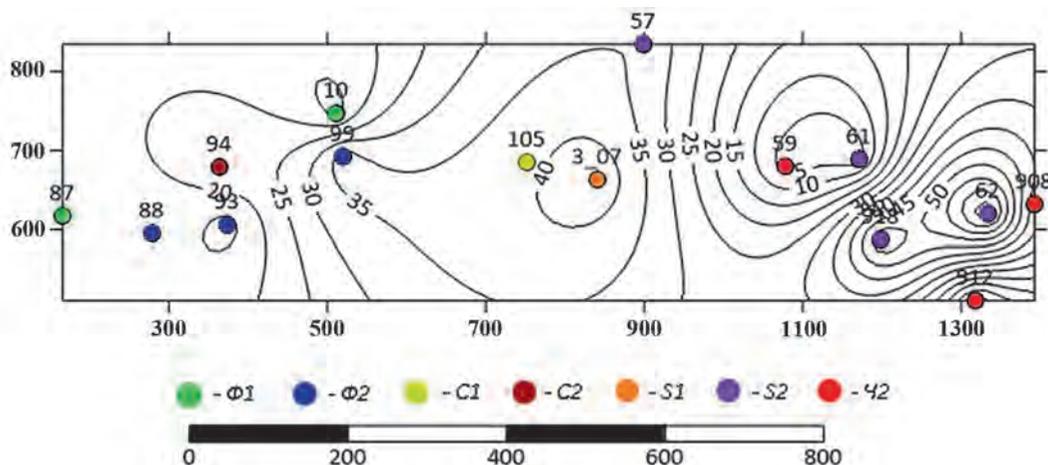


Рис. 7. Изопачиты мощности карбонатной толщи и сорта горизонта С_γ(b+c)
Fig. 7. Isopachites of carbonate thickness and horizon grades С_γ(b+c)

сырья, необходимо получить дополнительную информацию по скважинам опережающей эксплуатационной разведки, которая позволит повысить достоверность выделения границ сортовых блоков.

Проведение геолого-технологического картирования в таком порядке обеспечивает максимальную достоверность прогноза качества сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Лагов Б.С. и др. Технологические аспекты рационального недропользования: роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базой страны / Под науч. ред. Ю.С. Карабасова. Дом НИТУ «МИСиС». Москва. 2015. 576 с.
2. Ильяш Д.В. Влияние геолого-структурного фактора на качество карбонатного сырья (на примере Ситовского месторождения флюсовых известняков Липецкой области). Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2011. № 1. С. 145—154.
3. Гвоздецкий Н.А. Карст. М.: Мысль. 1981. 214 с.
4. Козлова М.Д., Рябцев Д.А. Современный подход к геолого-технологическому картированию рудных месторождений. Горные науки и технологии. 2017. №1. С. 23—29.
5. Репина К.В. Роль тектонического фактора при формировании качества карбонатного сырья Каракубского месторождения Донецкой области. Труды РАНИМИ: сб. науч. тр. Донецк. 2020. № 10—11 (25—26). С. 95—105.
6. Юдин В.В. Тектоника Южного Донбасса и рудогенез. УкрГГРИ Киев. 2006. 108 с.
7. Репина К.В., Волкова Т.П., Загнітко В.М., Мороз В.С., Проскурка Л.І. Про етапність мінералоутворення у карбонатних породах зони зчленування Донбасу з Приазовським мегаблоком (на прикладі Новотроїцького родовища). Мінералогічний журнал. 2020. 42. № 2. С. 20—31.
8. Repina K. Features of geological and technological mapping of carbonate deposits. International independent scientific journal. 2021. Vol. 2. No. 24. P. 10—15.
9. Repina K. Natural factors forming the quality of carbonate raw materials. Journal of Geology, Geography and Geocology. 2018. No. 27(3). P. 495—503. DOI: 10.15421/111873

REFERENCES

1. Bashlykova T.V., Pakhomova G.A., Lagov B.S. and others. Technological aspects of rational subsoil use: the role of technological assessment in the development and management of the country's mineral resource base / Under the scientific editorship of Y.S. Karabasov. The house of NUST MISIS. Moscow. 2015. 576 p. [In Russ.]
2. Ilyash D.V. The influence of the geological and structural factor on the quality of carbonate raw materials (on the example of the Sitovsky deposit of flux limestones of the Lipetsk region) // Bulletin of the VSU, series «Geology». 2011. No. 1. P. 145—154. [In Russ.]
3. Karst. M.: Mysl, 1981. 214 p. [In Russ.]
4. Kozlova M.D., Ryabtsev D.A. Modern approach to geological and technological mapping of ore deposits. Mining sciences and technologies. 2017. No. 1. P. 23—29. [In Russ.]
5. Repina K.V. The role of the tectonic factor in the formation of the quality of carbonate raw materials of the Karakubskoye deposit of the Donetsk region // Proceedings of RANIMI: collection of scientific tr. Donetsk. 2020. № 10—11 (25—26). P. 95—105. [In Russ.]
6. Yudin V.V. Tectonics of the Southern Donbass and ore genesis // UKRGRI — Kiev, 2006. — 108 p. [In Russ.]
7. Repina K. V., Volkova T. P., Zagnitko V. M., Moroz V. S., Proskurka L. I. on the stages of mineral formation in carbonate rocks of the zone of articulation of Donbass with the Azov megablock (on the example of the Novotroitsky deposit). Mineralogical Journal (Ukraine). 2020. № 2(42). P.20—31. [In Ukr.].
8. Repina K. Features of geological and technological mapping of carbonate deposits. International independent scientific journal. 2021. Vol. 2. No. 24. P. 10—15.
9. Repina K. Natural factors forming the quality of carbonate raw materials / Journal of Geology, Geography and Geocology. — 2018. — No. 27(3). — P. 495—503.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Репина К.В. — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, построила карты (работа в компьютерных программах MapInfo, Surfer), утвердила публикуемую версию статьи и согласна на себя принять ответственность за все аспекты работы.

Ksenia V. Repina — developed the concept of the article, prepared the text of the article, built maps (work in computer programs MapInfo, Surfer), approved the published version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Репина Ксения Владимировна — научный сотрудник отдела геодинамических и геофизических процессов ФГБНУ «Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела» (ФГБНУ «РАНИМИ»)

ул. Челюскинцев, 291, Донецк 83004, Донецкая Народная Республика, Российская Федерация

e-mail: ecoseka@rambler.ru

SPIN-код: 5972-8316

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-2105>

Ksenia V. Repina — Researcher at the Department of Geodynamic and Geophysical Processes of the Republican Academic Research and Design Institute of Mining Geology, Geomechanics, Geophysics and Surveying (RANIMI)

Chelyuskintsev str., 291, Donetsk 83004, Donetsk People's Republic, Russian Federation

e-mail: ecoseka@rambler.ru

SPIN-code: 5972-8316

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1382-2105>



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-31-43>
УДК 551.732.2: 552.54: 552.578.2: 553.981/982



СТРОЕНИЕ МОКТАКОНСКОЙ СВИТЫ НИЖНЕГО КЕМБРИЯ (ЮЖНО-ТУНГУССКАЯ НГО, ЛЕНО-ТУНГУССКАЯ НГП)

А.Р. РЯЗАНОВ^{1,*}, Е.С. НОСКОВА¹, Г.В. АГАФОНОВА^{1,2}, Д.В. ПОКРОВСКИЙ¹

¹ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт»
36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучено строение нижнекембрийской моктаконской свиты, распространенной на территории Южно-Тунгусской нефтегазоносной области Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции.

Цель. Разработать седиментационно-емкостную модель моктаконской свиты с целью уточнения нефтегазоносного потенциала региона и выявить связь между выделенными литологическими типами и их фильтрационно-емкостными свойствами.

Материалы и методы. Используются геолого-геофизические данные по глубоким скважинам, пробуренным на изучаемой территории, опубликованные и фондовые материалы по геологическому строению Южно-Тунгусской нефтегазоносной области. Данные по 22 скважинам, вскрывшим отложения моктаконской свиты, включает: описание керна, шлама, результаты испытаний. Проанализированы каротажные диаграммы по 15 скважинам, вскрывшим свиту на полную мощность. Проанализированы изменения толщин и состава отложений моктаконской свиты. Проведено детальное расчленение разрезов на пачки, корреляция разрезов и анализ изменения фильтрационно-емкостных свойств пород. Методической основой послужили работы, проведенные во ФГБУ «ВНИГНИ».

Результаты. Определены литологические типы отложений и типы разрезов. Установлены условия осадконакопления, включая литолого-фациальные зоны. Разработана седиментационно-емкостная модель моктаконской свиты.

Выводы. На основе данных, полученных при анализе скважин, вскрывших моктаконскую свиту в западной части Южно-Тунгусской нефтегазоносной области, составлена седиментационно-емкостная модель изучаемой территории. Модель отражает изменения состава и толщины отложений, а также из структурно-текстурных характеристик. Выделены биогермная, лагунная, шлейфовая и склоновая литолого-фациальные зоны. Предложенная последовательность отражает профиль карбонатной седиментации от лагунных зарифовых до отложений склона. Наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами характеризуются биогермные и обломочные карбонатные отложения верхней части склона.

Ключевые слова: литология, карбонатные породы, нижний кембрий, моктаконская свита

Конфликт интересов: авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Рязанов А.Р., Носкова Е.С., Агафонова Г.В., Покровский Д.В. Строение моктаконской свиты нижнего кембрия (Южно-Тунгусская НГО, Лено-Тунгусская НГП). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):31—43. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-31-43>

Статья поступила в редакцию 14.10.2024

Принята к публикации 12.11.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

STRUCTURE OF THE MOKTAKON FORMATION OF THE LOWER CAMBRIAN (YUZHNO-TUNGUSSKAYA OIL AND GAS REGION, LENO-TUNGUSSKAYA OIL AND GAS PROVINCE)

ALEKSANDR R. RYAZANOV^{1,*}, EKATERINA S. NOSKOVA¹, GALINA V. AGAFONOVA^{1,2},
DMITRY V. POKROVSKY¹

¹ All-Russian Scientific Research Geological Oil Institute
36, Highway Enthusiasts, Moscow 105118, Russia

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

ABSTRACT

Background. The structure of the Lower Cambrian Mokatkon Formation extended across the Yuzhno-Tungusskaya oil and gas region of the Leno-Tungusskaya oil and gas province is studied.

Aim. To develop a sedimentation and storage capacity model of the Mokatkon Formation with the purpose of clarifying the oil and gas bearing potential of the region and to elucidate the relations between the selected lithological types and their filtration and storage capacity properties.

Materials and methods. Geological and geophysical data on deep boreholes drilled in the area under study, as well as published and stock materials on the geological structure of the Yuzhno-Tungusskaya oil and gas bearing field were used. Data on 22 boreholes that penetrate the deposits of the Mokatkon Formation include: core and cuttings descriptions, test results. Logging diagrams for 15 boreholes that penetrate the Formation to its full thickness were analyzed. Changes in the thickness and composition of the Mokatkon Formation sediments were analyzed. A detailed division of the sections into packs, along with correlation of sections and analysis of changes in the filtration and storage capacity properties of rocks, were performed. The methodological basis was formed by works conducted at the All-Russian Research Institute of Oil Geology (VNIGNI).

Results. Lithologic types of sediments and section types were determined. Sedimentation conditions were established, including lithologic and facial zones. A sedimentation and storage capacity model of the Mokatkon Formation was developed.

Conclusion. The data obtained by analyzing boreholes that penetrate the Mokatkon Formation in the western part of the Yuzhno-Tungusskaya oil and gas field were used to compile a sedimentation and storage capacity model of the studied area. This model reflects changes in the composition and thickness of sediments, as well as their structural and textural characteristics. Biohermal, lagoonal, plume, and slope lithologic-facial zones were identified. The suggested sequence reflects the profile of carbonate sedimentation from lagoonal beyond the reef to slope deposits. Biohermal deposits and clastic carbonate sediments of the upper part of the slope are characterized by the best filtration and storage capacity properties.

Keywords: lithology, carbonate rocks, Lower Cambrian, Mokatkon Formation

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

Financial disclosure: the study has no sponsorship.

For citation: Ryazanov A.R., Noskova E.S., Agafonova G.V., Pokrovsky D.V. Structure of the mokatkon formation of the lower cambrian (Yuzhno-Tungusskaya oil and gas region, Leno-Tungusskaya oil and gas province). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):31—43. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-31-43>

Manuscript received 25 October 2024

Accepted 12 November 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Южно-Тунгусская нефтегазоносная область расположена на северо-западе Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции (Сибирская платформа). Изученность территории сейсмическими работами низкая и неравномерная и составляет порядка 0,12 пг.км/км² (рис. 1). Бурение глубоких скважин проводилось в 1960—1980-х годах, материалы по литолого-петрографическому изучению керна фрагментарны и в ряде случаев противоречивы.

В тектоническом отношении территория Южно-Тунгусской нефтегазоносной области в целом соответствует Бахтинскому мегавыступу юго-запада Курейской синеклизы, охватывая примыкающие прогибы: с запада — Приенисейский, с северо-востока — Туринская впадина, которые рассматрива-

ются как очаги нефтегазообразования и источники углеводородов [2, 3, 8, 9] (рис. 1).

Осадочный чехол на большей части области представлен карбонатными отложениями верхнего венда, карбонатными и соленосно-карбонатными отложениями нижнего кембрия, сульфатно-карбонатными и терригенно-карбонатными отложениями верхнего кембрия и преимущественно терригенными верхнего палеозоя [10, 11].

Основные перспективы нефтегазоносности связаны с карбонатными отложениями верхне-вендско-нижнекембрийского и кембрийского НГК [1]. Моктаконская свита относится к верхне-вендско-нижнекембрийскому комплексу. В скважине Моктаконская 1 из этого уровня получены

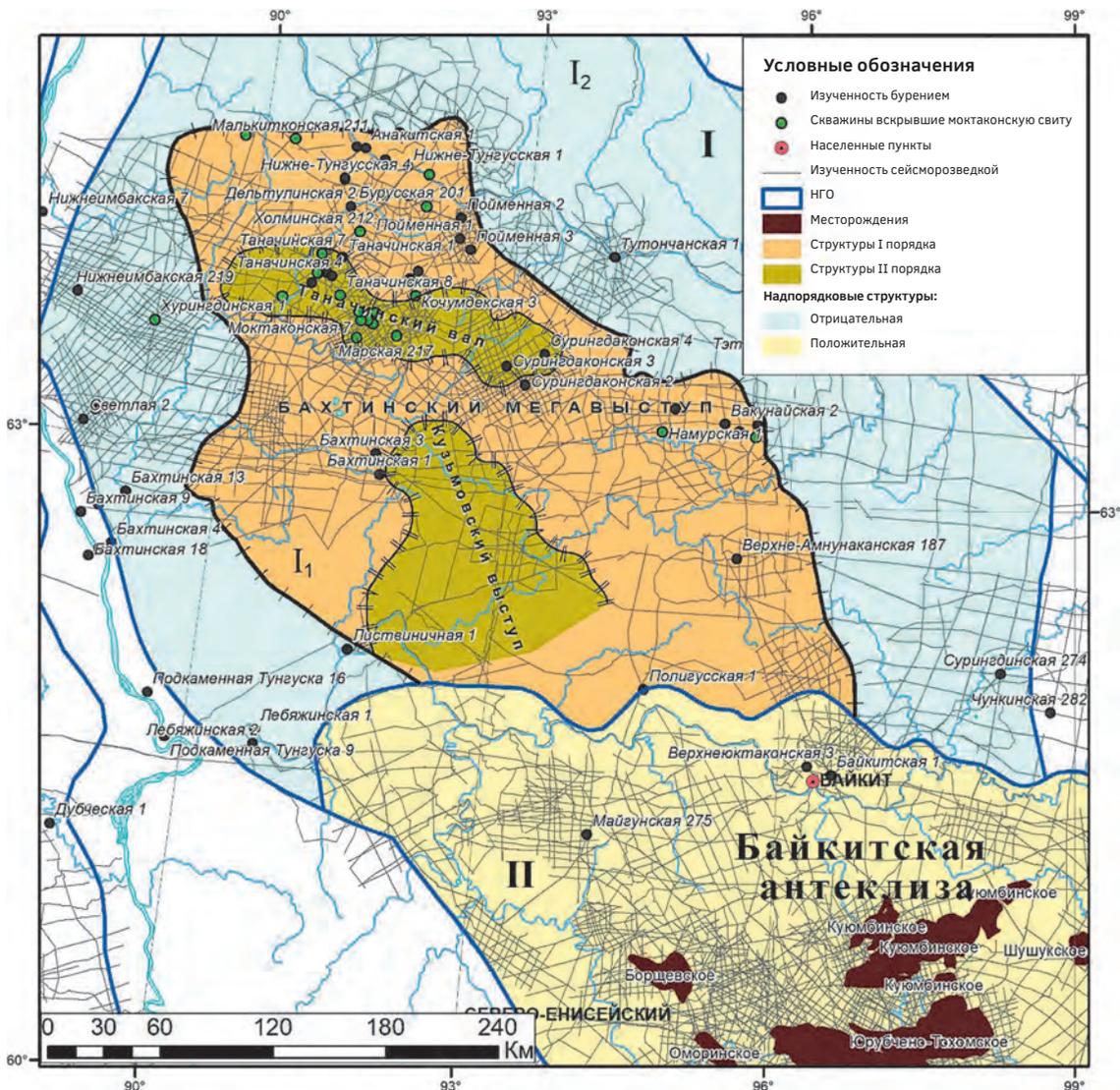


Рис. 1. Обзорная карта Южно-Тунгусской нефтегазоносной области (ВНИГНИ, 2024. Д.В. Покровский)

Fig. 1. Overview map of the Yuzhno-Tungusskaya oil and gas region (VNIGNI, 2024. D.V. Pokrovsky)

притоки нефти дебитом 93 м³/сут., в скважине Намурской 1 — незначительный приток нефти с газом, в скважине Усть-Дельтулинской 214 — газ дебитом 500 тыс. м³/сут., в Западно-Малькитконской 216 — притоки пластовой воды дебитом 497 м³/сут., отмечено газопроявление [2, 3, 6].

Стратиграфия и нефтегазоносность этой территории изучались рядом исследователей: Н.В. Мельников, Л.И. Килина, Т.Р. Кудрина (1985), А.П. Мельников, М.А. Маслеников, О.С. Шабанов (2017), Е.Н. Кузнецова, И.А. Губин, А.О. Гордеева, Л.Н. Константинова, С.А. Моисеев, А.Э. Конторович (2017), М.А. Маслеников, С.С. Сухов, П.Н. Соболев (2021) [4—12] и др. В моктаконской свите выделены уровни развития коллекторов и составлены литофациальные схемы, опирающиеся в значительной мере на интерпретацию сейсмических материалов. Сложное строение и недостаточная изученность региона оставляют многие вопросы нерешенными. В представленной работе выполнено детальное изучение литологических особенностей разрезов скважин и с применением методики седиментологического моделирования [13] определены условия осадконакопления различных типов отложений и оценена их связь с зонами возможного развития коллекторов.

Основой для моделирования послужили каротажные материалы с привлечением всех имеющихся данных по изучению керна скважин и испытаниям.

Таким образом, перспективы нефтегазоносности области подтверждаются полученными притоками, близостью очагов нефтегазообразования и существующими путями миграции по восстанию пластов, наличием возможных коллекторов. Сохранность залежей обеспечивается региональным флюидоупором — глинисто-карбонатной летнинской свитой и соленосными отложениями нижнего кембрия. Зоны возможного развития коллекторов в значительной мере определяются лито-фациальными особенностями кембрийских отложений.

Моктаконская свита распространена на всей территории Южно-Тунгусской нефтегазоносной области, выделена Н.В. Мельниковым [8—12]. Стратотипом свиты выбран разрез скважины Нижнетунгусская-6 (3530,00—3647,00 м). Свита согласно залегает на соленосной ясенгской свите, перекрывается сульфатно-карбонатной марской, которая является локальным флюидоупором. Представлена доломитами с прослоями известняков в нижней части. Общая мощность в стратотипе составляет 72 м и изменяется по площади от 33

до 281 м. Залежи углеводородов в моктаконской свите большинство исследователей связывают с «амплитудными рифовыми постройками» [4, 5, 7, 10, 11].

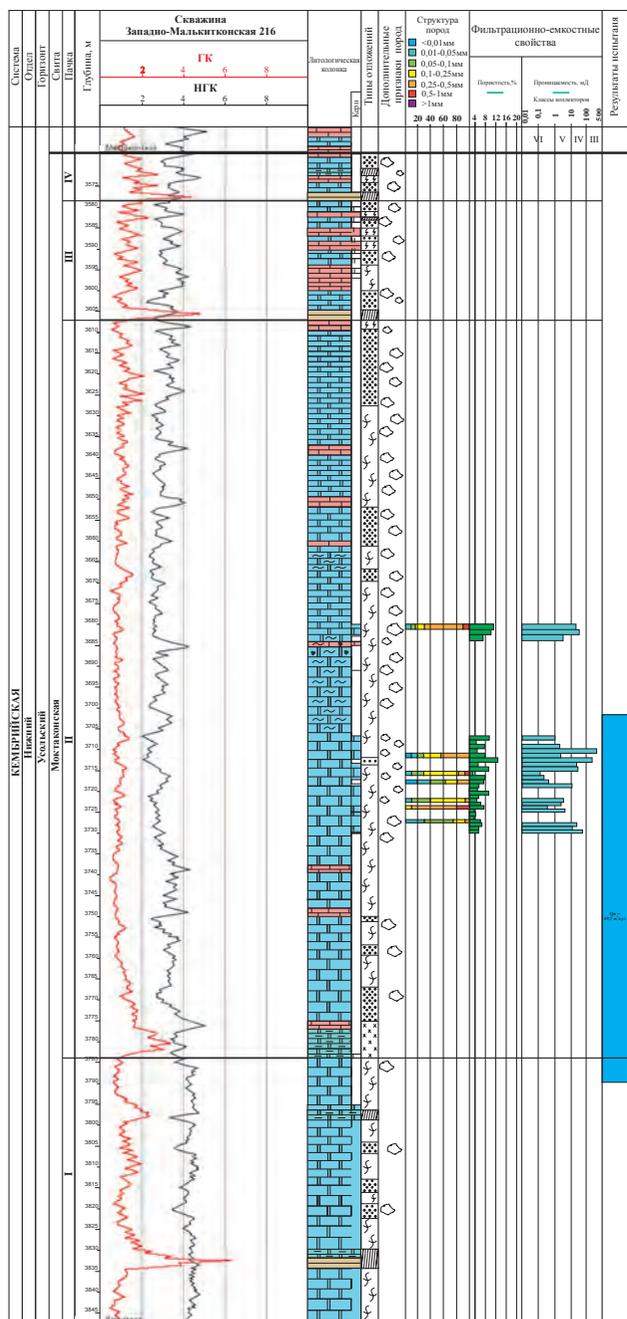
Для моктаконской свиты отмечены существенные изменения по площади и по разрезу литологического состава пород и их мощности, что свидетельствует о высокой фациальной изменчивости, характерной для рифовых систем, обусловленной изменчивой палеогеографией и скоростью формирования биогерм. Для 12 скважин, вскрывших моктаконскую свиту, построены планшеты (рис. 2—5), выделены пачки, границы между которыми установлены в местах резкой смены характера записи кривых ГК и НГК, проведена корреляция пачек (рис. 6). Для анализа строения свиты разрезы скважин выстроены в ряд по изменению строения и мощностей, что соответствует профилю карбонатной седиментации с переходом от существенно глинистых разрезов через карбонатные разрезы значительных мощностей к разрезам уменьшенных мощностей, существенно карбонатным, часто сульфатизированным. Выделены зоны осадконакопления: лагунная, биогермная, шлейфовая и склоновая

Ниже приводится детальное описание разрезов скважин, характеризующих разные фациальные зоны [1, 13].

Биогермная зона. В разрезе моктаконской свиты скважины Западно-Малькитконская 216 выделено 4 пачки.

1-я пачка (3784,13—3848,00 м) сложена 3 пластами доломитов (мощности 13, 29 и 11 м), разделенными глинистыми карбонатами мощностью до 1 м. Нижние два пласта отмечаются неравномерной слоистостью, верхний — более однородным массивным строением. Значения ГК прослоев доломитов изменяется от 0,45 до 1,45 мкР/ч, НГК отличается относительно слабой дифференцированностью и повышенными значениями — от 3,38 до 4,78 у.е. Верхняя часть пачки охарактеризована кернами, представленным доломитами темно-серыми мелкокристаллическими, слабокавернозными, участками брекчеевидными, плотными, массивными. Мощность пачки 63,87 м.

2-я пачка (3607,06—3784,13 м) сложена доломитами серыми мелкокристаллическими, участками мелко-среднекристаллическими, сильнокавернозными, брекчеевидными, песчаникоподобными, плотными, массивными. Вверх по разрезу появляются прослои известняков серых мелкокристаллических, плотных, массивных и доломитов глинистых. Массивные биогермные, часто кавернозные



Условные обозначения

	Доломиты		Массивные		Биогермные
	Известняки		Слоистые		Лагунные отложения
	Аргиллиты		Глинистые		Шлейфовые предрифтовые
	Дополнительные признаки пород		Водорослевые		Шлейфовые зарифовые
	Окремнение		Обломочные		Склоновые отложения
	Сульфатизация		Комковатые		Глинистые доломиты; аргиллиты
	Битуминозность		Оолитовые		
	Кавернозность				

Рис. 2. Планшет скважины Западно-Малькитконская 216
 Fig. 2. Layout of the Zapadno-Malkitskenskaya well 216

части разреза мощностью от 10 до 30—35 м (ГК от 0,45 до 1,56 мкР/ч; НГК до 5,05 у.е.) чередуются с обломочными карбонатами, местами брекчеевидными, мощностью до 8—10 м с меньшими значениями НГК (от 2 у.е.). Мощность пачки 177,07 м.

По результатам испытаний в интервале 3702,00—3790,00 м получен приток пластовой воды с растворенным газом, дебитом 49,7 м³/сут. Коэффициент пористости меняется от 2,33 до 17,34%.

3-я пачка (3578,55—3607,06 м) сложена доломитами, известняками, характеризуется резкой дифференциацией кривой ГК (от 0,68 до 2,28 мкР/ч). Доломиты серые, темно-серые мелкокристаллические, слоистые, пористые, кавернозные. Известняки серые, темно-серые, мелкокристаллические, слоистые, плотные. В подошве пачки выделяется прослой известковистого аргиллита мощностью около метра. Мощность пачки 27,51 м.

4-я пачка (3567,00—3578,55 м). В основании залегает прослой известковистого аргиллита. Породы отличаются от пород третьей пачки более высокими значениями данных ГК и НГК. Мощность пачки 11,55 м.

Общая мощность моктаконской свиты в скважине Западно-Малькитконская 216 составляет 281 м.

К этой же фацальной зоне отнесена скважина Таначинская 7, разрез которой представлен толщей доломитов светло-серых органогенных, местами кавернозных, в нижней части более плотных, с минимальной дифференциацией кривой ГК. В средней части выделена пачка доломитов сильно кавернозных по увеличению значений НГК. Наличие коллектора подтверждает приток пластовой воды дебитом 659,5 м³/сут. (3454,00—3505,00 м). Мощность свиты составляет 146 м.

Лагунная зона. В скважине Моктаконская 2 выделено 4 пачки (мощности 69,18 м, 34,71 м, 22,28 и 31,83 м). Нижняя сложена доломитами светло-серыми мелкокристаллическими, участками среднекристаллическими, плотными, мощностью от 12 до 23 м, разделенными прослоями аргиллитов мощностью до 2 м и менее. Для доломитов значения ГК составляют до 1,44 мкР/ч, значения НГК до 6,40 у. е. Пласты аргиллитов характеризуются ГК до 5,44 мкР/ч, НГК от 2,50 до 3,50 у. е. **Вторая и третья пачки** схожи по строению, разделены пластом аргиллитов (1,5 м). Вторая пачка более глинистая, что отражается резкой дифференциацией кривой ГК (от 0,96 до 4,53 мкР/ч) и весьма низкими значениями НГК, от 2,53. Третья пачка сложена доломитами массивными,

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

плотными, со значениями ГК от 2,39 до 3,26 мкР/ч и НГК от 3,65 до 5,67 у. е. В подошве пачки выделен пласт аргиллитов мощностью 2 м. **Четвертая пачка** начинается аргиллитами мощностью 3 м, вверх по разрезу сменяются доломитами темно-серыми, тонко-среднекристаллическими, участками — обломочными, кавернозно-пористыми. Местами отмечены оолитовые, сульфатизированные разности с мощностью прослоев до 4—5 м. Общая мощность моктаконской свиты в скважине Моктаконская 2 составляет 158 м.

К этой же зоне отнесена скважина Моктаконская 1, отличающаяся малой мощностью (36 м), сложенная доломитами и известняками. Доломиты серые средне-крупно-грубокристаллические, массивные, участками неяснослоистые, кавернозно-пористые мощностью до 8 м (ГК отличается минимальной дифференциацией со значениями от 0,01 до 1,48 мкР/ч, НГК сильно дифференцирован и имеет значения от 2,48 до 5,00 у. е.). Известняки серы, тонкокристаллические, пятнистые, сульфатизированные. По результатам испытаний в интервале 3303,00—3325,00 м получен приток нефти, дебитом 93 м³/сут.

Шлейфовая фациальная зона представлена разрезом скважины Таначинская 8. В составе моктаконской свиты выделено 5 пачек мощностью 56,39, 36,54, 44,04, 31,5 и 39,17 м. Разрез отличается неравномерным чередованием карбонатов чистых с карбонатами в разной степени глинистыми с прослоями аргиллитов мощностью до 1 м. Среди доломитов плотных (ГК от 0,01 до 1,54 мкР/ч; НГК от 3,66 до 5,24 у. е.) отмечены прослои доломитов обломочных мощностью от 1 до 4 м, в которых значения ГК составляют от 1,54 до 4,82 мкР/ч. Кривая НГК сильно дифференцирована, отражает присутствие глинистых разностей (от 2,50 у. е.) и чистых карбонатов (до 6,37 у. е.).

1-я пачка (3516,61—3573,00 м) представлена доломитами глинистыми, слоистыми, плотными, в основании более глинистыми, до аргиллитов известковистых. В верхней части пачки доломиты серые, мелкокристаллические, массивные характеризуются меньшей плотностью. В **трех пачках** преобладают обломочные доломиты, участками кавернозные, переслаивающиеся с доломитами органогенными и доломитами глинистыми. По результатам испытаний в интервале 3497,00—3573,00 м первой и второй пачки получен приток пластовой воды дебитом 331 м³/сут. Первая, вторая и третья пачки начинаются прослоями аргиллитов мощностью

от 1 до 3 м, сложены чередованием доломитов органогенных, плотных, прослоями пористо-кавернозных мощностью до 10 м и доломитов обломочных, в разной степени глинистых. По результатам испытаний в интервале 3361,00—3398,00 м пятой пачки получен приток пластовой воды дебитом 187 м³/сут. Общая мощность моктаконской свиты 208 м.

Склоновая зона отличается максимальной дифференциацией кривых ГК и НГК, значительной долей глинистых разностей и присутствием прослоев обломочных карбонатов в верхних частях разрезов.

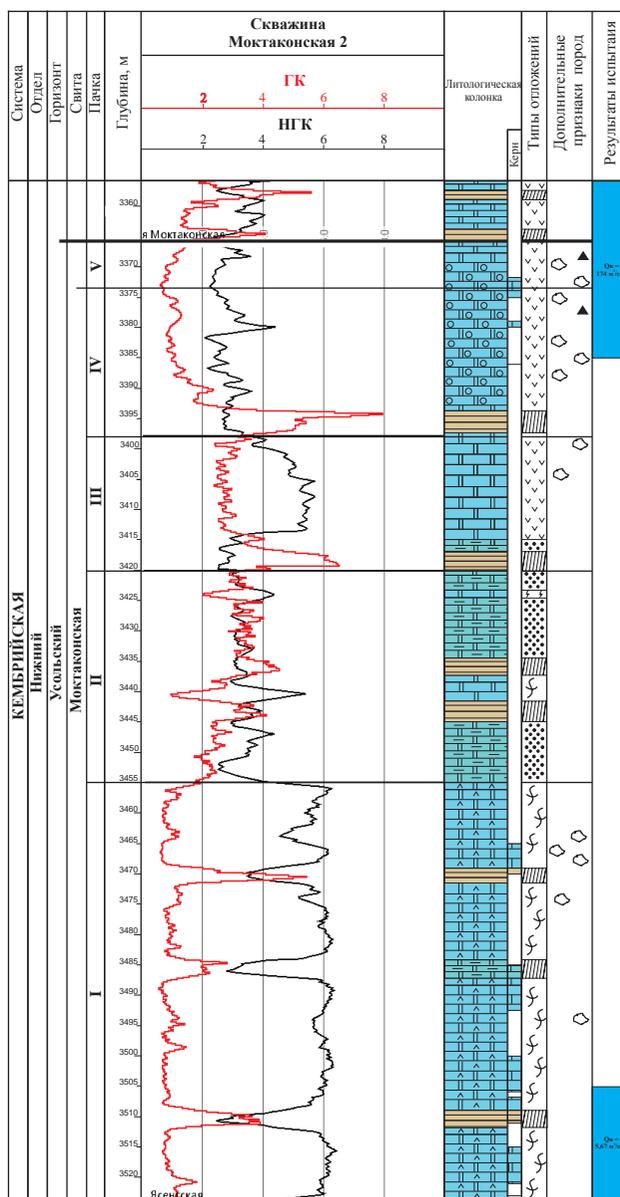


Рис. 3. Планшет скважины Моктаконская 2
Fig. 3. Layout of the Moktakonskaya 2 well.

В разрезе скважины Марская 217 выделено 4 пачки.

1-я пачка (3476,08—3508,00 м) сложена доломитами и известняками. Доломиты темно-серые мелко-тонкокristаллические. Известняки темно-серые до черных тонкокristаллические. В подошве пачки наблюдается слой плотных глинистых известняков мощностью 4 м. Вверх до кровли пачки отмечается чередование карбонатов в разной степени глинистых, что подчеркивается резкой дифференциацией кривой ГК и пониженными значениями кривой НГК. Мощность пачки 31,92 м.

2-я пачка (3430,43—3476,08 м) отличается от первой пачки еще более резкой дифференциацией

кривой ГК (от 1,18 до 4,46 мкР/ч) и слабой дифференциацией кривой НГК (от 2,65 до 3,96 у.е.). Сложена доломитами, известняками. Доломиты серые до темных, мелкокристаллические, слоистые, плотные. Известняки серые, темно-серые до черных, мелкокристаллические. Мощность пачки 45,65 м.

3-я пачка (3399,28—3430,43 м) сложена доломитами, известняками с прослоями аргиллитов. Доломиты обломочные серые до темных, мелкокристаллические, слоистые, плотные, крепкие, местами глинистые. Известняки серые, темно-серые до черных, мелко-тонкокristаллические, глинистые, плотные. Аргиллиты бурые, плотные, тонкоплитчатые. В подошве пачки выделяются прослой аргиллита мощностью около 1 м. Кривая ГК сильно дифференцирована со значениями от 0,80 до 6,73 мкР/ч, значения НГК изменяются от 2,83 до 4,05 у.е. В подошве пачки выделяется пласт аргиллитов мощностью 3 м. Мощность пачки 31,15 м.

4-я пачка (3370,00—3399,28 м) сложена доломитами и известняками. Доломиты темно-серые мелко-тонкокristаллические, плотные, неравномерно глинистые. Известняки серые, темно-серые до черных, мелко-тонкокristаллические, плотные, частично доломитизированные, глинистые. В подошве выделен слой аргиллитов мощностью 2 м. Кривая ГК сильно дифференцирована со значениями от 0,80 до 5,28 мкР/ч, значения НГК составляют 3,00—4,40 у.е. В кровле пачки наблюдаются прослой карбонатов обломочных с уменьшенной плотностью (НГК 3,00 у.е.) Мощность пачки 29,28 м. Общая мощность свиты 138 м.

К этой же зоне отнесены скважины: Усть-Кочумдская 202 и Моктаконская 7.

Разрез скважины Усть-Кочумдская 202 схож по литологическому строению с разрезом скважины Марская 217, но отличается сокращенной мощностью моктаконской свиты до 81 м. В верхней части появляются прослой доломитов темно-серых среднекристаллических, окремненных, пористокавернозных.

Скважина Моктаконская 7 представлена чередованием доломитов темно-серых тонко-мелкокristаллических, глинистых, плотных; известняков темно-серых мелкокристаллических, слабглинистых, плотных. Пласты аргиллитов известковистых бурых мощностью до 3 м отмечены в нижней части разреза и в основании верхних пачек. По всему разрезу наблюдается окремнение. Мощность свиты составляет 106 м.

Типизация и строение разрезов охарактеризованы в таблице.

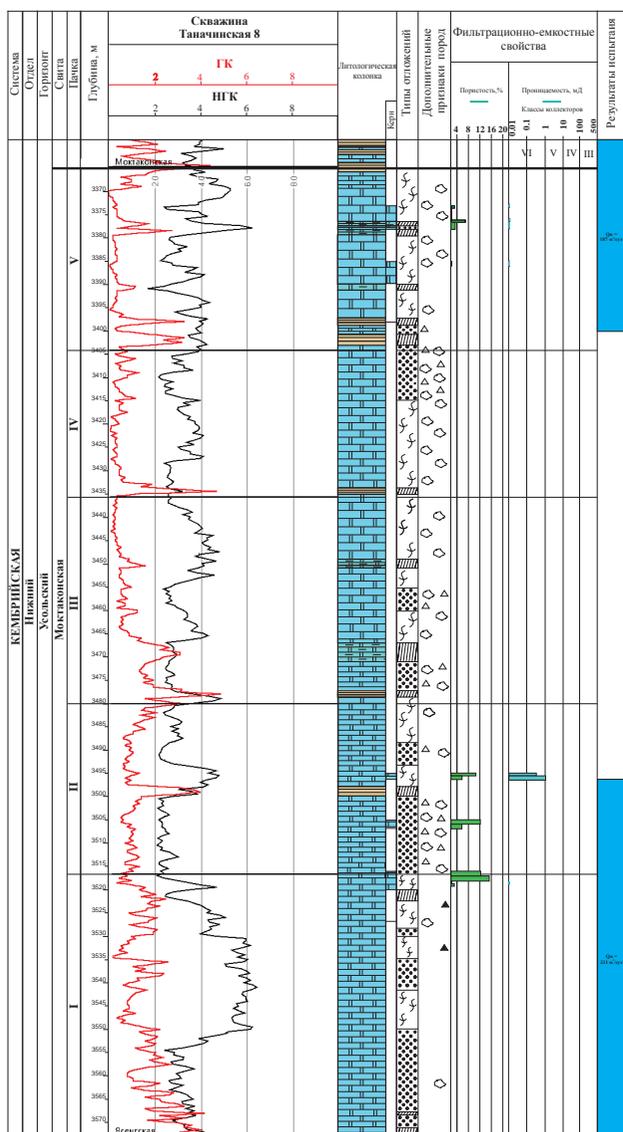


Рис. 4. Планшет скважины Таначинская 8
 Fig. 4. Layout of the Tanachinskaya 8 well

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

Таблица. Сравнение значений кривых ГК и НГК в выделенных литолого-фациальных зонах
Table. Comparison of the values of the Gamma Logging and Neutron Gamma Logging curves in the selected lithologic facies zones

Литолого-фациальные зоны	Скважина	Мощность свиты, м	Пачка	Интервал		ГК		НГК		ГК	
				От	До	Карбонаты				Аргиллиты	
						Min	Max	Min	Max	Max	
Биогермная	Нижне-Тунгусская 6	117	III	3530,00	3560,84	0,48	1,18	2,46	3,35	Отсутств.	
			II	3560,84	3620,23	0,43	1,43	2,39	5,64		
			I	3620,23	3647,00	0,48	1,40	2,21	3,13		
	Тана-чинская 7	146	III	3403,00	3459,37	0,00	0,91	1,74	3,80	Отсутств.	
			II	3459,37	3498,02	0,02	1,23	2,12	3,66		
			I	3498,02	3549,00	0,00	0,46	1,85	2,75		
	Западно-Малькит-конская 216	281	IV	3567,00	3578,55	1,10	2,74	2,93	4,82	4,38	
			III	3578,55	3607,06	0,65	2,28	2,22	4,22	4,76	
			II	3607,06	3784,13	0,45	3,39	2,02	5,02	Отсутств.	
			I	3784,13	3848,00	0,45	2,40	3,36	4,78	6,32	
	Шлейфовая	Тана-чинская 8	208	V	3365,00	3404,17	0,00	3,25	1,70	6,15	Отсутств.
				IV	3404,17	3435,67	0,01	1,32	2,17	4,07	4,65
III				3435,67	3480,07	0,09	3,07	2,38	4,83	4,82	
II				3480,07	3516,61	0,53	2,11	2,09	4,75	3,95	
I				3516,61	3573,00	0,07	3,25	2,40	6,38	4,12	
Лагунная	Мокта-конская 1	36	Отсутств.	3299,00	3334,00	0,00	1,80	2,48	5,15	Отсутств.	
	Мокта-конская 2	158	IV	3366,00	3397,83	0,60	2,35	2,10	4,35	7,94	
			III	3397,83	3420,11	2,39	3,23	2,51	5,69	6,50	
			II	3420,11	3454,82	0,96	3,06	2,53	5,36	4,53	
			I	3454,82	3524,00	0,55	1,65	2,47	6,40	5,44	
	Мокта-конская 3	152	IV	3367,00	3378,24	0,27	0,89	2,62	3,80	3,12	
			III	3378,24	3403,77	0,14	1,02	2,12	4,09	3,00	
			II	3403,77	3457,07	0,27	2,24	2,26	4,80	Отсутств.	
	Склоновая	Мокта-конская 7	106	I	3457,07	3518,00	0,00	0,80	2,00	6,08	2,44
IV				3478,00	3508,35	1,20	2,40	2,44	5,48	7,05	
III				3508,35	3536,89	1,20	2,73	2,12	4,80	4,80	
II				3536,89	3564,38	1,95	2,91	2,85	5,24	4,65	
Мокта-конская 6		101	I	3564,38	3584,00	1,80	2,85	2,81	5,82	5,85	
			IV	3479,00	3491,64	1,94	3,05	2,20	3,85	8,26	
			III	3491,64	3524,85	2,19	3,06	2,26	4,76	8,32	
			II	3524,85	3554,45	2,32	2,85	2,60	4,69	5,55	
Марская 217		138	I	3554,45	3580,00	1,38	2,92	3,03	5,10	6,02	
			IV	3370,00	3399,28	0,76	3,76	2,93	4,41	5,28	
			III	3399,28	3430,43	0,73	4,74	2,83	4,05	6,73	
			II	3430,43	3476,08	1,18	4,46	2,65	4,01	Отсутств.	
I	3476,08	3508,00	1,97	4,49	3,03	4,76	Отсутств.				

