

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

2023

Том 65, № 3
Vol. 65, #3

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

3 ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
ГЕОЛОГИЯ
И РАЗВЕДКА
Научно-методический журнал

Том 65, № 3
2023

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 6 раз в год

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY
AND
EXPLORATION
Scientific methodological journal

Vol. 65, No. 3
2023

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

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

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

Главный редактор

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

Заместители главного редактора

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

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

Члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Иностранные члены редакционной коллегии

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

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

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

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

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

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

GEOLOGY AND EXPLORATION

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

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

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

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

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

Члены редакционного совета

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

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

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

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

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

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

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	30.06.2023
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2023
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

GEOLOGY AND EXPLORATION

FOCUS AND SCOPE

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

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

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

Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Foreign members of the Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

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

Members of the Editorial Council

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

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

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

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

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

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

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	100 copies
Publication date	30.06.2023
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ

8 ДОКЕМБРИЙСКИЕ ЦУНАМИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ

Д.А. РУБАН

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

18 ФОСФАТИЗИРОВАННЫЕ БАКТЕРИИ ИЗ МЕЛОВЫХ ФОСФОРИТОВ СИРИИ, РАЙОН ПАЛЬМИРЫ

М. АЛЗАММАР, Е.А. ЖЕГАЛЛО

ГЕОЭКОЛОГИЯ

**28 ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ТУРЦИИ И СИРИИ 2023 ГОДА И ГЕОДИНАМИКА
КАВКАЗСКО-АНАТОЛИЙСКОГО РЕГИОНА**

В.Б. СВАЛОВА

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

**42 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МУЗЕЕФИКАЦИИ
АРХИТЕКТУРНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ**

К.А. ДУБРОВИН, О.Е. ВЯЗКОВА

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

**52 ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА В ПРЕДЕЛАХ ЗОНЫ СОЧЛЕНЕНИЯ
ПРЕДУРАЛЬСКОГО ПРОГИБА И ЗАПАДНО-УРАЛЬСКОЙ ВНЕШНЕЙ ЗОНЫ СКЛАДЧАТОСТИ**

Л.И. БОНДАРЕВА, А.В. ОСИПОВ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

66 МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ И СЕЙСМОГРАФОВ

Ю.В. АНТОНОВ, И.А. ПОНОМАРЕНКО

ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

**76 ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
К ШЕСТОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ В КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ**

У.С. СЕРИКОВА

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**87 ОБ УЧЕБНИКЕ «ЛИТОЛОГИЯ» И УЧЕБНОМ ПОСОБИИ «ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ
И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ»**

А.Н. КОЛЬЧУГИН, В.П. МОРОЗОВ, Н.С. ЗАХАРОВА

GEOLOGY

- 8** **PRECAMBRIAN TSUNAMIS IN THE LIGHT OF THE MODERN DATA**
DMITRY A. RUBAN

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 18** **PHOSPHATIZED BACTERIA FROM THE CRETACEOUS PHOSPHORITES OF SYRIA, PALMYRA REGION**
MAZEN ALZAMMAR, ELENA A. ZHEGALLO

GEOECOLOGY

- 28** **EARTHQUAKES IN TURKEY AND SYRIA IN 2023 AND GEODYNAMICS OF THE CAUCASUS-ANATOLIAN REGION**
VALENTINA B. SVALOVA

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 42** **ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASPECTS IN THE MUSEUMIFICATION OF ARCHITECTURAL AND ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS**
KIRILL A. DUBROVIN, OLGA E. VYAZKOVA

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 52** **FORMATION AND PLACEMENT OF OIL AND GAS TRAPS WITHIN THE JUNCTION AREA OF CIS-URAL TROUGH AND WEST-URAL OUTER FOLDING ZONE**
LIANA I. BONDAREVA, ALEXANDER V. OSIPOV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 66** **METEOROLOGICAL IMPACT ON GRAVIMETER AND SEISMOMETER READINGS**
YURY. V. ANTONOV, IVAN A. PONOMARENKO

HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 76** **MAIN DIRECTIONS FOR THE TRANSITION OF THE OIL AND GAS INDUSTRY TO THE SIXTH TECHNOLOGICAL STRUCTURE IN THE CASPIAN REGION**
ULIANA S. SERIKOVA

CRITICS AND BIBLIOGRAPHY

- 87** **ABOUT THE TEXTBOOKS “LITHOLOGY” AND “SEDIMENTARY ROCKS AND METHODS FOR THEIR ANALYSIS”**
ANTON N. KOLCHUGIN, VLADIMIR P. MOROZOV, NADEZHDA S. ZAKHAROVA



ДОКЕМБРИЙСКИЕ ЦУНАМИ В СВЕТЕ СОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ

Д.А. РУБАН

*Южный федеральный университет
43, ул. 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение цунами в геологической истории вызывает значительный интерес у исследователей. В частности, предполагается их проявление еще в докембрии. Однако соответствующая информация требует системного обобщения.

Цель. Целью статьи является синтез опубликованных данных о докембрийских цунами. Интерес представляют возраст, распространение, возможные причины этих природных катастроф, а также характер информации о них.

Материалы и методы. В основу работы положена библиографическая информация, прежде всего собранная с помощью базы данных Scopus. Анализировались 39 источников (статьи в ведущих научных журналах). Литературные данные систематизированы по критериям.

Результаты. Свидетельства цунами получены с большей части докембрийского интервала и из разных регионов планеты. Наибольшие концентрации изученных катастроф зафиксированы для конца раннего архея и раннего протерозоя. Среди причин указываются космические импакты или землетрясения. Древнейшие цунами интерпретировались, как правило, путем анализа состава и текстур пород. При этом интерпретации часто безальтернативны.

Обсуждение результатов. Установлена значительная неполнота имеющейся информации. Формулируются гипотезы о влиянии изменений частоты космических импактов и инициации тектоники литосферных плит на особенности проявления цунами в докембрии.

Заключение. В свете результатов ранее проведенных исследований можно говорить о широко проявлении цунами в докембрии. Их изучение видится перспективным, в том числе и для российских геологов.

Ключевые слова: архей, библиографические данные, космические импакты, протерозой, сейсмичность

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: автор выражает признательность А.А. Богомолу за поддержку с размещением данных в Цифровом репозитории Южного федерального университета.

Для цитирования: Рубан Д.А. Докембрийские цунами в свете современных данных. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-8-17>

Статья поступила в редакцию 24.05.2023

Принята к публикации 08.06.2023

Опубликована 30.06.2023

PRECAMBRIAN TSUNAMIS IN THE LIGHT OF THE MODERN DATA

DMITRY A. RUBAN

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

ABSTRACT

Background. In the geological history of the Earth, tsunami events attract particular research attention. Such events are assumed to have taken place already since the Precambrian period. However, the information on Precambrian tsunamis requires systematic generalization.

Aim. To generalize the data published on Precambrian tsunamis with a particular focus on their age, distribution, and possible triggers. The character of information about these natural catastrophes also presents interest.

Materials and methods. A bibliographical review was conducted based on the developed systematization criteria. The information was collected with the Scopus database. A total of 39 sources (articles in the leading scientific journals) were analyzed.

Results. The evidence of tsunami events was obtained for a large part of the Precambrian interval for different regions of the planet. The highest concentrations of the studied catastrophes were established for the end-Early Archean and the Early Proterozoic. Cosmic impacts and earthquakes were indicated among the triggers. The oldest tsunamis were commonly interpreted by analyzing the composition and textures of rocks. These interpretations frequently proposed no alternative explanations.

Discussion. The available information on Precambrian tsunamis lacks completeness. Two hypotheses were formulated, those assuming the influence of the varied frequency of cosmic impacts and the initiation of lithospheric plate tectonics on the occurrence of tsunamis in the Precambrian.

Conclusion. Previous studies suggest a wide manifestation of tsunami events in the Precambrian. Further research in this direction seems promising, both for Russian and foreign geologists.

Keywords: Archean, bibliographical data, cosmic impacts, Proterozoic, seismicity

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

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

Acknowledgements: the author thanks A.A. Bogomolov for support with data deposition in the Digital Repository of the Southern Federal University.

For citation: Ruban D.A. Precambrian tsunamis in the light of the modern data. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-8-17>

Manuscript received 24 May 2023

Accepted 08 June 2023

Published 30 June 2023

Цунами являются катастрофическими природными явлениями, повторяемость которых в масштабах геологического времени весьма велика. Если только в течение XX и начале XXI веков было зарегистрировано почти 1300 событий такого рода, из которых почти полторы сотни характеризовались значительной силой [17], то можно предполагать, что их число в истории Земли измеряется миллиардами. Катастрофы в Индийском океане (2004 г.) и Японии (2011 г.)

способствовали значительному росту интереса ученых во всем мире к изучению как современных, так и древних цунами [20, 29]. Несмотря на тщательный анализ особого типа отложений — цунамитов — и других геологических индикаторов этих катастроф в геологическом прошлом, знания о них до сих пор остаются ограниченными [9, 30]. И речь идет только о «классических», т.е. океанических цунами, тогда как эти катастрофы могут происходить и в континентальных условиях [3, 7, 17];

установление их следов в осадочных последовательностях — еще более трудная задача. При этом надо отметить, что именно изучение древних цунами указывает на реализуемость этих явлений в относительно мелководных эпиконтинентальных бассейнах [10]. С учетом возможно большого количества цунами в прошлом Земли имеет смысл сконцентрироваться на их анализе на отдельных отрезках геологического времени.

Изучение докембрийских цунами представляет важность для понимания специфической динамики планетарной среды, а также позволяет уточнить критерии расшифровки природы сложно построенных, подчас глубоко метаморфизированных комплексов. Некоторыми исследователями уже была аргументирована возможность широкого проявления цунами не только в протерозое, но также в архее и даже гадее [12, 13, 15, 16]. В этой связи возникает вопрос о возможности обнаружения свидетельств цунами в докембрийских комплексах. Удивительно, но, несмотря на его кажущуюся сложность, за последние 25 лет было опубликовано несколько десятков работ, в которых представлена информация о докембрийских цунами разного возраста и из разных регионов. Речь идет именно о конкретных геологических свидетельствах, и прежде всего выделении типичных цунамитов. Соответствующие исследования стимулировались, как правило, интересом либо к древнейшим импактным событиям и их геологическим следствиям, либо к палеосейсмичности и расшифровке соответствующих текстурных особенностей пород. Хотя полученные сведения были представлены большей частью на страницах ведущих международных журналов и за авторством крупных специалистов, они оказываются разрозненными, подчас даже фрагментарными. В этой связи на первый план выходит задача по систематизации накопленной информации для получения общей картины проявления цунами на докембрийском этапе развития Земли.

Целью настоящей работы является синтез ранее опубликованной информации о докембрийских цунами. Он важен как для общей характеристики их пространственно-временного распространения и возможных причин, так и для установления меры их изученности к настоящему времени. Такого рода сводка видится потенциально полезной для отечественных специалистов, т.к. обращает внимание на перспективность новой тематики, которая может изучаться и на территории России, где докембрийские комплексы имеют широкое распространение.

Материалы и методы

Основным материалом для настоящей работы являются разрозненные литературные данные, касающиеся интерпретации докембрийских цунами в конкретных локусах. Для сбора международных источников была использована библиографическая база Scopus, характеризующаяся значительной полнотой [4, 33]. Информация из отечественной литературы может быть получена с помощью «Научной электронной библиотеки», однако эффективным оказалось также использование популярных средств поиска в сети Интернет. За первичным сбором библиографической информации последовало внимательное изучение ее содержания с выделением действительно релевантных источников. В конечном итоге для последующего анализа было отобрано 39 работ — статей в ведущих журналах. Во избежание перегрузки настоящей работы библиографической информацией и результатами ее первичного анализа (см. ниже) она размещена в открытом доступе в Цифровом репозитории Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону, РФ) в качестве блока исследовательских данных (Приложение), как это принято в практике современной научной деятельности.