Продолжение таблицы

Литолого-фациальные зоны	Скважина	Мощность свиты, м	Пачка	Интервал		ГК		НГК		ГК
				От	До	Карбонаты		Аргиллиты		
						Min	Max	Min	Max	Max
Склоновая	Холминская 212	148	IV	3562,00	3603,09	2,10	3,82	Н/Д		6,57
			III	3603,09	3667,86	1,65	3,96			5,51
			II	3667,86	3691,94	2,42	4,30			8,04
			I	3691,94	3710,00	2,19	3,77			7,65
	Усть-Кочумдекская 202	81	III	3496,00	3522,87	0,60	4,11	2,07	5,55	Отсутств.
			II	3522,87	3551,56	1,42	4,11	2,29	5,75	5,95
I			3551,56	3577,00	0,45	4,24	2,47	5,03	7,89	

На основании полученного материала построена седиментационно-емкостная модель свиты (рис. 6). Выделены четыре литолого-фациальные зоны: биогермная, лагунная, шлейфовая, и склоновая, в которых развит соответствующий тип отложений.

Биогермный тип отложений выделен в скважинах: Нижне-Тунгусская 6, Таначинская 7 и Западно-Малькитконская 216. Биогермные отложения обладают значительной мощностью, варьирующейся от 117 м (Нижне-Тунгусская 6)

до 281 м (Западно-Малькитконская 216) (рис. 2). Их отличительной особенностью является минимальная дифференциация и низкие значения кривой ГК. Показания НГК варьируются в зависимости от плотности пород. Биогермные отложения сложены доломитами светло-серыми, серыми средне- и крупнокристаллическими перекристаллизованными, массивными. Присутствие емкостного пространства отражается кривой НГК. Коэффициент пористости меняется от 2,30 до 17,34 %. Коэффициент проницаемости варьируется в пределах 0,01—357,07 мД (скв. Западно-Малькитконская 216) (Определено в ходе лабораторного эксперимента по керну сотрудниками лаборатории физики пласта ПГО «Енисейнефтегазгеология», 1989 г.).

Лагунные отложения сложены карбонатными породами, обладают выдержанной мощностью, которая изменяется от 152 м (в скв. Моктаконская 2) до 158 м (в скв. Моктаконская 3) (рис. 3). В скважине Моктаконская 1 наблюдается сокращение мощности до 36 м, что объясняется положением разреза на приподнятой части дна бассейна. В разрезах наблюдается меньшая дифференциация и меньшие значения кривой ГК, более высокие значения кривой НГК, что указывает на пониженное содержание глинистого материала и увеличение плотности отложений. Разрезы представлены доломитами светло-серыми, серыми и темно-серыми с преимущественно тонко-среднекристаллической структурой, встречаются оолитовые разности. Присутствуют прослои ангидритов мощностью до 40 см, а также прослои аргиллитов зеленовато-темно-серых аналогичной мощности. Присутствие емкостного пространства отражается значениями кривой. Данные по фильтрационно-емкостным свойствам отсутствуют.

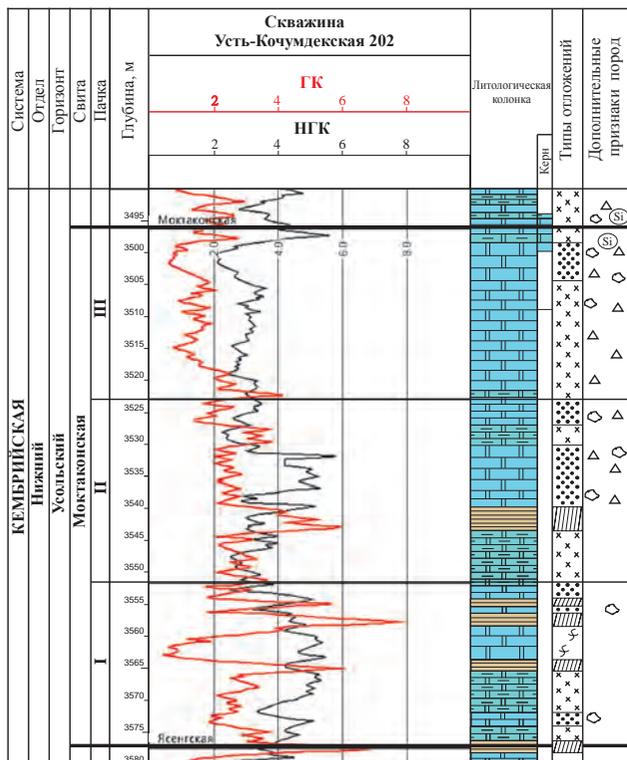


Рис. 5. Планшет скважины Усть-Кочумдекская 202
 Fig. 5. Layout of Ust-Kochumdekskaya 202 well

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

Шлейфовые отложения образованы при разрушении органогенных построек. Мощность отложений достигает 208 м (Таначинская 8) (рис. 4). Показания кривых ГК и НГК в разрезе скважины изменчивы, от максимальных показаний и дифференциации до относительно низких показаний и выдержанной минимальной дифференциации кривых ГК и НГК. Отложения представлены доломитами светло-серыми, серыми, коричневато-серыми и темно-серыми. Структура пород разнокристаллическая, обломочная, текстура слоистая. Емкостное пространство отличается слабой пористостью и кавернозностью, с кавернами размером

до 8 мм. Коэффициент пористости меняется от 0,15 до 15,40 %. Коэффициент проницаемости варьирует в пределах 0,001—2,91 мД (определено в ходе лабораторного эксперимента по керну сотрудниками лаборатории физики пласта ПГО «Енисейнефтегазгеология», 1989 г.).

Склоновые отложения выделены в скважинах: Моктаконская 6, Моктаконская 7, Марская 217, Холминская 212 и Усть-Кочумдекская 202 (рис. 5). Склоновые отложения характеризуется сокращенной мощностью разрезов от 81 м (скв. Усть-Кочумдекская 202) до 148 м (скв. Холминская 212) и резкой дифференциацией кривых ГК и НГК. Такая

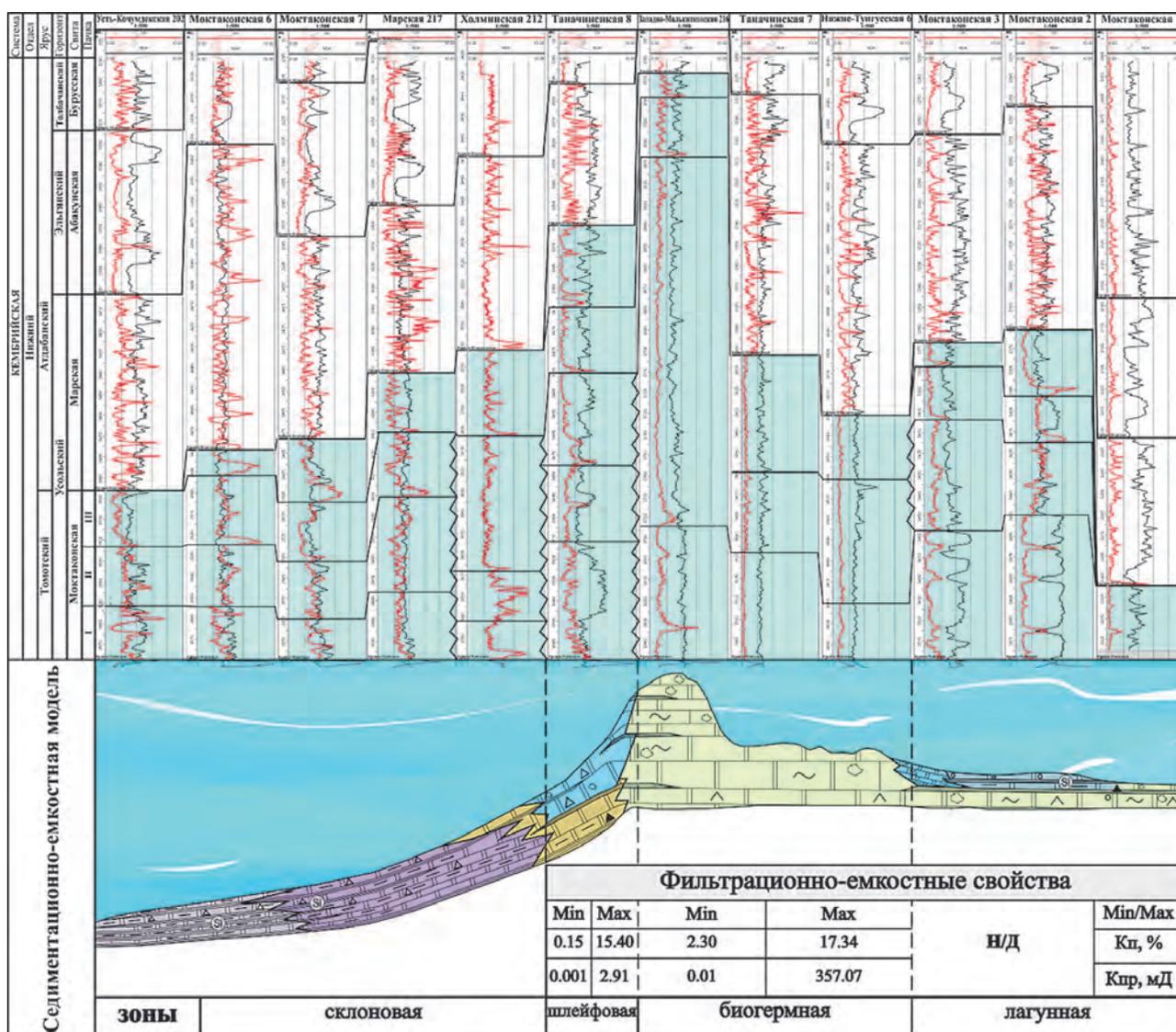


Рис. 6. Седиментационно-емкостная модель отложений моктаконской свиты Южно-Тунгусской нефтегазоносной области

Fig. 6. Sedimentation-capacity model of sediments of the Muktakon Formation of the Yuzhno-Tunguska oil and gas region

дифференциация свидетельствует о неоднородности разреза за счет появления глинистых прослоев и глинистого заполнителя в карбонатных породах. Склоновые отложения представлены преимущественно доломитами темно-серыми микрокристаллическими, прослоями обломочными, слоистыми. Частые прослои аргиллитов мощностью до 2 м. Доломиты содержат включения ангидритов, часто встречающиеся в виде гнезд, что свидетельствует об их постседиментационной природе. В скважине Моктаконская 7 обильно развито окремнение, представленное в виде включений и прослоев кварц-халцедоновых агрегатов. Данные по фильтрационно-емкостным свойствам отсутствуют.

Заключение

Седиментационно-емкостная модель построена по результатам анализа материалов скважин, вскрывших моктаконскую свиту в западной части Южно-Тунгусской нефтегазоносной области. В модели обосновано выделение биогермной, лагунной, шлейфовой и склоновой литолого-фациальных зон, дана их характеристика, показано изменение условий осадконакопления от лагунных зарифовых, биогермных и до отложений склона. Наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами характеризуются биогермные отложения и обломочные карбонатные отложения верхней части склона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова Г.В., Асташкин Д.А., Варламов А.И. Методика изучения пород нефтегазоносных комплексов. Детальное макроскопическое описание керна скважин. М.: ВНИГНИ, 2015. 172 с.
2. Баженова Т.К., Дахнова М.В., Жеглова Т.П. Нефтематеринские формации, нефти и газы докембрия и нижнего-среднего кембрия Сибирской платформы. М.: ВНИГНИ, 2014. 124 с.
3. Битнер А.К., Кринин В.А., Кузнецов Л.Л., Назимков Г.Д. и др. Нефтегазоносность древних продуктивных толщ запада Сибирской платформы. Красноярск: КФ СНИИГГМС, ПГО Енисейнефтегазгеология, 1990. 114 с.
4. Гордеева А.О. Критерии прогноза нефтегазоносности Южно-Тунгусской области с высоким развитием траппового магматизма (Лено-Тунгусская провинция): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2011. 270 с.
5. Иванов Ю.А., Мясникова И.П. Новые аспекты перспектив нефтегазоносности северных районов Сибирской платформы. Геология нефти и газа. 2000. № 3. 39 с.
6. Кузнецова Е.Н., Губин И.А., Гордеева А.О., Константинова Л.Н., Моисеев С.А., Конторович А.Э. Южно-Тунгусская нефтегазоносная область: Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности. Геология и геофизика. 2017. Т. 58, № 3—4. С. 602—613.
7. Масленников М.А., Сухов С.С., Соболев П.Н. Перспективы нефтегазоносности кембрийских барьерных рифовых систем Сибирской платформы в свете новых геолого-геофизических данных. Геология нефти и газа. 2021. № 4. С. 29—49.
8. Мельников Н.В., Егорова Л.И., Килина Л. И. и др. Стратиграфия кембрия Бахтинского мегавыступа. Геология и геофизика. 1989. № 3. С. 9—21.
9. Мельников Н.В., Килина Л.И., Кудрина Т.Р. и др. Венд и нижний кембрий Бахтинского мегавыступа. Региональная стратиграфия нефтегазоносных провинций Сибири. Новосибирск: СНИИГГМС, 1985. С. 3—14.
10. Мельников Н.В. Вендкембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: СО РАН, 2009. 148 с.
11. Мельников Н.В. Вендкембрийский соленосный бассейн Сибирской платформы. (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: СНИИГГМС, 2018. 177 с.
12. Мельников Н.В., Мельников П.Н., Смирнов Е.В. Зоны нефтегазонакопления в районах проведения геолого-разведочных работ Лено-Тунгусской провинции. Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 8. 1151—1163 с.
13. Фортунатова Н.К., Швец-Тэнэта-Гурий А.Г., Агафонова Г.В., Баранова А.В., Гумаров Р.К., Ильин В.Д., Михеев И.Г., Фарбирович В.П. Седиментологическое моделирование карбонатных осадочных комплексов. М.: РЭФИА, 2000. 239 с.

REFERENCES

1. Agafonova G.V., Astashkin D.A., Varlamov A.I. Methods of studying rocks of oil and gas bearing complexes. Detailed macroscopic description of well cores. Moscow: VNIGNI, 2015. 172 p. (In Russ.).
2. Bazhenova T.K., Dakhnova M.V., Zheglova T.P. Oil-maternal formations, oils and gases of the Precambrian and Lower-Middle Cambrian of the Siberian Platform. Moscow: VNIGNI, 2014. 124 p. (In Russ.).
3. Bitner A.K., Krinin V.A., Kuznetsov L.L., Nazimkov G.D., et al. Oil and gas content of ancient productive strata in the west of the Siberian Platform. Krasnoyarsk: KF SNIIGGIMS, PGO Yeniseyneftegazgeologia, 1990. 114 p. (In Russ.).
4. Gordeeva A.O. Criteria of Oil and Gas Carrying Capacity Forecast of the South Tunguska Area with High Development of Trap Magmatism (Lena-Tunguska

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

- Province): author's thesis. ... cand. of geol.-min. sci. Novosibirsk, 2011. 270 p. (In Russ.).
- Ivanov Yu.A., Myasnikova I.P. New aspects of oil and gas bearing prospects of the northern areas of the Siberian Platform. *Geology of Oil and Gas*. 2000. No. 3. 39 p. (In Russ.).
 - Kuznetsova E.N., Gubin I.A., Gordeeva A.O., Konstantinova L.N., Moiseev S.A., Kontorovich A.E. South Tunguska oil and gas bearing area: Geological structure and prospects of oil and gas content. *Geology and Geophysics*. 2017. Vol. 58, no. 3—4. P. 602—613. (In Russ.).
 - Maslenikov M.A., Sukhov S.S., Sobolev P.N. Prospects for oil and gas bearing capacity of Cambrian barrier reef systems of the Siberian Platform in the light of new geological and geophysical data. *Oil and Gas Geology*. 2021. No. 4. P. 29—49. (In Russ.).
 - Melnikov N.V., Egorova L.I., Kilina L.I., et al. Stratigraphy of the Cambrian of the Bakhtinsky megathrust. *Geology and Geophysics*. 1989. No. 3. P. 9—21. (In Russ.).
 - Melnikov N.V., Kilina L.I., Kudrina T.R., et al. Vendian and Lower Cambrian of the Bakhtinskiy megadance. Regional stratigraphy of oil-and-gas bearing provinces of Siberia. Novosibirsk: SNIIGiMS, 1985. P. 3—14 (In Russ.).
 - Melnikov N.V. Vendkembrian Saline Basin of the Siberian Platform. (Stratigraphy, history of development). Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2009. 148 p. (In Russ.).
 - Melnikov N.V. Vendkembrian saline basin of the Siberian Platform. (Stratigraphy, history of development). Novosibirsk: SNIIGiMS Izd. 2nd, supplement. 2018. 177 p. (In Russ.).
 - Melnikov N.V., Melnikov P.N., Smirnov E.V. Zones of oil and gas accumulation in the areas of geological exploration of the Lena-Tunguska Province. *Geology and Geophysics*. 2011. T. 52, no. 8. P. 1151—1163. (In Russ.).
 - Fortunatova N.K., Shvets-Teneta-Guriy A.G., Agafova G.V., Baranova A.V., Gumarov R.K., Ilyin V.D., Mikheev I.G., Farbirovich V.P. Sedimentological modeling of carbonate sedimentary complexes: Moscow, REFIA, 2000. 239 p. (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Носкова Е.С. — доработала концепцию статьи, редактировала текст, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Агафонова Г.В. — доработала концепцию статьи, редактировала текст, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Покровский Д.В. — сбор и систематизация материала, составление и оформление обзорной карты.

Aleksandr R. Ryazanov — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ekaterina S. Noskova — finalized the concept of the article, edited the text, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Galina V. Agafonova — finalized the concept of the article, edited the text, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Dmitry V. Pokrovsky — collection and systematization of material, compilation and design of an overview map.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рязанов Александр Романович* — аспирант 2-го года обучения по научной специальности 1.6.11 «Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт». 36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия e-mail: aleksandr_w9ke@list.ru тел.: +7 (915) 064-89-26 ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6760-5579>

Aleksandr R. Ryazanov* — postgraduate student of the 2nd year of study on scientific specialty 1.6.11 “Geology, prospecting, exploration and exploitation of oil and gas fields” on competition of scientific degrees of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences of the All-Russian Research Geological Petroleum Institute. 36, Entuziastov highway, Moscow 105118, Russia e-mail: aleksandr_w9ke@list.ru tel.: +7 (915) 064-89-26 ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6760-5579>

Носкова Екатерина Станиславовна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник сектора «Перспективы нефтегазоносности Азиатской части РФ» ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт».

36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия
e-mail: noskova@vnigni.ru
тел.: +7 (915) 178-62-36

Агафонова Галина Валентиновна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (Москва); старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия
e-mail: agafonovagalina@inbox.ru

Покровский Дмитрий Вячеславович — сотрудник сектора «Перспективы нефтегазоносности Азиатской части РФ» ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт».

36, шоссе Энтузиастов, г. Москва 105118, Россия
e-mail: pokrovskiy@vnigni.ru
тел.: +7 (926) 135-08-01

Ekaterina S. Noskova — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher of the Sector of Oil and Gas Prospects of the Asian part of the All-Russian Research Geological Petroleum Institute.

36, Entuziastov highway, Moscow 105118, Russia
e-mail: noskova@vnigni.ru
tel.: +7 (915) 178-62-36

Galina V. Agafonova — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting; Senior Researcher of the All-Russian Research Geological Petroleum Institute.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
36, Entuziastov highway, Moscow 105118, Russia.
e-mail: agafonovagalina@inbox.ru

Dmitry V. Pokrovsky — employee of the sector “Prospects of oil and gas potential of the Asian part of the Russian Federation” All-Russian Research Geological Petroleum Institute.

36, Entuziastov highway, Moscow 105118, Russia
e-mail: pokrovskiy@vnigni.ru
tel.: +7 (926) 135-08-01

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА И ЗАПАДНО- УРАЛЬСКОЙ ВНЕШНЕЙ ЗОНЫ СКЛАДЧАТОСТИ

Л.И. БОНДАРЕВА^{1,*}, А.В. ОСИПОВ²

¹ ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук»
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Зона сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости традиционно рассматривается как структура с высоким углеводородным потенциалом. Однако сложность геологического строения рассматриваемой территории, неоднозначность интерпретации геолого-геофизических материалов и, как следствие, отсутствие достоверных геологических моделей являются сдерживающими факторами к освоению ее ресурсной базы.

Цель. Изучить условия формирования осадочных бассейнов зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости, дать характеристику элементам углеводородных систем.

Материалы и методы. Использованы фондовые и опубликованные геолого-геофизические и геохимические материалы по территории исследования, которые послужили исходными данными для бассейнового анализа и анализа углеводородных систем.

Результаты. Выделены три суббассейна: Южно-Предуральский, Средне-Предуральский и Северо-Предуральский. Для каждого суббассейна рассчитаны средние скорости осадконакопления, мощности осадочного чехла, площади, изучены и охарактеризованы элементы углеводородных систем.

Заключение. По итогам работы изучены условия формирования осадочных бассейнов, выделены и описаны генерационно-аккумуляционные углеводородные системы, которые определяют перспективы нефтегазоносности рассматриваемой территории.

Ключевые слова: бассейновый анализ, коллизия, надвиги, Предуральский прогиб, Передовые складки Урала, углеводородные системы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Бондарева Л.И., Осипов А.В. Условия формирования осадочных бассейнов зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):44—54. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-44-54>

Статья поступила в редакцию 26.09.2024

Принята к публикации 07.11.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

FORMATION CONDITIONS FOR SEDIMENTARY BASINS OF THE JUNCTION ZONE OF PRE-URAL TROUGH AND WEST URAL OUTER FOLDING

LIANA I. BONDAREVA^{1,*}, ALEXANDER V. OSIPOV²

¹ Oil and Gas Research Institute of RAS
3 Gubkin str., Moscow 119333, Russia

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

ABSTRACT

Background. The junction zone of the Pre-Ural marginal trough and the West Ural outer folding is conventionally considered as a structure possessing a high hydrocarbon potential. However, the complexity of its geological structure, the ambiguity of interpretation of geological and geophysical materials and, as a result, the lack of reliable geological models restrain the development of its resource base.

Aim. To study the formation conditions of sedimentary basins of the junction zone of the Pre-Ural trough and the West Ural outer folding, to characterize the elements of petroleum systems.

Materials and methods. Both unpublished and published geological, geophysical, and geochemical materials on the study area were used. These materials served as the initial data for conducting a basin analysis and an analysis of petroleum systems.

Results. The following three sub-basins were identified: South Pre-Ural sub-basin, Middle Pre-Ural sub-basin, and North Pre-Ural sub-basin. For each subbasin, the average sedimentation rates and sedimentary cover capacities were calculated; elements of petroleum systems were characterized.

Conclusion. The formation conditions of sedimentary basins were studied. The generation and accumulation petroleum systems, which determine the oil and gas potential of the area under consideration, were identified and described.

Keywords: basin analysis, collision, thrust, Pre-Ural deflection, advanced folds of the Urals, petroleum systems

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

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

For citation: Bondareva L.I., Osipov A.V. Formation conditions for sedimentary basins of the junction zone of Pre-Ural trough and West Ural outer folding. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):44—54. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-44-54>

Manuscript received 26 September 2024

Accepted 07 November 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Введение

Объектом настоящего исследования является Уральская складчатая система, представленная складчато-надвиговыми структурами Западно-Уральской внешней зоны складчатости и сопряженной с ней территорией Предуральского краевого прогиба.

Эти элементы традиционно рассматриваются как структуры с высоким углеводородным потенци-

алом [12, 20, 23, 29 и др.]. Однако сложность геологического строения рассматриваемой территории, неоднозначность интерпретации геолого-геофизических материалов и, как следствие, отсутствие достоверных геологических моделей являются сдерживающими факторами к освоению ее ресурсной базы.

Структурно-тектонические особенности зоны сочленения Предуральского краевого прогиба

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

и Западно-Уральской внешней зоны складчатости, а также сопряженные с этим вопросы условий формирования и типизации ловушек нефти и газа были описаны в работе авторов [5].

В данной статье на основе комплексного анализа геолого-геофизических и геохимических материалов с использованием технологий компьютерного моделирования предпринята попытка восстановить историю и условия формирования осадочного чехла рассматриваемого объекта и дать характеристику элементам углеводородных систем.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели были применены бассейновый анализ — метод, позволяющий изучить осадочные бассейны как целостные природные системы, типизировать бассейны, определить структуры, состав, генезис и этапы развития [9], а также анализ углеводородных систем — метод, позволяющий идентифицировать в разрезе осадочного бассейна, охарактеризовать и исследовать пространственную локализацию и временную привязку нефтегазоматеринских пород (НГМП), пород-коллекторов и пород-покрышек [30].

Материалами послужили серия сейсмогеологических профильных разрезов в интерпретации различных авторов, структурные карты [8, 10, 11, 15, 16, 21, 22, 24], тектонические схемы [1, 6, 7], палеогеографические и литолого-фациальные карты [16, 22, 25], карты распространения нефтегазоматеринских толщ [14, 25, 26], схемы мощностей отложений [13, 17], атласы распространения тепловых потоков [2, 3].

Результаты и их обсуждение

Анализ геодинамической эволюции, особенностей условий осадконакопления позволили проследить историю формирования и развития трех суббассейнов, выделяемых в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны

складчатости: Южно-Предуральского (Бельско-Башкирского), Средне-Предуральского (Юрюзано-Соликамского) и Северо-Предуральского (Предуральско-Кортаихинского) (рис. 1, табл. 1).

В средне- и позднеордовикскую эпоху ввиду раскрытия Уральского палеоокеана на всей рассматриваемой территории существовал окраинный бассейн растяжения. На западном склоне Урала распространялись глубоководные кремнисто-глинистые отложения. Тепловой поток в этот период достигал 80—100 мВт/м².

В раннюю эпоху силурийского периода геодинамический тип бассейна сменился на окраинный бассейн сжатия — преддуговой, за счет субдукции была заложена Уральская островодужная система. В пределах Тагило-Магнитогорской зоны, а также в Щучинском синклинории распространялись силурийские вулканиты. Тепловой поток варьировал в пределах 35—120 мВт/м².

В раннедевонскую эпоху произошло столкновение островной дуги с глыбами и микроконтинентом, геодинамический тип бассейна сменился на задуговой. В начале среднего девона была сформирована новая островодужная система. Высокометаморфизованные породы островодужной системы известны в пределах Южно-Предуральского суббассейна, также встречаются локально в пределах Средне-Предуральского и Северо-Предуральского суббассейнов. До раннефранского века происходила смена островных дуг на Магнитогорскую и Тагильскую.

В среднюю эпоху каменноугольного периода геодинамический тип бассейна сменился на орогенный — предгорный и внешних зон складчатых систем. В это время происходили процессы «мягкой коллизии» по типу «дуга-континент» и «жесткой коллизии» по типу «континент-континент» [27, 28]. В начале этапа происходило формирование флишoidных отложений с граувакками, а в конце произошла смена на грубообломочные формации [26, 27, 28].

В конце палеозоя происходило формирование Уральского орогена и предгорной депрессии.

Таблица 1. Характеристики осадочных суббассейнов в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости

Table 1. Characteristics of sedimentary sub-basins in the junction zone of the Pre-Ural trough and the West Ural fold zone

Суббассейн	Мощность осадочного чехла, м		Площадь, кв. км
	минимум	максимум	
Северо-Предуральский	2500	12 000	80,1
Средне-Предуральский	1000	10 000	34,7
Южно-Предуральский	2000	11 000	24,3

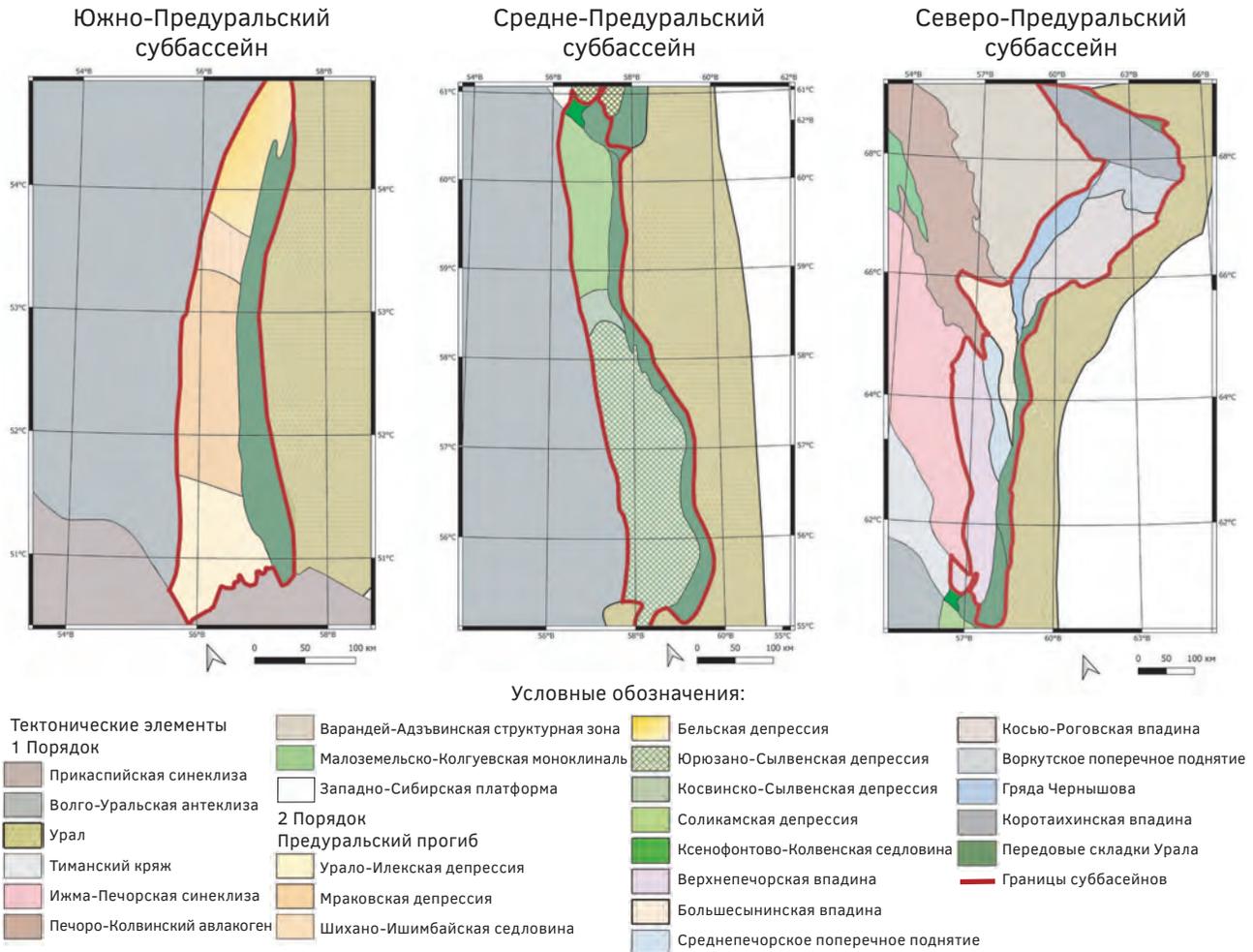


Рис. 1. Границы осадочных суббассейнов в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости

Fig. 1. Boundaries of sedimentary sub-basins in the junction zone of the Pre-Ural trough and the West Ural fold zone

В Южно-Предуральском суббассейне произошло формирование мелководных отложений, которые сменились на кунгурские эвапориты. В депрессиях Южно-Предуральского и Средне-Предуральского суббассейнов формировались рифогенные постройки, а в Северо-Предуральском суббассейне формировались глубоководные отложения. Тепловой поток варьировал в пределах 50—120 мВт/м².

В пределах Южно- и Средне-Предуральского суббассейнов формирование Уральской складчатой системы завершилось в конце пермского периода, в Северо-Предуральском суббассейне — в триасовое время. Далее происходила эрозия и пенеппенизация.

Анализ скоростей осадконакопления, а также результаты палеотектонических реконструкций

[4, 5, 18, 19] позволили установить депоцентры осадконакопления, области интенсивного устойчивого прогибания, а также определить границы осадочных суббассейнов на каждом этапе геологического развития рассматриваемого объекта.

Установлено, что в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости вплоть до этапа «мягкой коллизии» мощность отложений и скорость осадконакопления были повсеместно сравнительно одинаковыми, что указывает на то, что Предуральский прогиб и Передовые складки были единым бассейном седиментации. После этапа «мягкой коллизии» депоцентр осадконакопления формируется в области интенсивного устойчивого прогибания — Предуральском прогибе. И наибольшие мощности осадков, и скорости

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

седиментации прослеживаются в данной области до настоящего времени.

В Южно-Предуральском суббассейне (рис. 2) до конца силурийского периода мощность отложений была выдержанной по всей территории, и осадконакопление происходило равномерно. В девонско-раннекаменноугольное время в центральной части суббассейна сформировался депозит осадконакопления с максимальной мощностью отложений до 3 км. В среднекаменноугольную эпоху во время «мягкой коллизии» депозит осадконакопления сформировался в северной части суббассейна, а также там, где формировалась

депрессия. Средние рассчитанные скорости осадконакопления достигали до 162 м/млн лет в позднекаменноугольную эпоху и до 145 м/млн лет в пермский период.

В Средне-Предуральском суббассейне (рис. 3) до конца раннекаменноугольной эпохи происходило накопление в основном выдержанных по мощности отложений. Средняя мощность отложений составила до 1000 м, скорости осадконакопления до 10 м/млн лет. Депозит осадконакопления был сформирован в центральной части Юрюзано-Сылвенской депрессии. В среднекаменноугольную эпоху депозит осадконакопления сместился

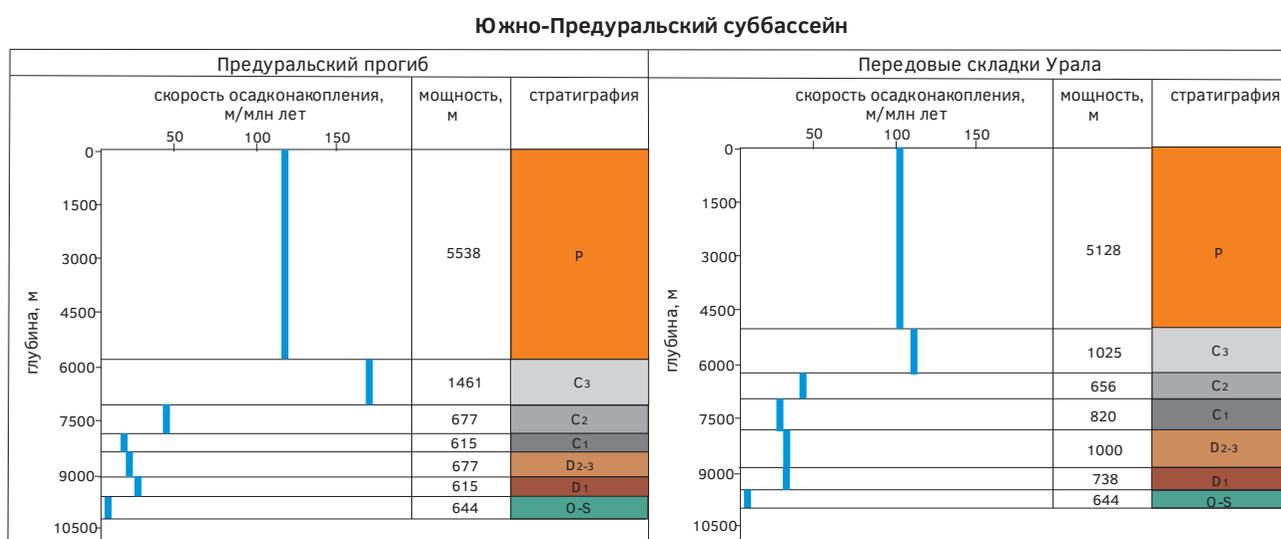


Рис. 2. Скорости осадконакопления в Южно-Предуральском суббассейне
Fig. 2. Sedimentation rates in the South Pre-Ural sub-basin

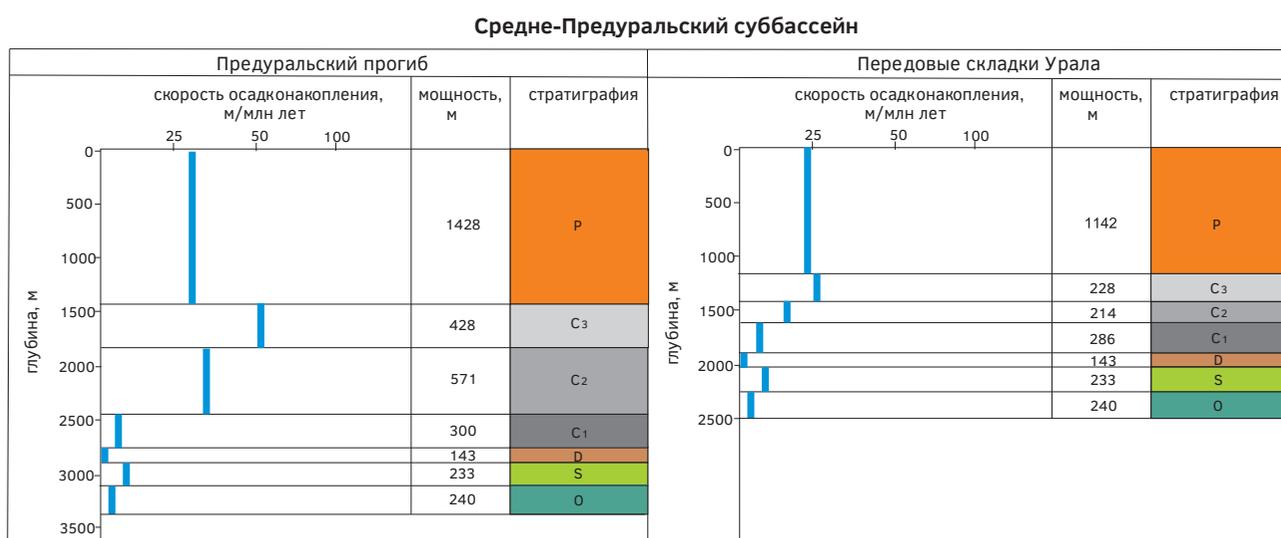


Рис. 3. Скорости осадконакопления в Средне-Предуральском суббассейне
Fig. 3. Sedimentation rates in the Middle Pre-Ural sub-basin

в западную часть, в область Юрюзано–Сылвенской и Соликамской депрессии. Максимальная мощность отложений в наиболее погруженной части к концу пермского периода составляла 4000 м, средние скорости осадконакопления для среднекаменноугольных отложений составляют 35 м/млн лет, для верхнекаменноугольных — 52 м/млн лет, для пермских — 31 м/млн лет.

В Северо-Предуральском суббассейне аналогично можно наблюдать выдержанные по всей территории мощности ордовикских, силурийских и девонских отложений. Осадконакопление происходило равномерно по всей территории. В каменноугольное время область интенсивного осадконакопления сместилась на территорию Кортаихинской впадины. Погружение ускоряется. Максимальная мощность осадков во впадине составила 12 км. Средние скорости осадконакопления для пермских отложений составили 100 м/млн лет, для триасовых — 90 м/млн лет.

На основании анализа литолого-стратиграфических особенностей разрезов рассматриваемых суббассейнов, фильтрационно-емкостных и геохимических характеристик слагающих их пород были выделены и описаны элементы углеводородных систем (табл. 2). Так, в Южно-Предуральском суббассейне выделено 5 генерационно-аккумуляционных углеводородных систем (ГАУС): силурийская, нижнедевонско-франская,

франско-турнейская, визейско-башкирская и нижнепермская. В Средне-Предуральском суббассейне выделено 2 ГАУС: живетско-турнейская и окско-башкирская. В Северо-Предуральском суббассейне выделено 5 ГАУС: ордовикско-нижнедевонская, среднедевонско-нижнефранская, среднефранско-турнейская, визейско-нижнепермская и верхнепермская.

Заключение

Проведенные в настоящей работе исследования позволили выделить в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости три суббассейна: Южно-Предуральский, Средне-Предуральский и Северо-Предуральский — установить их границы, восстановить геодинамические обстановки в ходе их эволюции и проанализировать условия и скорости осадконакопления.

По типу исследуемые суббассейны относятся к бассейнам форланда и складчатых и внешних зон складчатых систем. Установлено, что Предуральский прогиб и Передовые складки вплоть до кунгурского века включительно были единым бассейном седиментации. Далее происходило смещение депоцентра в область устойчивого погружения — Предуральский прогиб. Наиболее высокие скорости осадконакопления были отмечены в пермское и триасовое

Северо-Предуральский суббассейн

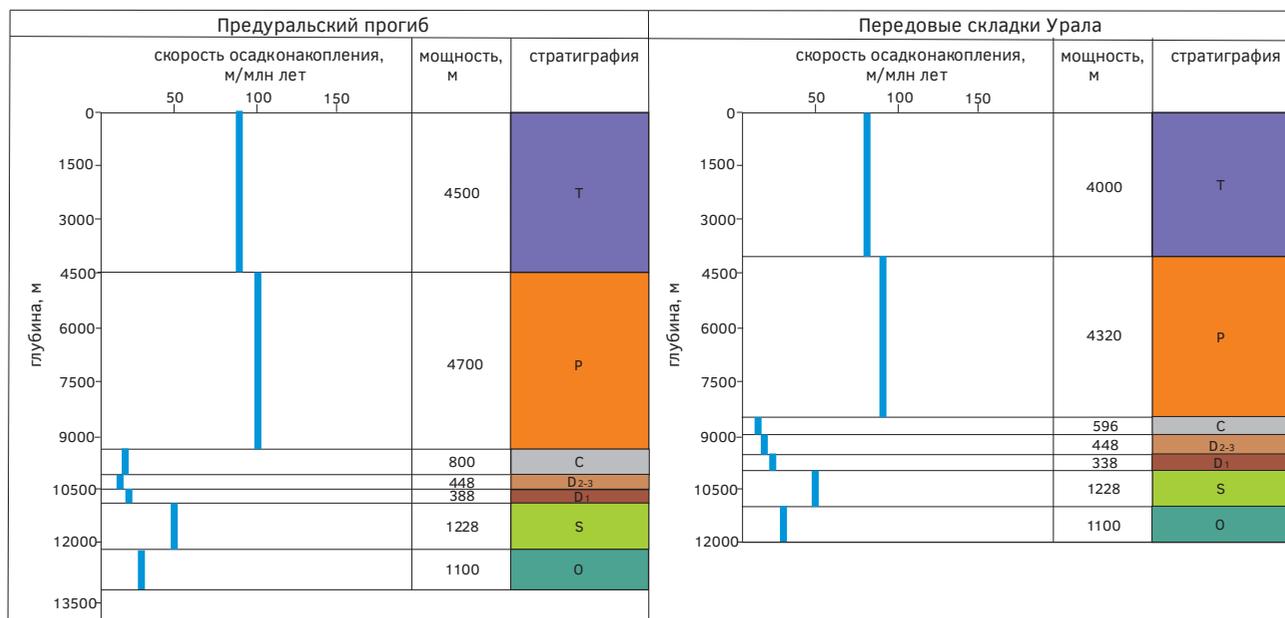


Рис. 4. Скорости осадконакопления в Северо-Предуральском суббассейне

Fig. 4. Sedimentation rates in the North Pre-Ural sub-basin

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

Таблица 2. Элементы генерационно-аккумуляционных углеводородных систем суббассейнов в пределах зоны сочленения Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости
Table 2. Elements of hydrocarbon systems of sub-basins in the junction zone of the Pre-Ural trough and the West Ural fold zone

ГАУС	Элементы	Отложения	Литологический состав		Кп, %	ТОС, %	Тип керогена
			Предуральский прогиб	Передовые складки			
Южно-Предуральский суббассейн							
Нижне-пермская	Флюидоупор	P ₁ k	Сульфатно-галогенные толщи	Терригенно-карбонатные			
	Коллектор	P ₁ ar	Песчаники, алевролиты, известняки	Песчаники, линзы гравелитов, известняков	≤4		
	НГМТ	P ₁ as	Битуминозные известняки	Прослои аргиллитов		0,25—0,9	II/III
		P ₁ s	Органогенные битуминозные известняки	Моласса- аргиллиты, мергели, песчаники, алевролиты, известняки		0,1—0,3	II/III
Визейско-башкирская	Флюидоупор	C ₂ m	Плотные известняки и глинистые доломиты	Плотные известняки, доломиты			
	Коллектор	C ₂ b	Серые известняки, доломиты	Известняки, песчаники	1,5—11		
	НГМТ	C ₁ v	Прослои глин в песчаниках			0,4—0,6	II и II/III
Франско-турнейская	Флюидоупор	C ₁ v	Песчаники с примесью глин				
	Коллектор	D ₃ fm, C ₁ t	Известняки, каверно-пористые доломиты		≤10		
	НГМТ	D ₃ f (dm)	Глинисто-кремнистые горючие сланцы, кремнистые сланцы, аргиллиты, алевролиты			0,2—5,8	II
Нижнедевонско-франская	Флюидоупор	D ₂ z	Кремнисто-глинистая толща				
	Коллектор	D ₂ ef (bs)	Карбонатная толща кавернозных доломитов		≤7		
	НГМТ	D ₂ ef (af, bs)	Известняки слабо битуминозные, глинистые с прослоями доломитов			0,2—0,8	II
Силурийская	Флюидоупор	S ₁ v ₂	Аргиллиты				
	Коллектор	S ₁ v ₁	Песчаники, алевролиты		≤10		
	НГМТ	S ₁ l	Битуминозные, кремнистые и глинистые сланцы, аргиллиты			5,87—7,3	II
Средне-Предуральский суббассейн							
Оско-башкирская потенциальная	Флюидоупор	C ₂ m	Глинисто-карбонатные породы	Глины, аргиллиты			
	Коллектор	C ₁ s-C ₂ b	Известняки, доломиты		0,2—26		
	НГМТ	C ₁ v (ok)	Алевролиты, аргиллиты			0,4—1,0	II и II/III
Живетско-турнейская потенциальная	Флюидоупор	C ₁ t	Алевролиты, аргиллиты, каменные угли				

Продолжение таблицы 2

ГАУС	Элементы	Отложения	Литологический состав		Кп, %	ТОС, %	Тип керогена
			Предуральский прогиб	Передовые складки			
Живетско-турнейская потенциальная	Коллектор	D ₃ fm	Гравелиты, алевролиты, песчаники, известняки		≤16		
	НГМТ	D ₃ f (dm)	Аргиллиты, алевролиты, кремнистые породы			3,3—5,6	II/III
Северо-Предуральский суббассейн							
Верхнепермская	Флюидоупор	P ₂ kz-t	Песчаники с примесью глин, глины	Песчаники с примесью глин, глины, угли			
	Коллектор	P ₂ u-kz	Песчаники	Песчаники с прослоями углей	≤20		
	НГМТ	P ₁ k-P ₂ u	Терригенно-карбонатные толщи	Алевро-глинистая толща		≤1	II/III
Визейско-нижнепермская	Флюидоупор	P ₁ k	Сульфатные толщи				
	Коллектор	C ₁ s-P ₁ ar	Известняки, песчаники, кремнистые породы		≤25		
	НГМТ	C ₁ v	Аргиллиты			6,9—7,5	II
Среднефранско-турнейская	Флюидоупор	C ₁ v	Глины, аргиллиты				
	Коллектор	D ₃ f-C ₁ t	Органогенные массивы, биогермы, известняки, мергели		≤20		
	НГМТ	D ₃ f (dm)	Глинисто-карбонатные породы, битуминозные сланцы			2—18	II/III и III
Среднедевонско-нижнефранская	Флюидоупор	D ₃	Глинисто-карбонатная толща				
	Коллектор	D ₂ zv-D ₃ f	Известняки, песчаники		≤10		
	НГМТ	D ₂ zv	Глины, аргиллиты			0,25—1,5	II и II/III
Ордовикско-нижнедевонская	Флюидоупор	S ₂ D ₁ l	Плотные известняки, доломиты, глины				
	Коллектор	S ₁₋₂ D ₁ l	Серые, детритовые известняки		3—17		
	НГМТ	S ₁ l-v	Глинистые, мелкокристаллические, коричневые известняки			0,34—2,1	II и II/III

время. Наибольшие толщины осадочного чехла выделены в Южно-Предуральском и Северо-Предуральском суббассейнах, что является положительным косвенным критерием для формирования очага генерации углеводородов.

В каждом из рассмотренных суббассейнов были выделены генерационно-аккумуляционные углеводородные системы, которые определяют

перспективы нефтегазоносности рассматриваемой территории.

Полученные в рамках настоящей работы результаты являются основой для дальнейшего изучения углеводородных систем и оценки перспектив нефтегазоносности рассматриваемой территории методом численного бассейнового моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас нефтегазоносности субъектов Российской Федерации. М.: «ВНИГНИ», 2009, 2015, 2020, 2023 гг. 33 л.
2. Атлас МЦД по ФТЗ. Карты теплового потока. http://www.wdcb.ru/sep/heat_flow/heat_flow.ru.html (дата обращения 19.11.2024)
3. База данных глобального теплового потока (IHFC)

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

- IASPEI. <https://www.ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database> (дата обращения 19.11.2024)
4. *Бондарева Л.И., Бондарев А.В., Ермолкин В.И., Ткачева А.А.* Геодинамическая эволюция формирования взбросо-надвиговых поясов Предуралья по результатам структурно-кинематического моделирования. Нефтяное хозяйство. 2021. № 5. С. 15—21.
 5. *Бондарева Л.И., Осипов А.В.* Формирование и размещение ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2023. № 3. С. 52—65.
 6. *Бузмаков С.А., Зырянов А.И., Калинин В.Г. и др.* Атлас Пермского края, Пермь, 2012. 124 с.
 7. *Бычков С.Г., Неганов В.М., Мичурин А.В.* Нефтегазогеологическое районирование Пермского края. Нефтегазовое дело (электронный журнал). 2010. № 3. С. 302—317.
 8. *Данилова Е.А.* Перспективы нефтегазоносности приразломных зон трещиноватости Оренбургского Приуралья: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12. Оренбург, 2020.
 9. *Дмитриевский А.Н.* Бассейновый анализ. Геология нефти и газа. 1998. № 10. С. 18—26.
 10. *Ефимов А.Г., Политыкина М.А., Тюрин А.М., Багманова С.В., Побережский С.М.* Флишиоидный газ Оренбуржья — новый нетрадиционный источник природного газа (аналог сланцевого газа). Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2017. № 3(31). С. 281—291.
 11. *Карпушин М.Ю.* Строение и перспективы нефтегазоносности доманикоидного комплекса франско-турнейского возраста центральной части Волго-Уральского бассейна: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 1.6.11. М., 2023. 122 с.
 12. *Керимов В.Ю., Кузнецов Н.Б., Мустаев Р.Н., Осипов А.В., Бондарев А.В., Нефедова А.С.* Условия формирования скоплений углеводородов во взбросо-надвиговых структурах восточного борта Предуральского прогиба. Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 36—41.
 13. *Кожжевникова Е.Е., Карасева Т.В.* Перспективные нефтегазоносные комплексы пермского края. Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана. XII Межрегион. науч.-практич. конф., 2018. С. 199—203.
 14. *Коломоец А.В., Тюрин А.М., Политыкина М.А., Багманова С.В., Петрищев В.П., Пантелеев В.С., Сначев А.В., Макаров С.Е.* Силур Оренбургской области в контексте перспектив нефтегазоносности. Мат.-лы III Всеросс. науч.-практ. конф. Оренбург, 2021. С. 222—229.
 15. *Лядова Н.А., Яковлев Ю.А., Распопов А.В.* Геология и разработка нефтяных месторождений Пермского края. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2010. С. 335.
 16. *Масагутов Р.Х., Илеменова О.Д., Минкаев В.Н.* Геология и геохимия доманиковых фаций юго-востока Волго-Уральской провинции (на примере Башкирского Приуралья). Уфа: Башк. энцикл., 2019. 160 с.
 17. *Меламуд Е.Л.* Тектоника и перспективы нефтегазоносности Оренбургско-Актюбинского Приуралья. М.: Наука, 1981. С. 85.
 18. *Минлигалиева Л.И., Керимов В.Ю.* Условия формирования ловушек и залежей углеводородов в поднадвиговых зонах Предуралья. Недропользование XXI век. 2019. № 4. С. 34—45.
 19. *Минлигалиева Л.И., Ермолкин В.И., Осипов А.В., Бондарев А.В., Монакова А.С.* Геодинамическая эволюция и условия формирования ловушек углеводородов в зоне сочленения Предуральского краевого прогиба и Передовых складок Урала на основе структурно-кинематического моделирования. Труды РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2019. № 4(297). С. 43—59.
 20. *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 имени И.М. Губкина. 2015. № 1(278). С. 17—26.
 21. *Монакова А.С.* Условия формирования, размещения и перспективы поисков скоплений углеводородов в палеозойском комплексе юга Предуральского прогиба и зоны Передовых складок юго-западного Урала: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12. М., 2019. 161 с.
 22. *Никонов Н.И., Богацкий В.И., Мартынов А.В., Ларионова З.В., Ласкин В.М.* Тимано-Печорский седиментационный бассейн, атлас геологических карт (литолого-фациальных, структурных и палеогеологических). Ухта: ООО «Региональный дом печати», 2000. 132 с.
 23. *Осипов А.В.* Геохимические предпосылки нефтегазоносности Бельской впадины и прилегающих территорий. Нефть, газ и бизнес. 2012. № 11. С. 44—49.
 24. *Осипов А.В.* Прогноз нефтегазоносности южной части Предуральского прогиба (Бельская впадина) на основе анализа геохронотермобарических условий нефтегазоаккумуляции и бассейнового моделирования: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.12. М., 2013. 118 с.
 25. *Проворов В.М.* История геологического развития территории Пермской области. Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование. М.: Геоинформцентр, 2003. 38 с.
 26. *Пучков В.Н.* Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала: монография. Уфа: ГИЛЕМ, 2000. 146 с.
 27. *Пучков В.Н.* Тиманиды и уралиды: основные особенности важнейших структурных этажей Урала и Тимано-печорской провинции. Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. 2008. № 7. С. 70—81.
 28. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
 29. *Соборнов К.О., Данилов В.Н., Приймак П.И.,*

Никонов Н.И. Складчато-надвиговой пояс Приполярного Урала: актуализированная геологическая модель и перспективы крупных открытий. Геология нефти и газа. 2016. № 3. С. 65—77.

30. Magoon L.B., Dow W.G. The Petroleum System. In: Magoon, L.B. and Dow, W.G., Eds., The Petroleum System—From Source to Trap. AAPG Memoire 60. 1994. P. 3—24.

REFERENCES

1. Atlas of oil and gas potential of Russian regions Moscow: «VNIGNI», 2009, 2015, 2020, 2023. 33 sh. (In Russ.).
2. Atlas MCD po FTZ. Heat flow maps (In Russ.). http://www.wdcb.ru/sep/heat_flow/heat_flow.ru.html (access date 19.11.2024)
3. Global Heat Flow Database (IHFC) IASPEI. <https://www.ihfc-iugg.org/products/global-heat-flow-database> (access date 19.11.2024)
4. Bondareva L.I., Bondarev A.V., Ermolkin V.I., Tkacheva A.A. Geodynamic evolution of the formation of reverse thrust belts of the Urals based on the results of structural-kinematic modeling. Oil Industry. 2021. No. 5, P. 15—21 (In Russ.).
5. Bondareva L.I., Osipov A.V. Formation and placement of oil and gas traps within the junction area of Cis-Ural trough and West-Ural outer folding zone. Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2023. No. 3. P. 52—65 (In Russ.).
6. Buzmakov S.A. Zyryanov A.I., Kalinin V.G., et al. Atlas of the Perm region, Perm, 2012. 124 p. (In Russ.).
7. Bychkov S.G., Neganov V.M., Michurin A.V. Oil-and-gas geological zoning of Perm territory. Oil and Gas Business. 2010. No. 3. P. 302—317 (In Russ.).
8. Danilova E.A. Prospects for oil and gas potential of near-fault fracturing zones of the Orenburg Cis-Urals — PhD in Geology dissertation // Danilova Evgeniya Antoninovna. — Orenburg, 2020. (in Russ.)
9. Dmitrievskij A.N. Basin analysis // Geology of oil and gas. 1998. №10. P. 18—26. (in Russ.)
10. Efimov A.G., Politykina M.A., Tyurin A.M., Bagmanova S.V., Poberezhskij S.M. Flyschoid gas of the Orenburg region — a new unconventional source of natural gas (analog of shale gas). Scientific and technical collection “News of gas science”. №3 (31), pp. 281—291, 2017. (in Russ.)
11. Karpushin M.Yu. Structure and oil and gas potential of the domanicoid complex of the Frasnian-Tournaisian age in the central part of the Volga-Ural basin: PhD in Geology dissertation 1.6.11 // Karpushin Mihail Yur’evich. — Moskva, p. 122, 2023. (in Russ.)
12. Kerimov V.Yu., Kuznecov N.B., Mustaev R.N., Osipov A.V., Bondarev A.V., Nefedova A.S. Conditions for hydrocarbon deposits’ formation in the up-lift-thrust structures of the eastern side of the Pre-Ural fore deep. Neftyanoe khozyaystvo — Oil Industry. 2017. № 7. pp. 36—41. (in Russ.)
13. Kozhevnikova E.E., Karaseva T.V. Promising oil and gas complexes of the Perm region. Geology, mineral resources and problems of geocology of Bashkortostan. XII Interregional. scientific-practical. conf., pp. 199—203, 2018. (in Russ.)
14. Kolomoec A.V., Tyurin A.M., Politykina M.A., Bagmanova S.V., Petrishchev V.P., Panteleev V.S., Snachev A.V., Makarov S.E. Silur of the Orenburg region in the context of oil and gas prospects. Materials of the III All-Russian. scientific-practical conf. Orenburg, pp. 222—229, 2021. (in Russ.)
15. Lyadova N.A. Geology and development of oil fields in the Perm region. N.A. Lyadova, Yu.A. Yakovlev, A.V. Raspopov — M.: «VNIIOENG», p. 335, 2010. (in Russ.)
16. Masagutov R.H., Ilemenova O.D., Minkaev V.N. Geology and geochemistry of domanic facies of the southeast of the Volga-Ural province (using the Bashkir Cis-Urals as an example). R.H. Masagutov, O.D. Ilemenova, V.N. Minkaev — Ufa: Bashkir Encyclopedia, p. 160, 2019. (in Russ.)
17. Melamud E.L. Tectonics and oil and gas potential of the Orenburg-Aktyubinsk Cis-Urals. M.: Nauka, p. 85, 1981. (in Russ.)
18. Minligalieva L.I., Kerimov V.Yu. Conditions for the formation of hydrocarbon traps and deposits in the underthrust zones of the Cis-Urals. Nedropol’zovanie XXI century, №4, pp. 34—45, 2019. (in Russ.)
19. Minligalieva L.I., Ermolkin V.I., Osipov A.V., Bondarev A.V., Monakova A.S. Geodynamic evolution and conditions for formation of hydrocarbon traps in junction zone of Pre-Ural marginal trough and advanced folds of Urals based on structural-kinematic modeling. Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas. №4 (297), pp. 43—59, 2019. (in Russ.)
20. Monakova A.S., Osipov A.V. Prospects of oil and gas exploration in area of fore folds of western flank of Southern Urals // Proceedings of the Gubkin Russian State University of Oil and Gas. 2015. № 1(278). PP. 17—26. (in Russ.)
21. Monakova A.S. Conditions of formation, placement and prospects for searching for hydrocarbon accumulations in the Paleozoic complex of the south of the Cis-Ural trough and the Forward Folds zone of the southwestern Urals — PhD in Geology dissertation: 25.00.12 // Monakova Aleksandra Sergeevna. — Moscow, p. 161, 2019. (in Russ.)
22. Nikonov N.I. Timan-Pechora sedimentary basin, atlas of geological maps (lithofacies, structural and paleogeological) // N.I. Nikonov, V.I. Bogackij, A.V. Martynov, Z.V. Larionova, V.M. Laskin i dr. — Uhta: OOO «Regional House of Printing», p. 132, 2000. (in Russ.)
23. Osipov A.V. Geochemical prerequisites for the oil and gas potential of the Belskaya Depression and adjacent territories // Oil, Gas and Business. 2012. № 11. PP. 44—49. (in Russ.)
24. Osipov A.V. Forecast of the oil and gas potential of the southern part of the Cis-Ural trough (Belskaya Depression) based on the analysis of

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

- geochronothermobaric conditions of oil and gas accumulation and basin modeling: PhD in Geology dissertation: 25.00.12 // Osipov Aleksandr Viktorovich. — Moscow, p. 118, 2013. (in Russ.)
25. Provorov V.M. History of geological development of the Perm region // General and regional geology, geology of the seas and oceans, geological mapping. M.: Geoinformcentr, p. 38, 2003. (in Russ.)
 26. Puchkov V.N. Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals: monograph. Ufa: GILEM, p. 146, 2000. (in Russ.)
 27. Puchkov V.N. Timanides and Uralides: main features of the most important structural stages of the Urals and the Timan-Pechora province // Geology, mineral resources and problems of geocology of Bashkortostan, the Urals and adjacent territories. №7, PP. 70—81, 2008. (in Russ.)
 28. Puchkov V.N. Geology of the Urals and the Cis-Urals (current issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DesignPoligrafService, p. 280, 2010. (in Russ.)
 29. Sobornov K.O., Danilov V.N., Prijmak P.I., Nikonov N.I. Fold-and-thrust belt of the Subpolar Urals: updated geological model and prospects for major discoveries. Geology of oil and gas. 2016. № 3. PP. 65—77. (in Russ.)
 30. Magoon, L.B. and Dow, W.G. The Petroleum System. In: Magoon, L.B. and Dow, W.G., Eds., The Petroleum System—From Source to Trap. AAPG Memoire 60. 1994. pp. 3—24.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Бондарева Л.И. — занималась построением бассейновых моделей, графических материалов, внесла вклад в подготовку текста статьи и согласна принять ответственность за все аспекты работы.

Осипов А.В. — разработал концепцию статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи, внес вклад в работу и принял участие в подготовке текста статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Liana I. Bondareva — was engaged in the construction of basin models, the construction of graphic applications, contributed to the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander V. Osipov — developed the concept of the article, finally approved the published version of the article, contributed to the work and took part in the preparation of the text of the article, agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бондарева Лиана Ильясовна* — ведущий инженер лаборатории нефтегазовой геофлюидодинамики ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Российской академии наук».
3, ул. Губкина, г. Москва 119333, Россия
e-mail: liana_abril@mail.ru
SPIN-код: 1584-1518
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3986-858X>

Осипов Александр Викторович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, член-корреспондент РАЕН, декан нефтегазового факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: osipovav@mgri.ru
SPIN-код: 7992-0199
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6298-4274>

Liana I. Bondareva* — Leading Engineer of the Laboratory of Oil and Gas Geofluid Dynamics of the Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences.
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia
e-mail: liana_abril@mail.ru
SPIN-code: 1584-1518
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3986-858X>

Alexander V. Osipov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Dean of the Oil and Gas Faculty Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: osipovav@mgri.ru
SPIN-code: 7992-0199
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6298-4274>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-55-65>
УДК 502/504



ЭКОПОДОСНОВА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КАК НЕОБХОДИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ГОРОДОВ

В.В. РУКАВИЦЫН*, В.Н. ЭКЗАРЬЯН

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье обосновывается создание нового инструмента экологической оценки для стратегического планирования развития городов и агломераций — экоподоснова урбанизированных территорий. Предполагается, что экоподоснова разрабатывается как комплексная экологическая карта с возможностью переработки в динамическую модель состояния окружающей среды города.

Цель. Разработка принципов создания экологической подосновы урбанизированных территорий.

Материалы и методы. На базе проведенного обобщения существующих методов составления комплексных экологических карт были предложены основные принципы разработки экоподосновы урбанизированных территорий и обоснована необходимость ее внедрения.

Результаты. Создание экоподосновы урбанизированных территорий должно основываться на двух основных принципах: различные компоненты окружающей среды должны учитываться комплексно с учетом различий механизмов и скоростей изменения их состояния; состояние городской экосистемы зависит не только от степени нагрузки на территорию, но и от уязвимости среды. Построение экоподосновы осуществляется на базе оценки комплексного показателя экосистемы урбанизированной территории.

Обсуждение. В результате создания экоподосновы появляется понятный инструмент для комплексной оценки экологического состояния города, встраиваемый в систему мониторинга окружающей среды. Он позволяет осуществлять прогнозирование и принимать решения относительно создания устойчивых городских пространств со значительно большей точностью и достоверностью, а также разрабатывать планы адаптации к изменениям климата урбанизированных территорий. Используя результаты экоподосновы, возможно более качественно проводить планирование территории, разрабатывать меры по охране окружающей среды, снижать уровень загрязнения, формировать экологическую культуру, что необходимо для перехода к устойчивому развитию.

Заключение. В отличие от существующих применяемых методик контроля состояния городских территорий, которые предоставляют либо статическую картину, либо отображают отдельные параметры без учета их взаимосвязи, создание экоподосновы предполагает разработку комплексного показателя состояния окружающей среды города и возможности сочетания разработанной модели с данными комплексного мониторинга окружающей среды. Возможность создания экоподосновы урбанизированных территорий обосновывается наличием современных технологий и методов, которые позволяют собирать и анализировать большие объемы данных. Благодаря прогрессу в области сенсорных технологий, развитию систем мониторинга, дистанционных методов зондирования земли и совершенствованию методов обработки данных сегодня возможно собирать информацию о состоянии окружающей среды в реальном времени. Это открывает новые возможности для получения более полной и всесторонней картины состояния окружающей среды, сочетающей спутниковые и наземные данные.

Ключевые слова: охрана окружающей среды, мониторинг, экоподоснова, урбоэкология

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Рукавицын В.В., Экзарьян В.Н. Экоподоснова урбанизированных территорий как необходимый элемент территориального планирования городов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):55—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-55-65>

Статья поступила в редакцию 09.08.2024

Принята к публикации 27.11.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

ECO-MAP OF AN URBAN AREA AS AN ESSENTIAL SPATIAL PLANNING ELEMENT

VADIM V. RUKAVITSYN*, VLADIMIR N. EKZARYAN

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

ABSTRACT

Background. The article substantiates the creation of “eco-maps” of urban areas as a new environmental assessment tool in strategic planning of cities and urban agglomerations. It is assumed that the eco-map of an urban area should serve as a comprehensive ecological map with the possibility of its further development into a dynamic environmental model.

Aim. Development of principles for the creation of eco-maps of urban areas.

Materials and methods. Following an analysis of existing methods for the creation of integrated environmental maps, the basic principles for the development of eco-maps of urban areas are proposed. The importance of their implementation is justified.

Results. The development of eco-maps of urban areas should rely on the following basic principles: (1) various components of the environment should be taken into account, including differences in the mechanisms and rates of changes in their state; (2) the state of urban ecosystems depends not only on the degree of urban load, but also on the vulnerability of the environment. An eco-map is developed based on an integrated ecological indicator of the urban area.

Discussion. The eco-map of a city is a convenient tool for a comprehensive assessment of its ecological state. This tool can be integrated into the existing environmental monitoring system to facilitate reliable forecasting and decision-making processes regarding the development of sustainable urban areas and their adaptation to climate change. This allows for more efficient spatial planning and environmental protection measures aimed at reducing pollution and promoting an ecological culture, which is necessary for the transition to sustainable development.

Conclusion. The existing methods for monitoring the state of urban areas provide either a static picture or display individual ecological parameters, without taking into account the links between them. For comparison, the creation of an eco-map assumes the development of an integrated indicator of the ecological state of urban areas, offering the possibility of combining the developed model with data from comprehensive environmental monitoring. The possibility of creating such eco-maps is justified by the availability of modern technologies for collecting and processing large amounts of data. Thanks to advances in sensor technology, monitoring systems, remote sensing and data processing methods, information about the ecological state of an urban area can be collected in real time. This offers opportunities for obtaining a more comprehensive picture of the state of the environment, based on satellite and ground data.

Keywords: environmental protection, monitoring, ecological map, urban ecology

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

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

For citation: Rukavitsyn V.V., Exaryan V.N. Eco-map of an urban area as an essential spatial planning element. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):55—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-55-65>

Manuscript received 09 August 2024

Accepted 27 November 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Введение

Экосистемы на урбанизированных территориях полностью изменены вследствие развития города, что делает их крайне неустойчивыми к изменениям окружающей среды. Поэтому для поддержания устойчивого развития городов требуется постоянный контроль за динамикой функционального изменения существующей инфраструктуры. Помимо этого, город оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду и на население, ухудшая здоровье и потенциальное качество жизни. Так, 78% мировой энергии потребляют города, производя более 60% выбросов парниковых газов. При этом они занимают менее 2% поверхности Земли [4]. 80% жителей мегаполисов дышат загрязненным воздухом, ежегодно из-за этого умирают около 7 млн человек [25], а порядка 60% видов, находящихся под угрозой исчезновения, пострадали от расширения городов в засушливых районах [24].

В 2022 году в градостроительный кодекс были внесены изменения, позволяющие использовать единый документ для территориального планирования и градостроительного зонирования территории [3, статья 28.1]. В соответствии с этими изменениями таким единым документом признается генеральный план города. Однако в 2018 году одним из поручений Президента РФ был переход от генерального плана к стратегическому плану развития городских территорий [14], что спровоцировало разработку мастер-планов городов и агломераций.

Мастер-план города — это верхнеуровневый инструмент стратегического планирования, который отвечает за комплексное развитие территории. В отличие от генерального плана города данный документ фокусируется на ограниченном количестве приоритетов, учитывает все сферы городской жизни, подразумевает диалог с лицами, влияющими на городское развитие, ориентируется на преобразование в отдаленной перспективе (от 15 лет).

Ключевой особенностью мастер-плана является его динамичность. Он содержит стратегическое развитие территории и предусматривает возможность отслеживания динамики ее развития. Мастер-план уделяет особое внимание экологии, так как предполагает не только учет сухих нормативных требований, но и мнения бизнес-сообщества, а также населения, для которых приоритеты устойчивого развития города часто выходят на первый план.

Сегодня создание мастер-плана описано в Стандарте освоения свободных территорий от ДОМ.РФ [16]. Он предполагает использование для его разработки таких картографических материалов, как топографическая основа и геоподоснова города.

Однако в связи с возрастающей ролью загрязнения окружающей среды и изменений климата, а также необходимостью учета особенностей развития города в долгосрочной перспективе на основе одного базового стратегического документа появляется потребность в единой экологической подоснове городских территорий (экоподоснова).

Экологическая подоснова представляет собой комплексную экологическую карту, включающую данные о состоянии природно-технических систем города, совокупном распределении загрязнения, возможных экологических рисках и методах их снижения.

Под природно-технической системой (ПТС) «понимается целостная, упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные природные тела, а также естественные и искусственные поля» [1].

Цель данной статьи состоит в разработке принципов создания экологической подосновы урбанизированных территорий, учитывающей существующее состояние окружающей среды и происходящие изменения климата.

Материалы и методы

Сейчас при развитии городских территорий активно внедряется мастер-планирование, которое предполагает комплексный и всесторонний подход к созданию концепции развития городских территорий.

Однако на следующих этапах для реализации такой концепции необходимо продолжение всестороннего развития планирования городской территории с упором на устойчивость природной среды и восстановление экосистем. Для этого нужен понятный для всех участников планирования инструмент, позволяющий отталкиваться от текущей экологической ситуации города и контролировать происходящие изменения.

В настоящее время в качестве такого инструмента выступает мониторинг окружающей среды. Для отдельных объектов также проводятся инженерно-экологические изыскания (ИЭИ) и оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). При этом результаты ИЭИ и ОВОС трудно распространить на весь город вследствие одновременности исследований ПТС, использовании различных методик анализа, изучении неодинаковых параметров окружающей среды и отсутствии единой базы для хранения этих данных.

С мониторингом окружающей среды (МОС) ситуация несколько иная. В соответствии с Федеральным законом от 04.08.2023 № 450-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [20], дополняющим 7-ФЗ [21], в России будет создана Федеральная информационная система мониторинга окружающей среды, позволяющая сводить воедино все данные мониторингов для оценки экологической обстановки и принятия решений. Однако необходимо иметь в виду, что:

1) МОС учитывает лишь отдельные аспекты состояния экосистемы, не сводя их к интегральному показателю, что затрудняет общую оценку состояния экосистемы на изучаемой территории.

2) Результаты ИЭИ и ОВОС не объединены с материалами МОС в единую методологическую и информационную базу в связи с вышеуказанными проблемами.

3) Отсутствуют достаточно точные и динамические данные об экологическом состоянии урбанизированных территорий и их изменениях в процессе городской жизни и под влиянием изменения климата. Так, например:

а. Наблюдение за загрязнением атмосферного воздуха ведется только в 223 из 1120 городов [12];

б. Количество гидрологических постов сократилось с 2012 года на 279 единиц — до 3081 тыс. При этом автоматизировано из них только 30%, а 99 постов законсервированы и не работают [13].

Таким образом, возникает проблема единой комплексной оценки состояния окружающей среды урбанизированных территорий и отслеживания его изменения под влиянием природных и техногенных воздействий, в том числе изменения климата. Эта проблема может быть решена путем внедрения экоподосновы урбанизированных территорий.

Экоподоснова урбанизированных территорий явится базой для наложения на нее данных мониторинга окружающей среды и позволит объединять данные периодических замеров в интегральный показатель состояния окружающей среды урбанизированной территории, создавая тем самым основу для функционирования единой динамической модели экосистемы города.

Вопросы создания экологических карт в контексте воздействия на геологическую среду рассматривались в работах В.Т. Трофимова [18, 22] и Д.Г. Зилинга [19]. Эти работы являлись базой для понимания взаимодействий геологической среды и «биотического компонента экосистемы». В работе [19] предложены концептуальные основы эколого-геологического картографирования. Они отличаются наличием подхода к интегральной оценке состояния эколого-геологических условий литосферы и их отображением на карте. В настоящее время этот подход был использован Институтом им. Карпинского (быв. ВСЕГЕИ) при разработке методических руководств по составлению эколого-геологических схем [9, 10].

В рамках изучения особенностей состояния геологической среды городов значимыми являются работы под руководством академика РАН В.И. Осипова [8]. Его подход подразумевал уже количественную оценку состояния геологической среды с точки зрения ее устойчивости к техногенным воздействиям. Определялась взаимосвязь геологической среды с техногенной составляющей окружающей среды, которая лишь косвенно связана с «биотическим компонентом экосистемы». При этом оценивалось не столько состояние геологической среды, сколько ее устойчивость к таким воздействиям. В настоящее время этот подход продолжен и развивается в работах Т.Б. Минаковой, В.Г. Заиканова, Е.В. Булдаковой [2, 11].

Если говорить о комплексных экологических показателях, не касающихся геологической среды и оценивающих состояние окружающей среды

количественно, то интересной является работа В.И. Струмана [17]. Он предложил использовать для картографирования загрязнения окружающей среды суммарный показатель антропогенной нагрузки. Этот показатель определяется на основе интегральных показателей загрязнения отдельных компонентов окружающей среды, таких как индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), воды (ИЗВ), суммарный показатель загрязнения почв (СПЗ) и т.д. Для каждого из показателей определяется его вес с точки зрения негативного воздействия на состояние экосистемы. В качестве критерия оценки весомости выступает вклад каждого негативного фактора, отражающего загрязнения окружающей среды, в состояние здоровья населения города. При такой оценке, напротив, не учитывается состояние геологической среды, однако довольно детально и при этом количественно оцениваются воздействия разнообразных загрязнений на состояние человека. Похожий подход также был предложен В.П. Петрищевым и С.А. Дубровской [15]. Работ с вышеописанным подходом к комплексной оценке встречается немного.

Наиболее активно сейчас развивается анализ экологических и климатических рисков. В работе [6] рассмотрены причины развития и применение именно анализа рисков как метода комплексной экологической оценки урбанизированных территорий.

Обобщение и анализ существующих комплексных оценок, характеризующих состояние окружающей среды городов, позволяют сделать следующие выводы:

- 1) предлагаемые инструменты комплексной оценки применяют методологию экспертных подходов и не учитывают закономерности анализируемых систем;
- 2) множество интегральных индексов не адаптированы к имеющимся статистическим данным наблюдений;
- 3) используемые модели построены «по соглашению», основаны на частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгих теорий;
- 4) расчетные уравнения для индексов обладают слабой устойчивостью к изменениям данных и отличаются сильной взаимозависимостью;
- 5) для создания адекватных моделей комплексной оценки многомерных систем необходима разработка шкал измерения совокупности значений показателей, которые не были бы взаимосвязанными и являлись репрезентативными для поставленной задачи.

В некоторых иностранных источниках подход к оценке рисков сводится к использованию не более двух составляющих. Так, Николас П. Симпсон и др. [23] при оценке климатических рисков предлагает учитывать сочетание опасности события, уязвимости объекта и подверженности событию, выражаемой в том числе и в виде вероятности возникновения опасности. Такой же подход применяется для оценки риска изменения климата в докладах МГЭИК [5].

В каждом из описанных подходов имеются свои преимущества, поэтому важно учитывать результаты ранее выполненных исследований в создании комплексных экологических карт для разработки нового инструмента оценки состояния городов, сочетающегося с современными данными МОС.

Помимо вышеуказанных особенностей комплексных экологических карт, существующие методики их создания обычно не учитывают долгосрочные изменения и предоставляют статическую картину, которая быстро теряет актуальность. Кроме того, данные карты часто не являются доступными и понятными для лиц, принимающих решения. В свою очередь, данные МОС разрознены и сведение их воедино не просто в базу данных, а в систему взаимосвязанных показателей, по-особенному проявляющих себя в конкретных условиях, пока не осуществляется.

Результаты

Городские территории характеризуются большими антропогенными нагрузками и сильным изменением при одновременном присутствии множества объектов, подвергающихся негативным воздействиям. Антропогенные нагрузки оказываются в том числе и на население. Это определяет особенности комплексных экологических оценок городских территорий, а также необходимость покомпонентного анализа.

Комплексная экологическая оценка включает в себя не только изучение текущих условий окружающей среды, но и прогнозирование изменений на основе различных сценариев развития территорий. Такая оценка может быть осуществлена через комплексное экологическое картографирование.

Концепция комплексных экологических карт базируется на интеграции различных параметров для совместного анализа и визуализации. Эти параметры, известные как элементарные показатели, отображают состояние окружающей среды на заданном участке городской территории в определенный момент времени. При объединении

элементарных показателей создается интегрированный показатель, который представляет собой комплексную характеристику нескольких параметров на заданной территории.

Основной целью комплексных экологических карт является обеспечение более глубокого и интегрированного анализа состояния окружающей среды, а также изучение воздействия на нее различных факторов. Путем объединения различных параметров, характеризующих состояние окружающей среды городов, в единый контекст комплексные карты позволяют получать всестороннее представление о современном экологическом состоянии городской территории. Следовательно, экоподоснова урбанизированной территории представляет собой комплексную оценочную карту.

Природной основой комплексной экологической оценки города является его геологическое строение, так как геологическая среда в наименьшей степени изменена под воздействием антропогенной нагрузки, а также является базой для размещения техногенных объектов урбанизированной территории (поверхностная и подземная инфраструктуры и т.д.). На геологическую основу накладываются геодинамические, геохимические, климатические другие особенности территории (базовые оценки), совокупно формируя комплексную экологическую карту.

Таким образом, традиционно для оценки комплексного экологического состояния урбанизированной территории используется метод совокупного анализа карт отдельных базовых оценок с учетом существующего функционального зонирования территории. При этом учитывается площадное соотношение зон, выделенных на базовых картах, степень каждого негативного воздействия в разных частях изучаемой территории и значимость этих воздействий для подвергающихся им реципиентов. Критерием оценки комплексного экологического состояния территории является в таком случае степень опасности функционирования всех подвергающихся совокупному воздействию реципиентов.

Создание экоподосновы урбанизированных территорий основывается на двух основных принципах.

1. Различные компоненты окружающей среды должны использоваться комплексно с учетом различий механизмов и скоростей изменения их состояния.

2. Состояние городской экосистемы зависит не только от степени нагрузки на территорию, но и от уязвимости окружающей среды.

Раскрыть первый принцип можно следующим образом. Изменения в геологической среде происходят крайне медленно, что говорит об их стабильности относительно других компонентов окружающей среды. Состояние флоры, фауны и почвы изменяется быстрее, а состояние гидросферы (поверхностные и подземные воды) обладает еще более высокой подвижностью. Максимальной подвижностью (изменчивостью), как известно, характеризуются атмосферный воздух и метеорологические условия. Кроме этого, загрязнение каждого из вышеперечисленных компонентов окружающей среды происходит разными способами, что определяет скорости их самоочищения, а также области негативного воздействия на людей и биоту. В соответствии с этим комплексный показатель состояния городской экосистемы должен обновляться перманентно на картах с учетом изменения показателей одного или нескольких компонентов окружающей среды. Таким образом, экоподоснова урбанизированных территорий будет постоянно обновляться.

Второй принцип говорит о том, что для оценки комплексного состояния городской экосистемы необходимо оценивать совокупно уязвимость территории к опасным воздействиям, виды этих воздействий и наличие объектов, потенциально подверженных этим воздействиям. В результате такой оценки рассчитывается комплексный показатель состояния экосистемы урбанизированной территории, на базе которого строится экоподоснова (рис. 1). Иными словами, для определения комплексного показателя применяется аналитическая схема «воздействие — подверженность — уязвимость». Такой подход используется также в докладах МГЭИК и позволяет оценивать зависимость потенциального ущерба не только от интенсивности воздействия, но и от особенностей изучаемой территории [5].

Для сохранения преемственности подхода определения уязвимости, воздействия и подверженности используются в соответствии с докладом МГЭИК [5].

Уязвимость территории — «склонность или предрасположенность к неблагоприятному воздействию» [5].

Нагрузка на территорию — степень прямого и косвенного воздействия на природу в целом и на ее отдельные экологические компоненты и элементы.

Воздействие на территорию — «потенциальное возникновение природного или антропогенного физического события или тенденции,

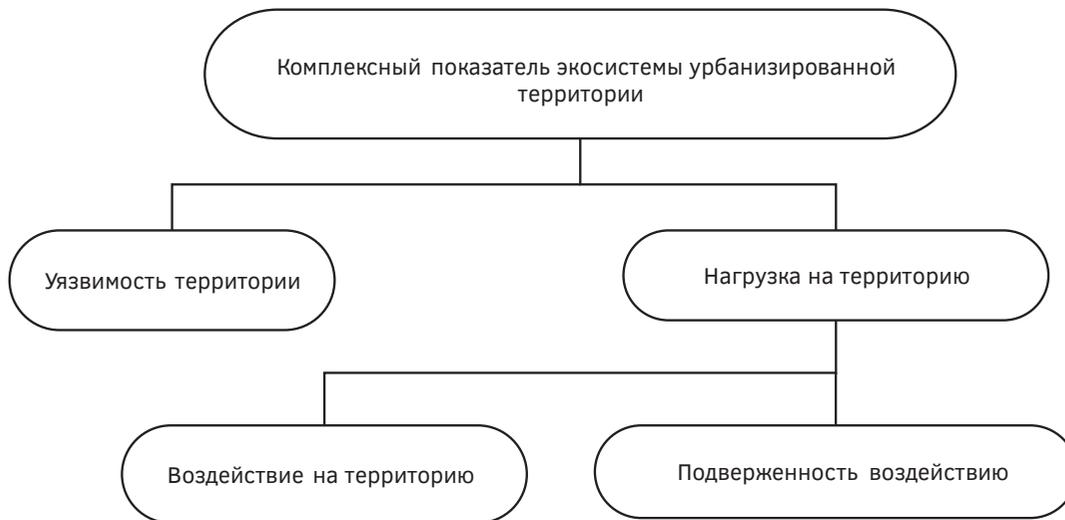


Рис. 1. Составляющие комплексного показателя экосистемы урбанизированной территории

Fig. 1. Components of the integrated indicator of the ecosystem of an urbanized territory

которые могут привести к гибели людей, травмам или другим негативным последствиям для здоровья, а также к повреждению имущества, инфраструктуры, мест обитания, услуг, экосистем и экологических ресурсов» [5].

Подверженность воздействию — «присутствие людей, мест обитания, биологических видов и экосистем; экологических функций, услуг и ресурсов; инфраструктуры; или — экономических, социальных или культурных активов в местах, которые могут подвергнуться негативному воздействию» [5].

Таким образом, через сочетание уязвимости городских территорий, а также природной и антропогенной нагрузки на них оценивается комплексное состояние городской экосистемы. Данная оценка должна постоянно корректироваться за счет поступления и изменения данных МОС, что позволит создавать изменяющуюся во времени карту экологического состояния территории.

Оценка уязвимости территории

Для определения уязвимости и нагрузки на территорию используются разнообразные источники информации. Они включают в себя: данные МОС, опубликованные статистические материалы, результаты проведенных исследований, а также информацию, полученную при обработке данных дистанционного зондирования.

Для оценки уязвимости территории путем обработки собранной информации можно выделить следующие необходимые составляющие.

1. Учет степени сохранения свойств компонентов окружающей среды при различных природных и антропогенных воздействиях.