Основным методом является контент-анализ отобранных источников. В каждом из них рассматриваются свидетельства о цунами: устанавливаются возраст, географическая привязка, причина и характер информации. Возраст определяется в соответствии с информацией из анализируемых источников, ряд из которых содержит точные датировки. В данной работе за основу берется Международная хроностратиграфическая шкала [14], т.к. именно ее подразделения рассматриваются в большинстве анализируемых работ; кроме того, она обладает достаточной дробностью. При этом полученные в итоге результаты вполне могут выражаться и в терминологии принятой в России Общей стратиграфической шкалы [5], с которой международные подразделения коррелируются по возрастным отметкам. Иными словами, привязка к международной шкале диктуется сугубо методологическими соображениями, а не ее предпочтением. Более того, важно отметить, что в настоящее время обсуждаются возможности коррекции международной шкалы [32]. Географическая привязка носит предельно общий характер — катастрофы отнесены к одному из крупных регионов (например, Индостан или Южная Африка). Привязка к геологическим структурам не проводится в силу неоднозначности трактовки докембрийской геологии ряда территорий и сохраняющейся неопределенности относительно

пространственно-генетического соотношения их структур в докембрии. Что касается причин цунами, то они обсуждаются в большинстве работ и оказываются либо импактными, либо сейсмическими. Другие известные причины этих катастрофических явлений [17] в литературе не рассматривались. Наконец, характер информации оценивался двояко. Во-первых, обращалось внимание на критерии (седиментологические, геохимические и т.п.), по которым идентифицировались древние цунами. Во-вторых, анализировалась однозначность интерпретаций (является ли цунами единственно предполагаемым явлением или возможны альтернативные объяснения). Здесь важно подчеркнуть, что интерпретации цунами в докембрийских комплексах в любом случае носят гипотетический характер, хотя во многих работах они подробно обосновываются.

После первичного анализа каждого из отображенных источников проводился синтез систематизированной с использованием вышеотмеченных критериев информации. Несмотря на наличие четко скомпилированных данных, видится возможным только их качественная интерпретация. Связано это с тремя обстоятельствами. Во-первых, в некоторых работах отмечается наличие

свидетельств нескольких цунами (однако о точном их числе судить затруднительно). Во-вторых, информация из разных регионов и представленная разными специалистами в ряде случаев могла относиться к одному цунами. В-третьих, ряд работ посвящен, по всей видимости, одному событию в том же самом регионе, однако сходимость соответствующих свидетельств не всегда можно четко увидеть. В этой связи могут быть сделаны выводы лишь об относительном количестве цунами по временным отрезкам докембрия и регионам. С несколько большей определенностью можно говорить об их соотношении по возможным механизмам, а также о характере информации.

Результаты

Синтез имеющейся библиографической информации показывает, что за 25 лет исследований в различных регионах мира было установлено несколько десятков проявлений цунами в докембрии (Приложение). В ряде случаев можно говорить о почти что глобальных катастрофах, свидетельства которых получены из разных локусов, но приблизительно с одного возрастного уровня, а в других — о сериях сравнительно часто повторяющихся событий в одном и том же регионе.

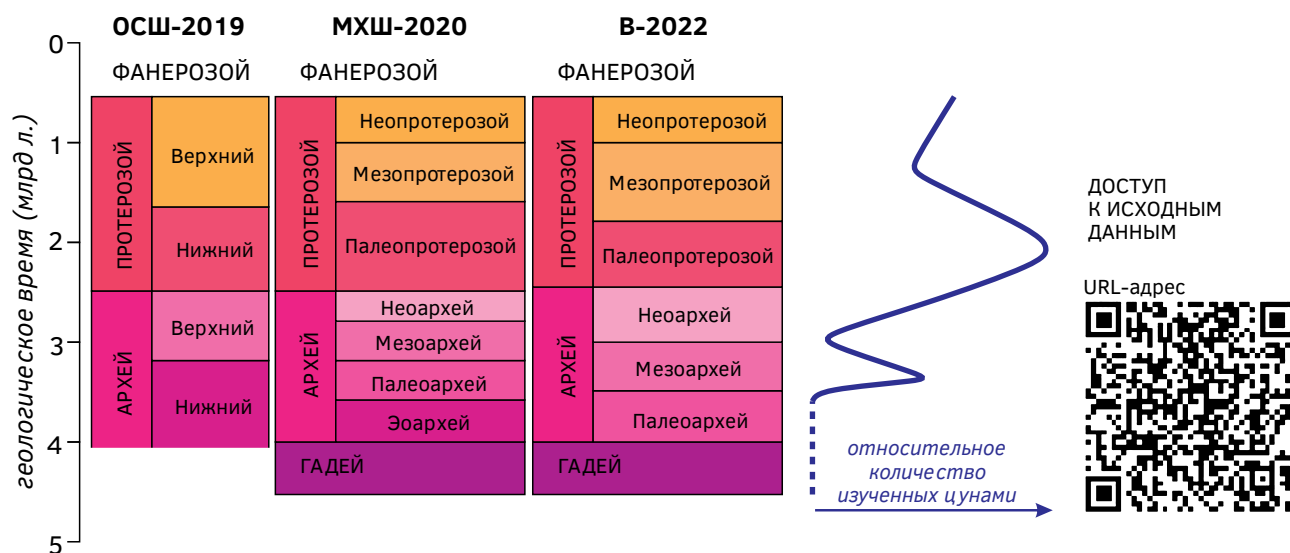


Рис. 1. Временное распределение изученных докембрийских цунами. ОСШ-2019 — общая стратиграфическая шкала (Россия [5]), МХШ-2020 — Международная хроностратиграфическая шкала (Международная комиссия по стратиграфии [14]), В-2022 — модифицированный вариант международной шкалы [32] (разработан при российском участии). Используются рекомендации по цветам стратиграфических подразделений [14]. Исходные данные размещены в Цифровом репозитории ЮФУ; для удобства доступа к ним указан QR-код

Fig. 1. Temporal distribution of the studied Precambrian tsunamis. ОСШ-2019 — general stratigraphical scale (Russia [5]), МХШ-2020 — International chronostratigraphical chart (International Commission on Stratigraphy [14]), В-2022 — modified version of the international chart [32] (developed with Russian participation). Recommendations for colouring stratigraphical units [14] are followed. The original data are stored in the Digital repository of the SFU; QR-code is indicated to facilitate access to them

Нередко специалистам удавалось интерпретировать присутствие «настоящих» цунами в метаморфических комплексах.

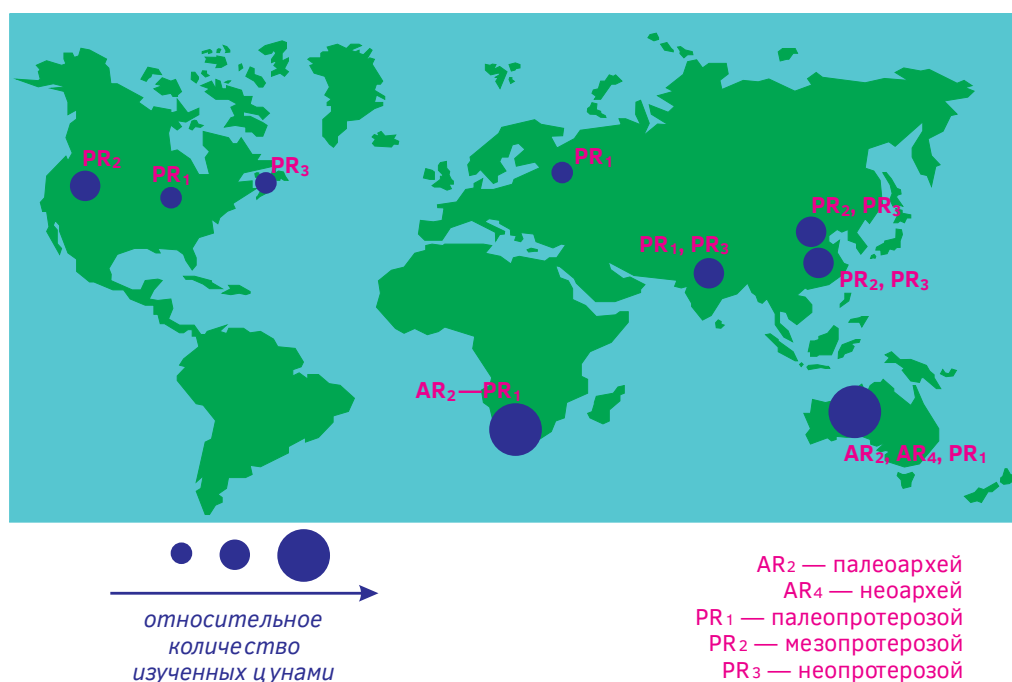
Относительное количество изученных цунами в докембрийской истории меняется (рис. 1). Для самых ранних этапов развития Земли эти события только предполагаются, однако их свидетельства пока не были обнаружены в ходе полевых исследований. Они появляются для палеоархея (конец раннего архея по отечественной шкале [5]), при этом сразу в довольно большом количестве. После мезоархейской «паузы» количество идентифицированных цунами снова возрастает в неоархее и далее в палеопротерозое (последняя треть позднего архея и ранний протерозой соответственно по отечественной шкале [5]). На оставшейся части протерозоя число цунами сначала снижается, а потом возрастает, однако не достигая палеопротерозойского уровня (рис. 1). Безусловно, такая динамика отражает скорее неравномерный исследовательский интерес к различным временным интервалам докембрия, однако палеоархейский и палеопротерозойский пики гипотетически могут отражать и реальное усиление действия факторов геологической эволюции (например, увеличение частоты космических импактов или интенсификацию

сейсмичности), способствующих более частому и/или масштабному проявлению цунами.

В географическом отношении докембрийские цунами известны из различных регионов мира (рис. 2). При этом география протерозойских (особенно палеопротерозойских) катастроф такого рода оказывается более широкой, чем архейских. Последние известны лишь из Австралии и Южной Африки. Гипотетическое цунами на территории России (Балтийский щит) также относится к первой половине протерозоя [1]. Хотя палеотектонические реконструкции для докембрия (особенно для архея) еще остаются предметом дискуссий [22, 23, 26], их различные варианты указывают на проявление цунами в действительно разных секторах планеты в протерозое.

В имеющейся литературе рассматриваются только две причины докембрийских цунами: импактная и сейсмическая (Приложение). Архейские катастрофы вызывались большей частью ударами космических тел, что неудивительно с учетом интенсивности этих процессов на ранних этапах планетарной эволюции [24, 25, 31]. Напротив, для протерозойских цунами чаще указывается сейсмическая и, как правило, более локальная причина.

Характер информации о докембрийских цунами в анализируемой литературе достаточно



ДОСТУП
К ИСХОДНЫМ
ДАННЫМ

URL-адрес



Рис. 2. Пространственное распределение изученных докембрийских цунами. Исходные данные размещены в Цифровом репозитории ЮФУ; для удобства доступа к ним указан QR-код

Fig. 2. Spatial distribution of the studied Precambrian tsunamis. The original data are stored in the Digital repository of the SFU; QR-code is indicated to facilitate access to them

однородный (Приложение). В большинстве случаев речь идет о седиментологических интерпретациях состава (например, присутствие обломков большой размерности) и текстурных особенностей пород (вполне очевидно, что они являются большей частью метаморфическими, и, следовательно, установление их изначальной осадочной природы — отдельная задача). В очень редких случаях используются геохимические, минералогические и палеонтологические (последние только для протерозоя) свидетельства. Нередко интерпретации являются вторичными, т.е. изначально устанавливается геологическое событие, которое могло спровоцировать возникновение цунами, что формирует основу для последующей интерпретации особенностей пород. Чаще всего такой подход относится к импактным цунами. При этом важно, что в большинстве отобранных источников интерпретации цунами носят однозначный характер, тогда как альтернативные объяснения (например, «цунами» могли на самом деле формироваться под действием сильных штормов) предложены лишь в 13% работ (Приложение). Это указывает на довольно некритичный подход специалистов (безусловно, не всех) к интерпретациям.