2. Учет способности к восстановлению состояния компонентов окружающей среды после природного и антропогенного воздействия.

3. Учет совокупной уязвимости всех компонентов окружающей среды, располагающихся на определенном участке городской территории к каждому из типов воздействия.

Первая составляющая подразумевает необходимость анализа изменений, происходящих в компонентах окружающей среды в результате природных и антропогенных воздействий, на основе которого определяется, насколько каждый из компонентов в отдельности устойчив ко всем влияющим на него факторам. Оценка степени сохранения свойств компонентов окружающей среды позволяет выявить уязвимые точки, минимальные воздействия на которые могут привести к смещению экологического баланса.

Вторая составляющая подразумевает необходимость анализа возможности компонентов окружающей среды восстанавливать свое естественное состояние после негативного воздействия. В ходе такого анализа учитываются скорость и способность к самоочищению каждого отдельного компонента окружающей среды, а также влияние человеческой деятельности на этот процесс. В результате будут выявляться зоны быстрого восстановления всех подвергаемых негативно воздействию компонентов окружающей среды, что будет говорить об их устойчивости.

Третья составляющая предполагает анализ общей уязвимости всех компонентов окружающей среды, подвергаемых отдельным природным и антропогенным воздействиям на каждом

участке территории города. Он основывается на первых двух видах анализа, но дополнительно учитывает взаимосвязь между компонентами окружающей среды и изменение устойчивости каждого из них на конкретном участке города. Этот анализ является завершающим для оценки уязвимости территории и входит в расчет комплексного показателя состояния окружающей среды.

Оценка нагрузки на территорию

Нагрузка на территорию складывается из сочетания негативных воздействий на природно-технические системы и их подверженности этим воздействиям.

Виды негативных воздействий определяются по материалам МОС. Условно виды воздействий можно разделить на природные и антропогенные. Нагрузка на урбанизированную территорию определяется в соответствии с границами каждого из видов природных и антропогенных воздействий, а также со степенью этих воздействий. В качестве критерия степени воздействия можно принимать границу наступления чрезвычайной ситуации по материалам, утвержденным Минприроды РФ в 1992 г. [7].

Для каждого из воздействий необходимо учитывать наличие объектов, на которые они потенциально могут влиять по отдельности или комплектно. Таким образом, в зависимости от типа воздействия учитывается подверженность объектов негативным изменениям на изучаемой территории.

Обсуждение

Экоподоснова базируется на сопоставлении и объединении данных о состоянии окружающей среды города, таких как:

- 1) виды негативных воздействий и их значимость для конкретной экосистемы;
- 2) локальные параметры устойчивости окружающей среды.

В результате создания экоподосновы появляется понятный инструмент для комплексной оценки экологического состояния города, встраиваемый в систему МОС. Это позволит осуществлять прогнозирование и принимать решения относительно создания устойчивых городских пространств со значительно большей точностью и достоверностью, а также разрабатывать планы адаптации к изменениям климата урбанизированных территорий.

Экоподоснова города позволит на принципиально новом уровне решать вопросы отслеживания, прогнозирования и корректировки

состояния окружающей среды на урбанизированных территориях. Используя представленную информацию, можно более качественно проводить планирование территории, разрабатывать меры по охране окружающей среды, снижать уровень загрязнения, формировать экологическую культуру, что необходимо для перехода к устойчивому развитию.

Заключение

В отличие от существующих применяемых методик контроля состояния городских территорий, которые предоставляют либо статическую картину, либо отображают отдельные параметры без учета их взаимосвязи, создание экоподосновы предполагает разработку комплексного показателя экосистемы урбанизированной территории и возможности сочетания разработанной модели с МОС.

Разработка экоподосновы должна базироваться на вышерассмотренных принципах. Реализация первого принципа позволяет создать экоподоснову как динамическую модель природно-технических систем урбанизированных территорий, максимально адаптированную к особенностям развития города и параметрам обновления данных мониторинга окружающей среды. Реализация второго принципа предполагает использование для комплексного анализа состояния окружающей среды городов аналитической схемы «воздействие — подверженность — уязвимость». Это позволит учитывать не только основные параметры загрязнения (воздух, вода, почва, уровень шума), но и изменение климата, а также иные факторы, которые могут влиять на экологическое состояние города. Это дает возможность получать более полную и всестороннюю картину экологической ситуации и принимать соответствующие меры для ее улучшения.

Возможность создания экоподосновы урбанизированных территорий обосновывается наличием современных технологий и методов, которые позволяют собирать и анализировать большие объемы данных. Благодаря прогрессу в области сенсорных технологий, развитию систем мониторинга, дистанционных методов зондирования земли и совершенствованию методов обработки данных сегодня возможно собирать информацию о состоянии окружающей среды в реальном времени. Это открывает новые возможности для получения более полной и всесторонней картины состояния окружающей среды, сочетающей спутниковые и наземные данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарик Г.К.* Экологическая проблема и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
2. *Булдакова Е.В., Заиканов В.Г., Минакова Т.Б., Прокопенко Ю.П.* Индекс геоэкологической безопасности городов России: критерии, показатели, оценка. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2022. № 6. С. 87—96.
3. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (дата обращения: 11.03.2024).
4. Доклад Программы ООН по окружающей среде, ЮНЕП, в 2021 году. ЮНЕП. 2021. 24 с.
5. Изменение климата 2022: воздействия, адаптация и уязвимость — Вклад рабочей группы II в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. Межправительственная группа экспертов по изменению климата 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2> (дата обращения 10.07.2024).
6. *Константинов И.С., Звягинцева А.В.* Комплексная оценка состояния урбанизированных территорий. Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 1. С. 63—71.
7. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия (утв. Минприроды РФ 30 ноября 1992 г.). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (дата обращения: 11.03.2024).
8. Методические основы оценки техногенных изменений геологической среды городов. Под ред. В.И. Осипова. М.: Наука, 1990. 196 с.
9. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третье поколение). Версия 1.4. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. 169 с.
10. Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе издание). Версия 1.4. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. 188 с.
11. *Минакова Т.Б., Заиканов В.Г., Булдакова Е.В.* Геоэкологический след в городах России: подходы, оценки, результаты. Геоэкология. 2020. № 6. С. 83—94.
12. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет, 2023. 215 с.
13. Отчет о результатах экспертно-аналитического мероприятия «Анализ создания и эксплуатации федеральных государственных информационных систем в области экологической безопасности и охраны окружающей среды в 2015—2020 годах». Бюллетень счетной палаты РФ. 2020. № 12. Экологические ГИС. 2020. 107 с.
14. Перечень поручений по итогам расширенного заседания президиума Государственного совета (утв. Президентом РФ 18.12.2018 № Пр-2426ГС). URL: <https://base.garant.ru/72131242/> (дата обращения: 11.03.2024).
15. *Петрищев В.П., Дубровская С.А.* Методика комплексной оценки экологического состояния городских территорий. Известия Самарского научного центра РАН. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kompleksnoy-otsenki-ekologicheskogo-sostoyaniya-gorodskih-territoriy> (дата обращения: 11.03.2024).
16. Стандарт комплексного развития территорий. Книга 3. М.: Минстрой РФ, 2020. 284 с.
17. *Стурман В.И.* Картографирование загрязнения окружающей среды: на прим. Удмуртии: дисс. ... д-ра геогр. наук: 11.00.11. Ижевск, 1996. 375 с. ил. РГБ ОД, 71 96-11/11-1
18. Теория и методология экологической геологии. Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 368 с.
19. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Красилова Н.С.* Концептуальные основы эколого-геологического картографирования. Вести. Моск. ун-та. Сер. 4: Геология № 5. 1998. С. 61—71.
20. Федеральный закон от 04.08.2023 № 450-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_453961/ (дата обращения: 11.03.2024).
21. Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (дата обращения: 11.03.2024).
22. Экологические функции литосферы. Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд. Моск. ун-та, 2000. 432 с.
23. *Simpson N.P., Mach K.J., Constable A., Hess J., Hogarth R., Howden M., et al.* A framework for complex climate change risk assessment. One Earth 4, April 23. Elsevier Inc. 2021. С. 489—501.
24. *Ren Q., He C., Huang Q. et al.* Impacts of urban expansion on natural habitats in global drylands. Nat Sustain 2022. No. 5. P. 869—878.
25. WHO Ambient air quality database, 2022 update. World Health Organization. 2022. 34 с.

REFERENCES

1. Bondarik G.K. Ekologicheskaya problema i prirodno-tekhnicheskie sistemy (Ecological Problem and Natural-Technical Systems). M.: Ikar, 2004. 152 p.
2. Buldakova E.V., Zayikanov V.G., Minakova T.B., Prokopenko Yu.P. Indeks geoeologicheskoy bezopasnosti gorodov Rossii: kriterii, pokazateli, otsenka

- (Index of Geoecological Safety of Cities in Russia: Criteria, Indicators, Assessment). *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya (Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology)*. 2022. No. 6. pp. 87–96.
3. Gradostroitel'nyy kodeks Rossiyskoy Federatsii ot 29.12.2004 No. 190-FZ (Urban Development Code of the Russian Federation dated 29.12.2004 No. 190-FZ). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/ (accessed: 11.03.2024).
 4. Doklad Programmy OON po okruzhayushchey srehde, UNEP, v 2021 godu (Report of the UN Environment Programme, UNEP, in 2021). UNEP. 2021. 24 p.
 5. Izmenenie klimata 2022: vliyaniya, adaptatsiya i uyazvimost' — Vkladu rabochey gruppy II v Shestoy otsenochnyy doklad Mezhravitel'stvennoy gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata (Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability — Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change). Intergovernmental Panel on Climate Change 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2> (accessed: 10.07.2024).
 6. Konstantinov I.S., Zvyagintseva A.V. Kompleksnaya otsenka sostoyaniya urbanizirovannykh territoriy (Comprehensive Assessment of Urbanized Areas). *Gradostroitel'stvo i arkhitektura (Urban Planning and Architecture)*. 2018. Vol. 8. No. 1. pp. 63–71.
 7. Kriterii otsenki ekologicheskoy obstanovki territoriy dlya vyyavleniya zon chrezvychaynoy ekologicheskoy situatsii i zon ekologicheskogo bedstviya (Minprirody RF 30.111992) (Criteria for Assessing the Environmental Situation of Territories to Identify Areas of Emergency Environmental Situations and Environmental Disasters (approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on November 30, 1992)). URL: <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (accessed: 11.03.2024).
 8. Metodicheskie osnovy otsenki tekhnogennykh izmeneniy geologicheskoy sredy gorodov (Methodological Foundations for Assessing Technogenic Changes in the Geological Environment of Cities). Pod red. V.I. Osipova (Edited by V.I. Osipov). M.: Nauka, 1990. 196 p.
 9. Metodicheskoe rukovodstvo po sostavleniyu i podgotovke k izdatel'stvu listov Gosudarstvennoy geograficheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1 000 000 (tretie pokolenie) (Methodological Guidelines for the Compilation and Preparation for Publication of Sheets of the State Geological Map of the Russian Federation on a Scale of 1:1 000, 00 (third generation). Version 1.4. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2019. 169 p.
 10. Metodicheskoe rukovodstvo po sostavleniyu i podgotovke k izdatel'stvu listov Gosudarstvennoy geograficheskoy karty Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:200 000 (vtoroe izdanie) (Methodological Guidelines for the Compilation and Preparation for Publication of Sheets of the State Geological Map of the Russian Federation on a Scale of 1:200 000 (second edition). Version 1.4. SPb.: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2019. 188 p.
 11. Minakova T.B., Zayikanov V.G., Buldakova E.V. Geoekologicheskiy sled v gorodakh Rossii: podkhody, otsenki, rezul'taty (Geoecological Footprint in Cities of Russia: Approaches, Assessments, Results). *Geoekologiya (Geoecology)*. 2020. No. 6. pp. 83–94.
 12. Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2022 god (Overview of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2022). M.: Rosgidromet, 2023. 215 p.
 13. Otchet o rezultatakh ekspertno-analiticheskogo meropriyatiya «Analiz sozdaniya i eksploatatsii federal'nykh gosudarstvennykh informatsionnykh sistem v oblasti ekologicheskoy bezopasnosti i okhrany okruzhayushchey sredy v 2015—2020 godakh» (Report on the Results of the Expert Analytical Event “Analysis of the Creation and Operation of Federal State Information Systems in the Field of Environmental Safety and Protection of the Environment in 2015–2020”). *Byulleten' schetnoi palaty RF (Bulletin of the Accounts Chamber of the Russian Federation)*. 2020. No. 12. *Ekologicheskie GIS (Environmental GIS)*. 2020. 107 p.
 14. Perechen' porucheniy po itogam rasshirenogo zasedaniya prezidiuma Gosudarstvennogo soveta (utv. Prezidentom RF 18.12.2018 No. Pr-2426GS) (List of Instructions Following the Expanded Meeting of the Presidium of the State Council (approved by the President of the Russian Federation on December 18, 2018, No. Pr-2426GS)). URL: <https://base.garant.ru/72131242/> (accessed: 11.03.2024).
 15. Petrishchev V.P., Dubrovskaya S.A. Metodika kompleksnoy otsenki ekologicheskogo sostoyaniya gorodskikh territoriy (Methodology for a Comprehensive Assessment of the Ecological Condition of Urban Areas). *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN (Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences)*. 2013. No. 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kompleksnoy-otsenki-ekologicheskogo-sostoyaniya-gorodskih-territoriy> (accessed: 11.03.2024).
 16. Standart kompleksnogo razvitiya territoriy (Standard for Integrated Development of Territories). *Kniga 3 (Book 3)*. M.: Ministroy RF, 2020. 284 p.
 17. Sturman V.I. Kartografirovanie zagryazneniya okruzhayushchey sredy: na prim. Udmurtii (Mapping of Environmental Pollution: The Case of Udmurtia). Diss. ... dokt. geogr. nauk: 11.00.11 (Ph.D. thesis: Doctor of Geographical Sciences: 11.00.11). Izhevsk, 1996. 375 p. ill. RGB OD, 71 96-11/11-1.
 18. Teoriya i metodologiya ekologicheskoy geologii (Theory and Methodology of Ecological Geology). Pod red. V.T. Trofimova (Edited by V.T. Trofimov). M.: Izdatel'stvo Mosk. un-ta, 1997. 368 p.
 19. Trofimov V.T., Ziling D.G., Krasilova N.S. Kontseptual'nye osnovy ekologo-geologicheskogo kartografirovaniya

- (Conceptual Foundations of Ecological-Geological Mapping). Vesti. Mosk. un-ta. Ser. 4: Geologiya No. 5 (Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology No. 5). 1998. pp. 61–71.
20. Federal'nyy zakon ot 04.08.2023 No. 450-FZ «O vnesenii izmeneniy v Federal'nyy zakon «Ob okhrane okruzhayushchey sredy» i ot del'nyye zakonodatel'nyye akty Rossiyskoy Federatsii» (Federal Law dated 04.08.2023 No. 450-FZ “On Amending the Federal Law “On Environmental Protection” and Certain Legislative Acts of the Russian Federation”). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_453961/ (accessed: 11.03.2024).
 21. Federal'nyy zakon ot 10.01.2002 No. 7-FZ «Ob okhrane okruzhayushchey sredy» (Federal Law dated 10.01.2002 No. 7-FZ “On Environmental Protection”). URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ (accessed: 11.03.2024).
 22. Ekologicheskie funktsii litosfery (Ecological Functions of the Lithosphere). Pod red. V.T. Trofimova (Edited by V.T. Trofimov). M.: Izdatel'stvo Mosk. un-ta, 2000. 432 p.
 23. Simpson N.P., Mach K.J., Constable A., Hess J., Hogarth R., Howden M., et al. A framework for complex climate change risk assessment. One Earth 4, April 23. Elsevier Inc. 2021. pp. 489—501.
 24. Ren Q., He C., Huang Q. et al. Impacts of urban expansion on natural habitats in global drylands. Nat Sustain 2022. No. 5. pp. 869—878.
 25. WHO Ambient air quality database, 2022 update. World Health Organization. 2022. 34 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рукавицын В.В. — написал текст статьи, провел анализ литературных источников, разработал методику создания экоподосновы урбанизированных территорий и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Экзарьян В.Н. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, выполнил окончательную редакцию текста, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vadim V. Rukavitsyn — wrote the article text, made the reference analysis, developed the methodology of creation of the urban area ecological basis.

Vladimir N. Ekzaryan — made the main contribution to the development of the concept of the article, completed the final revision of the text, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рукавицын Вадим Вячеславович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ). 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: rukavitsynvv@mgri.ru
SPIN-код: 9167-3065
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5575-1803>

Экзарьян Владимир Нишанович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ). 23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия e-mail: vnekzar@rambler.ru
SPIN-код: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

Vadim V. Rukavitsyn* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Assistant Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: rukavitsynvv@mgri.ru
SPIN-code: 9167-3065
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5575-1803>

Vladimir N. Ekzaryan — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: vnekzar@rambler.ru
SPIN-code: 7968-3231
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

У.С. СЕРИКОВА¹, Э.М. АЛИЕВ², С.А. ГУРЯНОВ^{1,*}

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

² Институт нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики
ул. Ф. Амирова, 9, г. Баку, AZ1000, Азербайджан

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время стандартные технологии, применяемые в нефтегазовой отрасли, не могут обеспечить эффективного решения экологических задач. В данной работе рассмотрены технологии, которые могут обеспечивать высокую производительность при их решении.

Цель исследования. Рассмотрение технологий, которые могут обеспечивать высокую производительность при решении экологических задач.

Материалы и методы. Технологии искусственного интеллекта и внедрение цифровой трансформации при решении экологических задач, аэрокосмические методы и технологии, моделирование экологических систем и процессов.

Результаты. Проведенные исследования показывают, что Каспийский регион располагает значительным потенциалом для развития альтернативной энергетики. Так, суммарная ветровая энергия Каспийского моря, которая теоретически может быть использована на территории Азербайджанской Республики, оценивается в 157 ГВт, из которых до 35 ГВт находятся на мелководье (и, следовательно, не требуют серьезных финансовых затрат для использования) и 122 ГВт — в районе глубокой воды.

Заключение. Использование инновационных технологий в нефтегазовой промышленности приносит не только экологические, но и экономические выгоды. Снижение выбросов и оптимизация производства уменьшают расходы и риски устранения загрязняющих природу утечек. Одной из главных задач современности является переход к новой энергетической парадигме, основанной на технологиях, которые не способствуют изменению климата. Как важнейший вариант решения предлагается «энергoэкологическая революция».

Для мониторинга окружающей среды, в том числе загрязнения воздуха и выбросов в атмосферу парниковых газов, целесообразно внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза, включающей космический мониторинг, мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов, мониторинг подземной геологической среды на базе геофизической обсерватории в реальном масштабе времени, мониторинг концентрации газов с помощью лазерной абсорбционной спектроскопии и технологии распределенных сенсорных сетей.

Ключевые слова: нефтегазодобывающая промышленность, экологическая безопасность, искусственный интеллект, низкоуглеродная энергетика, альтернативные источники энергии (АИЭ)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Серикова У.С., Алиев Э.М., Гурянов С.А. Основные направления создания экологически безопасных технологий в нефтегазовой отрасли. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):66—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-66-79>

Статья поступила в редакцию 14.10.2024

Принята к публикации 07.11.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

MAIN DIRECTIONS IN THE DEVELOPMENT OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES FOR THE OIL AND GAS INDUSTRY

ULYANA S. SERIKOVA¹, EMIN M. ALIYEV², SANAN A. GURYANOV^{1,*}

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

² *Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan
9, F. Amirov str., Baku AZ1000, Azerbaijan*

ABSTRACT

Background. The technologies currently used in the oil and gas industry cannot offer an effective solution to environmental problems. An alternative approach consists in the use of innovative technologies, which combine high productivity with environmental efficiency.

Aim. To review technologies that ensure high productivity in combination with solving environmental problems.

Materials and methods. Artificial intelligence technologies, implementation of digital transformation in solving environmental problems, aerospace methods and technologies, modeling of environmental systems and processes.

Results. The conducted studies revealed the significant potential of the Caspian region in terms of development of alternative energy. Thus, the total wind energy of the Caspian Sea, which theoretically can be used in the Republic of Azerbaijan, is estimated at 157 GW. Out of this potential, up to 35 GW and 122 GW lie in shallow-water (therefore, requiring no substantial expenses) and deep-water areas, respectively.

Conclusion. The use of innovative technologies in the oil and gas industry offers not only environmental but also economic benefits. Reduction of emissions and optimization of the production process decreases pollution risks and the costs associated with elimination of polluting leaks. One of the main challenges of our time is the transition to a new energy paradigm based on technologies that do not contribute to climate change. An energy and ecological revolution is proposed as the most important solution. For environmental monitoring, including air pollution and greenhouse gas emissions, it is advisable to implement a three-level system of monitoring, diagnosis, and forecasting. This system includes space monitoring; monitoring using unmanned aerial vehicles; monitoring of the underground geological environment based on a geophysical observatory in real time; monitoring gas concentrations using laser absorption spectroscopy and distributed sensor network technology.

Keywords: ecology, environment, Caspian region, ecosystem, oil and gas fields, anthropogenic activity, geological processes, degassing

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

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

For citation: Serikova U.S., Aliyev E.M., Guryanov S.A. Main directions in the development of environmentally friendly technologies for the oil and gas industry. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):66—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-66-79>

* Corresponding author

В настоящее время стандартные технологии, применяемые в нефтегазовой отрасли, не могут обеспечить эффективного решения экологических задач. Ниже рассмотрены технологии, которые могут обеспечивать высокую производительность при решении этих задач. Преимущество прорывных технологий состоит в том, что они могут обеспечивать высокую производительность при решении экологических задач.

Технологии искусственного интеллекта (ИИ) и условия цифровой трансформации при решении экологических задач

Основными векторами развития в этом направлении являются:

- создание современных интерактивных сред для обеспечения сбора, систематизации и анализа всей оперативной информации в режиме реального времени и обеспечение на этой основе охраны окружающей среды при управлении процессом строительства скважин (месторождений) и разведки и добычи УВ;

- использование технологий экологически чистых производств, автоматизация на основе внедрения систем искусственного интеллекта;

- создание и внедрение новых ИИ-инструментов для дистанционного экологического мониторинга.

Основными цифровыми технологиями в настоящее время являются: Big Data, или «большие данные»; нейротехнологии и искусственный интеллект, системы распределенного реестра, квантовые технологии, новые производственные технологии, промышленный интернет, компоненты робототехники и сенсорики, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности [1].

Цифровая модернизация производства — это процесс преобразования нефтегазового дела путем интеллектуализации производства, что приводит к массовой и масштабной смене моделей нефтегазового бизнеса и производства, наилучшие из которых переносятся на всю нефтегазовую экосистему.

Все более широкое внедрение методов искусственного интеллекта для обеспечения экологической безопасности приводит к растущему количеству и большей специализации моделей

искусственных нейронных сетей, настроенных на решение различных целевых задач [3].

Внедрение экологически чистых производств и информационных технологий в разработку и эксплуатацию месторождений нефти и газа требует решения большого комплекса задач. Следует особо отметить фундаментальную роль направления «Big Data» и внедрения «smart-технологии».

Новые технологии призваны повысить эффективность за счет повышения качества использования существующего энергопотенциала и быстрого реагирования на малейшие изменения окружающей среды. Это применение в развитии нефтегазовой промышленности стран, входящих, в Каспийский регион, нанотехнологий (нанофотоника, наноматериалы, оптические наноматериалы, наносистемная техника, наноборудование).

Важной задачей является внедрение технологий «Умного месторождения» (Smart Field (SF)) и «Умной скважины», позволяющих повышать энергоэффективность оборудования и технологических процессов и обеспечивать экологическую безопасность. «Умное месторождение» — это комплекс программных и технических средств, который позволяет управлять добычей углеводородов (рис. 1).

Количество умных скважин первого поколения в мире составляет более 900, из них 40 — в России. Умные скважины второго поколения позволяют проводить мониторинг и контроль за работой запасов на протяжении всего жизненного цикла месторождения нефти и газа [4].

Интеграция датчиков, дронов и искусственного интеллекта может предоставить операторам трубопроводов данные в реальном времени [39]. Инновации в технологии умной очистки, в которой используются встроенные инструменты контроля с усовершенствованными датчиками, способствуют упреждающему выявлению коррозии, трещин или структурных недостатков.

Ведущие энергетические корпорации нефтегазового сектора (Лукойл Saudi Aramco, British Petroleum, Total, Shell и другие) взяли на себя значительные обязательства по достижению нулевых выбросов. Эти обязательства включают в себя постановку амбициозных целей по сокращению или компенсации выбросов углекислого газа,

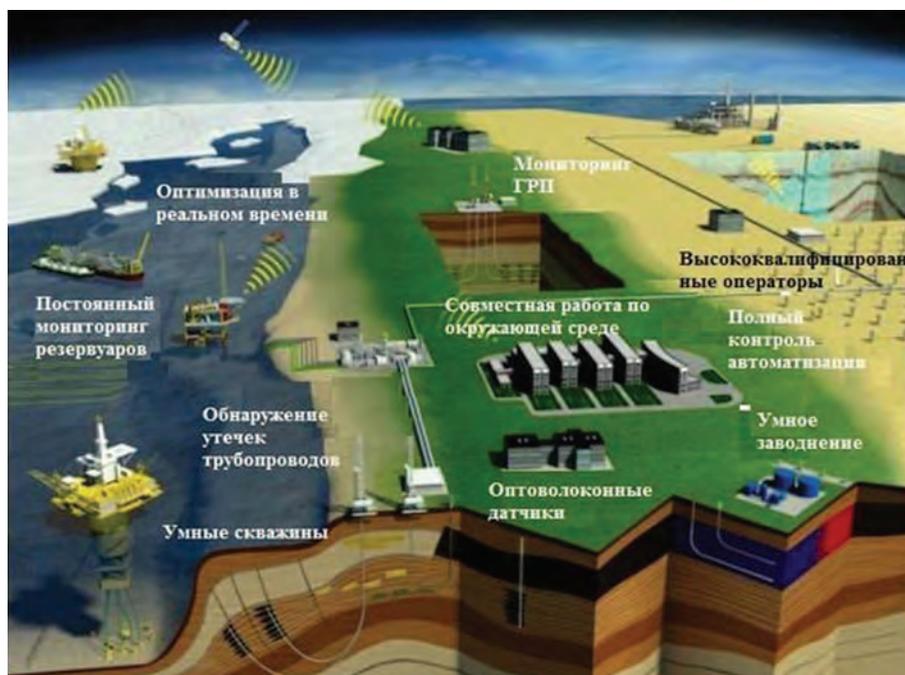


Рис. 1. Схема «Умного месторождения» (Smart Field (SF))
Fig. 1. Smart Field (SF) Scheme

что в конечном счете будет способствовать достижению глобальных климатических целей. Например, компания ExxonMobil объявила о своем обязательстве «Net Zero к 2050 году», изложив комплексный план по сокращению выбросов в ходе своей деятельности и инвестированию в устойчивые методы работы [5].

В соответствии с утвержденной Политикой ПАО «ЛУКОЙЛ» в части экологии используются следующие принципы:

- принцип нулевого сброса — все производственные отходы собираются и отправляются на берег для дальнейших обезвреживания и утилизации. В соответствии с утвержденной политикой ПАО «ЛУКОЙЛ» в части экологии используется система обращения с отходами по принципу нулевого сброса. Обработке (нейтрализации) отходов подлежат буровые шламы; буровые сточные воды; отработанные буровые растворы; нефтесодержащие воды; хозяйственные сточные воды;

- предупреждение и ликвидация аварийных разливов;

- экологический мониторинг и сохранение биоразнообразия — спутниковый мониторинг водных объектов, состояния недр, загрязнения окружающей среды и объектов животного мира.

В мировую практику широко внедряются инновации и технологии, предназначенные для повышения экологической устойчивости наземных

нефтепроводов. Прежде всего это инновации в технологиях ликвидации разливов и их локализации. Существуют системы раннего обнаружения разливов нефти, механизмы быстрого реагирования и передовые стратегии сдерживания, призванные минимизировать экологическое воздействие разливов нефти. Активно развивающиеся компьютерные технологии, и академическое знание формирует хорошую базу для устранения экологических проблем [6—8].

Применение в нефте- и газотранспортировке информационно-технических технологий позволило достичь высокого уровня безопасности. Это стало возможным благодаря проведению комплексного, полностью автоматизированного расчета циклической и статической прочности, вибропрочности и сейсмостойкости на ПК. Внедрение ИТ в нефте- и газотранспортировку позволяет провести точное и оперативное моделирование трубопровода и разработать мероприятия, направленные на оптимизацию работы всей трубопроводной системы с учетом полученных при анализе на ПК данных, включающих все основные критерии [9—12].

В мире уже существует ряд успешных проектов, включая использование сжиженного природного газа (СПГ) как экологически чистого топлива для промышленного автотранспорта.

Еще одной важной инновацией в процессе добычи нефти является технология бинарных смесей.

Это жидкие растворы химических реагентов, которые вводятся последовательно, при помощи инертной жидкости, и реагируют в зоне продуктивного пласта под пакером, выделяя газ и тепло, которые проникают в пласт под давлением [13].

Аэрокосмические методы и технологии

Космическая информация применяется во многих областях прежде всего для предупреждения и ликвидации последствий природных катастроф и техногенных аварий, исследования и рационального использования природных ресурсов, охраны окружающей среды, энергетики, градостроительства, транспортного комплекса, метеорологии и климатологии, лесного и сельского хозяйства, картографии, создания геоинформационных систем и др. [14—18].

Эта информация должна широко использоваться и в интересах нефтегазовой отрасли. Основные мировые тенденции развития космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) связаны с увеличением числа спутников высокого и сверхвысокого разрешения (меньше 0,4—1 м), в том числе всепогодных радиолокационных космических аппаратов, увеличением качества малых спутников, все более широким использованием кластеров однотипных спутников (например, 6 оптических спутников RapidEye, 4 радиолокационных спутника Cosmo-SkyMed с разрешением 1 м и др.), созданием комплексных многоспутниковых систем космического мониторинга (например, международная система ГСНЗ (Глобальная система наблюдения Земли), Европейская система GMES, проект международной системы МАКСМ и др.).

В связи с этим эффективность использования космических методов и технологий в различных направлениях деятельности, в том числе и в интересах нефтегазовой отрасли, будет непрерывно повышаться [19—23]. Важнейшими преимуществами космических методов и систем мониторинга являются: большая обзорность; возможность работы в любых труднодоступных районах и получения информации практически в любом масштабе, с различным пространственным и временным разрешением; широкий спектр регистрируемых параметров; высокая достоверность и оперативность получения данных; возможность многократно наблюдать исследуемые районы и работать при частичном или полном отсутствии топографической основы; относительная дешевизна информации (особенно при работе на больших площадях). Эти особенности делают космические методы,

технологии и системы мониторинга чрезвычайно перспективными для решения задач нефтегазового комплекса России. Аэрометоды мониторинга занимают свою нишу при решении задач мониторинга объектов нефтегазовой отрасли, связанную с получением более детальной информации и в более локальном масштабе. Эффективность их применения существенно повышается в случае комплексирования с космическими средствами [24—30].

Аэрокосмический мониторинг нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса

Актуальность и необходимость применения аэрокосмических методов и технологий в нефтегазовой отрасли России обусловлена следующими обстоятельствами: большой протяженностью трубопроводных сетей, труднодоступностью большей части регионов страны, где производится добыча и транспортировка углеводородов в прибрежных акваториях, суровыми погодными условиями в этих регионах страны; широкими и непрерывно увеличивающимися возможностями для решения большого числа разнородных задач, стоящих перед нефтегазовым комплексом, и др. [31—34]. Для аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса уже в настоящее время используются различные методы дистанционного зондирования, в том числе: методы, основанные на регистрации характеристик электромагнитного поля (прежде всего многоспектральные сканерные оптико-электронные и гиперспектральные методы, тепловизионные методы, методы ИК- и СВЧ-радиометрии, активные лидарные и радиолокационные методы и др.); магнитометрические методы; гравиметрические методы; пассивная гамма-спектрометрия.

Перспективы повышения эффективности аэрокосмического мониторинга объектов нефтегазового комплекса связаны с широким использованием новых методов дистанционного зондирования, таких, например, как: дистанционная пространственно-частотная спектрометрия, многочастотные радиотомография и СВЧ-радиометрия, многочастотная радиоволнография, радиоинтерферометрия, бистатическая радиолокация, Фурье-спектрометрия, лазерное флуоресцирование, методы спутниковой навигации, спутниковая альтиметрия, активные методы, основанные на регистрации потоков элементарных частиц и др., а также с комплексным использованием разнородной аэрокосмической

и подспутниковой (в том числе геофизической) информации. Эти перспективы в значительной мере связаны также с развитием методов и технологий обработки и хранения разнородной аэрокосмической информации, получаемой в процессе мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса, а также с применением современного геоинформационного обеспечения [36—38].

Для мониторинга окружающей среды, в том числе загрязнения воздуха и выбросов в атмосферу парниковых газов, целесообразно внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза, включающей: космический мониторинг, мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов, мониторинг подземной геологической среды на базе геофизической обсерватории в реальном масштабе времени, мониторинг концентрации газов с помощью лазерной абсорбционной спектроскопии и технологии распределенных сенсорных сетей.

Совместное функционирование трех уровней мониторинга дает достоверное и наиболее полное представление о состоянии окружающей среды на морских объектах и в прилегающей акватории. На рисунке 2 представлена Информационная система экологического мониторинга, применяемая ПАО «Лукойл».

Важнейшей задачей дистанционного зондирования при экологическом мониторинге является исследование льдов и айсбергов в Арктике (рис. 3).

Моделирование экологических систем и процессов

В настоящее время компьютерные технологии применяются во всех областях и сферах научных интересов. Привлечение компьютеров существенно раздвинуло границы моделирования экологических процессов. Моделирование — это один из важнейших методов научного познания, с помощью которого создается модель объекта исследования. Сущность его заключается в том, что взаимосвязь исследуемых явлений и факторов передается в форме конкретных математических уравнений. В частности, актуально применение моделирования экологических систем, при анализе состояния окружающей среды, оценке степени антропогенного загрязнения воздушного бассейна крупных городов и промышленных центров, поскольку задачи охраны окружающей среды требуют широкого применения математических методов и приемов вычислений, оперируют результатами обработки широкого спектра данных, требуют автоматизированного подхода для дальнейшего использования. Для изучения процессов, происходящих в экологических системах, используется моделирование, связанное с состоянием окружающей среды, в свою очередь, оно распадается на ряд направлений:

- моделирование загрязнения атмосферы и поверхности земли промышленными выбросами (перенос загрязняющих веществ, ущерб, наносимый здоровью населения, сельскохозяйственным



Рис. 2. Информационная система экологического мониторинга, применяемая ПАО «Лукойл»

Fig. 2. Information system of environmental monitoring used by PJSC Lukoil



Рис. 3. Экологический мониторинг исследования льдов и айсбергов в Арктике. 1 — выполнено более 700 км полетов для проведения радиолокационной и аэрофотосъемки. Конструирование трехмерных моделей надводной части айсбергов, оценка их массы; 2 — более 100 дрейфующих ледовых буев. Отслеживание координат и скорости дрейфа; 3 — физико-химические и морфометрические характеристики. Распределение водных масс, течений и изменчивости температур. 2000 айсбергов открыто у восточного побережья архипелага Северная Земля; 4 — собранные научные данные станут основой разработки системы управления ледовой обстановкой шельфовых проектов

Fig. 3. Environmental monitoring of ice and iceberg research in the Arctic: 1 — over 700 km of flights completed for radar and aerial photography. Construction of 3D models of the above-water part of icebergs, assessment of their mass; 2 — over 100 drifting ice buoys. Tracking coordinates and drift speed; 3 — physicochemical and morphometric characteristics. Distribution of water masses, currents and temperature variability. 2000 icebergs discovered off the east coast of the Severnaya Zemlya archipelago; 4 — the collected scientific data will form the basis for developing an ice management system for shelf projects

угодьям, лесным массивам, почве, затраты на восстановление окружающей среды и т.д.);

- моделирование водных экосистем (трансформации компонентов экосистемы, образования и превращения веществ, потребления, роста и гибели организмов);

- моделирование продукционного процесса растений (для выбора оптимальной стратегии проведения сельскохозяйственных мероприятий: орошения, полива, внесения удобрений, выбора сроков посева или посадки растений с целью получения максимального урожая);

- моделирование лесных сообществ (используются как для описания лесных массивов на больших пространственных и временных масштабах, так и для моделирования популяций, в которых основным объектом является отдельное дерево);

- глобальные модели, в которых Земля рассматривается как единая экосистема. Наиболее известные модели такого рода — «ядерная зима»

(катастрофические последствия ядерной войны), глобальное потепление (парниковый эффект вследствие промышленной деятельности человечества) и т.д.

Для познания экологической ситуации целесообразно решение экологических задач методом моделирования. Изучая экологию, необходимо спрогнозировать изменения, которые могут происходить в окружающей среде вследствие воздействия каких-нибудь факторов. При этом модель позволяет подробно изучить проблему и найти оптимальный способ ее решения. В области экологического исследования конкретных природных объектов метод построения моделей популяций и сообществ, а также целых экосистем является мощным средством обобщения и проверки обычно разрозненной и громоздкой информации, полученной в результате наблюдений и экспериментов. Задачи прогнозирования и оптимального управления экосистемами не могут быть

успешно решены без создания математических моделей этих объектов.

Важнейшую роль в исследованиях играет создание математической модели, описывающей динамические процессы, которые протекают в биосфере.

Во многих случаях при решении задач моделирования развития ситуаций, происходящих в окружающей среде, предпочтение отдается применению численных методов, в частности, при поисках различного рода интегральных характеристик, которые являются основой состояния окружающей среды. Внимание ученых многих стран в настоящее время сконцентрировано на проблеме оценки степени антропогенного загрязнения воздушного бассейна крупных регионов, городов и промышленных центров. В связи с массированным загрязнением атмосферы вопросы ее охраны из внутригосударственных масштабов в Каспийском регионе выросли до международной проблемы.

Развитие методов прогнозирования загрязнения воздуха основывается на результатах теоретического и экспериментального изучения закономерностей распространения примесей от источников. Это изучение ведется по двум направлениям: первое — это разработка теории атмосферной диффузии на основе математического описания распространения примесей с помощью уравнения турбулентной диффузии. Второе связано с эмпирико-статистическим анализом распространения загрязняющих веществ в атмосфере с использованием для этой цели интерполяционных моделей гауссовского типа [2].

При математическом моделировании процессов переноса и распространения загрязняющих веществ в воздушном бассейне города обязательно нужно учесть параметры среды: градиенты температуры (вертикальный и горизонтальный), направление и скорость ветра, облачность, температурную стратификацию атмосферы, значения фоновых концентраций примесей в воздухе. Необходимо отметить, что ветер является очень значимым параметром, поскольку его скорость отражает не только механизм переноса примесей, но и характеризует атмосферную диффузию [35]. Ветровой режим является основополагающим параметром, поскольку определяет направление и перенос вредных примесей от источников загрязнения. Основная трудность при учете указанной климатической характеристики состоит в том, что использование эмпирических законов распределения за многолетний месяц (сезон) ведет к большому объему вводимой информации. Несомненно, современные математические пакеты позволяют детально обработать такие массивы

данных, но в основном на предмет получения статистических оценок.

Переход к низкоуглеродной энергетике, использованию нетрадиционных и возобновляемых источников энергии

Одним из направлений обеспечения охраны окружающей среды является переход к низкоуглеродной энергетике. Мировая экономика в настоящее время взяла курс на переход к рациональному сочетанию традиционных и новых источников энергии. Характерной тенденцией развития мировой экономики будет систематическое снижение доли органического топлива и компенсирующий рост доли возобновляемых энергетических ресурсов.

К нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии относятся солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы и др. Низкоуглеродные альтернативы, такие как ветер и солнечная энергия, достигли ценовых уровней, при которых они экономически конкурентоспособны на рынке. Потенциальные возможности нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире огромны. Одной из главных задач является переход к новой энергетической парадигме, основанной на технологиях, которые не способствуют изменению климата. Как важнейший вариант решения предлагается «энерго-экологическая революция». Необходимо активно сокращать выбросы от унаследованных активов, которые, вероятно, будут продолжать играть значительную роль в мировом энергетическом балансе в краткосрочной и среднесрочной перспективе.

Использование «зеленой» энергетики для эксплуатации трубопроводов электропередачи приобретает важное значение. Интеграция источников солнечной и ветровой энергии с наземными нефтепроводами становится устойчивым подходом. Эти решения в области возобновляемых источников энергии снижают зависимость от традиционных источников энергии, смягчая воздействие потребления энергии на окружающую среду.

Крупнейшие нефтегазовые компании мира на протяжении последних десятилетий активно диверсифицируют деятельность за счет включения в проектный портфель проектов по производству альтернативной энергии как для собственных нужд, так и для продажи. Увеличение объемов добычи, транспортировки, переработки нефти и газа, ухудшение геолого-технологических условий их освоения и снижение качественных характеристик

углеводородов, вызванное увеличением доли трудноизвлекаемых запасов, приводит к росту потребления энергии нефтегазовыми компаниями и делает необходимым решение вопросов энергосбережения, повышения энергоэффективности и экологичности производства. Указанные обстоятельства, а также существенный потенциал АИЭ делают необходимым более активное их использование нефтегазовыми компаниями Каспийского региона. АИЭ в данном случае являются конкурентоспособными по следующим параметрам: отсутствие при эксплуатации выбросов вредных веществ в окружающую среду, минимизация эксплуатационных затрат, высокий уровень автономности.

Направления возможного использования АИЭ сгруппированы по основным секторам технологической цепочки нефтегазового бизнеса — upstream (вверх), mildstream, downstream) (табл.).

Проведенные исследования показывают, что Каспийский регион располагает значительным потенциалом для развития альтернативной энергетики. Так, суммарная ветряная энергия Каспийского моря, которая теоретически может быть использована на территории Азербайджанской Республики, оценивается в 157 ГВт, из которых до 35 ГВт находятся на мелководье (и, следовательно, не требуют серьезных финансовых затрат для использования) и 122 ГВт — в районе глубокой воды.

Технический потенциал солнечной энергетики, по данным Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), может достигать 23 ГВт — этому способствует большое количество солнечных часов в году (2400—3200) и показатели солнечной активности (1500—2000 кВт-ч/кв. м). Оптимальные зоны сосредоточены в долинах центральных рек, а также на севере и северо-западе страны.

При этом по итогам 2021 г. мощность ветроэнергетики Азербайджана составила 67 МВт, хотя общая генерация альтернативных источников достигла 1316 МВт, что обеспечило только 5,7% всей выработанной электроэнергии в стране. Между тем, по некоторым данным, общий потенциал альтернативной энергетики (от 7 ГВт) в республике сопоставим с суммарной установленной мощностью всех электростанций страны (8 ГВт в 2017 г.).

Согласно соглашению о стратегическом партнерстве в области развития и передачи зеленой энергии между правительствами Азербайджана, Грузии, Румынии и Венгрии будут проведены работы над прокладкой кабеля для «зеленого» электроснабжения по дну Черного моря, что внесет ценный вклад в укрепление энергетической безопасности Европы. На втором этапе рассматривается передача 3—4 ГВт зеленой энергии

Таблица. Использование альтернативных источников энергии в производственной деятельности нефтегазовых компаний

Table. Use of alternative energy sources in the production activities of oil and gas companies

Сектор нефтегазового бизнеса	Направление использования альтернативных источников энергии	Альтернативный источник энергии	Накопленный опыт использования
Upstream	Обеспечение работы скважин, производственные операции, электроснабжение объектов инфраструктуры	Солнце, ветер, гибридные установки	Существенный
		Тепловая энергия Земли, отходы производства	Не очень значительный
	Применение методов нефтеотдачи	Ветер	Существенный
		Солнце, тепловая энергия Земли	Не очень значительный
Энергообеспечение морских платформ	Ветер	Значительный	
Mildstream	Морские логистические операции	Водород	Пилотные перспективные проекты
		Аммиак	
	Объекты инфраструктуры (хранилища, отгрузочные терминалы)	Солнце, ветер, гибридные установки	Существенный
Энергообеспечение транспортировки			
Downstream	Производственные операции, электроснабжение объектов инфраструктуры	Солнце, ветер, гибридные установки	Существенный
		Биогаз	Единичные проекты

по этому маршруту, который, по словам министра, претендует на звание коридора «зеленой» энергии XXI в.

Помимо очевидных преимуществ осуществления проектов в сфере ветроэнергетики на побережье Каспийского моря, большим потенциалом обладает солнечная генерация. Безусловно, строительство новых «зеленых» электростанций станет мощным импульсом для территориального развития, но при этом имеются и определенные сложности в контексте армяно-азербайджанских отношений.

Важнейшим направлением является переход к водородной энергетике. Ключевым моментом осуществления «водородной экономики / водородной цивилизации» будет наличие «дешевых», экологически приемлемых и целесообразных методов его получения.

Наиболее логично было бы для получения такого экологически чистого энергоносителя, как водород, использовать возобновляемые источники энергии (ВИЭ). Наряду с совершенствованием промышленных способов получения водорода перспективы связаны с поиском и добычей скопленных природного водорода, непрерывно генерируемого из недр Земли. Для мониторинга водородной дегазации Земли на территории суши и морских акваторий, а также при геолого-разведочных работах на водород рекомендуется внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза, включающей космический, с беспилотных аппаратов и подземной геологической среды на базе геофизической обсерватории в реальном масштабе времени.

Заключение

Использование инновационных технологий в нефтегазовой промышленности приносит

не только экологические, но и экономические выгоды. Снижение выбросов и оптимизация производства уменьшают расходы и риски устранения загрязняющих природу утечек.

В целом с появлением новых материалов, более точных мониторинговых систем и смешанных энергетических решений индустрия готовится к углублению в экологическую безопасность, что не только снизит негативное влияние нефтегазовой добычи на окружающую среду, но и способствует усовершенствованию процессов и технологий.

Современные технологии добычи приближают индустрию к пониманию выгоды и с точки зрения экологии. Для решения проблем в соответствии с постоянно возрастающими требованиями общества к экологической безопасности и эффективности производств требуется коренная реконструкция нефтегазодобывающей отрасли, внедрение «прорывных» технологий.

Одной из главных задач современности является переход к новой энергетической парадигме, основанной на технологиях, которые не способствуют изменению климата. Как важнейший вариант решения предлагается «энергоэкологическая революция».

Для мониторинга окружающей среды, в том числе загрязнения воздуха и выбросов в атмосферу парниковых газов целесообразно внедрение трехуровневой системы мониторинга, диагноза и прогноза, включающей космический мониторинг, мониторинг с использованием беспилотных летательных аппаратов, мониторинг подземной геологической среды на базе геофизической обсерватории в реальном масштабе времени, мониторинг концентрации газов с помощью лазерной абсорбционной спектроскопии и технологии распределенных сенсорных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В. Моделирование мезомасштабных гидротермических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона озера Байкал. [Б.и.], 2007. 258 с.
2. Богоявленский В.И., Керимов В.Ю., Ольховская О.О. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Охотское море. Нефтяное хозяйство. 2016. № 6. С. 43—47.
3. Бутаев А.М., Рыбникова В.И., Гаджиев А.З. Бактериальное загрязнение прибрежных вод Каспия в районе Махачкалы. Вестн. ДНЦ РАН. 1998. № 1. С. 69—73.
4. Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968. 226 с.
5. Галимов Э.М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. М.: Недра, 1973. 384 с.
6. Гемп С.Д., Дуброва Н.В., Несмелова З.Н. Изотопный состав углерода углеродсодержащих газов (CH₄ и CO₂) грязевых вулканов Керченско-Таманской области. Геохимия. 1970. № 2. С. 243—247.
7. Гулиев И.С., Керимов В.Ю. Углеродная дегазация Земли: мониторинг, масштабы и геоэкологические последствия. Актуальные проблемы нефти и газа. 2018. Вып. 4(23). 79 с.

8. Гулиев И.С., Мустаев Р.Н., Керимов В.Ю., Юдин М.Н. Дегазация Земли: масштабы и последствия. Горный журнал. 2018. № 11. С. 38—42.
9. Дадашев Ф.Г., Гулиев И.С., Фейзуллаев А.А. Геотектонические и геохимические особенности дегазации Земли в пределах геосинклинальных областей. В книге: Дегазация Земли и геотектоника. М.: Наука, 1980. С. 116—123.
10. Иванов В.П., Сокольский А.Ф. Научные основы стратегии защиты биологических ресурсов Каспийского моря от нефтяного загрязнения. Астрахань: Изд-во КаспНИРХа, 2000. 181 с.
11. Кадиров Ф.А., Сафаров Р.Т. Деформация земной коры Азербайджана и сопредельных территорий по данным GPS-измерений. Известия НАН Азербайджана, Науки о Земле. 2013. № 1. С. 47—55.
12. Касымов А.Г. Экология Каспийского озера. Баку, 1994. 237 с.
13. Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н., Хоштария В.Н. Оценка геологических рисков при поисках и разведке месторождений углеводородов. Нефтяное хозяйство. 2017. № 8. С. 36—41.
14. Керимов В.Ю., Осипов А.В., Мустаев Р.Н., Минлигалиева Л.И., Гусейнов Д.А. Условия формирования и развития пустотного пространства на больших глубинах. Нефтяное хозяйство. 2019. № 4. С. 22—27.
15. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. М.: ИКИ РАН, 2016. 334 с.
16. Лаврушин В.Ю., Поляк Б.Г. Источники углеродсодержащих газов в грязевых вулканах СНГ. Новые идеи в геологии и геохимии нефти и газа. М.: ГЕОС, 1997. С. 67—70.
17. Мастепанов А.М. От ковидного «сегодня» к низкоуглеродному «завтра»: анализ зарубежных прогнозов развития мировой энергетики. Георесурсы. 2021. № 23(3). С. 42—52. DOI: 10.18599/grs.2021.3.7
18. Миронов О.Г. Нефтеокисляющие микроорганизмы в море. Киев: Наукова думка, 1971. 234 с.
19. Митягина М.И., Лаврова О.Ю. Многолетний комплексный спутниковый мониторинг загрязнений поверхности Балтийского и Каспийского морей. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 5. С. 269—288.
20. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: Изд-во ВНИРО, 2001. 247 с.
21. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2-х т. 2-е изд. перераб. и доп. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. М.: Изд-во ВНИРО, 2017. 326 с.
22. Рубан Л.С., Гриб Н.С. Инновации и новые технологии в бассейне Каспийского моря (БКМ): водород как новая социально-экономическая реальность. Доклад на КЭФ-21, г. Красноярск, 2021.
23. Сташок О.В. Анализ экологической обстановки города с развитой промышленной инфраструктурой (на примере города Братска). Экология и промышленность России. 2009. № 5. С. 53—55.
24. Цогоев В.Б. Гидроминеральные ресурсы Северной Осетии. Изд-во Ир. Орджоникидзе, 1969. 419 с.
25. Экзарьян В.Н., Рукавицын В.В. Методика оценки риска от загрязнения окружающей среды в результате аварий на опасных промышленных объектах. Разведка и охрана недр. 2021. № 1. С. 66—69.
26. Adegboye A.C., Egharevba M.I., Edefe J. Economic regulation and employment intensity of output growth in sub-Saharan Africa. Governance for Structural Transformation in Africa. London: Palgrave Macmillan, 2019. P. 101—143.
27. Bayramov A. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. Caucasus Survey. 2021. No. 9:1. P. 1—20. DOI: 10.1080/23761199.2020.1774856
28. Bloomer B.J., Vinnikov K.Y., Dickerson R.R. Changes in seasonal and diurnal cycles of ozone and temperature in the eastern U.S. Atmospheric Environment, 2010. P. 1—9.
29. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring 2018. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (дата обращения: 09.07.2024).
30. Ericson S.J., Engel-Cox J., Arent D.J. Approaches for integrating renewable energy technologies in oil and gas operations. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2019.
31. Guliev I.S., Kerimov V.Yu., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea. Caspian Region. Geotectonics. 2021. No. 55. P. 393—407.
32. Held A., Hinz K.P., Trimborn A., Spendler B., Klemm O. Straightness measurement whirlwind vertical stream quotient particle atmosphere substantial. Goophys. Res. Len. 2003. No. 19. P. 4.
33. Hutter G.W. The status of world geothermal power generation 1995—2000. Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Hyushu — Tohoku, Japan. May 28 — June 10. Vol. 1. P. 23—37.
34. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. Geotectonics, 2019. Vol. 53, no. 1. P. 42—59, DOI: 10.1134/S0016852119010035
35. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. Doklady Earth Sciences. 2018. Vol. 483, p. 1. P. 1413—1417.
36. Lapidus A.L., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. Solid Fuel Chemistry. 2018. Vol. 52, no. 6. P. 344—355.
37. Lund, J.W., Freeston D.H. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. Proceed. of the World

- Geothermal Congress 2000, Hyushu — Tohoku, Japan. May 28 — June 10. Vol. 1. P. 1—21.
38. *Mustaev R.N., Kerimov Yu.V., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S.* Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201602185
39. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran. 2011. 102 p.

REFERENCES

1. Arguchintsev V.K., Arguchintseva A.V. Modeling of mesoscale hydrothermal processes and transport of anthropogenic impurities in the atmosphere and hydrosphere of the Lake Baikal region. [B.i.], 2007. 258 p. (In Russ.).
2. Bogoyavlensky V.I., Kerimov V.Yu., Olkhovskaya O.O. Dangerous gas-saturated objects in the waters of the World Ocean: the Sea of Okhotsk. Neftyanoe Khozyaystvo. 2016. No. 6. P. 43—47 (In Russ.).
3. Butaev A.M., Rybnikova V.I., Gadzhiev A.Z. Bacterial pollution of coastal waters of the Caspian Sea in the Makhachkala region. Vestn. DSC RAS. 1998. No. 1. P. 69—73 (In Russ.).
4. Galimov E.M. Geochemistry of stable carbon isotopes. Moscow: Nedra, 1968. 226 p. (In Russ.).
5. Galimov E.M. Isotopes of carbon in oil and gas geology. Moscow: Nedra, 1973. 384 p. (In Russ.).
6. Gemp S.D., Dubrova N.V., Nesmelova Z.N. Isotope composition of carbon in carbon-containing gases (CH₄ and CO₂) mud volcanoes of the Kerch-Taman region. Geochemistry. 1970. No. 2. P. 243—247 (In Russ.).
7. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu. Hydrocarbon degassing of the Earth: monitoring, scale and geocological consequences. Actual problems of oil and gas. 2018. Vol. 4(23). 79 p. (In Russ.).
8. Guliev I.S., Mustaev R.N., Kerimov V.Yu., Yudin M.N. Degassing of the Earth: scale and implications. Gornyi Zhurnal. 2018. No. 11. P. 38—42 (In Russ.).
9. Dadashev F.G., Guliyev I.S., Feyzullaev A.A. Geotectonic and geochemical features of the Earth degassing within geosynclinal regions. In: Earth degassing and geotectonics. Proceedings of the All-Union Symposium. Moscow, 1980. P. 116—123 (In Russ.).
10. Ivanov V.P., Sokolsky A.F. Scientific basis of protection strategy biological resources of the Caspian Sea from oil pollution. Astrakhan: KaspNIRKh Publishing House, 2000. 181 p. (In Russ.).
11. Kadirov F.A., Safarov R.T. Earth's crust deformation in Azerbaijan and adjacent territories according to GPS measurements. Proceedings of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Earth Sciences. 2013. No. 1. P. 47—55 (In Russ.).
12. Kasymov A.G. Ecology of the Caspian Lake. Baku, 1994. 237 p. (In Russ.).
13. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N., Khoshtariya V.N. Estimation of geological risks in searching and exploration of hydrocarbon deposits. Neftyanoe Khozyaystvo. 2017. №. 8, pp. 36—41 (In Russ.).
14. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Mustaev R.N., Minligalieva L.I., Guseinov D.A. Conditions for the formation and development of void space at great depths. Oil industry. 2019. No. 4. P. 22—27 (In Russ.).
15. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostyanoy A.G. Satellite methods for identifying and monitoring environmental risk zones in marine waters. Moscow: IKI RAS. 2016. 334 p. (In Russ.).
16. Lavrushin V.Yu., Polyak B.G. Sources of carbon-containing gases in mud volcanoes of the CIS. New ideas in geology and geochemistry of oil and gas. Moscow: GEOS, 1997. P. 67—70 (In Russ.).
17. Mastepanov A.M. From Covid “today” to low-carbon “tomorrow”: analysis of foreign forecasts for the development of global energy Georesources. 2021. No. 23(3). P. 42—52 (In Russ.). DOI: 10.18599/grs.2021.3.7
18. Mironov O.G. Oil-oxidizing microorganisms in the sea. Kyiv: Naukova Dumka, 1971. 234 p. (In Russ.).
19. Mityagina M.I., Lavrova O.Yu. Long-term integrated satellite monitoring of surface pollution in the Baltic and Caspian Seas. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2012. Vol. 9. № 5. P. 269—288 (In Russ.).
20. Patin S.A. Oil and the ecology of the continental shelf. Moscow: Publishing house VNIRO, 2001. 247 p. (In Russ.).
21. Patin S.A. Oil and ecology of the continental shelf: in 2 volumes. 2nd revised and supplemented ed. Vol. 1: Marine oil and gas complex: status, prospects, influencing factors. Moscow: VNIRO Publishing House, 2017. 326 p. (In Russ.).
22. Ruban L.S. Ensuring energy and environmental security of the Caspian region. Ecological Bulletin of Russia. 2013. No. 11. P. 20—23 (In Russ.).
23. Stashok O.V. Analysis of the environmental situation of a city with developed industrial infrastructure (using the city of Bratsk as an example). Ecology and Industry of Russia. 2009. No. 5. P. 53—55 (In Russ.).
24. Tsoгоеv V.B. Hydromineral resources of North Ossetia. Ir publishing house. Ordzhonikidze, 1969. 419 p. (In Russ.).
25. Ekzaryan V.N., Rukavitsyn V.V. Methodology for assessing the risk of environmental pollution as a result of accidents at hazardous industrial facilities.

- Exploration and protection of mineral resources. 2021. No. 1. P. 66—69 (In Russ.).
26. Adegboye A.C., Egharevba M.I., Edafe J. Economic regulation and employment intensity of output growth in sub-Saharan Africa. *Governance for Structural Transformation in Africa*. London: Palgrave Macmillan, 2019. P. 101—143.
 27. Bayramov A. Conflict, cooperation or competition in the Caspian Sea region: A critical review of the New Great Game paradigm. *Caucasus Survey*. 2021. Vol. 9:1. P. 1—20, DOI: 10.1080/23761199.2020.1774856
 28. Bloomer B.J., Vinnikov K.Y., Dickerson R.R. Changes in seasonal and diurnal cycles of ozone and temperature in the eastern U.S. *Atmospheric Environment*, 2010. P. 1—9.
 29. Butler J.H., Montzka S.A. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). Published online Spring 2018, URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html> (accessed: 09.07.2024).
 30. Ericson S.J., Engel-Cox J., Arent D.J. Approaches for integrating renewable energy technologies in oil and gas operations. National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States), 2019.
 31. Guliev I.S., Kerimov V.Yu., Etirmishli G.D., Yusubov N.P., Mustaev R.N., Huseynova A.B. Modern geodynamic processes and their impact on replenishment of hydrocarbon resources in the Black Sea — Caspian Region. *Geotectonics*. 2021. No. 55. P. 393—407.
 32. Held A. Hinz K-P, Trimborn A., Spendler B., Klemm O. Straightness measurement whirlwind vertical stream quotient particle atmosphere substantial. *Goophys. Res. Len*. 2003. No. 19. P. 4.
 33. Hutterer G.W. The status of world geothermal power generation 1995—2000. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Hyushu — Tohoku, Japan. May 28 — June 10. Vol. 1. P. 23—37.*
 34. Kerimov V.Yu., Leonov M.G., Osipov A.V., Mustaev R.N., Hai V.N. Hydrocarbons in the basement of the South China Sea (Vietnam) shelf and structural-tectonic model of their formation. *Geotectonics*, 2019. Vol. 53. No. 1. P. 42—59. DOI: 10.1134/S0016852119010035
 35. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Osipov A.V. Peculiarities of Hydrocarbon Generation at Great Depths in the Crust. *Doklady Earth Sciences*. 2018. Vol. 483, p. 1. P. 1413—1417.
 36. Lapidus A.L., Kerimov V.Y., Mustaev R.N., Salikhova I.M., Zhagfarov F.G. Natural Bitumens: physicochemical properties and production technologies. *Solid Fuel Chemistry*. 2018. Vol. 52, no. 6. P. 344—355.
 37. Lund J.W., Freeston D.H. World-wide direct uses of geothermal energy 2000. *Proceed. of the World Geothermal Congress 2000, Hyushu — Tohoku, Japan. May 28 — June 10. Vol. 1. P. 1—21.*
 38. Mustaev R.N., Kerimov Yu.V., Shilov G.Y., Dmitrievsky S.S. Modeling of thermobaric conditions formation of the shale hydrocarbon accumulations in low-permeability reservoirs Khadum formation Ciscaucasia. *Geomodel 2016 — 18th Science and Applied Research Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development*, 2016. DOI: 10.3997/2214-4609.201602185
 39. State of the Environment of the Caspian Sea. Report by the interim Secretariat of the Framework Convention for the Protection of the Marine Environment of the Caspian Sea and the Project Coordination Management Unit of the “CaspEco” project. Iran. 2011. 102 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Серикова У.С. — внесла вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Алиев Э.М. — участвовал в подготовке текста статьи, оформил и выполнил перевод статьи на английский язык и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гурянов С.А. — участвовал в подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Uliana S. Serikova — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Emil M. Aliyev — participated in the preparation of the text of the article, designed and translated the article into English and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Sanan A. Guryanov — participated in the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Серикова Ульяна Сергеевна — доктор технических наук, доцент кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия. e-mail: lubava45@gmail.com
тел.: +7 (965) 429-39-79
SPIN-код: 9363-4064
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Эмиль Малик оглы Алиев — диссертант, научный сотрудник Института нефти и газа Министерства науки и образования Азербайджанской Республики. 9, ул. Ф. Амирова, г. Баку AZ1000, Азербайджан e-mail: emil.aliyev07@gmail.com
тел.: (+994 12) 4922843

Гурянов Санан Агилович* — кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: guryanovsa@mgri.ru
тел.: +7 (903) 187-88-88
SPIN-код: 1663-2705
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

Uliana S. Serikova — Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Geology and Exploration of Hydrocarbon Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: lubava45@gmail.com
tel.: +7 (965) 429-39-79
SPIN-code: 9363-4064
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5981-5202>

Emil M. Aliyev — dissertator, researcher, Institute of Oil and Gas of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. 9, F. Amirov st., Baku AZ1000, Azerbaijan e-mail: emil.aliyev07@gmail.com
tel.: (+994 12) 4922843

Sanan A. Guryanov* — Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Lecturer at the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia. e-mail: guryanovsa@mgri.ru
tel.: +7 (903) 187-88-88
SPIN-code: 1663-2705
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1833-8320>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОЦЕНКА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОВИНЦИИ ШОНЛА, ВЬЕТНАМ, И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ПРИРОДНЫХ РИСКОВ

Ч.Н. НГУЕН^{1,2,*}, В.Н. ЭКЗАРЬЯН¹

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

² Вьетнамский институт стратегических исследований и промышленной и торговой политики
17, Йет Киеу ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

АННОТАЦИЯ

Введение. Шонла — горная провинция, расположенная в северо-западном регионе Вьетнама, имеет сложный и разнообразный рельеф со множеством форм холмов, долин и рек. Оценка состояния геоэкологических условий провинции Шонла способствует разработки государственными органами мероприятий, направленных на охрану и рациональное использование природной среды, что является основой для перехода на модель устойчивого развития и предотвращения рисков, вызванных геологическими процессами.

Цель. Исследования и оценка текущего состояния геоэкологических условий в провинции Шонла, Вьетнам, и предложение мероприятий для перехода на модель устойчивого развития территории.

Материалы и методы. Для получения информации о геоэкологических условиях территории провинции Шонла был проведен сбор, анализ и обобщение всех ранее выполненных геологических, географических, геодинамических, гидрогеологических и других исследований. Особое внимание уделялось сбору материалов по оценке состояния и степени активности экзогенных геологических процессов. Полевые исследования, которые выполнялись при участии одного из авторов, включали большой комплекс геологических, гидрогеологических, геофизических, гидрологических и других методов. Были получены данные, отражающие современное состояние геоэкологических условий территории и степень воздействия существующей функциональной инфраструктуры в целом на окружающую природную среду. При оценке геоэкологического состояния территории провинции Шонла использовались материалы дистанционного зондирования.

Результаты. Провинция Шонла представляет холмистую местность с крутыми склонами, расположенную вдоль системы быстротекущих рек, что создает сложные геоэкологические условия и свидетельствует о возможности наличия различных геологических процессов и явлений, создающих опасность при функциональном освоении территории. В тоже время Шонгла является территорией с благоприятными условиями для развития различных видов природного экотуризма, который в настоящее время активно развивается во Вьетнаме. К основным группам природных ресурсов, расположенных на территории провинции Шонла, относятся земельные, лесные и минеральные. Изучение геоэкологических условий провинции Шонла (рельеф и геоморфология, геологическое строение, гидрогеология, минеральные ресурсы), позволило определить экологические проблемы, возникающие при использовании территории, и предложить мероприятия для перехода на модель устойчивого развития региона.

Заключение. В процессе геологического развития территории сформировались характерные особенности рельефа провинции Шонла. Территория расположена в регионе со сложной геологической структурой и наличием крупных систем тектонических разломов, что увеличивает риск возникновения геологических процессов, таких как землетрясения, внезапные наводнения, оползни и другие. Оценка геоэкологических условий является научно-методологической основой для разработки и реализации мероприятий по предотвращению природных рисков. Для сохранения уникальных природных ресурсов необходимо разработать и реализовать региональную модель перехода к устойчивому развитию провинции Шонла. Полученные в процессе исследований результаты могут быть непосредственно использованы в строительных

проектах, транспортных и управленческих структурах, а также при планировании социально-экономического развития населенных пунктов, расположенных в провинции Шонла.

Ключевые слова: геоэкологические условия, геологическая среда, рельеф, поверхностные и подземные воды, минеральные ресурсы, провинция Шонла, Вьетнам

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Нгуен Ч.Н., Экзарьян В.Н. Оценка геоэкологических условий провинции Шонла, Вьетнам, и мероприятия по предотвращению природных рисков. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):80—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-80-88>

Статья поступила в редакцию 27.11.2024

Принята к публикации 02.12.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

ASSESSMENT OF GEOECOLOGICAL CONDITIONS IN SON LA PROVINCE (VIETNAM) AND NATURAL RISK PREVENTION

TRONG NGHIA NGUYEN^{1,2,*}, VLADIMIR N. EKZARYAN¹

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

² *Viet Nam Institute of Strategy and Policy for Industry and Trade
17 Yet Kieu str., Hanoi 100000, Vietnam*

ABSTRACT

Introduction. Shonla is a mountainous province located in the northwestern region of Vietnam, has a complex and diverse terrain with many shapes of hills, valleys and rivers. The assessment of the state of the geo-ecological conditions of the province of Shonla contributes to the development by government agencies of measures aimed at the protection and rational use of the natural environment, which is the basis for the transition to a model of sustainable development and prevention of risks caused by geological processes.

Aim. Studying and assessing the current state of the geoecological conditions in Son La province, Vietnam and the proposal of measures for the transition to models of sustainable development of the territory.

Materials and methods. To obtain information about the geoecological conditions of the territory of the province of Shonla, all previously performed geological, geographical, geodynamic, hydrogeological and other studies were collected, analyzed and summarized. Special attention was paid to the collection of materials for assessing the state and degree of activity of exogenous geological processes. The field research, which was carried out with the participation of one of the authors, included a large complex of geological, hydrogeological, geophysical, hydrological and other methods. Data reflecting the current state of the geoecological conditions of the territory and the degree of impact of the existing functional infrastructure on the environment as a whole were obtained. Remote sensing materials were used to assess the geoecological condition of the territory of Shonla province.

Results. The province of Shonla is a hilly area with steep slopes located along a system of fast-flowing rivers, which creates complex geoecological conditions and indicates the possibility of various geological processes and phenomena that pose a danger during the functional development of the territory. At the same time, Shongla is a territory with favorable conditions for the development of various types of natural ecotourism, which is currently actively developing in Vietnam. The main groups of natural resources located in the territory of Shonla province include land, forest and

mineral resources. The study of the geoecological conditions of the province of Shonla (relief and geomorphology, geological structure, hydrogeology, mineral resources) made it possible to identify environmental problems arising from the use of the territory and propose measures for the transition to a model of sustainable development of the region.

Conclusions. In the process of geological development of the territory, the characteristic features of the relief of the province of Shonla were formed. The territory is located in a region with a complex geological structure and the presence of large tectonic fault systems, which increases the risk of geological processes such as earthquakes, flash floods, landslides and others. The assessment of geoecological conditions is a scientific and methodological basis for the development and implementation of measures to prevent natural risks. In order to preserve the unique natural resources, it is necessary to develop and implement a regional model for the transition to sustainable development of the province of Shonla. The results obtained in the course of research can be directly used in construction projects, transport and management structures, as well as in planning the socio-economic development of settlements located in the province of Shonla.

Keywords: geoecological conditions, geological environment, geomorphology, hydrogeology, mineral resources, Son La province, Vietnam

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

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

For citation: Nguyen T.N., Ekzaryan V.N. Assessment of geoecological conditions in Son La province (Vietnam) and natural risk prevention. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):80—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-80-88>

Manuscript received 27 November 2024

Accepted 02 December 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Введение

Шонла — горная провинция, расположенная в северо-западном регионе Вьетнама, имеет сложный и разнообразный рельеф со множеством форм холмов, долин и рек. Площадь провинции составляет 14 109,83 км², что соответствует 4,26% площади Вьетнама [5]. История геологического развития территории наряду с результатами воздействия экзогенных геологических процессов сформировала характерные особенности рельефа провинции Шонла. Геологическая среда [1] играет важную роль в стабилизации социально-экономического развития провинции Шонла.

Методы

Для получения информации о геоэкологических условиях территории провинции Шонла был проведен сбор, анализ и обобщение всех ранее выполненных геологических, географических, геодинамических, гидрогеологических и других исследований геологической среды. Результаты

выполненного анализа использовались для составления программы дополнительных полевых работ, направленных на информационное обеспечение поставленных перед данным исследованием задач. Особое внимание уделялось сбору и обобщению материалов по оценке состояния и степени активности экзогенных геологических процессов.

Дополнительные полевые работы включали большой комплекс геологических, гидрогеологических, геофизических, гидрологических и других методов. Была выполнена оценка экологического состояния территории провинции Шонла с использованием материалов дистанционного зондирования. В процессе полевых исследований, которые выполнялись при участии одного из авторов, были получены данные, отражающие современное состояние геоэкологических условий территории и степень воздействия существующей функциональной инфраструктуры в целом на окружающую природную среду.

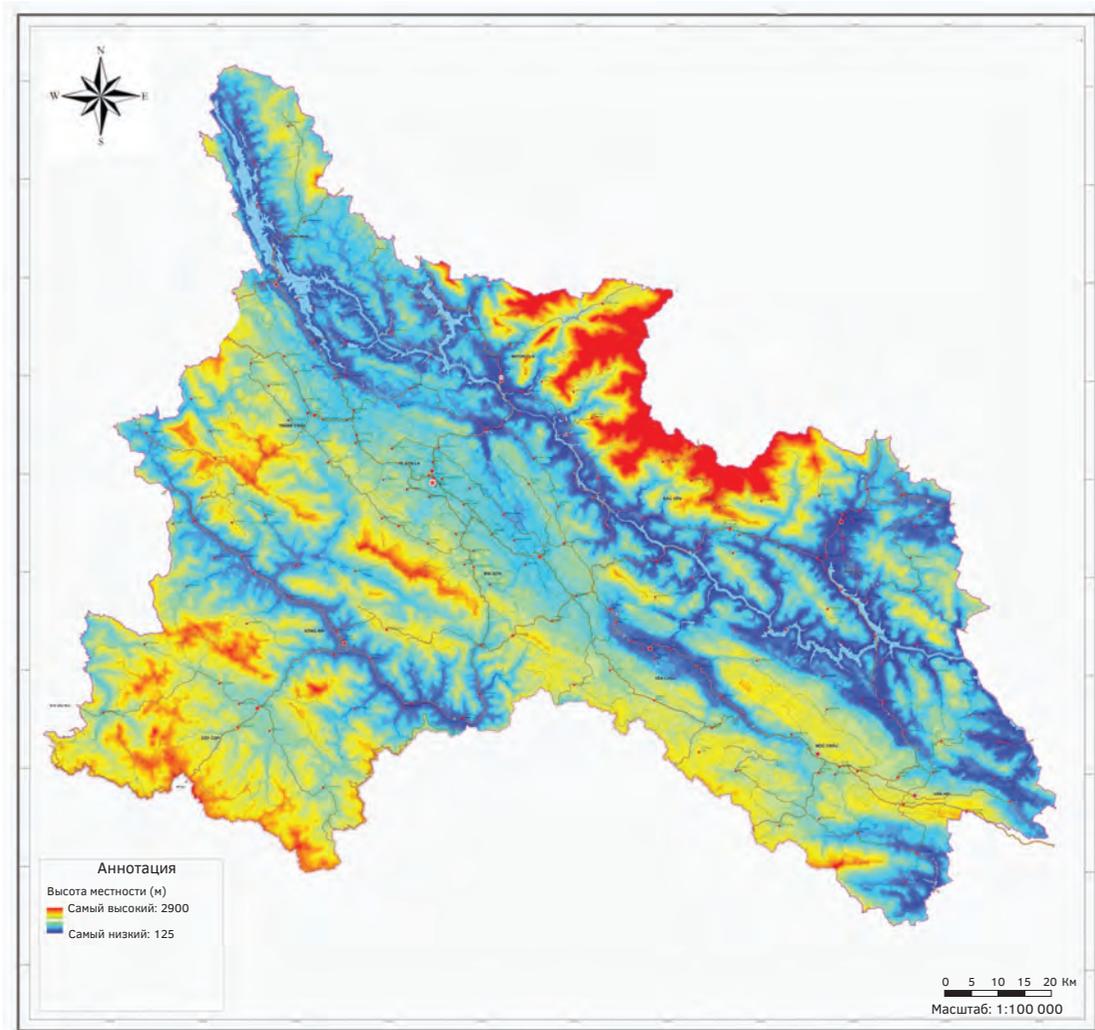


Рис. 1. Топографическая карта провинции Шонла, масштаб 1:100 000

Fig. 1. Topographic map of Son La province, scale 1: 100 000

Результаты и их обсуждение

Более 85% территории Шонла занимает холмистая местность. Около 15% территории — долины и среднегорные котловины. Холмы в Шонла в основном имеют высоту от 600 до 700 метров [5]. Горный ландшафт высотой более 2000 м занимает около 2% территории. Альпийский регион сосредоточен в основном в северо-восточной части провинции, включая районы Муонгла, Бакйен, Фуйен. Основные горные системы провинции простираются с северо-запада на юго-восток и вместе с горами Хоанг Лиен Шон на севере захватывают полосу известнякового плато, которая делит изучаемую территорию на два речных бассейна: реки Да и реки Ма.

Провинция Шонла расположена в пределах указанных речных бассейнов. Средний естественный

уклон территории составляет 10—20%, постепенно наклоняясь с северо-запада на юго-восток в направлении течения рек Да и Ма [5, 8]. Благодаря особенностям геолого-тектонического строения территория Шонла представляет пересеченную местность с множеством высоких горных вершин, чередующихся с глубокими каньонами, небольшими участками пахотных земель. В пределах провинции Шонла выделяют три основные горные системы. Самая высокая в хребте Пулуонг расположена на севере района Муонгла с вершинами 2849, 2952, 2985 м, создающими глубокое разделение рельефа.

Основные системы горных хребтов, составляющие местность провинции Шонла, включают левобережную горную систему реки Да, правобережную горную систему реки Ма и горную

систему, чередующуюся между реками Да и Ма. Большинство горных хребтов провинции постепенно опускаются в направлении с северо-запада на юго-восток.

Левобережная горная система реки Да является границей между Шонла и Йенбай берет начало от Намхана (Куиньнхай) высотой 1130 м, проходящей через районы Муонгла и Бакйен до Фуйена с вершинами в пределах 1000—2500 м, которые образуют левобережную часть бассейна реки Да.

Горная система на правом берегу реки Ма, являющаяся границей между Шонла (Вьетнам) и Лаосом, берет начало от пика Фудинь до пика Путенлуонг с вершиной до 2000 м, которые образуют правый берег бассейна реки Ма.

Горная система между бассейнами рек Да и Ма берет свое начало от пика Такон (Туанчау) высотой 1717 м через Майшон, Йенчау и Мокчау, включая вершины высотой от 1000 до 1500 м.

В пределах изученной территории выделяют два плато: Мокчау и Нашан-Шонла, следующие друг за другом с разными геоэкологическими условиями, создавая типичную для провинции Шонла местность.

Плато Мокчау на высоте 1000—1050 м, площадью около 20 000 га, находящееся по обеим сторонам национальной автомагистрали от Хоабинь до Йенчау, характеризуется субумеренным климатом со среднегодовой температурой около 18 °С [5, 6]. Земля здесь плодородна и пригодна для выращивания технических культур, таких как чай, кофе, фруктовые деревья, а также манго, лонган, слива и другие. На плато развито животноводство и горный туризм.

Плато Нашан-Шонла расположено на высоте 600—800 м на площади около 15 000 га, располагается оно вдоль национальной автомагистрали от Йенчау до перевала Пхадин на территории Туанчау, с благоприятными условиями для развития технических культур, таких как сахарный тростник, кофе, шелковица и другие фруктовые деревья.

В горных хребтах Шонла множество пещер: Бат (пещера Шон Мок Хуонг — Мокчау); Ханг; Тхам в коммуне Суанья, район Ванхо; Тхам Тат Тун, Тхамкунг (деревня Бо); Бантонг, Намлиеп; Бат 1, коммуна Чиенган, город Шонла; Туонгтьен (Хойхин, коммуна Чиенгган, город Шонла); пещерный комплекс Кхаупха — пещера Онгвим; Нухоанг, расположенная в районе Муонгла; комплекс из примерно 30 пещер в коммуне Чиенгшо (Шонгма); Хан 4 и Хан 3, район

коммуны Муонгдо, район Фуйен. Это обстоятельство способствует в перспективе развитию пещерного туризма в Шонла.

Таким образом, провинция Шонла представляет в основном холмистую местность с большими склонами, расположенную вдоль системы быстро текущих рек, что создает сложные геоэкологические условия и свидетельствует о возможности наличия различных геологических процессов и явлений, создающих опасность при функциональном освоении территории. Тем не менее Шонла является территорией с благоприятными условиями для развития различных видов природного экотуризма, который в настоящее время активно развивается во Вьетнаме. Это одно из важных преимуществ, которое следует продвигать, чтобы улучшить качество туристических услуг и тем самым привлечь больше туристов в Шонла.

Территория провинции Шонла расположена между двумя тектоническими комплексами, Хоанг Лиен Шон и Шонгма, с глубоководными отложениями известняка, метаморфическими породами и множеством суперосновных и кислых интрузий магмы. По результатам геологических исследований отмечено, что в пределах изучаемой территории присутствуют все три группы пород: магматические, метаморфические и осадочные. Основные стратиграфические характеристики геологических формаций в провинции Шонла довольно сложны: 44 стратиграфических подразделения и 15 вторгающихся магматических комплексов.

На территории провинции Шонла хорошо развиты и относительно равномерно распределены тектонические разломы [9]. Выделяются четыре основные системы тектонических разломов, а именно:

- система разломов с северо-запада на юго-восток. Она составляет более 75% от общего количества разломов и является доминирующей в пределах изучаемой территории. К этой системе относятся многие зональные разломы;
- система разломов с северо-востока на юго-запад. Она развита слабее, включает в себя разломы разного масштаба и значительно усложняет геологическое строение территории. Разломы вызывают значительные вертикальные и горизонтальные смещения;
- система меридионально-субмеридиональных разломов достаточно слабо развита и неравномерно распределена по территории. Наиболее мощные отмечены на северо-востоке провинции. Имеется множество глубинных разломов. Глубина субмеридианной системы разломов

доходит до гранитного или мантийного слоя и имеет множество интрузивных и изверженных магматических тел;

- система широтных и субширотных разломов: это в основном мелкие и средние разломы, которые в местах проявления усложняют геологическое строение отдельных участков территории провинции Шонла.

В целом территория провинции Шонла имеет сложное геолого-тектоническое строение, которое снижает степень устойчивости геологической среды и увеличивает опасность активизации эндогенных и экзогенных процессов.

Ресурсы подземных вод провинции относительно богаты, но распределены неравномерно как в пространстве, так и во времени, с низким уровнем воды и трудной эксплуатацией.

Грунтовые воды, содержащиеся в расщелинах горных пород, образуются за счет инфильтрации атмосферных осадков. Этот источник водных ресурсов часто встречается во многих районах, таких как Туанчау, Муонгла, Йенчау, Мокчау, и широко используется для различных хозяйственных целей.

Система подземных вод в Шонла определяется сложным геолого-литологическим строением территории. Выделяется более десятка водоносных горизонтов, залегающих на глубине от десяти до нескольких сотен метров и имеющих прерывистое распространение. Качество подземных вод в значительной степени зависит от интенсивности развития горнодобывающей и сельскохозяйственной деятельности.

Что касается поверхностных вод, то сеть рек и ручьев на территории провинции Шонла довольно густая, в среднем 1,6 км/км², распределена неравномерно [5], основной речной системой являются реки Да и Ма и их притоки. Большинство рек и ручьев имеют небольшой уклон, низкий уровень воды и очень высокий уровень эрозии. Наводнения в сезон дождей часто приводят к затоплению прибрежных территорий, а в пределах которых расположены трубопроводы и другие хозяйственные объекты.

К основным группам **природных ресурсов**, расположенных на территории провинции Шонла, относятся земельные, лесные и минеральные.

В пределах системы **земельных ресурсов** выделяются следующие пять групп:

1. Типичная группа земель фералитов во влажных тропиках площадью 879 834 га, что составляет 66,9% от общей площади земель, расположенных почти во всех районах провинции [3]. Эта

почва подвержена деградации, обладает плохими адгезионными свойствами, поэтому вероятность эрозии и оползней очень высока [2].

2. Альпийские почвы, занимающие площадь в 29 978 га (2,3% от площади земельных ресурсов) [3]. Эти земли расположены в районах Муонгла, Фуйен на высоте 1800 м и более.

3. Земли продуктового использования площадью 11 031 га (0,8% от площади земельных ресурсов) [3].

4. Илесто-торфяная группа земель занимает площадь в 223 га (0,02% от площади земельных ресурсов) [3] и расположена в пределах речных долин.

5. Карбонатная группа почв, занимающая площадь в 128 га, что составляет около 0,01% всех земельных ресурсов [3]. Почва богата кальцием, магнием и расположена у подножия известняковых гор. Из-за высокого рельефа местности, имеющего достаточно крутые склоны, почва подвергается эрозии.

По состоянию на 31 декабря 2023 года общая площадь **лесов** в провинции Шонла составляет 669 797 гектаров (47,5% лесистости) [4]. Из-за особенностей рельефа, климата и различных почв в Шонла существуют совершенно разные экосистемные зоны. Естественная растительность Шонла довольно обильна, однако она сильно изменяется под воздействием хозяйственной деятельности. В настоящее время лесная растительность — недавно восстановленные леса. Естественные леса занимают лишь небольшую площадь и расположены в альпийских районах, сложных для освоения, и в заповедниках.

Провинция Шонла обладает относительно богатыми **минеральными ресурсами** [7]. В частности, к основным группам минеральных ресурсов относятся следующие:

- 1) группа минерального топлива: уголь, торф и радиоактивные руды (уран-торий и редкоземельные элементы);

- 2) минеральная группа металлов: железная, магниевая, медная, свинцово-цинковая, сурьмяная, золотая, алюминиевая, редкоземельная и иные типы руд;

- 3) группа промышленных минералов: кварц, тальк, редкоземельные металлы, известняк, базальт, каолин и иные глины, полевой шпат, фосфорит, пирит, магнезит, асбест, доломит;

- 4) минеральные группы в качестве строительных материалов: камень, песок, строительный гравий, выравнивающий грунт;

- 5) группа минеральных и горячих вод.

Таким образом, минеральные ресурсы провинции Шонла обладают огромным потенциалом, особенно это касается ценных минералов, таких как редкоземельные металлы и известняк. Добыча полезных ископаемых может вызвать множество экологических проблем, таких как разрушение природных ландшафтов, загрязнение воды, воздуха и снижение плодородия почв. Добыча известняка может изменить рельеф местности и повлиять на биоразнообразие. Поэтому необходимы устойчивая эксплуатация и строгий экологический контроль.

Природная среда обладает высокой степенью чувствительности к техногенному воздействию. Увеличение численности населения, миграция, расселение и социально-экономическое развитие провинции Шонла оказывают огромное влияние на окружающую природную среду. Затрагиваются все природные компоненты: почва, вода, воздух, леса, горные породы, рельеф, биоразнообразие и т.д.