Обсуждение результатов

Представленное выше обобщение сведений о докембрийских цунами позволяет предложить ряд интерпретаций. Прежде всего интерес представляет полнота имеющейся информации. С учетом древности комплексов и их метаморфизма кажется довольно удивительным обнаружение свидетельств цунами в количестве нескольких десятков из разных временных интервалов и регионов. Однако это отнюдь не говорит о действительной полноте информации. Во-первых, длительность докембрия составляет около 4 млрд лет [14]. Если взять за основу современную повторяемость цунами [17], то получаем, что имеющиеся свидетельства касаются лишь примерно 0,0000001% возможного числа этих катастроф на данном интервале. Стоит также обратить внимание на отсутствие данных (возможно, невозможность их получения в принципе) для гадея-эоархея и их ограниченность для мезоархея (рис. 1). В пространственном отношении лишь в структурах Австралии и Южной Африки найдены свидетельства архейских цунами, а для протерозоя белыми пятнами оказываются Северная Африка и Аравия, Сибирь и Южная Америка, не говоря уже об Антарктиде, несмотря на широкое распространение там докембрийских комплексов. В этой связи даже кажущиеся необычно многочисленными

свидетельства цунами, представленные в литературе (Приложение), являются, скорее всего, лишь случайно сохранившимися и столь же случайно обнаруженными. Это, однако, не снижает их ценности, т.к. они подтверждают распространенность данных катастрофических явлений в докембрии.

Стоит отметить, что геологические процессы, которые могут выступать в качестве причин цунами, активно действовали в докембрии. Такими причинами являются не только космические импакты [9], интенсивность которых на ранних этапах эволюции планеты действительно была высока [24, 25, 31], но также землетрясения, подводные оползни, извержения вулканов и особые метеорологические явления [9, 17]. Хотя время и механизм инициации тектоники литосферных плит остаются предметом дискуссий в современной геологии, имеющиеся представления указывают на ее функционирование на протяжении хотя бы части докембрия [2, 8, 27, 36, 39], что позволяет предполагать широкое проявление связанной с ней сейсмичности и, как следствие, цунами. Подводные оползни также известны из докембрия [11, 18, 19], и нет оснований сомневаться, что некоторые из них были способны генерировать цунами. То же самое относится и к подводным извержениям вулканов [6, 38]. Выдвигать гипотезы о метеорологических цунами сложнее, т.к. их механизм связан с колебаниями атмосферного давления [28], а известно, что в докембрии оно не только отличалось от современного, но и испытывало долговременные изменения [34]. Сказанное вновь указывает на значительную неполноту информации о докембрийских цунами. С одной стороны, действие отмеченных геологических процессов на этом интервале говорит о том, что проявления цунами могли быть не менее частыми, чем в настоящее время. С другой стороны, те из них, что вызывались подводными оползнями, подводными вулканическими извержениями и, возможно, метеорологическими явлениями, пока не идентифицированы в породных комплексах.

Значительная неполнота информации может быть связана с рядом обстоятельств, а именно плохой сохранностью свидетельств цунами в осадочных последовательностях (тем более с учетом последующего метаморфизма), сложностью их идентификации, а также недостаточным интересом исследователей [9, 30, 35, 37]. Особо следует отметить трудности различения цунамилов и штормовых отложений, которые современным ученым представляются значительными, при этом даже при изучении гораздо более молодых осадочных

комплексов [21]. Использование при идентификации цунамитов преимущественно седиментологических критериев видится вполне оправданным, однако преобладание столь однозначных, по сути безальтернативных интерпретаций в работах по докембрию (Приложение) кажется удивительным, в том числе и при сравнении с аналогичными блоками информации по более поздним интервалам геологического времени и, в частности, по триасовому периоду [30]. Это лишь усиливает гипотетический характер информации о докембрийских цунами, делая целесообразным ее последующий критический анализ. Нельзя исключать, что часть установленных цунамитов на самом деле не являются таковыми.

Сравнение с информацией по фанерозою [9, 30] указывает, что космические импакты были как будто более частой причиной цунами именно в докембрии (особенно в архее). Однако при этом необходимо понимать, что фанерозой имеет значительно меньшую длительность [14], а число импактных цунами, еще не идентифицированных в фанерозойских осадочных последовательностях, могло быть значительным [9]. Более того, необходимо принять во внимание площади, которые были заняты морями и океанами в докембрии, а также учесть, что космические импакты архея сами по себе привлекают исследователей, вследствие чего шанс обнаружить связанные с ними цунами возрастает. Тем не менее имеющаяся информация (Приложение) все-таки позволяет выдвинуть предположение о снижении доли импактных цунами после архея. Другая гипотеза касается увеличения доли сейсмогенных цунами с протерозоя (Приложение), что может объясняться, в том числе, установлением тектоники литосферных плит современного типа именно в середине докембрия.

Заключение

Предпринятый синтез ранее опубликованной информации о докембрийских цунами позволяет

сделать три общих вывода. Во-первых, свидетельства цунами получены уже из раннего архея и более поздних временных интервалов; особо выделяются палеоархей (конец раннего архея) и палеопротерозой (ранний протерозой). Во-вторых, предполагаемые архейские цунами проявились в Австралии и Южной Африке и имели большей частью импактную причину; напротив, протерозойские цунами известны из различных регионов, а по природе своей были чаще сейсмическими. В-третьих, хотя ранее опубликованная информация указывает на проявление цунами в докембрии, она отличается предельной неполнотой как в части числа известных событий, так и в части их природы.

Данная работа указывает на перспективность изучения докембрийских цунами. Безусловно, широкая распространенность докембрийских комплексов на территории России может рассматриваться в качестве существенной предпосылки для разработки отмеченной тематики. Иными словами, отечественные геологи вполне могут внести весомый вклад в совершенствование соответствующих представлений, а традиции российской науки, и прежде всего нацеленность на построение целостных концептуальных схем позволяют вывести эти представления на принципиально новый уровень. С практической точки зрения это может быть важно для поиска и аргументации уникальности новых объектов геологического наследия, являющегося ценным ресурсом, освоение которого несет социально-экономические выгоды.

Приложение

Данные, скомпилированные и систематизированные в целях настоящего исследования, представлены в открытом доступе в Цифровом репозитории Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону, РФ): <https://hub.sfedu.ru/repository/material/801311452/>, DOI: 10.18522/sfedu.dataset.801311452

ЛИТЕРАТУРА

1. Винтер Г.Э. О вологодской находке раннепротерозойского Metazoa // *Фундаментальные исследования*. 2005. № 10. С. 92—93.
2. Грачев А.Ф. Первый миллиард лет развития Земли (3,8—2,8 млрд лет): анализ осадочных и магматических формаций и геодинамика // *Физика Земли*. 2005. № 11. С. 8—34.
3. Махинов А.Н. Оползень и цунами на реке Буре 11 декабря 2018 года // *Природа*. 2019. № 4. С. 12—22.
4. Мельникова Е.В. Издательство Elsevier и информационная система Scopus // *Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы*. 2017. № 7. С. 19—22.
5. Стратиграфический кодекс России. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 96 с.
6. Belyaev A.M. Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks, Hogland Island, Russia // *Journal of Earth Science*. 2018. V. 29. P. 1431—1442.

7. Benn J.L. Tsunamis, seismic seiches, and undetermined wave events on New Zealand lakes, 1846—2022: a review // *Science for Conservation*. 2023. No. 338. P. 59.
8. Brown M., Johnson T., Gardiner N.J. Plate Tectonics and the Archean Earth // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020. V. 48. P. 291—320.
9. Dawson A.G., Stewart I. Tsunami deposits in the geological record // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 200. P. 166—183.
10. Diedrich C. Tsunami killed and backwashed accumulated crinoids in Middle Triassic (Anisian) intracratonic Germanic Basin carbonates of central Europe // *Carbonates and Evaporites*. 2017. V. 32. P. 435—458.
11. Draganits E., Schlaf J., Grasemann B., Argles T. Giant submarine landslide grooves in the Neoproterozoic/Lower Cambrian Phe Formation, northwest Himalaya: Mechanisms of formation and palaeogeographic implications // *Sedimentary Geology*. 2008. V. 205. P. 126—141.
12. Eriksson P.G., Catuneanu O., Sarkar S., Tirsgaard H. Patterns of sedimentation in the Precambrian // *Sedimentary Geology*. 2005. V. 176. P. 17—42.
13. Eriksson P.G., Banerjee S., Catuneanu O., Sarkar S., Bumby A.J., Mtshuku M.N. Prime controls on Archean-Palaeoproterozoic sedimentation: Change over time // *Gondwana Research*. 2007. V. 12. P. 550—559.
14. Geologic Time Scale 2020. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1357 p.
15. Glikson A.Y. Geochemical signatures of Archean to Early Proterozoic Maria-scale oceanic impact basins // *Geology*. 2005. V. 33. P. 125—128.
16. Glikson A.Y., Vickers J. Asteroid impact connections of crustal evolution // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 57. P. 79—95.
17. Gusiakov V.K. Global Occurrence of Large Tsunamis and Tsunami-like Waves Within the Last 120 years (1900—2019) // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1261—1266.
18. Haugaard R., Ootes L., Konhauser K. Neoarchaeal banded iron formation within a ~2620 Ma turbidite-dominated deep-water basin, Slave craton, NW Canada // *Precambrian Research*. 2017. V. 292. P. 130—151.
19. Horwitz R.C. Large scale slumping in the Ashburton trough of Western Australia // *Precambrian Research*. 1981. V. 14. P. 389—401.
20. Jain N., Virmani D., Abraham A. Tsunami in the last 15 years: a bibliometric analysis with a detailed overview and future directions // *Natural Hazards*. 2021. V. 106. P. 139—172.
21. Kennedy A.B., Cox R., Dias F. Storm Waves May Be the Source of Some “Tsunami” Coastal Boulder Deposits // *Geophysical Research Letters*. 2021. V. 48. P. e2020GL090775.
22. Li Z.-X., Liu Y., Ernst R. A dynamic 2000—540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle // *Earth-Science Reviews*. 2023. V. 238. P. 104336.
23. Liu Y., Mitchell R.N., Li Z.X., Kirscher U., Pisarevsky S.A., Wang C. Archean geodynamics: Ephemeral supercontinents or long-lived supercratons // *Geology*. 2021. V. 49. P. 794—798.
24. Lowe D.R., Byerly G.R. The terrestrial record of Late Heavy Bombardment // *New Astronomy Reviews*. 2018. V. 81. P. 39—61.
25. Marchi S., Drabon N., Schulz T., Schaefer L., Nesvorný D., Bottke W.F., Koeberl C., Lyons T. Delayed and variable late Archean atmospheric oxidation due to high collision rates on Earth // *Nature Geoscience*. 2021. V. 14. P. 827—831.
26. Merdith A.S., Williams S.E., Collins A.S., Tetley M.G., Mulder J.A., Blades M.L., Young A., Armistead S.E., Cannon J., Zahirovic S., Müller R.D. Extending full-plate tectonic models into deep time: Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic // *Earth-Science Reviews*. 2021. V. 214. P. 103477.
27. Ning W., Kusky T., Wang L., Huang B. Archean eclogite-facies oceanic crust indicates modern-style plate tectonics // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2022. V. 119. P. e2117529119.
28. Rabinovich A.B. Twenty-Seven Years of Progress in the Science of Meteorological Tsunamis Following the 1992 Daytona Beach Event // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1193—1230.
29. Ruban D.A. Research in tsunami-related sedimentology during 2001–2010: can a single natural disaster re-shape the science? // *GeoActa*. 2011. V. 10. P. 79—85.
30. Ruban D.A. Tsunamis Struck Coasts of Triassic Oceans and Seas: Brief Summary of the Literary Evidence // *Water*. 2023. V. 15. P. 1590.
31. Schmieder M., Kring D.A. Earth's Impact Events through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits // *Astrobiology*. 2020. V. 20. P. 91—141.
32. Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst E., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poire D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao S., Zhang S., Zhou Y., Zhu M. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian time-scale // *Journal of the Geological Society*. 2022. V. 179. P. jgs2020-222.
33. Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J., Mayr P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis // *Scientometrics*. 2021. V. 126. P. 5113—5142.
34. Som S.M., Buick R., Hagadorn J.W., Blake T.S., Perreault J.M., Harnmeijer J.P., Catling D.C. Earth's air pressure 2.7 billion years ago constrained to less than half of modern levels // *Nature Geoscience*. 2016. V. 9. P. 448—451.

35. *Spiske M., Piepenbreier J., Benavente C., Bahlburg H.* Preservation potential of tsunami deposits on arid siliciclastic coasts // *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 126. P. 58—73.
36. *Stern R.J.* The Orosirian (1800–2050 Ma) plate tectonic episode: Key for reconstructing the Proterozoic tectonic record // *Geoscience Frontiers*. 2023. V. 14. P. 101553.
37. *Weiss R., Bahlburg H.* A note on the preservation of offshore tsunami deposits // *Journal of Sedimentary Research*. 2006. V. 76. P. 1267—1273.
38. *Wilson A., Riganti A.* Architectural and Compositional Diversity of Early Earth Ocean Floor Evidenced by the Paleoarchean Nondweni Greenstone Belt, South Africa // *Journal of Petrology*. 2022. V. 63. P. egac108.
39. *Wu C., Wang G., Zhou Z., Zhao X., Haproff P.J.* Late Archean–Paleoproterozoic plate tectonics along the northern margin of the North China craton // *Bulletin of the Geological Society of America*. 2023. V. 135. P. 967—989.

REFERENCES

1. *Vinter G.E.* On the Vologda finding of the Early Proterozoic Metazoa // *Fundamental Research*. 2005. No. 10. P. 92—93 (In Russian).
2. *Grachev A.F.* The first billion years of the development of the Earth (3.8—2.8 bln yr): Analysis of sedimentary and magmatic formations and geodynamics // *Physics of the Earth*. 2005. No. 11. P. 8—34 (In Russian).
3. *Makhinov A.V.* Landslide and tsunami on the Bureya River on December 11, 2018 // *Nature*. 2019. No. 4. P. 12—22 (In Russian).
4. *Melnikova E.V.* Publisher of Elsevier and information system Scopus // *Scientific and technical information. Series 1: Organization and methods of information work*. 2017. No 7. P. 19—22 (In Russian).
5. *Stratigraphical code of Russia*. Sankt-Petersburg: VSEGEI, 2019. 96 p. (In Russian).
6. *Belyaev A.M.* Paleoproterozoic Underwater Volcanism and Microfossil-Like Structures in the Metasedimentary Siliceous Rocks, Hogland Island, Russia // *Journal of Earth Science*. 2018. V. 29. P. 1431—1442.
7. *Benn J.L.* Tsunamis, seismic seiches, and undetermined wave events on New Zealand lakes, 1846—2022: a review // *Science for Conservation*. 2023. No. 338. P. 59.
8. *Brown M., Johnson T., Gardiner N.J.* Plate Tectonics and the Archean Earth // *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 2020. V. 48. P. 291—320.
9. *Dawson A.G., Stewart I.* Tsunami deposits in the geological record // *Sedimentary Geology*. 2007. V. 200. P. 166—183.
10. *Diedrich C.* Tsunami killed and backwashed accumulated crinoids in Middle Triassic (Anisian) intracratonic Germanic Basin carbonates of central Europe // *Carbonates and Evaporites*. 2017. V. 32. P. 435—458.
11. *Draganits E., Schlaf J., Grasemann B., Argles T.* Giant submarine landslide grooves in the Neoproterozoic/Lower Cambrian Phe Formation, northwest Himalaya: Mechanisms of formation and palaeogeographic implications // *Sedimentary Geology*. 2008. V. 205. P. 126—141.
12. *Eriksson P.G., Catuneanu O., Sarkar S., Tirsgaard H.* Patterns of sedimentation in the Precambrian // *Sedimentary Geology*. 2005. V. 176. P. 17—42.
13. *Eriksson P.G., Banerjee S., Catuneanu O., Sarkar S., Bumby A.J., Mtimkulu M.N.* Prime controls on Archean–Palaeoproterozoic sedimentation: Change over time // *Gondwana Research*. 2007. V. 12. P. 550—559.
14. *Geologic Time Scale 2020*. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1357 p.
15. *Glikson A.Y.* Geochemical signatures of Archean to Early Proterozoic Maria-scale oceanic impact basins // *Geology*. 2005. V. 33. P. 125—128.
16. *Glikson A.Y., Vickers J.* Asteroid impact connections of crustal evolution // *Australian Journal of Earth Sciences*. 2010. V. 57. P. 79—95.
17. *Gusiakov V.K.* Global Occurrence of Large Tsunamis and Tsunami-like Waves Within the Last 120 years (1900—2019) // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1261—1266.
18. *Haugaard R., Ootes L., Konhauser K.* Neoarchean banded iron formation within a ~2620 Ma turbidite-dominated deep-water basin, Slave craton, NW Canada // *Precambrian Research*. 2017. V. 292. P. 130—151.
19. *Horwitz R.C.* Large scale slumping in the Ashburton trough of Western Australia // *Precambrian Research*. 1981. V. 14. P. 389—401.
20. *Jain N., Virmani D., Abraham A.* Tsunami in the last 15 years: a bibliometric analysis with a detailed overview and future directions // *Natural Hazards*. 2021, V. 106. P. 139—172.
21. *Kennedy A.B., Cox R., Dias F.* Storm Waves May Be the Source of Some “Tsunami” Coastal Boulder Deposits // *Geophysical Research Letters*. 2021. V. 48. P. e2020GL090775.
22. *Li Z.-X., Liu Y., Ernst R.* A dynamic 2000—540 Ma Earth history: From cratonic amalgamation to the age of supercontinent cycle // *Earth-Science Reviews*. 2023. V. 238. P. 104336.
23. *Liu Y., Mitchell R.N., Li Z.X., Kirscher U., Pisarevsky S.A., Wang C.* Archean geodynamics: Ephemeral supercontinents or long-lived supercratons // *Geology*. 2021. V. 49. P. 794—798.
24. *Lowe D.R., Byerly G.R.* The terrestrial record of Late Heavy Bombardment // *New Astronomy Reviews*. 2018. V. 81. P. 39—61.
25. *Marchi S., Drabon N., Schulz T., Schaefer L., Nesvorný D., Bottke W.F., Koeberl C., Lyons T.* Delayed and variable late Archean atmospheric oxidation due to

- high collision rates on Earth // *Nature Geoscience*. 2021. V. 14. P. 827—831.
26. Merdith A.S., Williams S.E., Collins A.S., Tetley M.G., Mulder J.A., Blades M.L., Young A., Armistead S.E., Cannon J., Zahirovic S., Müller R.D. Extending full-plate tectonic models into deep time: Linking the Neoproterozoic and the Phanerozoic // *Earth-Science Reviews*. 2021. V. 214. P. 103477.
27. Ning W., Kusky T., Wang L., Huang B. Archean eclogite-facies oceanic crust indicates modern-style plate tectonics // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2022. V. 119. P. e2117529119.
28. Rabinovich A.B. Twenty-Seven Years of Progress in the Science of Meteorological Tsunamis Following the 1992 Daytona Beach Event // *Pure and Applied Geophysics*. 2020. V. 177. P. 1193—1230.
29. Ruban D.A. Research in tsunami-related sedimentology during 2001–2010: can a single natural disaster re-shape the science? // *GeoActa*. 2011. V. 10. P. 79—85.
30. Ruban D.A. Tsunamis Struck Coasts of Triassic Oceans and Seas: Brief Summary of the Literary Evidence // *Water*. 2023. V. 15. P. 1590.
31. Schmieder M., Kring D.A. Earth's Impact Events through Geologic Time: A List of Recommended Ages for Terrestrial Impact Structures and Deposits // *Astrobiology*. 2020. V. 20. P. 91—141.
32. Shields G.A., Strachan R.A., Porter S.M., Halverson G.P., Macdonald F.A., Plumb K.A., de Alvarenga C.J., Banerjee D.M., Bekker A., Bleeker W., Brasier A., Chakraborty P.P., Collins A.S., Condie K., Das K., Evans D.A.D., Ernst E., Fallick A.E., Frimmel H., Fuck R., Hoffman P.F., Kamber B.S., Kuznetsov A.B., Mitchell R.N., Poire D.G., Poulton S.W., Riding R., Sharma M., Storey C., Stueeken E., Tostevin R., Turner E., Xiao S., Zhang S., Zhou Y., Zhu M. A template for an improved rock-based subdivision of the pre-Cryogenian timescale // *Journal of the Geological Society*. 2022. V. 179. P. jgs2020-222.
33. Singh V.K., Singh P., Karmakar M., Leta J., Mayr P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis // *Scientometrics*. 2021. V. 126. P. 5113—5142.
34. Som S.M., Buick R., Hagadorn J.W., Blake T.S., Perreault J.M., Harnmeijer J.P., Catling D.C. Earth's air pressure 2.7 billion years ago constrained to less than half of modern levels // *Nature Geoscience*. 2016. V. 9. P. 448—451.
35. Spiske M., Piepenbreier J., Benavente C., Bahlburg H. Preservation potential of tsunami deposits on arid siliciclastic coasts // *Earth-Science Reviews*. 2013. V. 126. P. 58—73.
36. Stern R.J. The Orosirian (1800–2050 Ma) plate tectonic episode: Key for reconstructing the Proterozoic tectonic record // *Geoscience Frontiers*. 2023. V. 14. P. 101553.
37. Weiss R., Bahlburg H. A note on the preservation of offshore tsunami deposits // *Journal of Sedimentary Research*. 2006. V. 76. P. 1267—1273.
38. Wilson A., Riganti A. Architectural and Compositional Diversity of Early Earth Ocean Floor Evidenced by the Paleoproterozoic Nondweni Greenstone Belt, South Africa // *Journal of Petrology*. 2022. V. 63. P. egac108.
39. Wu C., Wang G., Zhou Z., Zhao X., Haproff P.J. Late Archean–Paleoproterozoic plate tectonics along the northern margin of the North China craton // *Bulletin of the Geological Society of America*. 2023. V. 135. P. 967—989.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Dmitry A. Ruban — undertook bibliographical analysis, developed the article concept, prepared the article text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Рубан Дмитрий Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент Южного федерального университета.
43, 23-я линия, г. Ростов-на-Дону 344019, Россия
e-mail: ruban-d@mail.ru
тел.: +7 (903) 463-43-44
SPIN-код: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>

Dmitry A. Ruban — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Southern Federal University.
43, 23 Line, Rostov-on-Don 344019, Russia
e-mail: ruban-d@mail.ru
tel.: +7 (903) 463-43-44
SPIN-code: 5671-0800
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2847-645X>



ФОСФАТИЗИРОВАННЫЕ БАКТЕРИИ ИЗ МЕЛОВЫХ ФОСФОРИТОВ СИРИИ, РАЙОН ПАЛЬМИРЫ

М. АЛЗАММАР^{1,*}, Е.А. ЖЕГАЛЛО²

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

² Палеонтологический институт им. А.А. Борисака РАН
123, ул. Профсоюзная, г. Москва 117647, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Фосфатизированные бактерии различной формы и многочисленные структуры, являющиеся результатом их жизнедеятельности, обнаружены в пальмирских фосфоритах в Сирии, относящихся к позднему мелу (кампан). Ранее они не изучались и не описаны в работах, посвященных сирийским фосфоритам, несмотря на их огромное значение в процессах формирования месторождений фосфоритов, отсюда важность и уникальность данного исследования.

Цель. Выявить и охарактеризовать разновидности бактериальных микрофоссилий в сирийских фосфоритах.

Материалы и методы. Фактическую основу исследования составила авторская коллекция фосфоритов из фосфатных пластов карьера Альшаркия, прозрачных шлифов оптической микроскопии и препаратов для электронно-микроскопического анализа. Фото шлифов получено на световом микроскопе МИКМЕД-5 (Россия). Исследование образцов методом СЭМ проводили на электронных микроскопах TESCAN VEGA-3, TESCAN VEGA-2 (Чехия) и EVO-50 Zeiss с микроанализатором INCA Oxford 350 (Великобритания). Образцы были напылены золотом.

Результаты. Установлено пять разновидностей фосфатизированных бактерий и пять разных структур, образовавшихся в результате их жизнедеятельности; показано внутреннее строение фосфатных зерен, обусловленное деятельностью бактерий.

Выводы. В образовании сирийских фосфоритов помимо макробионтов (фораминиферы, двусторонки, костные и другие органические остатки) участвовали разнообразные бактерии, активно действовавшие на стадии осадконакопления и в диагенезе.