В результате интенсивного освоения территории провинции Шонла возникли многочисленные экологические проблемы, основными причина которых являются:

- увеличение численности и миграция населения, которые приводят к вырубке значительных площадей лесов, уничтожению лесного фонда, неразумному ведению сельского хозяйства и, как результат, увеличению степени природного риска;
- добыча полезных ископаемых в провинции влечет за собой изъятие большого количества земельных ресурсов, потерю пахотных земель, накопление тысяч тонн отходов, попадающих в окружающую среду, изменение внешнего вида (эстетической привлекательности) природной обстановки и деградацию генетических ресурсов животных и растений, а также увеличение количества вредных насекомых и микроорганизмов;
- развитие транспорта требует значительных инвестиций в инфраструктуру территории, потребления энергии, топлива, и, как следствие, происходит увеличение загрязнения окружающей среды, особенно парниковыми газами;
- в провинции Шонла реализуется множество гидроэнергетических проектов, в частности гидроэлектростанция Шонла является крупнейшей в Юго-Восточной Азии. Строительство гидроэлектростанций может привести к затоплению части пахотных земель и лесов, изменению естественного стока, что повлияет на природную среду и приведет к деградации экосистем;

- экономическая активность и развитие инфраструктуры провинции способствуют повышению качества жизни населения, но также непосредственно влияют на природную среду, особенно ее геологическую часть, которая является определяющим фактором возникновения различных опасных процессов и явлений;

- охрана водных ресурсов ограничена; в частности, количество воды, поступающей в поверхностные и подземные воды, как правило, неодинаково, и способность к накоплению воды резко ухудшается.

Первоочередные мероприятия для перехода к модели устойчивого развития региона

1. Минимизировать риск аварий от развития и активизации геологических процессов: применять меры по борьбе с эрозией почвы, такие как посадка живых изгородей, строительство эффективных дренажных систем и усиление контроля устойчивости в зонах повышенного риска развития склоновых процессов, в особенности оползней. Разработать базу данных о несчастных случаях для выявления и распределения рисков, чтобы внедрить соответствующую миграционную политику для жилых районов с высоким риском несчастных случаев и травм.

2. Рациональное использование ресурсов: для ограничения негативного воздействия на окружающую природную среду необходимо разработать разумный план добычи полезных ископаемых и гидроэнергетики. Обеспечить восстановление и защиту природной среды после добычи минеральных ресурсов и ликвидации объектов гидроэнергетики.

3. Применение передовых достижений науки и техники: использование современных технологий при эксплуатации компонентов природной среды для минимизации негативного воздействия на природную среду, повышения эффективности эксплуатации и экономии ресурсов.

4. Планирование устойчивого развития: детальное планирование строительства инфраструктуры и градостроительства с учетом геологических и природных условий с целью минимизации риска возникновения геологических катастроф. В то же время разрабатывать и проекты по развитию человеческих ресурсов, подготовке высококвалифицированных научных кадров в области управления, строительства, рационального использования природных ресурсов с целью создания предпосылок перехода провинции Шонла на модель устойчивого развития.

5. Усилить пропаганду и повысить осведомленность сообщества и местного населения о важности рационального природопользования и охраны окружающей среды.

Заключение

Из приведенных выше результатов исследования можно сделать следующие выводы.

1. История геологического развития наряду с результатами воздействия экзогенных геологических процессов сформировали характерные особенности рельефа провинции Шонла.

2. Провинция Шонла расположена в регионе со сложной геологической структурой и наличием крупных систем тектонических разломов,

что увеличивает риск возникновения геологических процессов, таких как землетрясения, внезапные наводнения, оползни и другие.

3. Изученная территория обладает уникальными природными ресурсами, для сохранения которых необходимо разработать и реализовать региональную модель перехода к устойчивому развитию провинции Шонла.

4. Государство и правительство на всех уровнях провинции Шонла, местное население должны координировать свои действия и в области охраны и рационального использования природно-ресурсного потенциала территории с целью предотвращения природных и геологических рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экзарьян В.Н. Геоэкология и охрана окружающей среды. Учебник. М.: «Шит-М», 2009. 202 с.
2. Bui Q.D., Ha H., Khuc D.T., Nguyen D.Q., Meding J., Nguyen L.P., Luu C. Landslide susceptibility prediction mapping with advanced ensemble models: Son La province, Vietnam. *Nat Hazards*. 2023. 116. P. 2283—2309.
3. Bureau of Statistics of Son La province. Yearbook of Statistics of Son La province in 2023. 2024. Son La. 500 p.
4. People's committee of Son La province. Decision on Announcing the current status of forests in Son La province in 2023. 2024. Son La. 2 p.
5. People's committee of Son La province. General report of Son La province planning period 2021—2030, vision to 2045. 2023. Son La. 1316 p.
6. Toan N.Q., Van N.T. and others. Report on the explanatory map of the weathering crust of Northern Vietnam at a scale of 1/500.000. 1995. Hanoi. 238 p.
7. Trung N.D., Tam N.D., Tuy P.K., Gian L.T., Nam N.X. Vietnam quaternary map proofing report 1/500.000. 2011. Hanoi. 148 p.
8. Tuan P.A. Research on the relationship between geology and topographical architecture and soil characteristics in Son La province. *Journal of Science*. Tay Bac University. Son La. 2019. P. 100—107.
9. Vu Van Chinh and Nguyen Ngoc Thuy. Features of neo-tectonic structure and modern Geodynamics in Son La-Muong La region. *Journal of Geology*. Hanoi. 2006 A (295), P. 39—50.

REFERENCES

1. Ekzaryan V.N. Geocology and the environment conservation. Moscow: Shchit-M Publ., 2009. 202 p. (In Russian).
2. Bui Q.D., Ha H., Khuc D.T., Nguyen D.Q., Meding J., Nguyen L.P., Luu C. Landslide susceptibility prediction mapping with advanced ensemble models: Son La province, Vietnam. *Nat Hazards*. 2023. 116. P. 2283—2309.
3. Bureau of Statistics of Son La province. Yearbook of Statistics of Son La province in 2023. 2024. Son La. 500 p.
4. People's committee of Son La province. Decision on Announcing the current status of forests in Son La province in 2023. 2024. Son La. 2 p.
5. People's committee of Son La province. General report of Son La province planning period 2021—2030, vision to 2045. 2023. Son La. 1316 p.
6. Toan N.Q., Van N.T. and others. Report on the explanatory map of the weathering crust of Northern Vietnam at a scale of 1/500.000. 1995. Hanoi. 238 p.
7. Trung N.D., Tam N.D., Tuy P.K., Gian L.T., Nam N.X. Vietnam quaternary map proofing report 1/500.000. 2011. Hanoi. 148 p.
8. Tuan P.A. Research on the relationship between geology and topographical architecture and soil characteristics in Son La province. *Journal of Science*. Tay Bac University. Son La. 2019. P. 100—107.
9. Vu Van Chinh and Nguyen Ngoc Thuy. Features of neo-tectonic structure and modern Geodynamics in Son La-Muong La region. *Journal of Geology*. Hanoi. 2006 A (295), P. 39—50.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Нгуен Чонг Нгиа — внес вклад и подготовил содержание текста статьи, провел сбор, обработку и анализ экологической геологической информации, выполнил перевод на английский язык, подготовку содержания статьи, утверждение версии статьи для публикации и согласен принять ответственность за все аспекты работы.

Экзарьян В.Н. — 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.

Nguyen Trong Nghia — contributed to preparation of the text of the article, the collection, processing and analysis environmental geological information, translated into English, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Vladimir N. Ekzaryan — 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 take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Нгуен Чонг Нгиа* — аспирант кафедры экологии и природопользования Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

e-mail: Nghiant.vioit@mail.ru

тел.: +7 (925) 034-28-60

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8565-1632>

Trong Nghia Nguyen* — postgraduate student of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: Nghiant.vioit@mail.ru

tel.: +7 (925) 034-28-60

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8565-1632>

Экзарьян Владимир Нишанович — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заслуженный эколог России, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: ekzaryanvn@mgri.ru

тел.: +7 (967) 241-53-48

SPIN-код: 7968-3231

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

Vladimir N. Ekzaryan — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Professor, Honored Ecologist of Russia, Head of the Department of Ecology and Nature Management of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: ekzaryanvn@mgri.ru

tel.: +7 (967) 241-53-48

SPIN-code: 7968-3231

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3961-8003>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ГЕОМОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ЗИМБАБВЕ И ВОПРОСЫ ЭКЗОГЕННОЙ МЕТАЛЛОГЕНИИ

П.А. ИГНАТОВ^{1,*}, Е.В. ПОЛЯКОВА², А.Л. МИНЕЕВ², С.А. МАЛЮТИН¹

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

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова
Уральского отделения Российской академии наук
20, проспект Никольский, г. Архангельск 163020, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Основу минерально-сырьевой базы Республики Зимбабве составляют многочисленные эндогенные месторождения хрома, никеля, меди, платины, золота, алмазов и других полезных ископаемых. Экзогенные месторождения имеют меньшее значение. Большинство экзогенных месторождений никеля в коре выветривания и золоторудных россыпей уже отработано. Однако перспективы выявления новых объектов далеко не исчерпаны. Актуален вопрос прогнозирования и поисков скрытых экзогенных месторождений.

Цель. Проведение геоморфометрического анализа цифровой модели рельефа Зимбабве с целью прогнозирования и поисков скрытых экзогенных месторождений полезных ископаемых.

Материалы и методы исследования. Для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) территории Республики Зимбабве были использованы 120 сцен глобальной ЦМР SRTM Void Filled (версия SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с заполненными областями отсутствующих данных) с пространственным разрешением 3 угловые секунды (~90 метров в пикселе). Данные были получены посредством сервиса EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>) от USGS (Служба геологической съемки США). Все операции осуществлялись в свободно распространяемом программном обеспечении SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org>).

Результаты. В основе оценки перспектив выявления экзогенных месторождений, сформировавшихся в неоген-четвертичное время, может лежать расчет геоморфометрических параметров рельефа. Авторами проведен такой анализ цифровой модели рельефа Зимбабве. Установлено, что в рельефе отчетливо выражены региональные элементы геологического строения: выходы архейского фундамента, Великая дайка, протерозойские образования складчатого обрамления фундамента, породы мезозойского и кайнозойского чехла. В крупных сегментах рельефа отражены металлогенические таксоны, включая Зимбабвийский архейский эндогенный рудный пояс. Главный водораздел делит территорию на две геоморфологически разные части: северо-западную и юго-восточную.

Заключение. Показано, что в крупных сегментах рельефа отражены и металлогенические таксоны, включая Зимбабвийский архейский рудный пояс. Предполагается, что северо-западнее главного водораздела должны быть широко распространены погребенные россыпи золота и платины, а также переотложенные месторождения кобальта, никеля и скандия в латеритной коре выветривания.

Ключевые слова: Зимбабве, региональная геология, кора выветривания, россыпи, цифровая модель рельефа

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: грант Минобрнауки РФ «Создание цифровой прогнозно-минералогической основы Республики Зимбабве с использованием данных дистанционного зондирования и последующего выявления тектонических и флюидоразрывных признаков структур, контролирующих распределение месторождений минерального сырья»;

государственное задание Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук (проект № 122011300380-5).

Для цитирования: Игнатов П.А., Полякова Е.В., Минеев А.Л., Малютин С.А. Геоморфометрический анализ цифровой модели рельефа Зимбабве и вопросы экзогенной металлогении. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):89—100. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-89-100>

Статья поступила в редакцию 17.06.2024

Принята к публикации 13.12.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

GEOMORPHOMETRIC ANALYSIS OF ZIMBABWE' DIGITAL ELEVATION MODEL AND ISSUES OF EXOGENIC METALLOGENY

PETR A. IGNATOV^{1,*}, ELENA V. POLYAKOVA², ALEXANDER L. MINEEV², SERGEY A. MALYUTIN¹

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

² *Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov,
Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
20 Nikolsky ave., Arkhangelsk 163020, Russia*

ABSTRACT

Background. The raw material base of the Republic of Zimbabwe covers numerous endogenic deposits of chromium, nickel, copper, platinum, gold, diamonds, and other minerals. Exogenic deposits are of less occurrence. Most exogenic nickel deposits in the weathering crust and gold ore placers have reached their point of exhaustion. However, there remain prospects for discovering new objects, which determines the relevance of forecasting and prospecting of hidden exogenic deposits in Zimbabwe.

Aim. A geomorphometric analysis of a digital elevation model (DEM) of Zimbabwe with a view to forecasting and prospecting exogenic mineral deposits.

Materials and methods. A digital elevation model (DEM) of the Republic of Zimbabwe was constructed using 120 scenes of the SRTM Void Filled global DEM (SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) version with filled areas of missing data) with a spatial resolution of 3 arcseconds (~90 meters per pixel). The data was obtained through the EarthExplorer service (<https://earthexplorer.usgs.gov>) from the USGS (US Geological Survey). All operations were performed in the open-access SAGA GIS software (<http://www.saga-gis.org>).

Results. Prospects for discovering exogenic deposits formed in the Neogene-Quaternary period can be assessed by calculating the geomorphometric parameters of the terrain. The conducted analysis of the DEM of Zimbabwe established that its terrain contains the following regional elements of the geological structure: outcrops of the Archean basement, the Great Dyke, Proterozoic formations of the folded framework of the basement, rocks of the Mesozoic and Cenozoic cover. Large terrain segments contain metallogenic taxa, including the Zimbabwean Archean endogenic ore belt. The main watershed divides the area into two geomorphologically different — north-western and south-eastern — parts.

Conclusion. Large terrain segments of the area under study are shown to contain metallogenic taxa, including the Zimbabwean Archean ore belt. An assumption is made that buried placers of gold and platinum, as well as redeposited deposits of cobalt, nickel, and scandium in the lateritic weathering crust should be widespread northwest of the main watershed.

Keywords: Zimbabwe, regional geology, weathering crust, placers, digital elevation model

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

Financial disclosures: grant from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation “Creation of a digital predictive mineragenic framework for the Republic of Zimbabwe using remote sensing data and subsequent identification of tectonic and fluid-fracturing features of structures controlling the distribution of mineral deposits”; state Assignment from the N.P. Laverov Federal Research Center for Integrated Arctic Studies of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (project No. 122011300380-5).

For citation: Ignatov P.A., Polyakova E.V., Mineev A.L., Malyutin S.A. Geomorphometric analysis of Zimbabwe’ digital elevation model and issues of exogenic metallogeny. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):89—100. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-89-100>

Manuscript received 17 June 2024

Accepted 13 December 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

В Республике Зимбабве выявлены и отрабатываются многочисленные эндогенные месторождения золота, платиноидов, хромитов, меди, никеля, бериллия, лития, вольфрама, олова и других металлов, которые составляют основу ее минерально-сырьевой базы. Кроме них имеется множество экзогенных месторождений, представленных, главным образом, россыпями золота и платины, а также латеритной корой выветривания с промышленными концентрациями никеля и кобальта. Большинство месторождений выходит на поверхность и к настоящему времени частично или полностью отработаны.

Следует отметить, что экзогенная металлогения Зимбабве практически не изучена, какие-либо публикации на эту тему отсутствуют. Вместе с тем перспективы выявления новых экзогенных месторождений далеко не исчерпаны. Актуальность выделения новых площадей для поиска экзогенных месторождений, особенно тех, которые не выходят на поверхность, очевидна.

Основой выделения и оценки таких перспективных площадей может являться цифровое моделирование рельефа (ЦМР) и его детальный геоморфометрический анализ. Цифровое моделирование и геоморфометрический анализ рельефа широко применяются в различных сферах человеческой деятельности, в том числе и науках о Земле. Несомненными достоинствами цифрового моделирования являются доступность исходного материала, объективность количественных методов расчета и единовременный охват больших территорий [5].

Интерес представляет отражение в цифровой модели рельефа главных элементов геологического строения территории и соответствующих им металлогенических таксонов. Кроме того, геоморфометрический анализ рельефа может помочь в выделении перспективных площадей для обнаружения погребенных на неоген-четвертичном этапе месторождений, в том числе россыпей и переотложенной рудоносной коры выветривания.

Статья подготовлена в рамках исследований, выполняемых по гранту Минобрнауки РФ «Создание цифровой прогнозно-минерагенической основы Республики Зимбабве с использованием данных дистанционного зондирования и последующего выявления тектонических и флюидоразрывных признаков структур, контролирующих распределение месторождений минерального сырья». Разработка ЦМР территории Зимбабве проведена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук (проект № 122011300380-5).

Материалы и методы

Для построения цифровой модели рельефа территории республики Зимбабве были использованы 120 сцен глобальной ЦМР SRTM Void Filled (версия SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) с заполненными областями отсутствующих данных) с пространственным разрешением 3 угловые секунды (~90 метров в пикселе). Данные были получены

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

посредством сервиса EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>) от USGS (Служба геологической съемки США). Все операции осуществлялись в свободно распространяемом программном обеспечении SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org>).

Цифровые модели рельефа, получаемые с помощью радарного дистанционного зондирования, в своем исходном виде зачастую содержат зернистый (высокочастотный) шум, или спекл-шум, который снижает качество изображения [9]. Поэтому после объединения сцен в мозаику с помощью модуля Grid/Grid System/Mosaicking производилось устранение спекл-шума с применением модуля Grid/Filter/Mesh Denoise [10, 11]. Таким образом, была построена и подготовлена к дальнейшему геоморфометрическому анализу однородная ЦМР территории Зимбабве.

ЦМР с исходным разрешением порядка 90 м относится к категории данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения. Такое разрешение позволяет выделять локальные морфоструктуры на относительно небольших участках местности. Однако, учитывая площадь территории Зимбабве (около 400 тыс. км²), затрудняется анализ более крупных структур протяженностью в несколько десятков и сотен километров. Одним из распространенных приемов решения данной проблемы является апскейлинг (upscaling) — масштабирование растровых данных до более грубого пространственного разрешения. При этом дан-

ные из нескольких ячеек раstra с высоким пространственным разрешением объединяются в ячейки раstra с более низким разрешением [6]. Основным требованием к выбору оптимального разрешения модели является соблюдение геометрической точности с сохранением подобия качественного и количественного состава геобъектов на единицу площади [4]. В данном исследовании ЦМР приведена к пространственному разрешению 1000 м с помощью модуля Grid/Grid System/Resampling. Визуально отличительные особенности моделей с исходным разрешением и полученным с применением процедуры апскейлинга продемонстрированы на рисунке 1. Такая генерализация позволила снять локальные аномалии и при последующем анализе выделить региональные структуры.

Результаты

Зимбабве расположена на юге Африки между реками Замбези и Лимпопо. Административно граничит на северо-западе с Замбией, на востоке — с Мозамбиком, на юге с Южно-Африканской Республикой (ЮАР), на юго-западе — с Ботсваной. Столица Зимбабве — город Хараре.

Более половины территории Зимбабве располагается на высотах от 1000 до 1500 м (рис. 2). С северо-востока на юго-запад республику пересекают докембрийские цокольные слабоволнистые плато Машона и Матабеле, совместно формирующие золоторудный пояс, который ступенчато

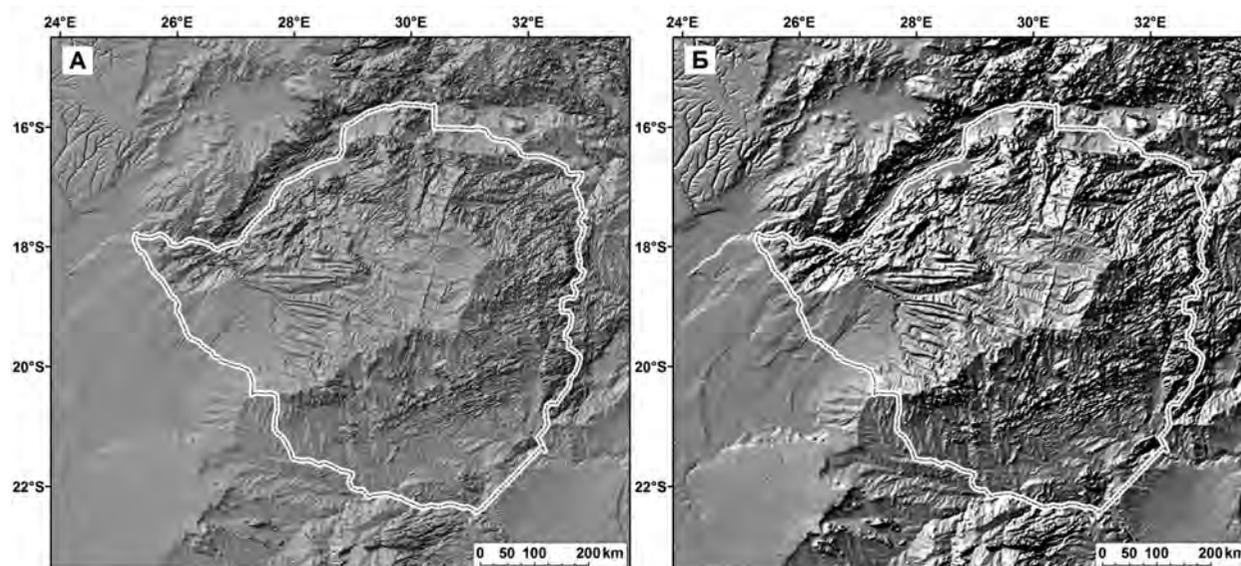


Рис. 1. Теневая отмывка рельефа: А — на ЦМР с исходным разрешением (90 м), Б — на ЦМР с разрешением 1000 м
Fig. 1. Shaded relief: A — on the DEM with the initial resolution (90 m), Б — on the DEM with a resolution of 1000 m

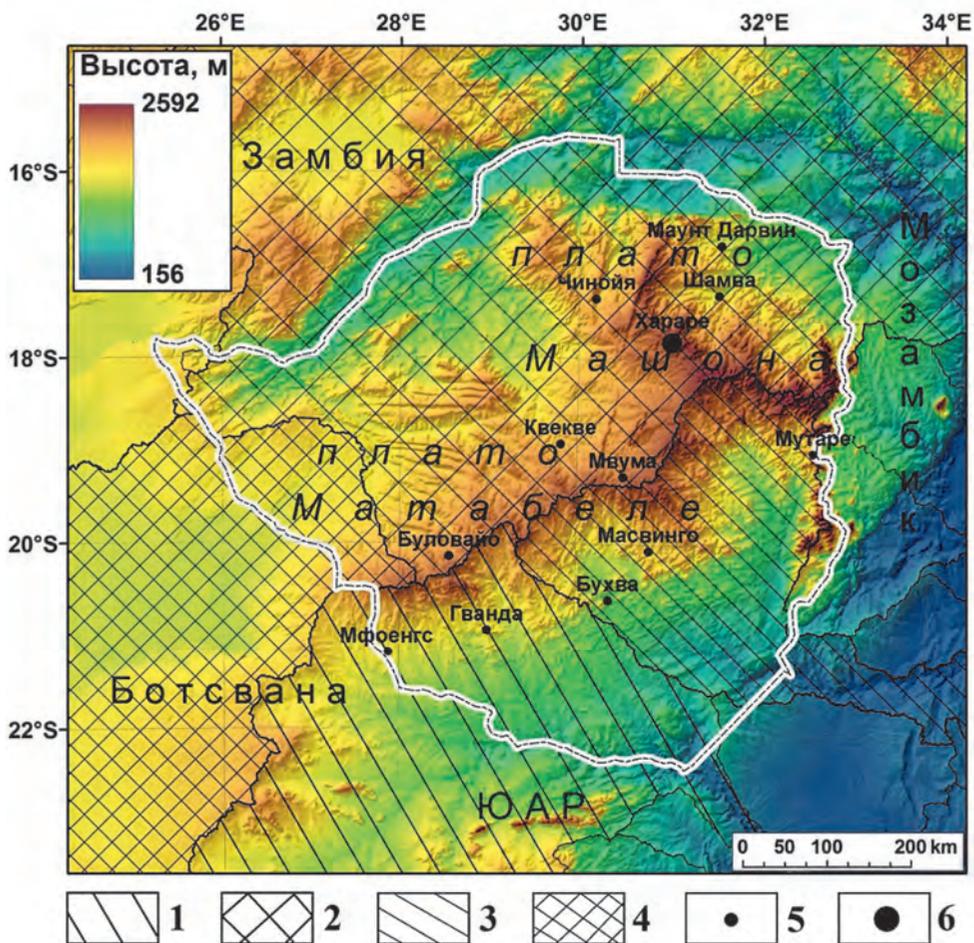


Рис. 2. Зимбабве на цифровой модели рельефа: 1—4 — водосборные бассейны рек: 1 — Лимпопо, 2 — Замбези, 3 — Саве, 4 — Ната; 5 — основные города, 6 — Хараре (столица)

Fig. 2. Zimbabwe on a digital terrain model: 1—4 — catchment basins of rivers: 1 — Limpopo, 2 — Zambezi, 3 — Sava, 4 — Nata; 5 — main cities, 6 — Harare (capital)

понижается к песчаным равнинам реки Замбези на севере и междуречьям Лимпопо и Саве на юге. Самая высокая точка Зимбабве — гора Иньянгани (2592 м) находится на востоке республики в горах Иньянга. Широкая холмистая возвышенность, ориентированная с юго-запада на северо-восток, образует крупный водораздел между водосборными бассейнами реки Замбези на севере и реками Лимпопо и Саве на юге. На западе формируется водосборный бассейн реки Ната, которая течет в направлении пустыни Калахари в Ботсване.

Главным элементом геологического строения территории Зимбабве, расположенной в южной части докембрийской Африканской платформы, является архейский кратон Зимбабве, занимающий большую восточную часть страны площадью 0,25 млн км². Он представляет собой крупный блок архейской континентальной коры,

окруженный со всех сторон протерозойскими мобильными поясами. На юге это пояс Лимпопо, на востоке — Мозамбикский, на севере — пояс Замбези, а на западе — пояс Магонди.

Внутри кратона выделяют ядро, сложенное мезоархейскими гранито-гнейсами и зеленокаменными образованиями (блок Родесдейл-Токве) и остальную часть, представленную неоархейскими зеленокаменными поясами с интрузивными массивами гранитоидов. Все региональные структуры хорошо выражены в ЦМР (рис. 3).

В пределах протерозойских мобильных поясов в западной, северной и южной частях территории Зимбабве выделяются внутренне впадины, выполненные мезозойскими осадочными и вулканогенными отложениями супергруппы Кару, прорванными позднеюрскими гранитоидами. Эти впадины являются частями

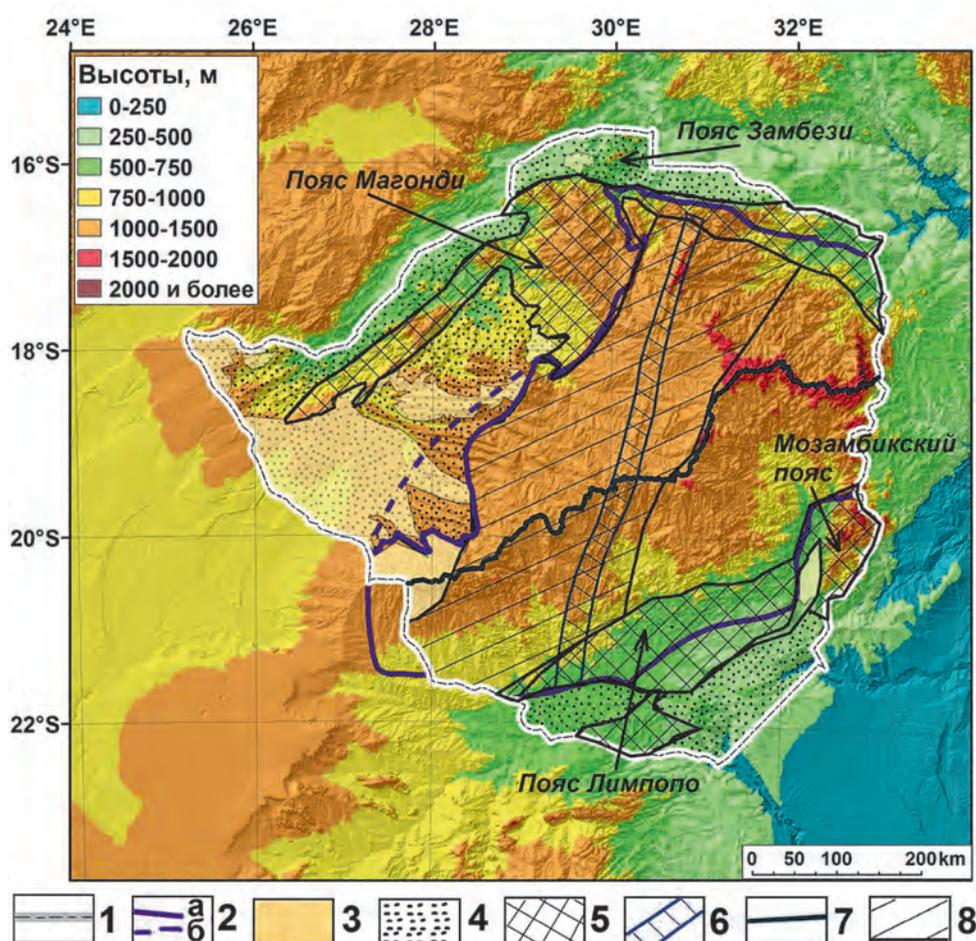


Рис. 3. Интервалы высот (м) и геологическая схема территории Зимбабве: 1 — административная граница республики; 2 — граница архейского кратона Зимбабве: а — основная, б — перекрытая; 3 — четвертичные отложения; 4 — мезозойские отложения группы Кару; 5 — протерозойские мобильные пояса; 6 — Великая дайка; 7 — главный водораздел; 8 — территория зимбабвийского рудного пояса, сложенная гранито-гнейсами мезоархея и неоархейскими гранит-зеленокаменными образованиями

Fig. 3. Elevation ranges (m) and geological map of Zimbabwe territory: 1 — the administrative border of the republic; 2 — the border of the Archean craton of Zimbabwe: a — main, b — overlain; 3 — Quaternary deposits; 4 — Mesozoic deposits of the Karoo group; 5 — Proterozoic mobile belts; 6 — Great Dyke; 7 — main watershed; 8 — the territory of the Zimbabwean ore belt, composed of granite-gneiss Mesoarchean and Neoproterozoic granite-greenstone formations

обширного бассейна рифтогенного происхождения, образовавшегося во время формирования и распада Пангеи. В западной части Зимбабве комплекс Кару перекрыт кайнозойскими континентальными отложениями группы Калахари. В центральной части кратон с севера на юг пересекает расслоенный магматический массив неоархейского возраста Великая дайка протяженностью более 500 км и максимальной шириной до 12 км.

В пределах республики Зимбабве выделен рудный пояс (Cu, Ni, Pt, Au, Sb, Fe, Cr, W, Sn, Li, Be), протягивающийся с северо-востока на юго-запад через весь кратон (рис. 3). Этот пояс

соответствует распространению наиболее продуктивных неоархейских зеленокаменных поясов. Внутри центральной части пояса выделено 5 металлогенических областей овальной формы: Маунт Дарвин, Хараре-Шамва, Мидлендс, Булавайо и Гванда. Кроме того, выделяются семь металлогенических зон линейной ориентации, соответствующих отдельным зеленокаменным поясам [2].

Главный водораздел Зимбабве, протягивающийся в северо-восточном направлении через всю территорию страны, делит рудный пояс на две части: большую северо-западную и меньшую юго-восточную. В первой располагаются основные металлогенические области

с многочисленными месторождениями, а во второй — лишь металлогеническая область Гванда и ряд металлогенических зон.

Рельеф большей части территории страны обусловлен влиянием двух основных циклов эрозии: африканского и постафриканского, произошедших после распада Гондваны. Цикл африканской эрозии начался с разрушения Гондваны, а последующий (постафриканский) был инициирован позднепалеогеновым поднятием вдоль линии современного центрального водораздела. Центральный водораздел Зимбабве представляет собой асимметричную эпэйрогенную флексуру позднего палеогена [7]. Дренажная система к северу от водораздела (водосборный бассейн реки Замбези) и связанный с ней морфологический облик этой территории существенно отличаются от таковых к югу (водосборные бассейны Лимпопо и Саве). Это отражается и в основных геоморфометрических параметрах рельефа (рис. 4).

Территория, расположенная к северо-западу от главного водораздела, характеризуется развитой дренажной сетью с извилистыми реками, текущими в широких неглубоких и длинных выработанных долинах. Это плоская слабохолмистая равнина с общим уклоном, не превышающим 10° . Превалируют северные экспозиции склонов и направлений потоков. Высоты варьируют в интервале от 1000 до 1500 м.

С продвижением на север-северо-восток высоты главного водораздела увеличиваются от 1700 м (хребет Умвукве, центральный Машоналенд на севере) до 2500 м (горы Иньянга на востоке). По краю

плато формируется откос Замбези с уклоном порядка 30 градусов. Долина реки Замбези представляет собой равнину с низким рельефом и высотами, не превышающими 500 м.

Территория, расположенная к юго-востоку от главного водораздела, характеризуется более молодой дренажной системой. Реки в большинстве своем имеют крутые уклоны (до $30\text{--}40^\circ$), более глубоко врезанные и прямолинейные долины. Преобладающие направления потоков и ориентации склонов — южные и юго-западные.

Современный ландшафт юго-восточной территории — это плосковершинная равнина с многочисленными одновершинными останцами. Подобные останцовые элементы называются инзельбергами и интерпретируются как денудационные остатки некогда более обширных возвышенностей, образовавшиеся в результате глубокого выветривания и устойчивых тектонических условий с последующим тектоническим поднятием [8]. В геологическом отношении территория развития подобных морфоэлементов охватывает часть сочленения гранит-зеленокаменного рельефа кратона Зимбабве и метаморфических пород северной окраины Подвижного пояса Лимпопо. Для этой зоны характерна значительная расчлененность рельефа, она вытянута параллельно главному водоразделу, высоты порядка 750—1000 м. Плато Матабеле постепенно понижается к югу и юго-востоку до 500—250 м. Здесь нет крутых уступов и уклонов. И только к востоку от района Масвинго и р. Саби (приток р. Саве)

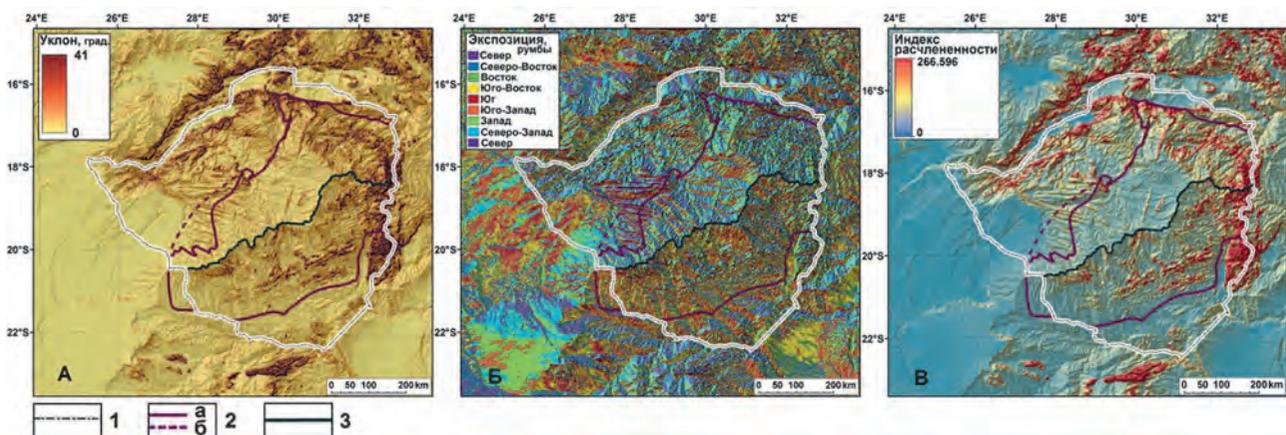


Рис. 4. Геоморфометрические параметры рельефа: А — уклон поверхности, Б — экспозиция склонов, В — индекс расчлененности рельефа; 1 — административная граница республики; 2 — граница архейского кратона Зимбабве: а — основная, б — перекрытая; 3 — главный водораздел

Fig. 4. Geomorphometric relief parameters: А — surface slope, Б — aspect, В — terrain ruggedness index; 1 — administrative border of the republic; 2 — boundary of the Archean craton of Zimbabwe: а — main, б — overlapped; 3 — main watershed

формируется горный отрог с высотами до 2000 м и выше. Это зона сочленения кратона и протерозойского Мозамбикского пояса. Ориентация склонов отрога становится западной и северо-западной, а углы наклона поверхностей достигают 35—40°.

Великая дайка под острым углом (порядка 30°) пересекает главный водораздел. Одновременно по обе стороны главного тела дайки развивались трещины-сателлиты, по которым внедрялись маломощные дайки сходного возраста и состава [1]. С внедрением данного протяженного ультрамафитового массива завершается архейская история развития кратона Зимбабве и начинается протерозойская.

Великая дайка отчетливо отражается в современном рельефе. Главный водораздельный хребет делит ее на две части — северную и южную. В северной части плато Машона дайка выражена наиболее ярко. Здесь она формирует хребет Умвукве с высотами до 2000 м, имеет крутые уклоны, склоны ориентированы на юго-запад и северо-восток соответственно. Далее, с продвижением в центральную часть и на юг дайка несколько теряет свою высоту, сохраняя ее на всем остальном протяжении в интервалах от 1000 до 1500 м. В центральной части дайка перпендикулярно сечет длинные пологие долины рек водосборного бассейна Замбези, выдаваясь в виде стены в равнинном рельефе территории. К югу от главного водораздела дайка становится более раздробленной, расчлененной и постепенно теряется в останцовом рельефе в зоне сочленения кратона Зимбабве и подвижного пояса Лимпопо. Северо-западную и юго-восточную экспозицию склонов своих стен Великая дайка сохраняет на всем протяжении.

Таким образом, современный рельеф территории Зимбабве представляет собой плоскогорную равнину с денудационными низко- и средневысотными горами и ступенчатостью, обусловленной циклическим развитием денудационных поверхностей [3, 10]. Главные возвышенности, понижения поверхности и крупные линейные формы соответствуют региональным геологическим элементам: архейскому кратону Зимбабве с гранит-зеленокаменными поясами; неоархейской Великой дайке; обрамляющим кратон складчатым поясам; синеклизам, выполненным вулканогенно-осадочными породами Карру, меловыми угленосными отложениями и кайнозойскими песками Калахари. Этим региональным элементам соответствуют крупные металлогенические таксоны:

металлогенические и рудные пояса, металлогенические области и зоны с эндогенными месторождениями.

В этой связи интерес представляет оценка экзогенной металлогении неоген-четвертичного этапа развития региона. Длительное устойчивое поднятие центральной части кратона Зимбабве, в том числе и в кайнозое, предопределяет значительный эрозионный срез архейских образований, включающих многочисленные эндогенные месторождения важных россыпеобразующих компонентов — золота и платиноидов. Соответственно, во время формирования главного водораздела в континентальные бассейны промежуточной аккумуляции поступало много разрушенного материала первичных рудных тел и формировались многочисленные россыпи благородных металлов.

Исходя из отмеченных существенно отличающихся форм аллювиальных равнин севернее и южнее главного водораздела следует рассматривать и разные типы россыпей. На севере должно быть много погребенных россыпей ближнего и дальнего сноса. На юге должны преобладать современные россыпи. Необходимо иметь в виду, что коренные источники россыпей золота, включающие крупные месторождения Кэм энд Мотор, Глоб энд Феникс, ряд средних по запасам и сотни мелких месторождений в своем большинстве сосредоточены в двух металлогенических областях Мидлендс и Булавайо. Они входят в северо-западные равнины; соответственно, потенциал погребенных россыпей золота в них гораздо больший по сравнению с юго-восточными равнинами (рис. 5).

Примером вероятного наличия погребенных россыпей может служить район долины реки Мупфуре, примыкающий с востока к Великой дайке и расположенный в 10 км на северо-запад от г. Мубйяра. Восточнее по этой субширотной долине в 40 км расположено рудное поле, включающее три месторождения золота: Беатрис, Лдойс и Рома с запасами от 1 до 10 т. Очевидно, что вертикально залегающая мощная дайка служила громадной плотиной, вблизи которой должны были накапливаться золотые россыпи, перекрытые впоследствии четвертичными отложениями.

Необходимо отметить, что источниками россыпей золота и платиноидов могли служить и магматические месторождения Великой дайки (Хартли, Зинка и Нгези), которые также расположены на северо-западных склонах главного водораздела. Здесь можно ожидать большие ресурсы комплексных золото-платиновых россыпей.

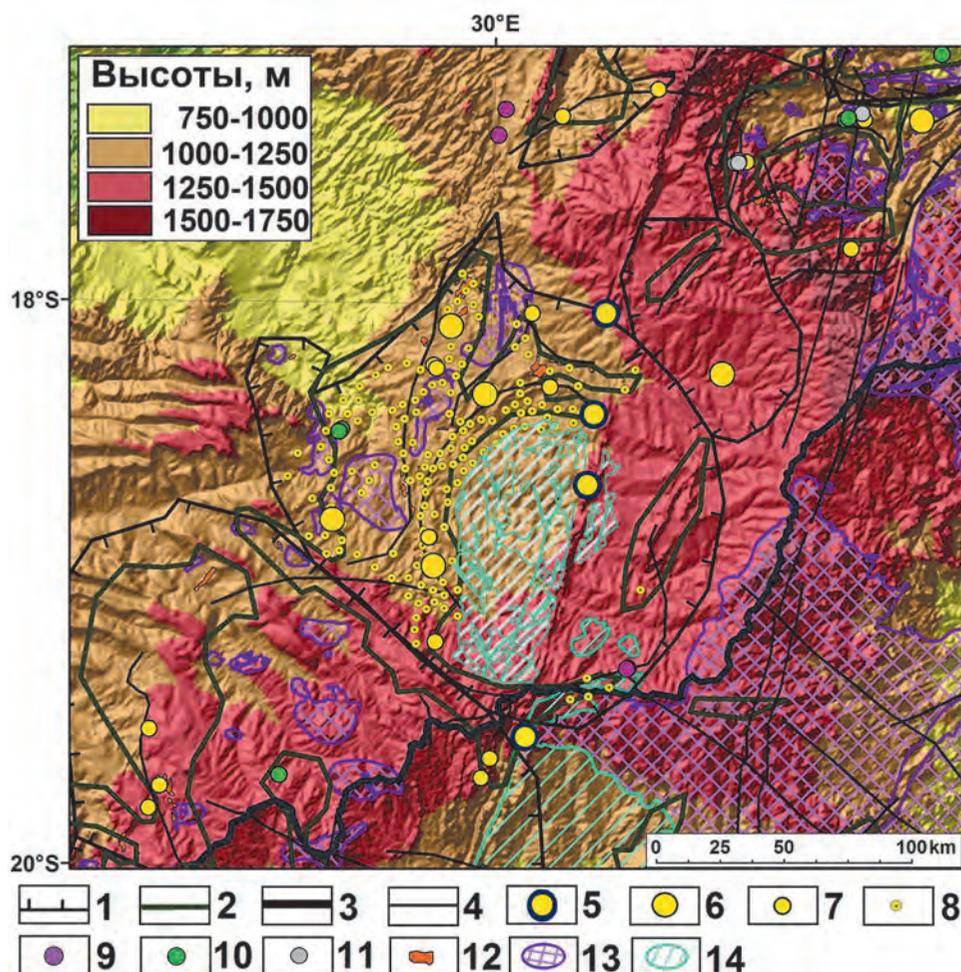


Рис. 5. Интервалы высот и металлогенические золоторудные области рудного пояса Зимбабве: 1 — граница золоторудного района; 2 — границы зеленокаменных поясов; 3 — главный водораздел; 4 — основные разломы; 5—10 — месторождения: 5 — платины, 6 — золота крупные, 7 — золота средние, 8 — золотоносные проявления (жилы), 9 — меди, 10 — никеля, 11 — вольфрама; 12 — тела порфировидных гранитов; 13 — неоархейские граниты; 14 — мезоархейские граниты блока Родесдейл-Токве

Fig. 5. Height ranges and metallogenic gold ore regions of the Zimbabwe ore belt: 1 — the border of the gold mining region; 2 — the borders of the greenstone belts; 3 — the main watershed; 4 — the main faults; 5—10 — deposits: 5 — platinum, 6 — large gold, 7 — medium gold, 8 — gold-bearing occurrences (veins), 9 — copper, 10 — nickel, 11 — tungsten; 12 — bodies of porphyritic granites; 13 — Neoproterozoic granites; 14 — Mesoarchean granites of the Rodesdale-Tokwe block

В область юго-восточных долин золото могло поступать из нескольких средних и мелких месторождений, расположенных на юге области Мидлендс и юго-востоке области Булавайо (рис. 5).