Ключевые слова: фосфатизированные бактерии, бактериальные формы, микробиолиты, электронная микроскопия, верхний кампан, фосфорит, Пальмира, Сирия

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Алзаммар М., Жегалло Е.А. Фосфатизированные бактерии из меловых фосфоритов Сирии, район Пальмиры. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):18—27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-18-27>

Статья поступила в редакцию 12.05.2023

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

PHOSPHATIZED BACTERIA FROM THE CRETACEOUS PHOSPHORITES OF SYRIA, PALMYRA REGION

MAZEN ALZAMMAR^{1,*}, ELENA A. ZHEGALLO²

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

² *Paleontological Institute named after A.A. Borisyak of the RAS
123, Profsoyuznaya str., Moscow 117647, Russia*

ABSTRACT

Background. Phosphatized bacteria of various shapes and numerous structures resulting from their vital activity have been found in the Late Cretaceous (Campanian) of Palmyra phosphorites deposits in Syria. Despite their great importance in the formation of phosphorite deposits, these bacteria have not been previously described in publications on Syrian phosphorites. This fact determines the relevance and originality of this study.

Aim. To identify and describe varieties of bacterial microfossils in Syrian phosphorites.

Materials and methods. The research material included the authors' collection of phosphorites from the phosphate layers of the Alsharqiya quarry, thin sections for optical microscopy and samples for electron microscopic analysis. The photos of thin sections were obtained using a MIKMED-5 optical microscope (Russia). A SEM analysis was conducted using a TESCAN VEGA-3, TESCAN VEGA-2 electron microscope (Czech Republic). A semi-quantitative elemental analysis of the sample composition was performed using an EVO-50 Zeiss electron microscope with an INCA Oxford 350 microanalyzer (UK). The samples were sputtered with gold.

Results. Five varieties of phosphatized bacteria, and five different structures formed as a result of their vital activity were identified. The internal structure of phosphate grains due to the activity of bacteria was established.

Conclusions. In addition to macrobionts (foraminifera, bivalves, bone remains, and other organic remains), a variety of bacteria were involved in the formation of Syrian phosphorites at the stage of sedimentation and diagenesis.

Keywords: phosphatized bacteria, bacterial forms, microbiolites, electron microscopy, upper Campanian, phosphorite, Palmyra, Syria

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

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

For citation: Alzammar M., Zhegallo E.A. Phosphatized bacteria from the cretaceous phosphorites of Syria, Palmyra region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):18—27. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-18-27>

Manuscript received 12 May 2023

Accepted 24 May 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

Сирийские фосфориты являются частью крупного и важного в экономическом отношении фосфоритоносного мегабассейна Северной Африки — Ближнего Востока. В этом обширном регионе промышленные месторождения локализованы в отдельных бассейнах, в целом относящихся к южной периферии Тетиса и восточной — Палеоатлантики [6, С. 56; 9]. Район исследования расположен в южной части горной

цепи Пальмиры (Сирия) и входит в Пальмирский фосфоритоносный бассейн. В районе открытым способом добывают фосфориты месторождений Альшаркия из двух карьеров — А и Б. Продуктивной является толща верхнего кампана [11], формация Саваней, которая является частью группы Сухней. Мощность толщи варьирует от 17 до 317 м, мощность фосфоритовых пластов достигает 10—12 м [8, 9].

**Характеристики фосфоритов месторождения
Альшаркия**

На основании изучения прозрачных шлифов из руд месторождения Альшаркия установлено, что фосфатные компоненты представлены различными видами фосфатных зерен. Среди них установлены фосфатные оолиты, пеллеты, онколиты,

дазикладиевые водоросли, а также фораминиферы, диатомовые водоросли, фрагменты раковин беспозвоночных, много обломков скелетов позвоночных, в том числе и зубов рыб, копролиты. Размеры фосфатных зерен по большей части составляют от 0,05 до 0,5 мм, хотя встречаются миллиметровые и редко сантиметровые (рис. 1).

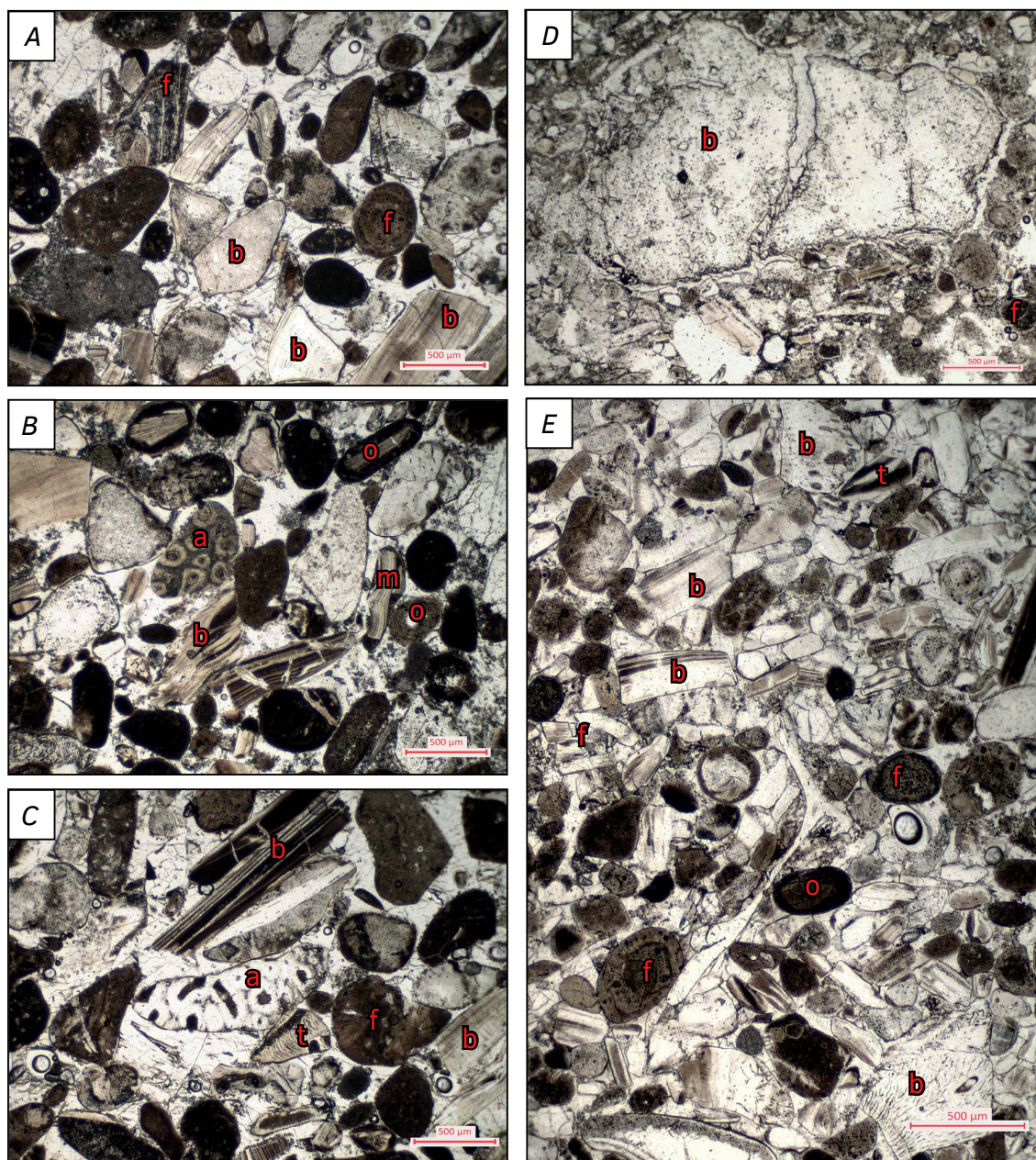


Рис. 1. Прозрачные шлифы из месторождения фосфорита Альшаркия, Сирия. А, В, С, D — образцы из карьера Б; Е — образец из карьера А, содержащий органические остатки: а — водоросли, b — кости, f — фораминиферы, o — оолиты, t — зубы, m — двустворчатые (моллюски)

Fig. 1. Thin sections from the Alsharqiya phosphorite deposit, Syria. A, B, C, D — samples from quarry B; E — sample from quarry A, containing organic remains: a — algae, b — bones, f — foraminifers, o — oolites, t — teeth, m — bi-valve (mollusc)

Все фосфатные зерна, если они не затронуты перекристаллизацией, проявляются как фрагменты фосфатизированных органических остатков биологических сообществ и скелетных частей беспозвоночных и позвоночных.

Цемент преимущественно карбонатный: микрокристаллический и мелкозернистый (спаррит), сложен кальцитом и микрокристаллическим доломитом. В некоторых случаях можно наблюдать большие хорошо сформированные ромбодры доломита и новообразованный кальцит. Конечно, многие органические структуры в случае наложенных диагенетических и катагенетических процессов определить просто невозможно.

Интересно отметить, что при изучении образцов под электронным микроскопом роль бактерий в образовании и концентрации фосфорита оказывается более важной и существенной в регионе Пальмиры, чем предполагалось ранее (рис. 2). Во многих недавних исследованиях, посвященных сирийским фосфоритам, роль бактерий как существенного фактора их формирования не рассматривалась. Большинство зерен фосфорита представляют собой фосфатизированные фрагменты сообществ бактерий в виде кокков, трубочек, нитевидных форм, а также минерализованного гликокаликса в виде пластинчатых микробиальных пленок и листоватых структур, что свидетельствует о важной роли бактерий не только на стадии осадконакопления, но и позднее, в диагенезе. И эта огромная роль, которую играют бактерии

в геологических процессах, обусловлена их ничтожными размерами, так как бактерии легко проникают в трещины и поры, и они приспособлены к неблагоприятным условиям: высыханию, холодам, нагреванию до 80—90 °С, не теряя при этом жизнеспособности, а их споры выдерживают кипячение [2].

Необходимо подчеркнуть, что продуктом жизнедеятельности бактерий является образование карбонатов [1] и, что симптоматично, это вводит понятие бактериогенных осадков [там же, стр. 14]. В том случае если фосфор будет присутствовать в среде в достаточном количестве, с помощью бактерий образуется фосфорит. Обогащение фосфором произошло из глубинных вод на северном краю Аравийской платформы потоками, которые поднимались на эту обширную платформу [10].

Для описания формы и структур, возникших в результате жизнедеятельности бактерий, использован термин «микробиолиты», означающий органоосадочные образования, возникшие как результат деятельности донных микробиальных сообществ, улавливающих и связывающих частицы вещества и/или образующиеся в результате осаждения хемогенного материала [5, 12]. Авторы разделили эти формы на две основные группы: в первую входят сами бактериальные формы, эта группа делится на 5 морфологически отличающихся друг от друга типов бактерий, а во вторую группу входят структуры, возникшие в результате жизнедеятельности бактерий,

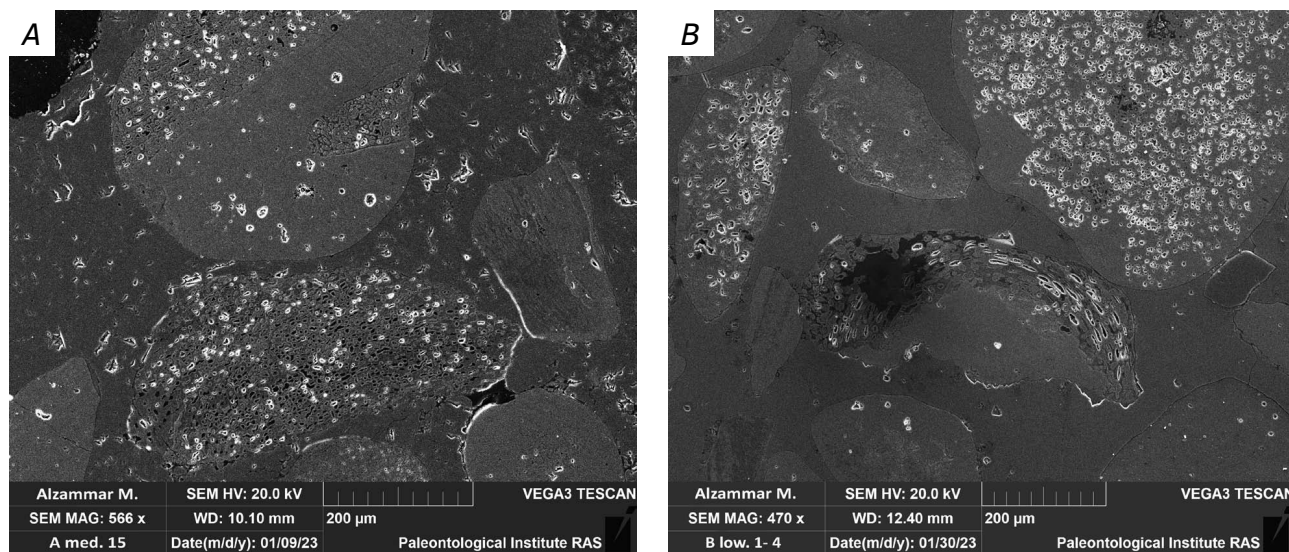


Рис. 2. Прозрачные шлифы из месторождения фосфорита Альшаркия под СЭМ, показывающие жизнедеятельность бактерий на фосфоритных зернах

Fig. 2. Thin sections from the Alsharqiya phosphorite deposit, under SEM, showing the the vital activity of bacteria on phosphorite grains

эта группа делится также на 5 морфологически различных типов.

Морфологические типы фосфатизированных бактерий и микробиолитов в сирийских меловых фосфоритах Альшаркии включают следующие разновидности.

1. Кокковидные бактерии — фосфатизированные кокковидные бактерии слагают зерна диаметром от 1 до 3,5 мкм, редко до 5 мкм. Они встречаются в виде отдельных зерен, колоний и агрегатов (рис. 3), они разбросаны по поверхности зерен и наблюдались в пустотах диаметром 30—600 мкм, часто имеющих правильную округлую форму. Эти пустоты наверняка являлись местами обитания более крупных организмов (рис. 3Е) или находятся в каналах, трубках, и пустотах диаметром 5—15 мкм, которые наблюдались при изучении шлифов при СЭМ (рис. 3В, С, D).

2. Стрептококковидные бактерии — округлые кокковидные бактерии диаметром от 0,3 до 0,8 мкм, собраны в цепочки длиной от 5 до 10 мкм, из-за чисто внешнего сходства названы нами стрептококками (рис. 4). Они встречаются в трубках и пустотах диаметром от 5 до 20 мкм, а длиной до 40 мкм, также покрывают внутренние стенки этих трубок и пустот. Некоторые из этих пустот выглядят так, как если бы они были вызваны растворением раковин фораминифер и других организмов.

3. Клеточные бактерии — фосфатизированные бактериальные клетки длиной от 1 до 1,5 мкм и шириной около 0,5 мкм, связанные в виде цепочек, располагаются на внешней поверхности зерен (рис. 5А).

4. Овальные (цилиндрические) бактерии — удлиненно-цилиндрической формы с сужающимися концами, длиной 7—10 мкм и диаметром

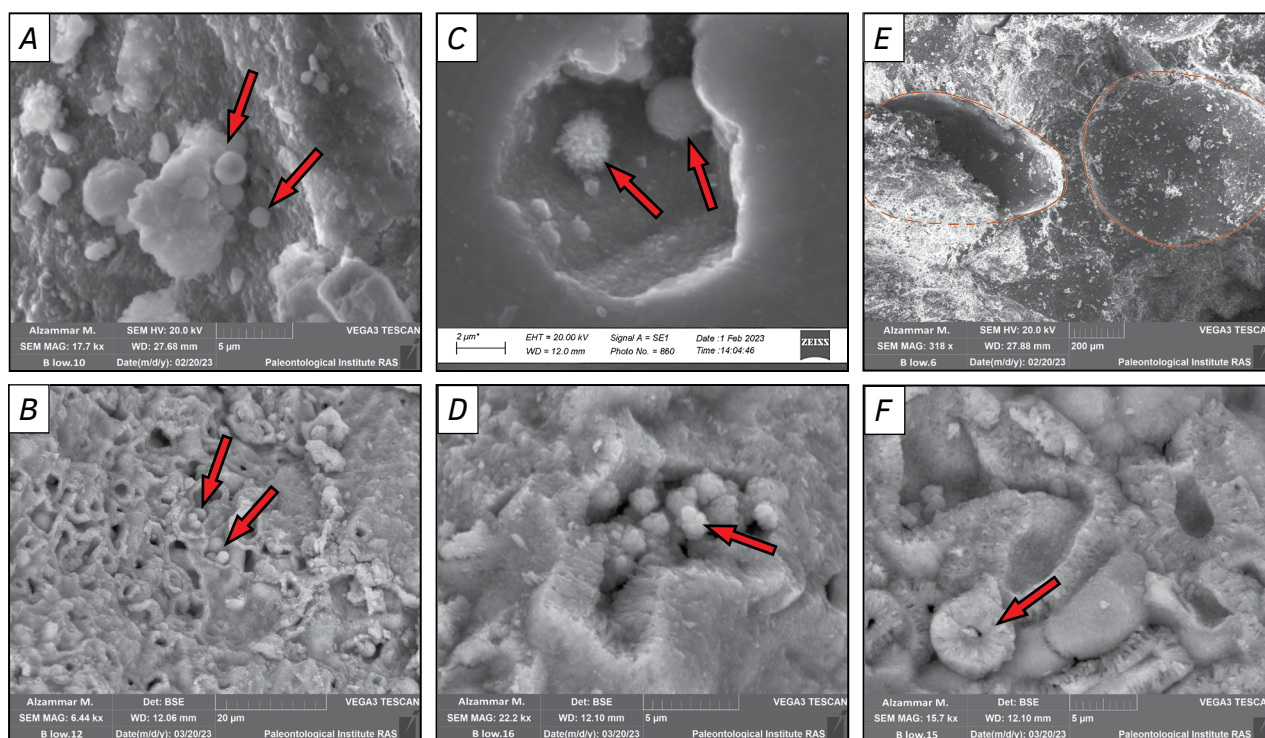


Рис. 3. Кокковидные фосфатизированные бактерии месторождения Альшаркия, Сирия. А — кокковидные бактерии в виде отдельных зерен, и индивидуальное объединение; В, С — кокковидные бактерии находятся в каналах, трубках, созданных бактериями в бактериальном сообществе; D — фрагмент фото В показывает кокковидные бактериальные скопления; Е — поверхностные пустоты, вызванные более крупными организмами, которые являются благоприятными местами для бактерий; F — место разрыва, где можно увидеть минерализованную внутреннюю структуру бактерий

Fig. 3. Cocco-like phosphatized bacteria from the Alsharqiya deposit, Syria. A — cocco-like bacteria in the form of individual grains, and individual association; B, C — cocco-like bacteria, found in channels, tubes created by bacteria in the bacterial community; D — fragment of photo B, shows cocco-like bacterial clusters; E — surface voids caused by larger organisms, which are favorable places for bacteria; F — place of a break, where you can see the mineralized internal structure of the bacteria

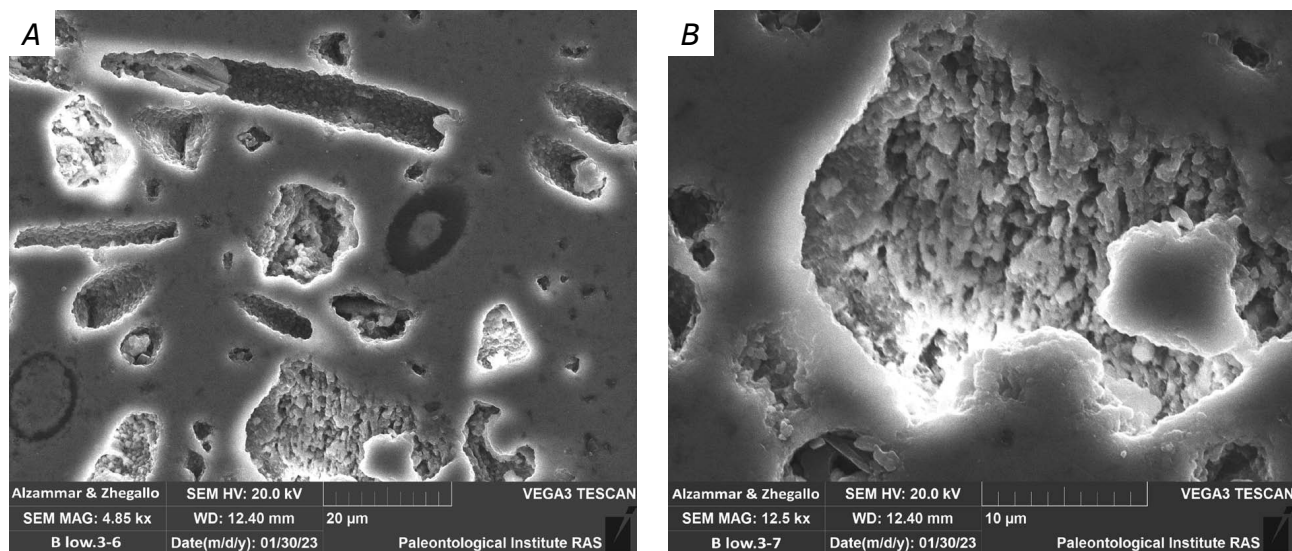


Рис. 4. Прозрачный шлиф из месторождения фосфорита Альшаркия, карьер Б, А — стрептококковидные бактерии в пустотах и каналах различного происхождения; В — фрагмент фото А

Fig. 4. Thin section from the Alsharqiya phosphorite deposits, quarry B, A — streptococcus-like bacteria within voids and channels of multiple origin; B — fragment of photo A

4—5 мкм (рис. 5В), по внешнему виду сходны с бациллами (Bacilli). Они обнаружены прикрепленными к твердой стенке поверхностных пустот, которые, очевидно, являлись местами обитания более крупных организмов.

5. Палочковидные бактерии — это бактерии, которые чем-то похожи на предыдущие, но с меньшими размерами, длиной от 1 до 3 мкм и диаметром около 0,5 мкм (рис. 5С). Они иногда соединены друг с другом в продольном направлении и выглядят как нити, по форме и размерам напоминающие цианобактерии и пурпурные бактерии.

Помимо фосфатизированных бактериальных форм выделено несколько микробиальных структур, возникших в результате жизнедеятельности бактерий. Их классифицировали на 5 типов.

1. Листоватые формы биопленок (гликокаликс) — остатки бактериальных форм, имеющие листоватую или пластинчатую форму. Предполагается, что это продукты литификации внеклеточной слизи — гликокаликса, выделяемого бактериями. Они встречаются как обособленные и самостоятельные формы прикрепленными к твердым стенкам поверхностных пустот или других зерен либо встречаются в виде минерализованных скоплений внутри трубок, образованных в основном бактериями (рис. 6А—С).

2. Минерализованные микробиальные пленки представлены скоплениями минерализованных бактериальных биопленок в виде фоссилизи-

рованных слоев, покрывающих другие плотные ассоциации, и имеют относительно крупные размеры, превышающие 100 мкм (рис. 6Д).

3. Трубовидные формы представляют собой трубки и каналы различной морфологии и размеров: прямолинейные, изгибающиеся, ветвящиеся (рис. 2, 3В), которые, по-видимому, формировались в результате жизнедеятельности бактерий, их диаметр имеет размеры от 5 до 20 мкм. Часть из них распределены разнонаправленно, а другие имеют определенную направленность (рис. 2В). Изнутри их стенки покрыты скоплениями бактериальных пленок (рис. 6А). В некоторых случаях они также содержат бактерии кокковидного типа или покрыты изнутри бактериями стрептококковидного типа.

4. Нитевидные формы — нитевидные образования, скорее всего, являются бактериями, состоят из бактериальных клеток, прикреплены к поверхностям, диаметром от 0,1 до 1 мкм (рис. 5Аб, Д).

5. Гранулы и микробиальные маты — объекты и формы, созданные бактериями, или участвующие в их создании, будь то изолированные объекты или слоистые формы, к этому типу относятся: оолиты, онколиты, микросгустки пелитоморфного карбонатного материала, слоистые формы в виде строматолитов и др. Размеры гранул разные, но большинство от 50 до 500 мкм (рис. 1).