Очевидно, что за более чем двухсотлетний период освоения месторождений золота Зимбабве современные россыпи практически отработаны. Однако ресурсы погребенных на десятки метров россыпей могут быть значительными и представлять промышленный интерес.

Помимо погребенных россыпей, районы долинных равнин на северо-западе являются

предпочтительными для формирования крупных месторождений кобальта, никеля и скандия в переотложенной коре выветривания по ультраосновным породам древних зеленокаменных поясов. Известно, что роль таких месторождений в мировой добыче этих металлов весьма значительна [12, 13].

Также надо отметить, что именно для геоморфологических условий северо-западных равнин характерно развитие на сульфидных золоторудных месторождениях мощных в десятки метров площадных и чаще линейных зон окисления

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

с подзонами вторичного сульфидного обогащения, характеризующимися высокими концентрациями золота. Этот факт следует учитывать при интерпретации геолого-геофизических материалов и оценке перспектив территории на выявление погребенных россыпей.

Заключение

С использованием современных методов обработки данных дистанционного зондирования Земли построена цифровая модель рельефа Зимбабве, являющаяся исходным материалом для геоморфометрического анализа, основанного на объективных количественных методах расчета.

Установлено, что в рельефе хорошо выражены региональные элементы геологического строения: породы архейского кратона Зимбабве, Великая дайка, протерозойские образования

складчатого обрамления фундамента, породы мезозойского и кайнозойского чехла.

Показано, что в крупных сегментах рельефа отражены и металлогенические таксоны, включая Зимбабвийский архейский рудный пояс.

В центральной части Зимбабве обосновано наличие двух типов аллювиально-денудационных равнин, разделенных главным водоразделом северо-восточного простирания. На северо-западе это пологое плато с широкими протяженными долинами и небольшим в 10° уклоном. На юго-востоке плато с контрастным рельефом, узкими долинами, эрозионными останцами типа столовых гор и значительным уклонами в 30° .

Предположено, что северо-западнее главного водораздела должны быть широко распространены погребенные золото-платиновые россыпи и месторождения кобальта, никеля и скандия в перетолженной латеритной коре выветривания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов С.В. Великая дайка Зимбабве. Природа. 2011. № 7. С. 47—51.
2. Игнатов П.А., Малютин С.А., Ланчак М.М. Основные черты исторической и региональной металлогении кратона Зимбабве. Горный журнал. 2024. № 5. С. 28—37.
3. Лебедева Е.В. Поверхности выравнивания Южной Африки: эволюция и сохранность. Геоморфология. 2011. № 1. С. 48—58.
4. Никишин Д.А. Процессы генерализации в аналоговой и цифровой картографии. Системы и средства информатики. 2018. Т. 28. № 3. С. 204—216.
5. Полякова Е.В. Геоморфометрический подход в геоэкологических исследованиях северных территорий страны. Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 117—122.
6. Gann D. Quantitative spatial upscaling of categorical information: The multi-dimensional grid-point scaling algorithm. *Methods in Ecology and Evolution*. 2019. Т. 10. No. 12. P. 2090—2104.
7. Moore A.E., Cotterill F. P. D., Broderick T., Plowes D. Landscape evolution in Zimbabwe from the Permian to present, with implications for kimberlite prospecting. *South African Journal of Geology*. 2009. Т. 112. No. 1. P. 65—88.
8. Römer W. The distribution of inselbergs and their relationship to geomorphological, structural and lithological controls in Southern Zimbabwe. *Geomorphology*. 2005. Т. 72. No. 1—4. P. 156—176.
9. Stevenson J.A., Sun X., Mitchell N.C. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm. *Geomorphology*. 2010. Т. 114. No. 3. P. 238—252.
10. Schoenberg R., Nagler Th.F., Gnos E., Kramers J.D., Kamber B.S. The Source of the Great Dyke, Zimbabwe, and Its Tectonic Significance: Evidence from Re-Os Isotopes. *The Journal of Geology*. 2003. Vol. 111, P. 565—578.
11. Sun X., Rosin P. L., Martin R., Langbein F. Fast and effective feature-preserving mesh denoising. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2007. Vol. 13. No. 5. P. 925—938. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1065>
12. Teitler Y., Cathelineau M., Ulrich M., Ambrosi J.P., Munoz M., Sevin B. Petrology and geochemistry of scandium in New Caledonian Ni-Co laterites. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. Т. 196. P. 131—155. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.10.009>
13. Wang Z., Li M.Y. H., Liu Z.R., Zhou M. Scandium: Ore deposits, the pivotal role of magmatic enrichment and future exploration. *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 128. 103906pp. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103906>

REFERENCES

1. Belov S.V. The Great Dyke of Zimbabwe. *Priroda*. 2011. No. 7. P. 47—51 (In Russ.).
2. Ignatov P.A., Malyutin S.A., Lanchak M.M. The main features of regional metallogeny of the Zimbabwe Craton. *Gornyi Zhurnal*. 2024. No. 5. P. 28—37 (In Russ.).

3. Lebedeva E.V. The leveling surfaces of South Africa: evolution and preservation. *Geomorphology*. 2011. No. 1. P. 48—58 (In Russ.).
4. Nikishin D.A. Generalization processes in analog and digital cartography. *Computer science systems and tools*. 2018. Vol. 28. No. 3. P. 204—216 (In Russ.).
5. Polyakova E.V. Geomorphometric approach in geocological studies of the northern territories of the country. *The successes of modern natural science*. 2018. No. 3. P. 117—122 (In Russ.).
6. Gann D. Quantitative spatial upscaling of categorical information: The multi-dimensional grid-point scaling algorithm. *Methods in Ecology and Evolution*. 2019. T. 10. No. 12. P. 2090—2104.
7. Moore A.E., Cotterill F. P. D., Broderick T., Plowes D. Landscape evolution in Zimbabwe from the Permian to present, with implications for kimberlite prospecting. *South African Journal of Geology*. 2009. T. 112. No. 1. P. 65—88.
8. Römer W. The distribution of inselbergs and their relationship to geomorphological, structural and lithological controls in Southern Zimbabwe. *Geomorphology*. 2005. T. 72. No. 1—4. P. 156—176.
9. Stevenson J.A., Sun X., Mitchell N.C. Despeckling SRTM and other topographic data with a denoising algorithm. *Geomorphology*. 2010. T. 114. No. 3. P. 238—252.
10. Schoenberg R., Nagler Th.F., Gnos E., Kramers J.D., Kamber B.S. The Source of the Great Dyke, Zimbabwe, and Its Tectonic Significance: Evidence from Re-Os Isotopes. *The Journal of Geology*. 2003. Vol. 111, P. 565—578.
11. Sun X., Rosin P. L., Martin R., Langbein F. Fast and effective feature-preserving mesh denoising. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. 2007. Vol. 13. No. 5. P. 925—938. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2007.1065>
12. Teitler Y., Cathelineau M., Ulrich M., Ambrosi J.P., Munoz M., Sevin B. Petrology and geochemistry of scandium in New Caledonian Ni-Co laterites. *Journal of Geochemical Exploration*. 2019. T. 196. P. 131—155. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.10.009>
13. Wang Z., Li M.Y. H., Liu Z.R., Zhou M. Scandium: Ore deposits, the pivotal role of magmatic enrichment and future exploration. *Ore Geology Reviews*. 2021. Vol. 128. 103906pp. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103906>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Игнатов П.А. — разработал концепцию, методологию, проведение исследования, провел редактирование рукописи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Полякова Е.В. — провела исследования, верифицировала данные, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Минеев А.Л. — провел исследования, верифицировал данные, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Малютин С.А. — провел исследования, верифицировал данные, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Petr A. Ignatov — development of the concept, methodology, research, editing of the manuscript, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena V. Polyakova — methodology, research, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Alexander L. Mineev — methodology, research, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Sergey A. Malyutin — methodology, research, 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

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>

Полякова Елена Викторовна — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.
20, Никольский проспект, г. Архангельск 163020, Россия
e-mail: lenpo26@yandex.ru
SPIN-код: 1362-3404
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1150-1778>

Elena V. Polyakova — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher, Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.
20, Nikolsky ave., Arkhangelsk 163020, Russia
e-mail: lenpo26@yandex.ru
SPIN-code: 1362-3404
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1150-1778>

Минеев Александр Леонидович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.
20, Никольский проспект, г. Архангельск 163020, Россия
e-mail: [mineew.al@gmail.com](mailto:mineeew.al@gmail.com)
SPIN-код: 6676-4183
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-6520>

Alexander L. Mineev — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.
20, Nikolsky ave., Arkhangelsk 163020, Russia
e-mail: [mineew.al@gmail.com](mailto:mineeew.al@gmail.com)
SPIN-code: 6676-4183
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3303-6520>

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>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>
УДК 553.824



ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ РУБИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЕЖНОЕ, МУЗКОЛ- РАНГУЛЬСКИЙ АНТИКЛИНОРИЙ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПАМИР

А.К. ЛИТВИНЕНКО^{1,*}, Ш.А. ОДИНАЕВ^{2,3}

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

² Институт геохимии Гуанчжоу Китайской Академии наук
ул. Кехуа, г. Гуанчжоу, 511, Китай

³ Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук
Таджикистана
267, ул. Айни, г. Душанбе 734063, Таджикистан

АННОТАЦИЯ

Введение. Минеральная ассоциация рубина на месторождении Снежное представлена 7 породообразующими и 19 акцессорными минералами. Все минералы месторождения имеют переменный состав, связанный с изоморфизмом. На основе парагенетического анализа, проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов, выделено четыре группы пород. Три из них по доминирующему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяется изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное и др. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенных месторождений рубина в мраморах получило эффективный результат, проверенный на объектах Музкол-Рангульского антиклинория.

Целью представленного исследования является выявление парагенетических соотношений между породообразующими минералами рубиноносных залежей.

Материалы и методы. Обозначенная цель исследования решалась методом парагенетического анализа, основы которого были разработаны Д.С. Коржинским. Из реальных минеральных и химических составов рубиноносных залежей месторождения Снежное и других рубиноносных объектов музкольской серии были выбраны три группы инертных элементов: 1 — Si; 2 — Al и 3 — сумма Ca, Mg, Na, K. Составы минералов были пересчитаны на 100% и нанесены на треугольные диаграммы. Затем на основе наблюдений в образцах и шлифах на диаграммах парагенезисы были соединены коннодами и проанализированы.

Результаты. На основе парагенетического анализа, проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов месторождения Снежное, нами выделено четыре группы пород. Три из них по преобладающему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяется изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное.

Заключение. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенного месторождения рубина дало эффективный результат, проверенный на близлежащих месторождениях и проявлениях. Полученные материалы могут быть использованы при поисках и разведке новых месторождений в контурах мраморов музкольской метаморфической серии.

Ключевые слова: Центральный Памир, Музкол-Рангульский антиклинорий, месторождение рубина Снежное, парагенезисы, рубин, плагиоклаз, скаполит, мусковит, флогопит, маргарит

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А. Парагенетические соотношения минералов рубинового месторождения Снежное, Музкол-Рангульский антиклинорий, Центральный Памир. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):101—111. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>

Статья поступила в редакцию 22.10.2024

Принята к публикации 13.12.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

PARAGENETIC RELATIONS OF MINERALS IN THE SNEZHNOYE RUBY DEPOSIT, MUZKOL-RANGKUL ANTICLINORIUM, CENTRAL PAMIR

ANDREY K. LITVINENKO^{1,*}, SHARIFJON A. ODINAEV^{2,3}

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

² *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences
Kehua str., Guangzhou, 511, China*

³ *Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan
267, Ayni str., Dushanbe 734063, Tajikistan*

ABSTRACT

Background. The mineral association of ruby in the Snezhnoye deposit is represented by 7 rock-forming and 19 accessory minerals. Here, all minerals vary in their composition due to isomorphism. The conducted paragenetic analysis of minerals from marble-hosted ruby deposits identified four groups of rocks. Out of them, three groups are divided into series according to the dominant mineral: plagioclase, scapolite, and mica associations. The fourth group comprises monomineralic ruby. The studied minerals exhibit 16 parageneses, including two-, three-, and four-mineral forms. The diversity and uneven manifestation of paragenesis is determined by the variable chemical composition of protolith (bauxite-like sediment), the metamorphogenic transformation of which led to the emergence of Snezhnoye and other deposits.

Aim. To identify paragenetic relations between rock-forming minerals of ruby-bearing deposits.

Materials and methods. The methods of paragenetic analysis, the foundations of which were developed by D.S. Korzhinsky, were used. Three groups of inert elements were selected from the actual mineral and chemical compositions of the Snezhnoye ruby deposits and other ruby-bearing objects of the Muzkol series: (1) Si, (2) Al, and (3) the sum of Ca, Mg, Na, and K. Mineral compositions were calculated in terms of 100% and plotted on triangular diagrams. Then, on the basis of observations in samples and sections on the diagrams, the parageneses were connected by tie-lines for analysis.

Results. The conducted paragenetic analysis of minerals from marble-hosted ruby deposits identified four groups of rocks. Out of them, three groups are divided into series according to the dominant mineral: plagioclase, scapolite, and mica associations. The fourth group comprises monomineralic ruby. The studied minerals exhibit 16 parageneses, including two-, three-, and four-mineral forms. The diversity and uneven manifestation of paragenesis is determined by the variable chemical composition of protolith (bauxite-like sediment), the metamorphogenic transformation of which led to the emergence of Snezhnoye and other deposits.

Conclusion. The use of paragenetic analysis when investigating the metamorphogenic ruby deposit under study produced reliable results, which were further tested at nearby deposits and occurrences. The obtained materials can be used when prospecting new marble-hosted deposits of the Muzkol metamorphic series.

Keywords: Central Pamir, Muzkol-Rangkul anticlinorium, Snezhnoye ruby deposit, paragenesis, ruby, plagioclase, scapolite, muscovite, phlogopite, margarite

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

Financial disclosure: the study was not sponsored.

For citation: Litvinenko A.K., Odinaev Sh.A. Paragenetic relations of minerals in the Snezhnoye ruby deposit, Muzkol-Rangkul anticlinorium, Central Pamir. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):101—111. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>

Manuscript received 22 October 2024

Accepted 13 December 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Постановка задачи

Месторождение рубина Снежное является самым крупным на Памире и отнесено к рубин-карбонатной [9], рубин-мраморной камнесамоцветной формации метаморфического генезиса [10]. Этот тип месторождений получил название «рубин в мраморах» [6, 14, 19]. Снежное является типоморфным к крупнейшим месторождениям рубина: Лук Ен (Вьетнам), Могок (Мьянма), Таплиджунг (Непал), Нангимали (Пакистан), Джегдаллек (Афганистан) [12, 16, 17].

Месторождения рубина на Центральном Памире, включая месторождение Снежное, локализованы в мраморах сарыджилгинской свиты, входящей в музкольскую серию (PR₁) [18, 20]. Она является вещественной основой Музкол-Рангульского антиклинория, являющегося фундаментом киммерийской тектонической зоны Центрального Памира. Эта зона одна из четырех (Северный, Центральный, Юго-Западный и Юго-Восточный Памир), составляющих горно-складчатое сооружение Памир [1, 4].

В 300 метрах к западу от месторождения Снежное находятся месторождение Надежда и проявления рубина Корунд-4 и Корунд-7, в 80 метрах к северу — Тимоша, в 3 км к востоку — Трика, к югу и юго-востоку — еще 4 проявления (Лагерное, Аленушка, Корунд-1 и Корунд-2) с недооцененными кондициями. Рассматриваемые рубиноносные объекты формируют минерагеническую структуру широтного простирания — Туракуломинскую зону протяженностью около 12 и шириной 0,6 км [9, 20]. Рубиновая минерализация месторождения Снежное и других объектов региона локализована стратиформно в кальцитовых мраморах, с которыми об-

разовалась одновременно. В раннем докембрии это были прослойки бокситоподобных, глинистых пород в известняках. В процессе полициклического метаморфизма они превратились в рубиноносные залежи в мраморах. На этом основании возраст рубиновой минерализации синхронизируется с возрастом докембрийских мраморов [12].

Рубиноносные залежи характеризуются резкими колебаниями гранулометрического и минерального состава, мощности, протяженности и содержания рубина. Минеральная ассоциация рубина на рассматриваемом месторождении представлена 7 породообразующими и 19 аксессуарными минералами. Все минералы месторождения имеют переменный состав, связанный с изоморфизмом [12]. Отдельные участки залежей формируются разными группами минеральных ассоциаций (парагенезисов), которые располагаются на первый взгляд хаотично: рубин в них то присутствует, то отсутствует, поэтому при разведке оно было отнесено (фондовые материалы экспедиции «Памиркварцсамоцветы») к четвертой группе сложности и разведка была объективно ограничена категорией С₂.

Геологические особенности месторождения

Подробные сведения о геологическом строении месторождения Снежное приведены ранее [9, 12]. Для решения нашей задачи необходимо отметить основные геологические особенности месторождения.

Месторождение локализовано в кальцитовых мраморах раннепротерозойского возраста [13]. Они полициклически метаморфизованы в *P—T*-условиях высокотемпературной амфиболитовой

Таблица 1. Химические составы рубиноносных залежей месторождения Снежное, в мас. %
Table 1. Chemical compositions of ruby deposits of the Snezhnoye deposit, in wt%

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	47,19	48,61	53,53	52,26	43,00	47,41	43,60	30,67	16,08	3,61
TiO ₂	1,84	2,43	2,22	3,11	1,17	2,63	1,87	2,70	0,90	0,44
Al ₂ O ₃	39,30	25,55	28,75	28,17	45,54	30,64	36,40	50,10	66,36	91,40
FeO	0,40	0,30	0,35	0,39	0,17	0,84	2,03	0,86	2,77	0,06
MnO	-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03
MgO	0,09	0,41	0,92	1,27	0,26	0,96	0,84	0,05	2,05	0,36
CaO	4,55	9,73	4,85	4,99	4,30	5,32	3,81	8,31	3,27	1,17
K ₂ O	0,97	0,88	5,09	5,67	0,75	5,08	3,84	2,75	5,17	1,09
Na ₂ O	4,70	11,48	3,35	2,91	4,20	2,10	3,36	4,04	2,31	0,38
P ₂ O ₅	0,07	0,27	0,10	0,31	0,15	0,08	0,14	0,07	0,04	0,01
Cr ₂ O ₃	0,65	0,18	0,17	0,14	0,07	0,05	0,05	0,35	0,08	0,43
Сумма	99,76	99,84	99,33	99,22	99,46	95,12	95,96	99,91	99,02	98,98

Примечание. Породы по цвету и минеральному составу: 1 — светлая (рубин—плагиоклаз—слюды); 2—5 — темная (рубин—скаполит—слюды); 6—9 — ярко-зеленая (рубин—слюды); 10 — красная, почти мономинеральная рубиновая. Анализы проб 1—5, 10 выполнены в ГЕОХИ РАН И.А. Рошчиной рентгенофлуоресцентным методом; 6, 7 — в ФХМИ ИГГ Уро РАН Н.П. Горбуновой на рентгеновском спектрометре СРМ-18; 8, 9 — в химической лаборатории ИГ АН Таджикистана химическим анализом, Н.И. Талалуевой.
Note. Rocks by color and mineral composition: 1 — light (ruby—plagioclase—mica); 2—5 — dark (ruby—scapolite—mica); 6—9 — bright green (ruby—mica); 10 — red, almost monomineral ruby. Analyses of samples 1—5, 10 were performed at the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences by I.A. Roshchina using the X-ray fluorescence method; 6, 7 — at the Faculty of Art and Chemistry of the Institute of Chemical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences of N.P. Gorbunova on the SRM-18 X-ray spectrometer; 8, 9 — in the chemical laboratory of the IG of the Academy of Sciences of Tajikistan by chemical analysis, N.I. Talalueva.

фации ($T = 750\text{—}780^\circ$, $P = 7\text{—}9$ кбар) — первый цикл (докембрийский) [5] и эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций — второй цикл (мезо-кайнозойский) регионального метаморфизма [2, 3]. Мощность мраморов около 150 м, протяженность ~ 12 км. Они согласно подстилаются и перекрываются высокоглиноземистыми кристаллическими сланцами кварц-плагиоклаз-биотитового состава с гранатом и кианитом. Рубин и его минеральная ассоциация формируют согласные залежи, приуроченные к поверхности напластования, которую мы рассматриваем как главную структуру, контролирующую их размещение [12]. Залежи протягиваются на несколько метров при мощности до 0,5, средняя — 0,15 м. Затем они выклиниваются и через пустые интервалы от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров вновь появляются. Эту поверхность мы рассматриваем как локальное стратиграфическое несогласие внутри апоизвестняковых мраморов. К этой структуре приурочены также месторождение Надежда и проявления рубина Корунд-4 и Трика. Разнообразие химических составов рубиноносных залежей отражено в таблице 1. Структурные особенности месторождения и химические составы рубиноносных

залежей позволили нам ранее [8] предположить в качестве протовещества для них бокситоподобные осадки.

Нами выделено пять основных структурно-текстурных признаков пород, составляющих месторождение.

1. Контуры рубиноносных залежей совпадают с литологическими границами мрамора: мрамор — залежь с рубином — мрамор (рис. 1).

2. Породы рубиноносных залежей характеризуются крайней изменчивостью структуры. На небольшой площади наблюдаются лепидобластовая, гломеробластовая, гетеробластовая, гранонематобластовая и их различные вариации, смены и переходы одна в другую (рис. 2а).

3. В залежах наблюдаются сланцеватость, будинаж и плейчатость. По форме их можно представить в форме протяженного маломощного слоя с волнистыми зальбандами, иногда с плоскостями скольжения.

4. Продуктивные тела характеризуются резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, а также распределением содержания рубина. Он образует вкрапленно-гнездовую форму (рис. 2б).

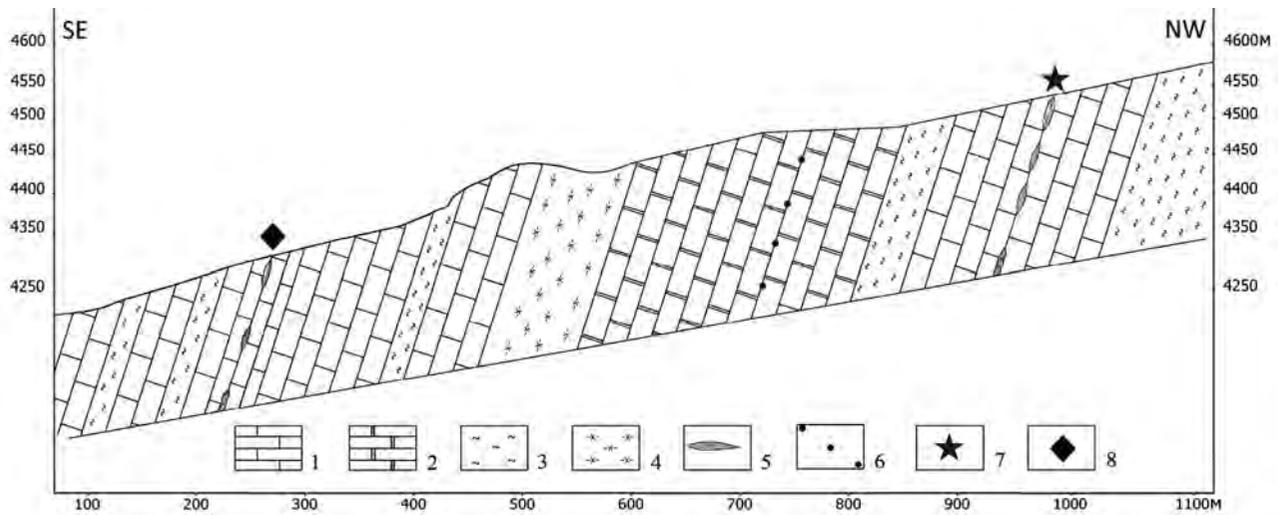


Рис. 1. Разрез мраморной пачки по меридиану через месторождение Снежное: 1, 2 — мраморы: 1 — кальцитовые, 2 — доломитовые; 3 — кристаллические сланцы с гранатом и кyanитом; 4 — скаполит-диопсидовые скарноиды; 5 — рубиноносные залежи (вне масштаба); 6 — мономинеральная рубиновая минерализация (проявление Лагерное); 7 — Снежное; 8 — проявление Аленушка

Fig. 1. Section of a marble pack along the meridian through the Snezhnoye deposit: 1, 2 — marbles: 1 — calcite, 2 — dolomite; 3 — crystalline schists with garnet and kyanite; 4 — scapolite-diopside skarnoids; 5 — ruby deposits (out of scale); 6 — monomineral ruby mineralization (Lagernoye manifestation); 7 — Snezhnoye; 8 — the manifestation of Alyonushka



Рис. 2. Фрагменты полиминеральных залежей: а — различные сочетания структур в одном штупфе (третья группа пород). Черная линзочка — титанит, белый агрегат — скаполит. Рубиновый кабачон изготовлен из кристаллосырья этой группы пород; б — первая группа рубиноносных пород. Черные порфиробласты — скаполит, зеленые — хромосодержащие мусковит, флогопит, маргарит (нерасделенные), розовый — рубин, желтый — титанит

Fig. 2. Fragments of polymineral deposits: a — different combinations of structures in one stuf (the third group of rocks). The black lens is titanite, the white aggregate is scapolite. Ruby kabachon is made of crystalline raw materials of this group of rocks; b — the first group of ruby-bearing rocks. Black porphyroblasts are scapolite, green porphyroblasts are chromium-containing muscovite, phlogopite, margarite (undivided), pink porphyroblasts are rubies, and yellow porphyroblasts are titanite

5. Резко изменчиво качество рубина. Эти изменения наблюдаются на микро- и макроуровнях, в кристаллах и внутри залежей, по простиранию и падению, а также на всей площади месторождения. Это свойство рассмотрено ранее [11, 15].

Минеральный и химический состав, условия залегания, структура и текстура минеральных ассоциаций позволяют предположить, что первичным веществом рубиноносных залежей месторождения Снежное являлись бокситоподобные осадки [8, 12].

Парагенезисы рубина

Рубиноносные породы характеризуются весьма переменным по простиранию и по падению минеральным составом и различными по размеру и форме минералами. В залежах нами выделено пять минеральных ассоциаций, которые формируют обособленные участки с трех- и двухминеральными парагенезисами (табл. 2).

I. В первой группе пород выделяются три парагенезиса:

- 1) рубин + мусковит + маргарит,
- 2) рубин + скаполит (основной) + маргарит,
- 3) рубин + скаполит (основной) + флогопит (высокоглиноземистый).

Эту группу пород можно определить как скаполитовую серию. Скаполит здесь выступает как типоморфный минерал. В этой группе пород не отмечается парагенезис рубина с плагиоклазом, скаполитом среднего состава и низкоглиноземистым флогопитом (рис. 3а). Для третьего парагенезиса характерен флогопит с самым высоким содержанием глинозема и основной скаполит с 74% мариалитовой молекулы. Особенностью этой группы пород является флогопит, который образует парагенезисы со всеми минералами, кроме маргарита (рис. 3а).

II. Во второй группе пород наблюдается два парагенезиса:

- 4) рубин + плагиоклаз (кислый) + мусковит,
- 5) рубин + плагиоклаз (средний) + маргарит.

Эту группу пород можно определить как плагиоклазовую серию. Плагиоклаз

является типоморфным минералом. В этой группе отсутствует скаполит (рис. 3б).

Первая и вторая группы пород залежей благодаря скаполиту и плагиоклазу обладают гломеробластовой и/или гетеролепидобластовой структурой.

III. В третьей группе выделены два трехминеральных парагенезиса:

- 6) рубин + мусковит + маргарит,
- 7) рубин + флогопит (высокоглиноземистый) + маргарит.

Эту группу пород можно определить как безплагиоклазовую и безскаполитовую серию (рис. 3в). Местные геологи их называют слюдитами. В них с рубином в парагенезисе не отмечаются одновременно мусковит, флогопит и маргарит. Слюдиты с рубином имеют средне-, крупнозернистую лепидобластовую структуру с фрагментами гломеропорфиновой (рис. 4б). Слюды различного размера: от первых миллиметров до первых сантиметров в поперечнике, гранонематобластовой или гетеробластовой структуры. Их парагенетические соотношения показаны на диаграмме (рис. 3в).

IV. В этой группе мы выделяем мономинеральные кристаллы, желваки, сростки рубина на поверхности напластования (рис. 5а). Она определяется двухминеральным парагенезисом:

- 8) рубин + кальцит.

Четвертая группа отличается разнообразием форм и размеров рубина. Самоцвет является самым крупным и самым богатым кристалломорфологическими формами среди минералов месторождения (рис. 5б). В музее

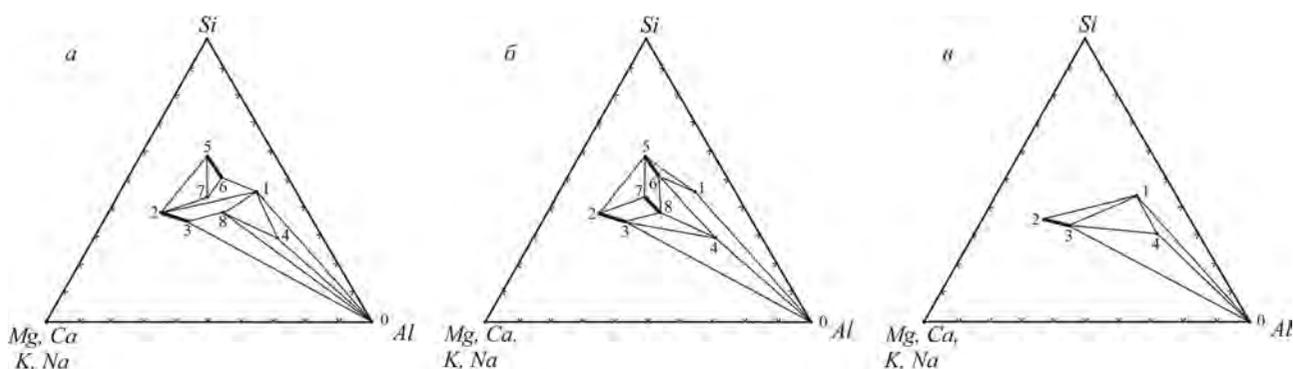


Рис. 3. Парагенетические диаграммы минеральных ассоциаций рубиноносных залежей трех групп пород: а — первой; б — второй; в — третьей. Жирные линии — минералы переменного состава. Цифры: 0 — рубин; 1 — мусковит (фуксит); 2—3 — флогопиты: 2 — низкоглиноземистый, 3 — высокоглиноземистый; 4 — маргарит; 5—6 — плагиоклазы: 5 — кислый, 6 — средний; 7—8 — скаполиты: 7 — средний, 8 — основной
Fig. 3. Paragenetic diagrams of mineral associations of ruby-bearing deposits of three groups of rocks: а — first; б — second; в — third. Bold lines are minerals of variable composition. Numbers: 0 — ruby, 1 — muscovite (fuchsite), 2—3 — phlogopites: 2 — low alumina, 3 — high alumina; 4 — margarita, 5—6 — plagioclase: 5 — acidic, 6 — medium, 7—8 — scapolites: 7 — medium, 8 — basic

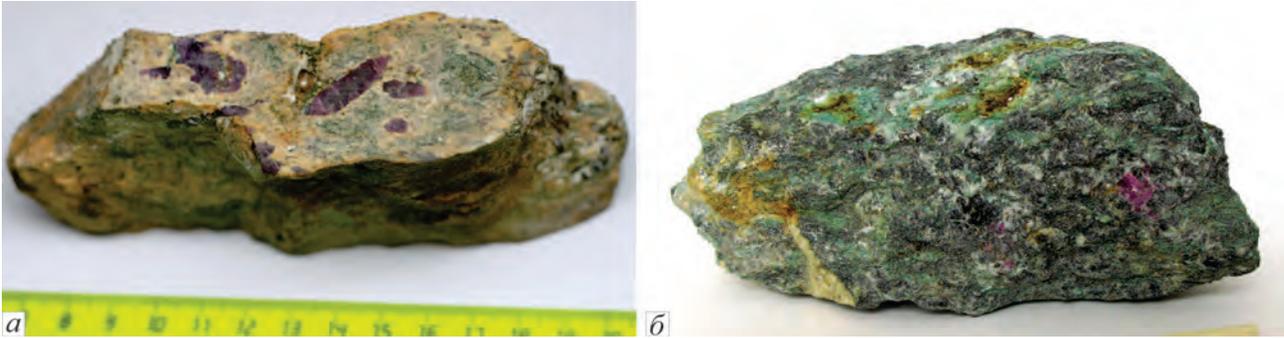


Рис. 4. Образцы из разных участков рубиноносных залежей: а — рубин, окруженный белым плагиоклазом (вторая группа рубиноносной породы); б — третья группа рубиноносных пород с поздней гидротермальной скаполитовой жилкой слева

Fig. 4. Samples from different parts of ruby deposits: a — ruby surrounded by white plagioclase (the second group of the ruby rock); б — the third group of ruby-bearing rocks with a late hydrothermal scapolite vein on the left

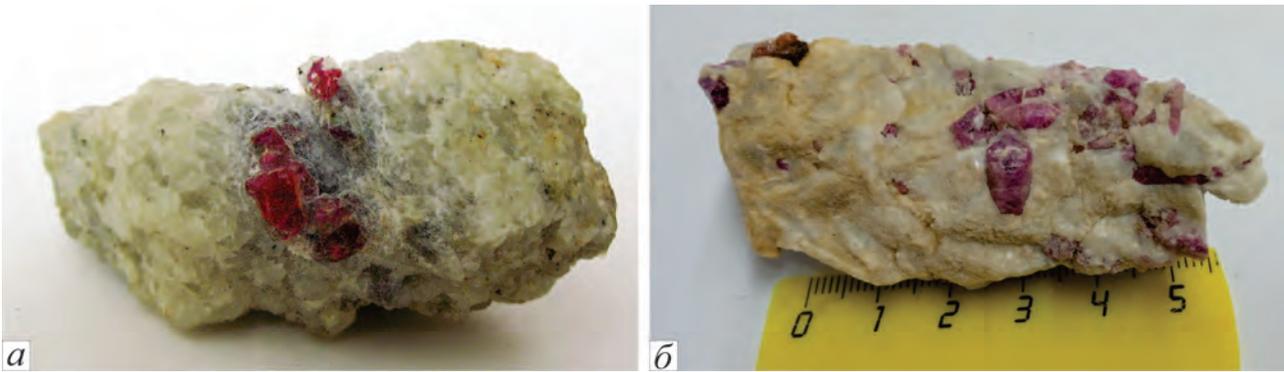


Рис. 5. Участки мономинеральных залежей рубина: а — порфиробласты (безгранные) рубина в мраморе; б — кристаллы рубина в мраморе

Fig. 5. Areas of monomineral ruby deposits: a — porphyroblasts (faceless) ruby in marble; б — ruby crystals in marble

экспедиции «Памиркварцсамоцветы» экспонировались три обломка кристаллов длиной 23 см и поперечником более 10 см каждый. Почти мономинеральные скопления рубина могут достигать 50×20×20 см, весом более 50 кг.

Эта группа представляет главный промышленный интерес. С ней связаны самые крупные и наиболее прозрачные кристаллы самоцвета. Его качественные кондиции рассмотрены в [11].

V. В залежах часто наблюдаются «пустые» участки, без рубина (рис. 6). Они представлены восемью парагенезисами (четырёх-, трёх- и двухминеральными):

9) флогопит (низкоглиноземистый) + скаполит (средний) + плагиоклаз (средний) + мусковит,

10) флогопит (разного состава) + скаполит (основной) + мусковит,

11) скаполит (средний) + плагиоклаз (разного состава),

12) флогопит (низкоглиноземистый) + скаполит (средний) + плагиоклаз (кислый),

13) флогопит (разного состава) + скаполит (разного состава),

14) скаполит (разного состава) + плагиоклаз (разного состава),

15) флогопит (разного состава) + мусковит,

16) флогопит (высокоглиноземистый) + маргарит + мусковит.

Общая картина парагенезисов на месторождении Снежное сведена в таблицу 2.

Характерной особенностью всех минералов, находящихся в парагенезисе с рубином, является изоморфная примесь хрома и ванадия от сотых долей до первых процентов [11].

Текстура рубиносодержащих пород является такситовой (неоднородной). В них очень слабо выражена либо отсутствует сланцеватость. Обычно слюды ориентированы разнонаправленно,



Рис. 6. Безрубиновый слюдит с многочисленными тонкими чешуйками графита

Fig. 6. Ruby-free mica with numerous thin graphite flakes

Таблица 2. Парагенезисы минералов в рубиноносных залежах месторождения Снежное
Table 2. Paragenesis of minerals in the ruby-bearing deposits of the Snezhnoye deposit

Рубиноносные породы	Парагенезисы с рубином	Парагенезисы без рубина
Скаполитовые	рубин + скаполит (осн) + маргарит	скаполит (осн) + мусковит + маргарит
		скаполит (осн) + мусковит + флогопит
	рубин + скаполит (осн) + флогопит (низкогл)	скаполит (ср) + мусковит + флогопит (низкогл) + плагиоклаз (кис)
		флогопит (низкогл) + скаполит (ср) + плагиоклаз (кис)
Плагиоклазовые	рубин + плагиоклаз (ср) + мусковит + маргарит	скаполит (ср) + плагиоклаз
		плагиоклаз (ср) + скаполит (осн) + маргарит
		плагиоклаз (кис) + скаполит (ср) + флогопит (низкогл)
Слюдитовые	рубин + мусковит + маргарит	плагиоклаз + мусковит
		рубин + маргарит + флогопит (высокогл)
Кальцитовые	рубин + маргарит + флогопит (высокогл)	мусковит + флогопит
		рубин + кальцит

Примечание. Осн — основной, ср — средний, кис — кислый, низкогл — низкоглиноземистый, высокогл — высокоглиноземистый.
Note. Осн — basic, ср — medium, кис — acidic, низкогл — low alumina, высокогл — high alumina.

хаотично. Сланцеватые участки рассекаются кристаллами рубина.

Рубиноносные породы непрерывно протягиваются на несколько метров при мощности до 0,5 м и выклиниваются. Через десятки сантиметров они могут появиться вновь. Их контакты с мраморами резкие, иногда осложнены зеркалами скольжения площадью до 10 см², т.е. разрывы являлись мелкими, локальными.

Кондиционные кристаллы самоцвета находят среди хромсодержащих слюд или в белых мраморах без рудно-графитовой смеси минералов. Во втором случае прозрачность самоцвета связана с тем, что при его росте окружающее его пространство оказалось без рудно-графитовой «пыли». Ее мы часто наблюдаем в рубиноносных породах и обрамляющих их темно-серых мраморах (рис. 3, 4а).

Повышение прозрачности самоцвета возрастает с уменьшением количества минералов в составе залежей и во вмещающих мраморах [11], поэтому самой промышленно ценной является четвертая минеральная ассоциация (рис. 3).

Выводы

1. На основе парагенетического анализа [7], проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов месторождения Снежное, нами выделены четыре группы пород. Три из них по преобладающему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных.

2. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяются изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное.

3. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенного месторождения рубина получило эффективный результат, проверенный на конкретных объектах: рубиноносных залежах Снежного и других. Полученные материалы могут быть использованы при поисках и разведке новых месторождений в контурах мраморов музкольской метаморфической серии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатов Б.П. Тектоника Памира. Л.: ЛГУ, 1963. 241 с.
2. Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
3. Буданов В.И. Эндогенные формации Памира. Душанбе: Дониш, 1993. 299 с.
4. Геологическая карта Таджикской ССР и прилегающих территорий. Масштаб 1:500 000. Под редакцией Н.Г. Власова, Ю.А. Дьякова, Е.С. Черева. М.: ВСЕГЕИ, 1989.
5. Глебовицкий В.А., Седова И.С., Дюфур М.С. Эволюция метаморфических поясов альпийского типа. Л.: Наука, 1981. 304 с.
6. Дмитриев Э.А. Типы корундовой минерализации в докембрийских мраморах Музкол-Рангкульского антиклинория. Геология, поиски и разведка цветных камней Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1987. С. 34—36.
7. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Наука, 1973. 288 с.
8. Литвиненко А.К. Реконструкция бокситоподобных осадков в раннепротерозойских метаморфитах Центрального Памира. Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Екатеринбург, 2008. Т. 1. С. 428—430.
9. Литвиненко А.К. Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов. Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 4. С. 305—312.
10. Литвиненко А.К. Минералогия драгоценных камней Нуристан-Южнопамирской провинции. Germany: Palmarium academic publishing, 2012. 325 с.
11. Литвиненко А.К., Насриддинов З.З. Геммологические свойства рубинов из месторождения Снежное, Центральный Памир. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 22—26.
12. Литвиненко А.К. Геология месторождения рубина Снежное, Центральный Памир. М.: Горная книга, 2020. 103 с.
13. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. Под ред. Р.Б. Баратова. Душанбе: Дониш, 1976. 267 с.
14. Россовский Л.Н., Коноваленко С.И., Ананьев С.А. Условия образования рубина в мраморах. Геология рудных месторождений. 1982. № 2. С. 57—66.
15. Сорокина Е.С., Ожогина Е.Г., Якоб Д.Е., Хофтмейстер В. Некоторые особенности онтогении корунда и качество рубина месторождения Снежное, Таджикистан (Восточный Памир). Записки Всероссийского минералогического общества. 2012. № 6. С. 100—108.
16. Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Groat L., Fagan A.G. The geology and genesis of gem corundum deposits. In *Geology of Gem Deposits*, 2nd ed.; Groat L.A., Ed.; Mineralogical Association of Canada: Tucson, AZ, USA, 2014. P. 29—112.
17. Giuliani G., Groat L.A., Fallick A.E., Pignatelli I., Pardiou V. Ruby Deposits: A review and Geological Classification. *Minerals*. 2020. Vol. 10. P. 597—681. <https://doi.org/10.3390/min10070597>
18. Litvinenko A.K., Sorokina E.A., Häger T., Kostitsyn Y.A., Botcharnikov R.E., Somsikova A.V., Ludwig T.,

- Romashova T.V. and Hofmeister W. Petrogenesis of the Snezhnoe ruby deposit, Central Pamir. *Minerals*. 2020. Vol. 10. No. 478. P. 478—500. <https://doi.org/10.3390/min10050478>
19. Kissin A.J. Ruby and Sapphire from the Southern Ural Mountains, Russia. *Gem & Gemmology*. 1994. Vol. 30. No. 4. P. 234—252.
20. Sorokina E.S., Litvinenko A.K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z.Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gem & Gemmology*. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 160—175. <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.51.2.160>

REFERENCES

1. Barkhatov B.P. *Tektonika Pamira (Tectonics of the Pamirs)*. Leningrad: LGU, 1963. 241 p. (In Russ.).
2. Budanova K.T. *Metamorphic Formations of Tadjikistan*. Dushanbe: Donish, 1991. 336 p. (In Russ.).
3. Budanov V.I., *Endogenous Formations of Pamirs*. Dushanbe: Donish, 1993. 299 p. (In Russ.).
4. Geological map of the Tajik SSR and adjacent territories. Scale 1:500 000. Ed. by N.G. Vlasov. Moscow: VSEGEI, 1989 (In Russ.).
5. Glebovitsky V.A., Sedova I.S., Dufour M.S. Evolution of metamorphic belts of the alpine type. Leningrad: Nauka, 1981. 304 p. (In Russ.).
6. Dmitriev, E.A. Types of corundum mineralization in the Precambrian marbles of the Muzkol-Rangkulsy anticlinorium. In *Proceedings on Geology and Prospecting of the Gemstone Deposits of Tajikistan*; Klimkin, A.V., Ed.; Donish: Dushanbe, Tajikistan, 1987. P. 34—36 (In Russ.).
7. Korzhinsky D.S. Theoretical foundations of the analysis of mineral paragenesis. Moscow: Nauka, 1973. 288 p. (In Russ.).
8. Litvinenko, A.K. The reconstruction of bauxite-like sediments in the Early Proterozoic metamorphites of the Central Pamir. In *Proceedings of the Materials of the 5th All-Russian Lithologic Conference “the Types of Sedimentogenesis and Lithogenesis and Their Evolution in the History of the Earth”*, Ekaterinburg, Russia, 14–16 October 2008. P. 428—430 (In Russ.).
9. Litvinenko A.K. Nuristan-South Pamir province of Precambrian gems. *Geology of ore deposits*. 2004. Vol. 46. No. 4. P. 305—312 (In Russ.).
10. Litvinenko A.K. *Mineragenia of precious stones of the Nuristan-South Pamir province*. Germany: Palmarium academic publishing. 2012. 325 p. (In Russ.).
11. Litvinenko A.K., Nasriddinov Z.Z. Gemological properties of rubies from the Snezhnoye deposit, Central Pamir. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Geology and exploration*. 2014. No. 4. P. 22—26 (In Russ.).
12. Litvinenko A.K. *Geology of Snezhnoe Ruby Deposit, Central Pamirs*. Moscow. Gornaya kniga, 2020. 103 p. (In Russ.).
13. *Dismemberment of stratified and intrusive formations in Tajikistan*. Dushanbe: Donish, 1976. 267 p. (In Russ.).
14. Rossovskiy L.N., Konovalenko S.I., Ananjev S.A. Conditions of ruby formation in marbles. *Geology of ore deposits*. 1982. No. 2. P. 57—66 (In Russ.).
15. Sorokina E.S., Ozhogina E.G., Jacob D.E., Hofmeister W. Some features of corundum ontogeny and the quality of ruby from Snezhnoe deposit, Tajikistan (the Eastern Pamirs). *Zapiski RMO (Proc. Russ. Mineral. Soc.)* 2012. No. 6. P. 100—108 (In Russ.).
16. Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Groat L., Fagan A.G. The geology and genesis of gem corundum deposits. In *Geology of Gem Deposits*, 2nd ed.; Groat, L.A., Ed.; Mineralogical Association of Canada: Tucson, AZ, USA, 2014. P. 29—112.
17. Giuliani G., Groat L.A., Fallick A.E., Pignatelli I., Pardieu V. *Ruby Deposits: A review and Geological Classification*. *Minerals*. 2020. Vol. 10. P. 597—681. <https://doi.org/10.3390/min10070597>
18. Litvinenko A.K., Sorokina E.A., Häger T., Kostitsyn Y.A., Botcharnikov R.E., Somsikova A.V., Ludwig T., Romashova T.V. and Hofmeister W. Petrogenesis of the Snezhnoe ruby deposit, Central Pamir. *Minerals*. 2020. Vol. 10. No. 478. P. 478—500. <https://doi.org/10.3390/min10050478>
19. Kissin A.J. Ruby and Sapphire from the Southern Ural Mountains, Russia. *Gem & Gemmology*. 1994. Vol. 30. No. 4. P. 234—252.
20. Sorokina E.S., Litvinenko A.K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z.Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. *Gem & Gemmology*. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 160—175. <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.51.2.160>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

Одинаев Ш.А. — внес вклад в обработку и анализ геолого-петрохимических данных и в создании графической информации, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sharifjon A. Odinaev — contributed to the processing and analysis of geological and petrochemical data and to the creation of graphical information, 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

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

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: akl1954@yandex.ru
тел.: +7(916)655-08-08
SPIN-код: 6127-2320
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

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

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: akl1954@yandex.ru
tel.: +7(916)655-08-08
SPIN-code: 6127-2320
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

Одинаев Шарифджон Ахтамжонович — кандидат геолого-минералогических наук, докторант Института геохимии Гуанчжоу Китайской академии наук; старший научный сотрудник, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана ул. Кехуа, г. Гуанчжоу 511, Китай

267, ул. Айна, г. Душанбе 734063, Таджикистан
e-mail: Sharif.Geolog@mail.ru
тел.: +86 13054495854
SPIN-код: 1174-3786
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8849-206X>

Sharifjon A. Odinaev — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), PhD student of Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences; senior Research, Institute of geology, earthquake engineering and seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan

Kehua Str., Guangzhou 511, China
267, Ayni str., Dushanbe 734063, Tajikistan
e-mail: Sharif.Geolog@mail.ru
tel.: +86 13054495854
SPIN-code: 1174-3786
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8849-206X>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВЫХ СНАРЯДОВ ДЛЯ СООРУЖЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРУБОПРОВОДОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д.Ю. СЕРИКОВ¹, Н.Д. ЦХАДАЯ², Д.А. БОРЕЙКО^{3*}

¹ ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»
65, корпус 1, проспект Ленинский, г. Москва, 119991, Россия

² Российская академия естественных наук
29/16, пер. Сивцев Вражек, 119002, г. Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»
13, ул. Первомайская, 169300, г. Ухта, Республика Коми, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. При строительстве подземных переходов нефтегазопроводов методом наклонно-направленного бурения возникает задача повышения эффективности процесса бурения, особенно в условиях повышенного гидравлического сопротивления и дифференциального давления на забое. В статье рассматривается проблема и предложенное решение в виде новой конструкции калибратора-эжектора.

Цель. Совершенствование технологии и применение новой конструкции калибратора-эжектора, оснащенного эжекционными системами очистки скважины, для повышения эффективности наклонно-направленного бурения.

Материалы и методы. При решении проблемы повышения эффективности и экологичности процесса расширения пилотных скважин при строительстве подземных переходов нефтегазопроводов основное внимание уделяется использованию обратной промывки и новой конструкции калибратора-эжектора.

Результаты. Показано, что использование одного и того же инструмента на разных этапах бурения возможно и снижает затраты и время на сооружение переходов. Внедрение данных технологий способствует улучшению управления процессом бурения и снижению негативного воздействия на окружающую среду, что делает их важным шагом в развитии технологий наклонно-направленного бурения.

Ключевые слова: буровой снаряд, калибратор-эжектор, расширитель, эжекционная насадка, буровой раствор, буровой агрегат, буровое долото, гидродинамические параметры, компьютерное моделирование, скоростной поток, давление.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Сериков Д.Ю., Цхадая Н.Д., Борейко Д.А. Совершенствование буровых снарядов для сооружения подземных переходов трубопроводов различного назначения в сложных горно-геологических условиях. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(4):112—119. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-112-119>

Статья поступила в редакцию 17.11.2024

Принята к публикации 14.12.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

IMPROVED DRILLING RIGS FOR UNDERGROUND VARIOUS-PURPOSE PIPELINES IN DIFFICULT MINING AND GEOLOGICAL CONDITIONS

DMITRY YU. SERIKOV¹, NIKOLAY D. TSKHADAYA², DMITRY A. BOREYKO^{3,*}

¹ National University of Oil and Gas "Gubkin University"
65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

² Russian Academy of Natural Sciences
29/16, Sivtsev Vrazhek lane, Moscow 119002, Russia

³ Ukhta State Technical University
13, Pervomaiskaya str., Ukhta 169300, Komi Republic, Russia

ABSTRACT

Background. When constructing underground crossings of oil and gas pipelines using directional drilling, the task of enhancing the drilling efficiency becomes urgent. In particular, this concerns the conditions of increased hydraulic resistance and differential pressure. To solve this problem, we propose a new calibrator-ejector design.

Aim. To improve the existing drilling technology by applying a new calibrator-ejector design. The proposed device is equipped with ejection systems for cleaning the borehole, thus increasing the efficiency of directional drilling.

Materials and methods. The problem of increasing the efficiency and environmental friendliness of the process of pilot borehole expansion during the construction of underground crossings of oil and gas pipelines was solved by using reverse circulation and proposing a new design of the calibrator-ejector device.

Results. The possibility of using the same tool at different stages of drilling is shown. This reduces the financial and time expenditures for the construction of crossings. The implementation of the proposed technologies facilitates management of the drilling process and reduces its negative impact on the environment, thus contributing to the development of directional drilling technologies.

Keywords: drilling projectile, calibrator-ejector, expander, ejection nozzle, drilling fluid, drilling unit, drill bit, hydrodynamic parameters, computer simulation, high-speed flow, pressure

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

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

For citation: Serikov D.Yu., Tskhadaya N.D., Boreyko D.A. Improved drilling rigs for underground various-purpose pipelines in difficult mining and geological conditions. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):112—119. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-112-119>

Manuscript received 17 November 2024

Accepted 14 December 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

При прокладке нефтегазопроводов нередко встает задача прохождения участков, требующих подземного размещения трубопровода. К ним относятся различные водные преграды, горные массивы, строительные сооружения и т.д. В этом случае наиболее экологичным, экономичным и безопасным способом преодоления этих мест является метод наклонно-направленного бурения [4].

Метод наклонно-направленного бурения позволяет минимизировать время сооружения подземного перехода нефтегазопровода. Применение данного метода ограничивается лишь сложностью бурения отдельных категорий пород и техническими возможностями применяемого бурового оборудования. Наклонно-направленное бурение скважин для прокладки нефтегазопроводов осуществляется

путем использования специальных агрегатов и различного бурового оборудования в несколько этапов. В начале производят бурение пилотной скважины небольшого диаметра на всю длину перехода. Затем проводят ее расширение до формирования требуемого технологического диаметра, большего диаметра трубопровода. Далее происходит калибровка и зачистка стенок скважины с целью обеспечения беспрепятственного протаскивания трубопровода [2].

Как правило, бурение пилотной скважины осуществляется обычными буровыми долотами различных типоразмеров, выбор типа и размера которых зависит в основном от твердости и абразивности разбуриваемых пород.

Расширение пилотной скважины уже осуществляется при помощи расширителей специальных конструкций, позволяющих наиболее эффективно разрушать породу в условиях проходки наклонно-направленных скважин большого диаметра [3].

На сегодняшний день существует множество конструкций буровых агрегатов, а также долот и шарошечных расширителей, предназначенных именно для формирования наклонно-направленных стволов для прокладки нефтегазопроводов. Однако необходимость дальнейшего их совершенствования все еще является достаточно актуальной задачей. Особенно в условиях введенных беспрецедентных санкций в отношении нашей страны и ухода с рынка множества иностранных производителей, специализирующихся на изготовлении данного вида оборудования.

На сегодняшний день повышение эффективности работы буровых агрегатов и породоразрушающего инструмента при сооружении подземных переходов нефтегазопроводов является одной из основных задач, стоящих перед производителями данного вида бурового оборудования. Один из вариантов ее решения может быть реализован за счет разработки и создания новых конструкций бурового инструмента, обеспечивающего увеличение механической скорости бурения и проходки на инструмент. Немаловажным фактором, способствующим увеличению указанных показателей бурения, является качественная работа системы промывки как инструмента, так и всей призабойной зоны в целом [1].

Бурение пилотных наклонно-направленных скважин в процессе строительства подземных переходов нефтегазопроводов осуществляется обычными буровыми долотами, за которыми, как правило, устанавливаются калибрующе-центрирующие

устройства, обеспечивающие выравнивание стенок скважины и препятствующие возникновению радиальных колебаний породоразрушающих инструментов. Также их использование способствует улучшению управляемости долота и обеспечивает более точное формирование проектного профиля ствола наклонно-направленной скважины. Однако применение калибрующе-центрирующих устройств в связке с долотом неизбежно ведет к повышению гидравлического сопротивления в области работы инструмента и, как следствие, увеличению дифференциального давления на забое. Одним из эффективных способов его снижения является применение различных эжекционных систем, размещаемых как непосредственно в долоте, так и в сопутствующем ему вспомогательном инструменте. Эжекционные системы работают по принципу струйных насосов, что позволяет им существенно интенсифицировать процесс удаления разрушенной породы от забоя и дальнейшего ее перемещения по затрубному пространству в сторону дневной поверхности. Кроме того, использование эжекционных систем, размещенных непосредственно в зоне работы породоразрушающего инструмента, позволяет снизить дифференциальное давление на забое. Многолетний опыт применения различных эжекционных систем при бурении нефтяных и газовых скважин показал, что их использование позволяет увеличить механическую скорость бурения и проходку на инструмент. Однако реализовать весь потенциал данных систем в буровом инструменте так и не удалось. Это связано с тем, что эжекционные системы размещались либо непосредственно в самом долоте, что не позволяло сделать их достаточно мощными ввиду ограниченного пространства для их размещения, либо устанавливались отдельно, над долотом, и выполняли только эжектирующую функцию.

Учитывая все вышеперечисленные факты, было предложено разместить эжекционные устройства в теле наддолотного калибратора, совместив в нем сразу несколько функций: калибровки стенки скважины, центрирования и стабилизации долота и струйного насоса, позволяющего интенсифицировать процесс промывки забоя и удаления шлама в межтрубное пространство.

В результате проведенных исследований была разработана новая конструкция калибратора-эжектора, оснащенного эжекционными системами очистки скважины (рис. 1). Для проведения предварительных гидравлических испытаний была создана экспериментальная модель калибратора-эжектора диаметром 215,9 мм, а также



Рис. 1. Модель калибратора эжектора в сборе с буровым шарошечным долотом, изготовленная с помощью 3D-технологий

Fig. 1. Model of the calibrator of the ejector assembly with a drilling ball bit, made using 3D technologies

шарошечное долото аналогичного диаметрального размера, с использованием 3D-технологий (рис. 1).

Принцип совместной работы калибратора-эжектора и долота в процессе бурения пилотной скважины (рис. 2) заключается в следующем. Под воздействием крутящего момента и осевой нагрузки на долото, передаваемых посредством колонны буровых труб, зубчатое вооружение долота разрушает породу забоя. Одновременно с этим сквозь внутреннее пространство бурильных труб и промывочную систему породоразрушающего инструмента прокачивается буровой раствор, который очищает вооружение долота и поверхность забоя. Как отмечалось ранее, непосредственно за долотом устанавливается калибратор-эжектор, также включающий в себя систему промывки в виде трех струйных насосов, расположенных в его межлопастных пространствах. Отличительными особенностями этой конструкции являются наличие подпорной насадки, расположенной внутри центрального ствола калибратора-эжектора (рис. 3), и трех эжекторных каналов с насадками, направленных в сторону от поверхности забоя.

Буровой раствор, перемещаясь сквозь внутреннее пространство калибратора-эжектора, дости-

гает его внутренней подпорной насадкой (рис. 3), создающей определенное гидравлическое сопротивление, которое заставляет часть общего объема промывочной жидкости двигаться в специальные эжекторные каналы. Пройдя сквозь эжекторные каналы и насадки, буровой раствор попадает в наружные эжекторные камеры открытого типа. Отличительной особенностью их конструкции является тот факт, что их внутренние поверхности образованы корпусом калибратора и двумя смежными его лопастями, а наружной частью является непосредственно стенка скважины. В эжекторных камерах высокоскоростные потоки бурового раствора, истекающие из эжекторных насадок, смешиваются с более медленными потоками бурового раствора, обогащенного шламом, перемещающимися от поверхности забоя сквозь межлопастные пространства калибратора (рис. 3). В результате взаимодействия этих потоков формируются три общих эжектированных потока, обладающих значительно большей гидравлической энергией, способствующих значительной интенсификации процесса промывки как инструмента, так и всей призабойной зоны в целом [5].

Как было указано ранее, по завершении формирования ствола пилотной скважины осуществляется процесс дальнейшего расширения ее

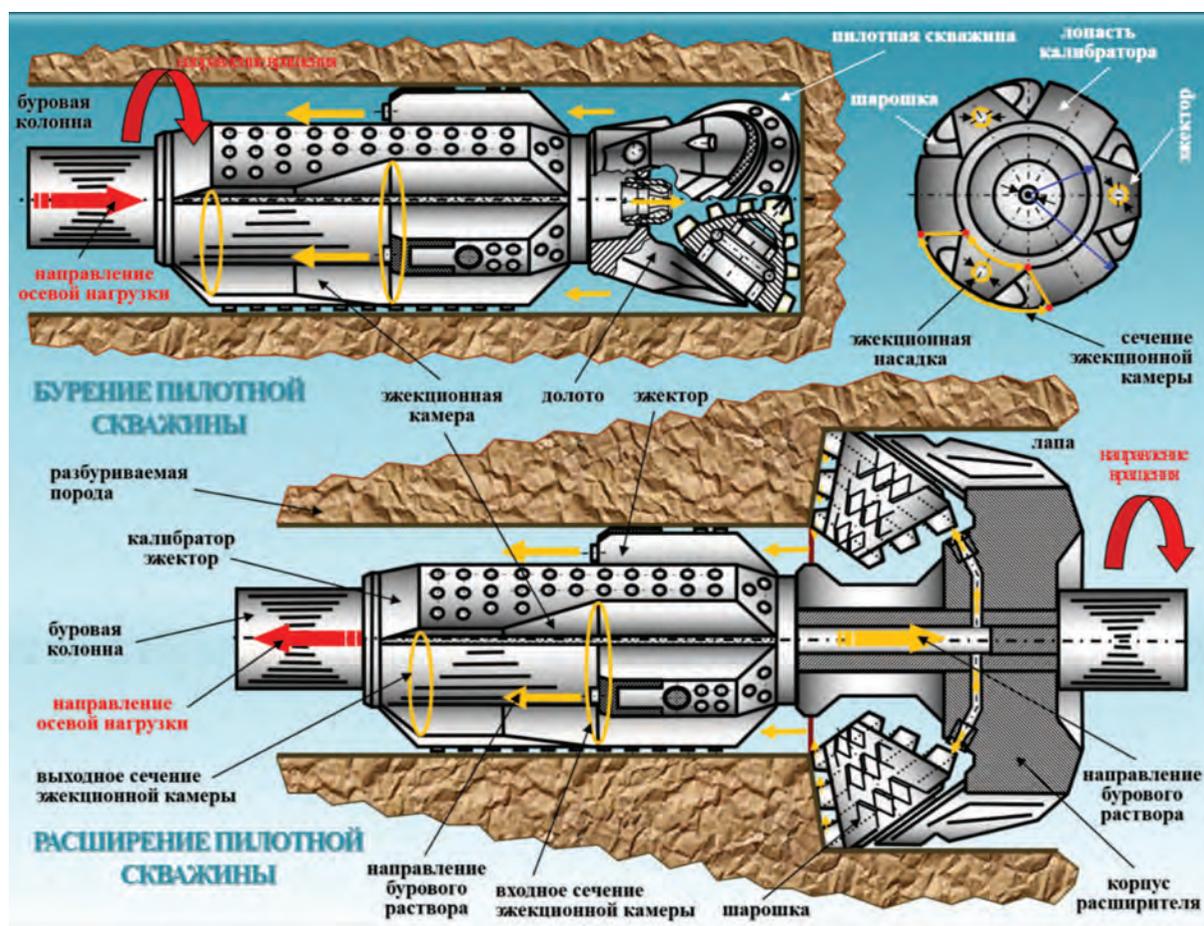


Рис. 2. Схемы компоновок буровых агрегатов для формирования пилотной скважины и последующего ее расширения

Fig. 2. Layout diagrams of drilling units for the formation of a pilot well and its subsequent expansion

диаметральных размеров шарошечными расширителями специальных конструкций. При этом, в отличие от первого этапа, когда буровой агрегат перемещает породоразрушающий инструмент «от себя», при осуществлении второго этапа расширения ствола происходит путем перемещения буровым агрегатом породоразрушающего инструмента «на себя». Как показывает практика, в большинстве случаев процесс промывки, как правило, является прямоточным (невозвратным), т.е. с одной стороны перехода на другую. Это существенно ухудшает эффективность удаления разбуренной породы вследствие большего диаметра уже расширенного участка скважины, не говоря уже об экологическом аспекте этого процесса. В связи с этим при расширении пилотной скважины предлагается использовать процесс обратной промывки, аналогичный такому при бурении вертикальных нефтегазовых скважин,

т.е. подачу бурового раствора внутри буровой колонны к породоразрушающему инструменту и возвращение его обратно на дневную поверхность по затрубному пространству. Это позволит использовать все наработки по очистке, восстановлению бурового раствора, существенно снизить его расход и значительно улучшить экологичность процесса сооружения подземных переходов нефтегазопроводов.

При расширении пилотной скважины с использованием обратной системы промывки можно применять тот же калибратор-эжектор, уже использованный на первом этапе бурения. В данном случае он устанавливается перед шарошечным расширителем и выполняет не только функции калибратора и струйного насоса, но и переднего стабилизатора и направляющего аппарата шарошечного расширителя (рис. 2). Таким образом, один и тот же инструмент (калибратор-эжектор)

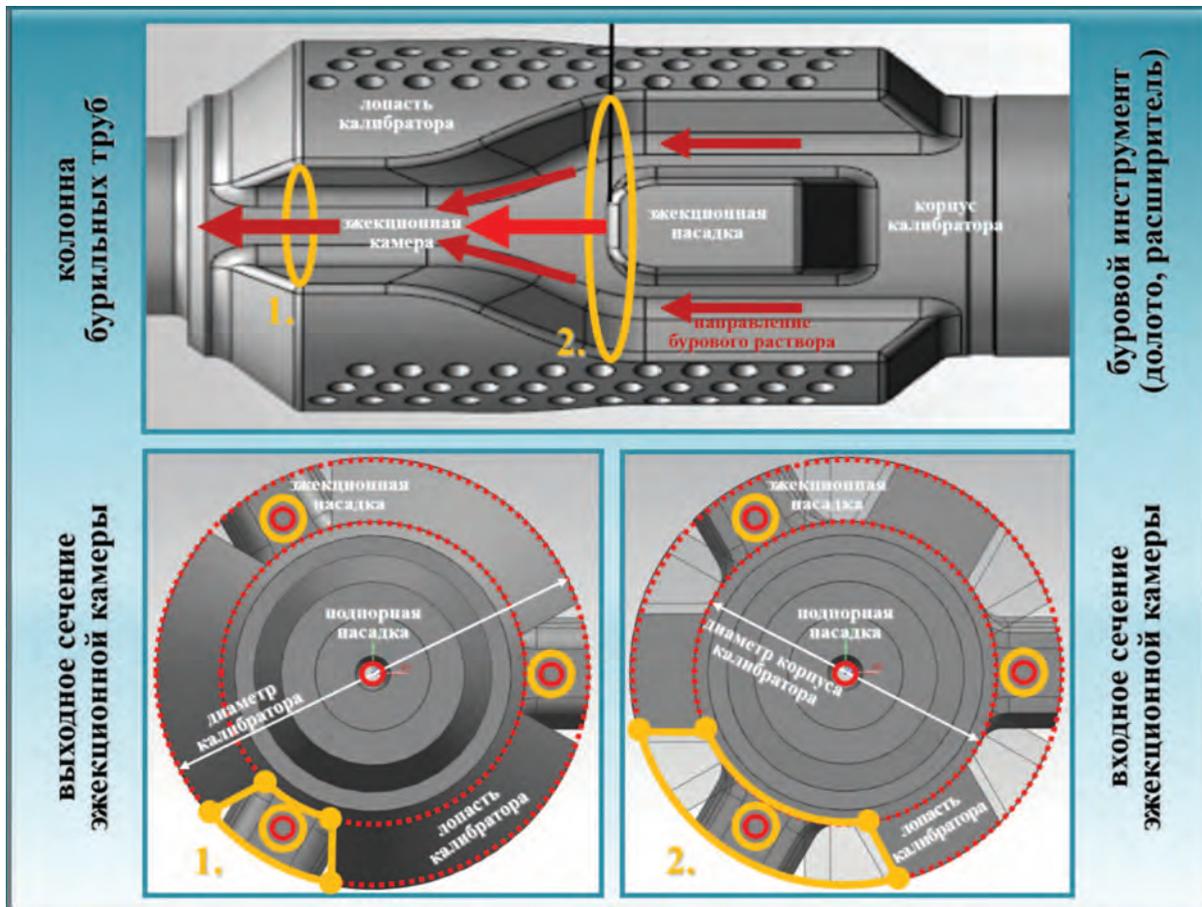


Рис. 3. Вид эжекционной камеры и ее входного и выходного сечений
 Fig. 3. View of the ejection chamber and its inlet and outlet sections

может использоваться как при первоначальном бурении пилотной скважины, так и впоследствии при ее расширении.

Данные калибраторы-эжекторы могут использоваться при бурении совместно не только с шарошечными долотами, но и с любыми другими видами и типами породоразрушающих инструментов.

Использование калибратора-эжектора новой конструкции в буровых агрегатах и системы обратной промывки скважины при ее расширении позволит снизить время и стоимость строительства подземных переходов нефтегазопроводов, а также улучшить экологические аспекты при их сооружении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буримов Ю.Г., Копылов А.С., Орлов А.В. Бурение верхних интервалов глубоких скважин большого диаметра. М., 1975. 231 с.
2. Вафин Д.Р., Сансай А.Н., Шаталов Д.А. Технико-экономические границы применения метода наклонно-направленного бурения в строительстве подводных переходов магистральных трубопроводов. Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2017. Т. 7. № 3. С. 66—73.
3. Лурье М.В., Мастобаев Б.Н., Ревель-Мороз П.А., Соценко А.Е. Проектирование и эксплуатация нефтепроводов. Учебник для нефтегазовых вузов. М.: Издательский дом «Недра». 2019. 434 с.
4. Мустафин Ф.М., Быков Л.И., Васильев Г.Г., Лаврентьев А.Е. и др. Технология сооружения газонефтепроводов. Под ред. Г.Г. Васильева. Т. 1. Уфа: Нефтегазовое дело, 2007. 632 с.
5. Мягков К.А., Сериков Д.Ю. Исследование влияния геометрических параметров эжекционной камеры на эффективность работы бурового калибрующего эжекционного агрегата. Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2020. № 4. С. 19—25.

REFERENCES

1. Burimov Yu.G., Kopylov A.S., Orlov A.V. Drilling of the upper intervals of large-diameter deep wells. Moscow, 1975. 231 p. (In Russ.).
2. Vafin D.R., Sapsay A.N., Shatalov D.A. Technical and economic limits to the application of the horizontal direction drilling method in the construction of under-water transitions of main pipelines. Science and technologies: oil and oil products pipeline transportation. 2017. Vol. 7. No. 3. P. 66—73 (In Russ.).
3. Lurie M.V., Mastobaev B.N., Revel-Moroz P.A., Soschenko A.E. Design and operation of oil pipelines. Textbook for oil and gas universities. Moscow: Nedra Publishing House. 2019. 434 p. (In Russ.).
4. Mustafin F.M., Bykov L.I., Vasiliev G.G., Lavrentiev A.E., et al. Technology of construction of gas and oil pipelines. Ed. G.G. Vasilyev. T. 1. Ufa: Oil and gas business, 2007. 632 p. (In Russ.).
5. Myagkov K.A., Serikov D.Yu. Study of the influence of the ejection chamber geometric parameters on the efficiency of operation of the drilling calibrating ejection unit. Construction of oil and gas wells on land and sea. 2020. No. 4. P. 19—25 (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

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

Dmitry Y. Serikov — 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.

Nikolay D. Tskhadaya — 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.

Dmitry A. Boreyko — 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

Сериков Дмитрий Юрьевич — доктор технических наук, профессор кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности ФГОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина». 65, корпус 1, проспект Ленинский, г. Москва 119991, Россия
e-mail: serrico@rambler.ru
SPIN-код: 9412-8310
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-580X>

Цхадая Николай Денисович — доктор технических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук. 29/16, пер. Сивцев Вражек, г. Москва 119002, Россия
e-mail: president@ugtu.net
Scopus: 6507722245
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2332-1117>

Dmitry Yu. Serikov — Dr. of Sci. (Tech.), Professor of the Department of Machinery and Equipment of the Oil and Gas Industry of the National University of Oil and Gas “Gubkin University”. 65, bld. 1, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia
e-mail: serrico@rambler.ru
SPIN-code: 9412-8310
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3256-580X>

Nikolay D. Tskhadaya — Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Full Member of the Russian Academy of Natural Sciences. 29/16, Sivtsev Vrazhek lane, Moscow 119002, Russia
e-mail: president@ugtu.net
Scopus: 6507722245
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2332-1117>

Борейко Дмитрий Андреевич* — кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе, доцент кафедры бурения, машин и оборудования нефтяных и газовых промыслов ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет».
13, ул. Первомайская, г. Ухта 169300, Республика Коми, Россия
e-mail: dboreiko@ugtu.net
SPIN-код: 5370-1326
Scopus: 56912272500
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-4526>

Dmitry A. Boreyko* — Cand. of Sci. (Tech.), Associate Professor, Vice-Rector for Research, Associate Professor of the Department of Drilling, Mechanical Engineering and Development of Oil and Gas Fields, Ukhta State Technical University.
13, Pervomaiskaya str., Ukhta 169300, Komi Republic, Russia
e-mail: dboreiko@ugtu.net
SPIN-code: 5370-1326
Scopus: 56912272500
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0248-4526>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ М.А. ТУГАРОВОЙ И Е.А. ЖУКОВСКОЙ «НЕФТЯНАЯ ЛИТОЛОГИЯ»

В.Г. КУЗНЕЦОВ^{1,2}

¹ *Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
65, Ленинский проспект, Москва 119991, Россия*

² *Институт проблем нефти и газа РАН
3, ул. Губкина, Москва 119333, Россия*

АННОТАЦИЯ

Осадочные породы — по сути дела единственные образования, содержащие нефть и газ, и их изучение и описание — важный этап работ в сфере геологии нефти и газа. Рассматриваемая книга — обстоятельное и разностороннее повествование с подробным и детальным изложением процессов осадочного породообразования и характеристикой главных нефть- и газ-содержащих пород и методами их изучения в целом. Издание представляет интерес для специалистов как исследовательских, так и производственных организаций.

Ключевые слова: геология нефти и газа, нефтегазовая литология

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках госзадания ИПНГ РАН FMMT2022-0004.

Для цитирования: Кузнецов В.Г. Рецензия на книгу М.А. Тугаровой и Е.А. Жуковской «Нефтяная литология». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2024;66(4):120—123. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-120-123>

*Статья поступила в редакцию 16.07.2024
Принята к публикации 04.09.2024
Опубликована 23.12.2024*

REVIEW OF THE BOOK “OIL LITHOLOGY” BY M.A. TUGAROVA AND E.A. ZHUKOVSKAYA

VITALY G. KUZNETSOV^{1,2}

¹ *National University of Oil and Gas “Gubkin University”
65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia*

² *Oil and Gas Research Institute RAS
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia*

ABSTRACT

Sedimentary rocks are essentially the only geological formations that contain oil and gas. Their investigation and description represent a principal research direction in the field of oil and gas geology. The book *Oil Lithology* by M. A. Tugarova and E. A. Zhukovskaya provides a comprehensive and detailed description of the processes involved in the formation of sedimentary rocks, along with characterization of the major oil- and gas-bearing rocks and conventional methods for their study. This book may present interest to specialists in both research and production organizations.

Keywords: oil and gas geology, oil and gas lithology

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosures: The work was carried out within the framework of the state task of the IPNG RAS FMMT2022-0004.

For citation: Kuznetsov V.G. Review of the book “Oil Lithology” by M.A. Tugarova and E.A. Zhukovskaya. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):120—123. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-120-123>

Manuscript received 16 July 2024

Accepted 04 September 2024

Published 23 December 2024

Человечество столкнулось с осадочными образованиями на заре своего существования. Достаточно вспомнить материал орудий каменного века (кремни) как результат осадочного процесса. Осадочные породы (глины) — основа гончарного производства — также одно из первых продуктов человечества. Подобные примеры можно многократно увеличивать, но важно, что осадочные породы использовались в той или иной степени, изучались и описывались наукой достаточно давно.

Со второй половины XIX столетия появились книги, в том числе в виде того, что сейчас называется учебниками. Однако систематическое и целенаправленное изучение осадочных пород и даже обособление специальной дисциплины: литологии в немецкоязычной и седиментологии в англоязычной (термины, по сути дела, синонимы), началось после Первой мировой войны, когда стало ясно, что следующая война — это война моторов, а моторы — это горючее, получаемое из нефти, которая, в свою очередь, образуется в осадочных породах и из них добывается. Развитие общества, а конкретно науки и техники, привело к освоению и использованию разнообразных полезных ископаемых осадочного происхождения, и задачи исследования осадочных пород и осадочных процессов в целом, а для нефтегазовой отрасли особенно, стали существенным образом обособляться в виде так называемой нефтегазовой литологии [1—5].

Рецензируемая работа отчетливо показала, что в общей обширной области знаний, охватываемой литологией, обособляются определенные, специфические именно для нефтегазовой отрасли, разделы и проблемы.

Не касаясь подробно содержания книги в целом, следует отметить, что ее первая часть — это краткое изложение общих проблем литологии: описание осадочных пород, их состава, структур, текстур, методов исследования, стадий

осадочного породообразования. Вторая половина издания — это конкретные и достаточно полные сведения о главных нефте-газодержащих породах: карбонатных, терригенных и их характеристика, а также, что находится в русле самых новейших проблем, — нетрадиционных пород-коллекторов, таких как баженовская свита Западной Сибири, доманик Урало-Поволжья. Тут же приводятся краткие сведения о столь специфических коллекторах, как породы кристаллического фундамента и кор его выветривания.

В плане сути самого издания как в значительной степени издания методического важно в качестве положительной стороны отметить, что здесь даны четкие указания и четкие рекомендации по проведению тех или иных действий при изучении и описании объектов и процессов, их формирующих. Примером подобного рода является стандартизированная схема описания керн (стр. 73—77). Важна и полезна серия таблиц-шаблонов, представляющих результаты петрографического анализа терригенных и карбонатных пород (табл. 2.2 и 2.3). То же самое касается наглядного графического изображения результатов (рис. 2.6—2.8 и др.), а также шаблоны литолого-седиментационных планшетов для терригенных и карбонатных разрезов (рис. 2.19 и 2.20).

Наглядно и очень ясно для понимания изложены в табличной форме обстановки терригенного и карбонатного осадкообразования (табл. 4.3 и 4.4), подробно описаны терригенные и карбонатные породы-коллекторы, а также методы и особенности исследования каждого из них. Важно, что наряду с массовыми, «традиционными» методами исследований: химическими, минералогическими, литологическими — использованы и представлены результаты существенно более новых и «тонких» методов исследования, таких как рентгенофазовый, рентгенофлуоресцентный, изотопный и др.

Специально следует отметить и приветствовать то, что рецензируемое издание весьма полно и подробно иллюстрировано. По сути, эти иллюстрации представляют три уровня. Во-первых, это фотографии естественных обнажений. Геологам-нефтяникам практикам работать в подобных условиях и с подобными объектами приходится крайне редко, поэтому такие материалы существенно расширяют их кругозор и помогают в понимании и интерпретации кернового материала, и тут важны соответствующие комментарии и указания, что и как необходимо описать. Во-вторых, это фотографии в том числе при ультрафиолетовом освещении самого керна, и тут важны соответствующие комментарии и указания, что можно увидеть в керне, что и как необходимо описать. Наконец, в-третьих, это многочисленные фотографии, сделанные при изучении пород как при стандартных оптических исследованиях, так и с помощью растровой микроскопии.

Книга написана известными специалистами-литологами, работа которых непосредственно связана с текущими проблемами и вопросами нефтегазовой промышленности, и их рекомендации непосредственно касаются текущих проблем и вопросов нефтегазовой отрасли, поэтому их указания и рекомендации могут и должны использоваться работниками этих отраслей в повседневной деятельности. В целом подготовку и издание подобного пособия можно только приветствовать и высоко его оценить.

При всей общей высокой оценке издания нельзя не сделать ряд замечаний.

Начнем с заглавия. Странно, что авторы, повторим, известные и крупные специалисты, работающие в гигантской системе Газпрома, исключили из названия своей книги газ и сформулировали название только как «нефтяная литология». Что, «газовая» литология существует отдельно или ее не существует вовсе?

Вряд ли удачно озаглавлен третий раздел работы как «генетические методы исследования». По сути дела, это не методы исследования, а приемы и направления генетического *истолкования* результатов аналитических методов.

Удачен ли, например, в плане терминологическом (названия) заголовок таблицы 1.10 «Структурная классификация глинистых пород»? (стр. 36). Не правильнее ли просто озаглавить ее «Структуры глинистых пород». Неясно, что означают дробы содержания различных пород в колонке А.Б. Ронова (табл. 1.16). По каким Методическим указаниям 1985 года представлена таблица 1.21, поскольку в списке литературы это издание не отмечено. Любопытны экобиоциклы в виде уходов фауны в убежища и ее возвращение длительностью миллионы-сотни лет (табл. 3.2).

Авторы приводят только одну схему классификации карбонатных пород, но, как справочное издание, а по сути таковым и является рецензируемая книга, было бы полезно привести и другие. Так, в западной литературе, а сейчас в значительной степени и в отечественных работах, в том числе и в газовой отрасли, широко используется схема Данэма с дополнениями Эмбри и Клована. В качестве уточнения должен заметить, что автор настоящей рецензии отнюдь не является ее горячим поклонником, но она существует и, повторим, широко используется, и в той или иной степени ее было бы целесообразно отметить.

К работе приложен достаточно объемный словарь терминов, хотя, отметим сразу, не всегда логичен сам список терминов, их отношение к сфере нефтегазовой литологии. К примеру, какое отношение к тематике рецензируемой книги имеет термин «абляция». Аналогичные замечания можно сделать и к списку литературы. Сама по себе эта часть работы очень важна и крайне существенна, но далеко не все приводимые в этом списке работы имеют непосредственное, а нередко и очень косвенное отношение к тематике самой книги или имеют очень частное значение.

В целом анализируемое издание — это обстоятельное пособие для геологов, в том числе непосредственно связанных с производством по первичному изучению и описанию кернового материала, и одновременно изложение более тонких и важных сведений по процессам и обстановкам образования и вторичных изменений (преобразований) пород-коллекторов и пород-покрышек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриевский А.Н., Кузнецов В.Г. Нефтегазовая литология — теоретические и прикладные аспекты. Проблемы литологии, геохимии и рудогенеза. М.: МАИК «Наука», 2001. С. 27—45.
2. Тугарова М.А., Жуковская Е.А. Нефтяная литология. М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2023. 496 с.
3. Кузнецов В.Г. Проблемы и перспективы нефтегазовой литологии. Академические чтения. 1995. Вып. 4. 27 с.
4. Кузнецов В.Г. Проблемы нефтегазовой литологии. Литология и геология горючих ископаемых. Межвузовский сборник 2007. № 1(17). С. 16—24.
5. Bjorykke K. Sedimentology and Petroleum Geology. Berlin, Springer, 1989. 363 p.

REFERENCES

1. Dmitrievskiy A.N. Kuznecov V.G. Oil and gas lithology — theoretical and applied aspects. Problems of lithology, geochemistry and ore genesis. Moscow: IAPC “Nauka” Publ., 2001. P. 27—45 (In Russ.).
2. Tugarova M.A., Zhukovskaya E.A. Oil Lithology. Moscow — Izhevsk: Institute of Computer Research, 2023. 496 p. (In Russ.).
3. Kuznecov V.G. Problems and prospects of oil and gas lithology. Academic Readings. 1995. Iss. 4. 27 p. (In Russ.).
4. Kuznecov V.G. Problems of oil and gas lithology. Lithology and geology of fossil fuels. Interuniversity collection. 2007. No 1(17). P. 16—24 (In Russ.).
5. Bjorykke K. Sedimentology and Petroleum Geology. Berlin, Springer, 1989. 363 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Кузнецов В.Г. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vitaly G. Kuznetsov — 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

Кузнецов Виталий Германович — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина; главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН.

65, Ленинский проспект, Москва 119991, Россия

3, ул. Губкина, Москва 119333, Россия

e-mail: vgkuz@yandex.ru

тел.: +7 (499) 507-85-77, +7 (905) 708-47-57

SPIN-код: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

Vitaly G. Kuznetsov — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Lithology of the National University of Oil and Gas “Gubkin University”; Chief Researcher of the Oil and Gas Research Institute RAS. 65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia

3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia.

e-mail: vgkuz@yandex.ru

tel.: +7 (499) 507-85-77, +7 (905) 708-47-57

SPIN-code: 9477-8454

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