Сохранившиеся остатки ископаемых микроорганизмов в древних фосфоритах часто имеют прекрасную сохранность [7]. Это объясняется тем,

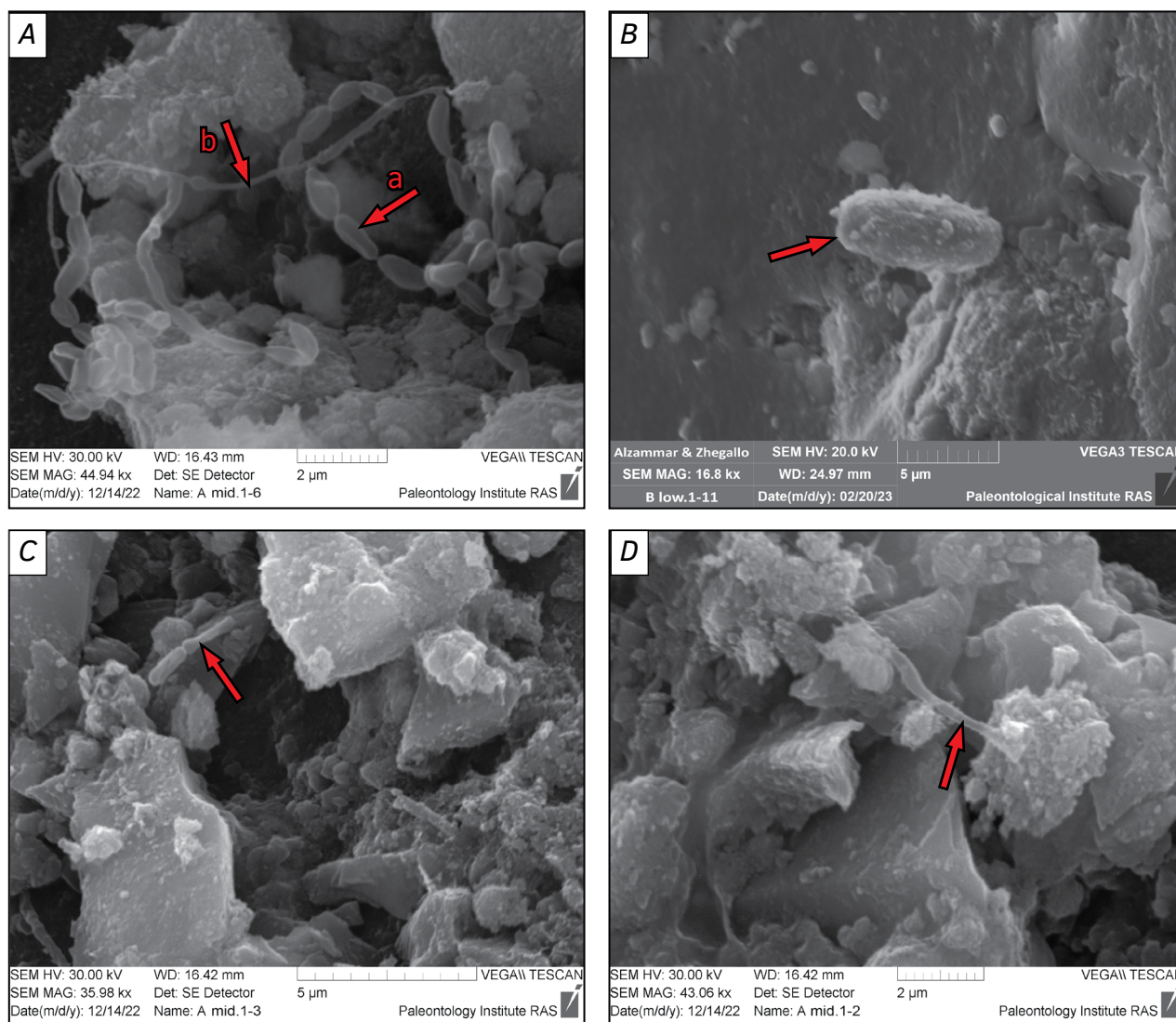


Рис. 5. Фосфатизированные бактерии месторождения Альшаркия, Сирия. А — клеточные бактерии (а), и нитевидные формы микробиолитов (b); В — овальные (цилиндрические) бактерии; С — палочковидные бактерии; D — нитевидные формы микробиолитов

Fig. 5. Phosphatized bacteria from Alsharqiya deposits, Syria. A — cell-shaped bacteria (a), and filamentous forms of microbiolites (b); B — oval (cylindrical) bacteria; C — rod-shaped bacteria; D — filamentous forms of microbiolites

что формирование фосфоритов связано с замещением биогенных остатков фосфатом кальция, которое происходит с большой скоростью в природе. Быстрая фосфатизация (часы, первые сутки) цианобактериальных сообществ была подтверждена экспериментально [3]. Значение бактерий в морском фосфоритообразовании можно рассматривать с разных точек зрения. Хорошо известна роль бактерий в минерализации органического фосфора как в почвах, так и в морских отложениях [13]. С другой стороны, сами бактерии в процессе жизнедеятельности активно

усваивают фосфор, способствуя в конечном итоге его концентрации. Еще одна роль бактерий — косвенная, выражающаяся в минерализации их клеток после отмирания так же, как и у многоклеточных организмов [4].

Заключение

Результаты данного исследования подтверждают, что в образовании сирийских фосфоритов, помимо макробионтов (фораминиферы, двустворки, костные и другие органические остатки), участвовали несколько видов бактерий. Впервые

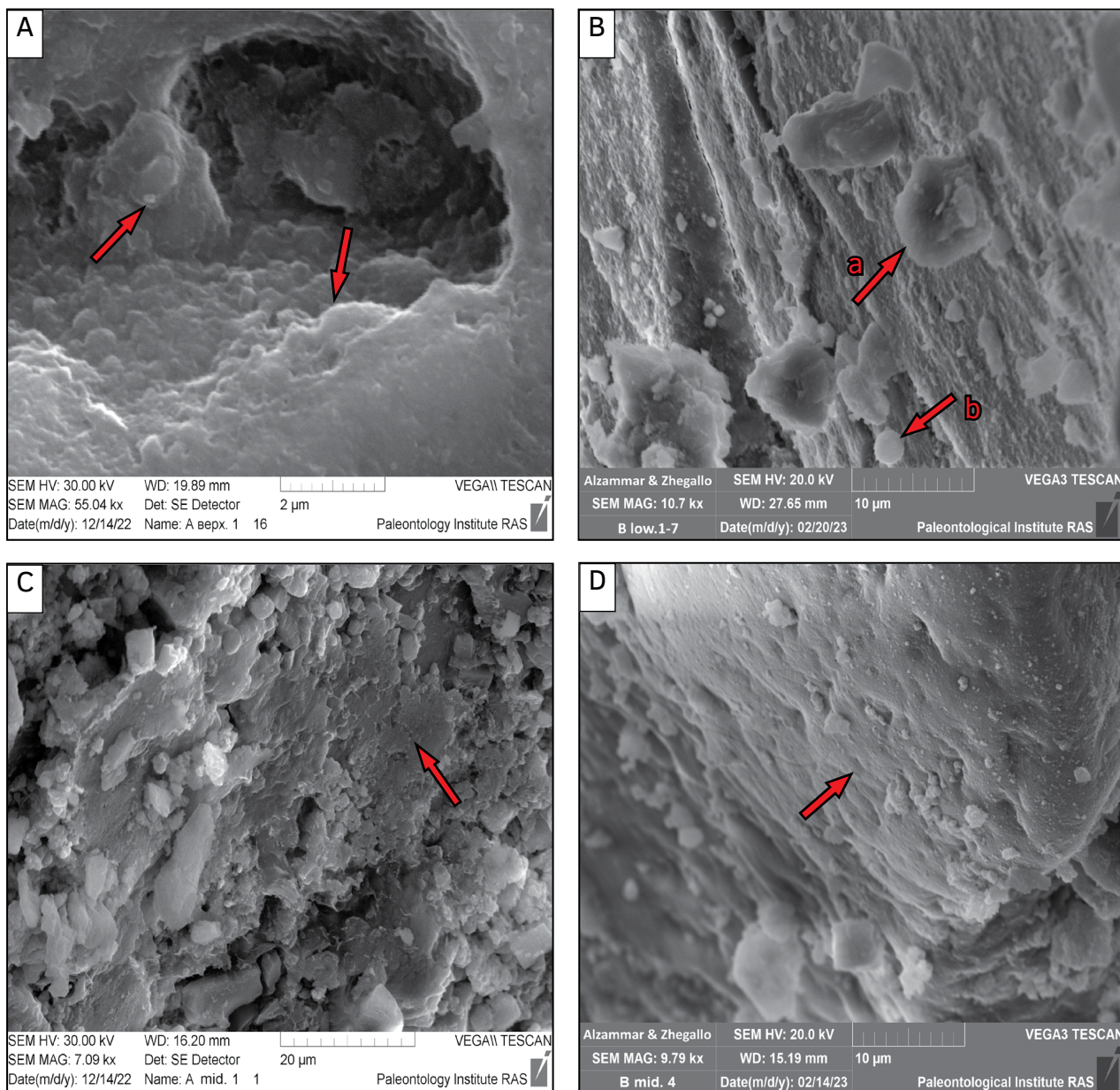


Рис. 6. Микробиальные формы и минерализованные биопленки месторождения Альшаркия, Сирия. А — биопленки, покрывающие внутренние стенки каналов/трубок; В — листоватая форма биопленки — вещественное выражение гликокаликса (а), кокковидные бактерии (b); С — скопления биопленок; D — минерализованные биопленки

Fig. 6. Microbial forms and mineralized biofilms of the Alsharqiya deposits, Syria. A — biofilms covering the inner walls of canals/tubes; B — leafy form of the biofilm — the real expression of the glycocalyx (a), coccoid bacteria (b); C — accumulations of biofilms; D — mineralized biofilms

выявлено и описано пять разновидностей бактерий и пять разных структур, образовавшихся в результате их жизнедеятельности. Обосновано

значение бактерий как ключевого фактора образования сирийских фосфоритов на стадии осадконакопления и в диагенезе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н.И. Бактериология и геология, их взаимные отношения. Вступительная лекция // Ученые записки Юрьевского университета. 1897. № 1. С. 1—20.
2. Антошкина А.И. Бактериальное породообразование — реальность современных методов исследований // Ученые записки Казанского университета. Естественные науки. 2011. Т. 153, кн. 4. С. 114—126.
3. Герасименко Л.М., Гончарова И.В., Жегалло Е.А., Заварзин Г.А., Зайцева Л.В., Орлеанский В.К., Розанов А.Ю., Ушатинская Г.Т. Процесс минерализации (фосфатизации) нитчатых цианобактерий // Литология и полезн. ископаемые. 1996. № 2. С. 208—214.
4. Занину Ю.Н., Летов С.В., Красильникова Н.А., Миртов Ю.В. Фосфатизированные бактерии из меловых фосфоритов Восточно-Европейской платформы и палеоценовых фосфоритов Марокко // В сб.: Фосфориты: Шестой международный полевой семинар и семинар по фосфоритам. I.G.C.P. 156. Марокко — Сенегал, окт. — ноябрь. 1983. Страсбург: Институт геологии — Университет Луи Пастера, 1985. С. 79—81. (Геологические науки. Мемуар, 77).
5. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Микробиальные карбонатные породы — состав, структуры, текстуры, механизмы и обстановки образования. Возникновение учения о микробиальных образованиях и их формах. Статья 1 // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 64(3). С. 8—18.
6. Природа фосфатных зерен и фосфоритов крупнейших бассейнов мира / Э.Л. Школьник, Тан Тяньфу, Е.А. Жегалло, и др. Владивосток: Дальнаука, 1999. 207 с.
7. Розанов А.Ю., Жегалло Е.А. К проблеме генезиса древних фосфоритов Азии // Литология и полезные ископаемые. 1989. № 3. С. 67—82.
8. Al Maleh A.Kh., Mouty M. The sedimentary and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous // In book: Proceedings 3rd Jordan Geological Conference. 1988. P. 213—244.
9. Al Maleh A.Kh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene) // In book: 10th International Field Workshop and Symposium. 1987. P. 34—35.
10. Abed A.M. The eastern Mediterranean phosphorite giants: An interplay between tectonics and upwelling // Geoarabia "Manama". April 2013. P. 67—94.
11. Al-Maleh K., Mouty M. Lithostratigraphic characteristics of phosphorite deposits and the regional sedimentational and paleogeographic framework of their formation in the Palmyrides mountain chain, Middle Syria // Proceedings of the 29th International Geological Congress, part C. VSP. 1994. P. 225—235.
12. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // Palaios. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
13. Pochon J., De Barjac H. Traité de microbiologie des sols. Dunod, Paris, 1958. P. 1—685.

REFERENCES

1. Andrusov N.I. Bacteriology and geology, their mutual relations. Introductory lecture // Uchenye zapiski Yuryevskogo universiteta. 1897. No. 1. P. 1—20.
2. Antoshkina A.I. Bacterial rock formation — the reality of modern research methods // Scientific notes of Kazan University, Natural Sciences. 2011. Vol. 153, iss. 4. P. 114—126.
3. Gerasimenko L.M., Goncharova I.V., Zhegallo E.A., Zavarzin G.A., Zaitseva L.V., Orleansky V.K., Rozanov A.Yu., Ushatinskaya G.T. The process of mineralization (phosphatization) of filamentous cyanobacteria // Lithology and use. fossils. 1996. No. 2. P. 208—214.
4. Zaninu Yu.N., Letov S.V., Krasil'nikova N.A., Mirtov Yu.V. Phosphatized bacteria from Cretaceous phosphorites of East-European Platform and Paleocene phosphorites of Morocco // In book: Phosphorites. Sixth International Field-Workshop and Seminar on Phosphorites. I.G.C.P. 156. Maroc-Sénégal, oct.-nov. 1983. Strasbourg: Institut de Géologie — Université Louis- Pasteur, 1985. P. 79—81. (Sciences Géologiques. Mémoire, 77).
5. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Microbial carbonate rocks: composition, structures, textures, mechanisms and environments of formation. Emergence of the doctrine of microbial formations and their forms. Article 1. Proceedings of higher educational establishments // Geology and Exploration. 2022. Vol. 64(3). P. 8—18.
6. Nature of phosphate grains and phosphorites of the largest basins of the world / E.L. Scholnik, Tang Tianfu, E.A. Zhegallo, and etc. Vladivostok: Dalnauka, 1999. 207 c.
7. Rozanov A.Yu., Zhegallo E.A. On the problem of the genesis of ancient Asian phosphorites // Lithology and Useful. fossils. 1989. No. 3. P. 67—82.
8. Al Maleh A.Kh., Mouty M. The sedimentary and paleogeographic evolution of the Palmyridean region during Cretaceous // In book: Proceedings 3rd Jordan Geological Conference. 1988. P. 213—244.
9. Al Maleh A.Kh. The geology of the phosphatic deposits in Syria (Senonian and Palaeogene) // In book: 10th International Field Workshop and Symposium. 1987. P. 34—35.
10. Abed A.M. The eastern Mediterranean phosphorite giants: An interplay between tectonics and upwelling // Geoarabia "Manama". April 2013. P. 67—94.
11. Al-Maleh K., Mouty M. Lithostratigraphic characteristics of phosphorite deposits and the regional sedimentational and paleogeographic framework of their formation in the Palmyrides mountain chain, Middle Syria // Proceedings of the 29th International Geological Congress, part C. VSP. 1994. P. 225—235.

12. Burne R.V., Moore L.S. Microbialites: organosedimentary deposits of benthic microbial communities // *Palaios*. 1987. V. 3. No. 3. P. 241—254.
13. Pochon J., De Barjac H. *Traité de microbiologie des sols*. Dunod, Paris, 1958. P. 1—685.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Алзаммар М. — внес вклад в подготовку статьи, сбор, обработку и анализ образцов и шлифов с помощью сканирующего электронного микроскопа, изучение шлифов под микроскопом, создание и обработку изображений, подготовил текст и рисунки статьи, перевел текст на английский язык, утвердил публикуемую версию статьи и согласен взять на себя ответственность за все аспекты работы.

Жегалло Е.А. — внесла вклад в разработку концепции статьи, контроль подготовки и анализа образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа, провела научную и лингвистическую корректуру текста, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Mazen Alzammarm — contributed to the preparation the article, in the collection, processing and analyzing the samples and thin sections using scanning electron microscope, studying the thin sections under microscope, and creating and processing the images, prepared the text and the figures of the article, translated the text into English, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena A. Zhegallo — contributed to the development of the article concept, supervising the preparation and analysis of samples using a scanning electron microscope, scientific and linguistic proof-reading of the text, 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

Алзаммар Мазен* — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: alzammarm@gmail.com
тел.: +7 (903) 208-85-11
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5815-916X>

Жегалло Елена Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая кабинетом приборной аналитики Палеонтологического института им. А.А. Борисяка РАН.
123, Профсоюзная ул., г. Москва 117647, Россия
e-mail: ezheg@paleo.ru
тел.: +7 (903) 524-65-85
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6132-6268>

Alzammarm Mazen* — postgraduate researcher of the Department of Geology of Mineral Deposits of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: alzammarm@gmail.com
tel.: +7 (903) 208-85-11
ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5815-916X>

Zhegallo Elena A. — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Leading Research Fellow, Head of the Instrument Analytics Department of A.A. Borisyak paleontological institute of the RAS.
123, Profsoyuznaya str., Moscow 117647, Russia
e-mail: ezheg@paleo.ru
tel.: +7 (903) 524-65-85
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6132-6268>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ В ТУРЦИИ И СИРИИ 2023 ГОДА И ГЕОДИНАМИКА КАВКАЗСКО-АНАТОЛИЙСКОГО РЕГИОНА

В.Б. СВАЛОВА

*ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук»
13, Уланский переулок, стр. 2, г. Москва 101000, Россия*

*Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук
93а, ул. Маркова, г. Владикавказ 362002, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Активизация природных катаклизмов в мире требует разработки новых подходов к изучению геологических процессов, в частности, на границах литосферных плит, характеризующихся землетрясениями, повышенной сейсмичностью, вулканизмом, повышенным тепловым потоком, геотермическими проявлениями, оползневыми процессами, цунами и другими опасными природными процессами и явлениями. Кавказско-Анатолийско-Аравийский регион представляет собой сложную высоконапряженную геодинамическую структуру, характеризующуюся повышенным тепловым потоком, высокой сейсмичностью, магматизмом и вулканизмом. Геодинамика Кавказско-Анатолийско-Аравийского региона определяется столкновением Евразийской и Аравийской литосферных плит, а также сложной историей развития Альпийско-Гималайского пояса и прилегающих территорий.

Землетрясение магнитудой 7,8 произошло на юго-востоке Турции и северо-западе Сирии 6 февраля 2023 года. Землетрясение магнитудой 7,8 является крупнейшим в Турции после землетрясения в Эрзинджане 1939 года и вторым по силе в стране после землетрясения в Северной Анатолии 1668 года. Подтверждено более 52 800 смертей: более 46 100 в Турции и более 6700 в Сирии. Это самое смертоносное стихийное бедствие в современной истории Турции. Землетрясения нанесли ущерб на сумму более 100 миллиардов долларов США.

Цель. Основная цель работы — построение геодинамических моделей глубинного строения районов стихийных бедствий, что является важным вкладом в изучение активных континентальных окраин и необходимо для предсказания и прогнозирования землетрясений, оценки геоэкологических рисков и подготовки действий населения в случае стихийных бедствий и катастроф.

Материалы и методы. Решение задач формирования и эволюции геологических структур в различных сложных геодинамических обстановках, а также прогноза и предсказания природных опасностей требует анализа всех имеющихся геолого-геофизических данных, а также постановки и решения задач механического и математического моделирования.

Результаты. Построены геодинамические модели районов опасных природных процессов с целью прогнозирования и предотвращения стихийных бедствий и катастроф. Предложен алгоритм создания систем мониторинга.

Заключение. Землетрясение под Стамбулом можно ждать через несколько лет (1—10 лет). Можно прогнозировать, что если сильное землетрясение в Восточно-Анатолийском разломе не произойдет через 1—2 года, то случится только через 100 лет.

Ключевые слова: геотермия, сейсмичность, геодинамика, Кавказ, Турция, моделирование, сейсмотомография

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: статья подготовлена в рамках выполнения госзадания № 122022400105-9 по теме «Прогноз, моделирование и мониторинг эндогенных и экзогенных геологических процессов для снижения уровня их негативных последствий».

Для цитирования: Свалова В.Б. Землетрясения в Турции и Сирии 2023 года и геодинамика Кавказско-Анатолийского региона. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):28—41. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-28-41>

Статья поступила в редакцию 06.05.2023

Принята к публикации 29.06.2023

Опубликована 30.06.2023

EARTHQUAKES IN TURKEY AND SYRIA IN 2023 AND GEODYNAMICS OF THE CAUCASUS-ANATOLIAN REGION

VALENTINA B. SVALOVA

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences
13, bld. 2 Ulansky lane, Moscow 101000, Russia*

*Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences
93a, Markova str., Vladikavkaz 362002, Russia*

ABSTRACT

Background. The intensification of natural disasters all over the world requires the development of new approaches to the study of geological processes. This particularly concerns the areas at the boundaries of lithospheric plates, which are characterized by earthquakes, increased seismicity, volcanism, intensive heat flows, geothermal manifestations, landslide processes, tsunamis, and other dangerous natural processes and hazards. The Caucasus-Anatolian-Arabian region is a complex highly-stressed geodynamic structure, characterized by an increased heat flow, seismicity, magmatism, and volcanism. The geodynamics of this region is determined by the collision of the Eurasian and Arabian lithosphere plates, as well as by the evolution of the Alpine-Himalayan belt and surrounding areas.

A 7.8 magnitude earthquake hit the South-East Turkey and North-West Syria on February 6, 2023. This was the largest earthquake in Turkey since the 1939 Erzincan earthquake, and the second-strongest since the 1668 North Anatolia earthquake. More than 52,800 deaths were confirmed, with about 46,100 in Turkey and 6,700 in Syria. It is the deadliest natural disaster in Turkey's modern history with the estimated damage of over \$100 billion.

Aim. To construct geodynamic models for the deep structure of natural hazard regions, which can contribute to the study of active continental margins. This information is necessary for earthquake forecasting and prognosis, as well as for assessing geoeological risks and preparing the population in the event of natural disasters and catastrophes.

Materials and methods. The formation and evolution processes of geological structures in complex geodynamic settings, as well as the forecasting and prognosis of natural hazards, required an analysis of all available geological and geophysical data. The methods of mechanical and mathematical modeling were used to formulate and solve the research problems.

Results. Geodynamic models of the regions of hazardous natural processes were constructed with the purpose of forecasting and preventing natural disasters and catastrophes. An algorithm for creating monitoring systems was proposed.

Conclusion. In several years (1–10 years), another earthquake near Istanbul can be expected. In the case that no large earthquake occurs in the East Anatolian fault in 1–2 years, this event is likely to occur in 100 years only.

Keywords: geothermy, seismicity, geodynamics, Caucasus, Turkey, modeling, seismotomography

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

Financial disclosure. The article was prepared in response to a government assignment No. 122022400105-9 on the topic "Forecast, modeling and monitoring of endogenous and exogenous geological processes to reduce their negative consequences".

For citation: Svalova V.B. Earthquakes in Turkey and Syria in 2023 and geodynamics of the Caucasus-Anatolian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):28—41. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-28-41>

Manuscript received 06 May 2023

Accepted 29 June 2023

Published 30 June 2023

Активизация природных катастроф в мире требует разработки новых подходов к исследованию геологических процессов, в частности, на границах литосферных плит, характеризующихся землетрясениями, повышенной сейсмичностью, вулканизмом, оползневыми процессами, цунами и другими опасными природными процессами и катастрофами. Построение геодинамических моделей глубинного строения регионов опасных природных процессов и катастроф является важным вкладом в изучение глубинной геодинамики активных континентальных окраин, необходимым для оценки геоэкологических рисков и подготовки действий населения на случай природных бедствий и катастроф.

Турецко-сирийское землетрясение 2023 г.

Землетрясение магнитудой 7,8 произошло на юго-востоке Турции и северо-западе Сирии 6 февраля 2023 года в 04:17 по местному времени. Эпицентр находился в 37 км к западу-северо-западу от Газиантепа. По данным Геологической службы США, эпицентр землетрясения находился

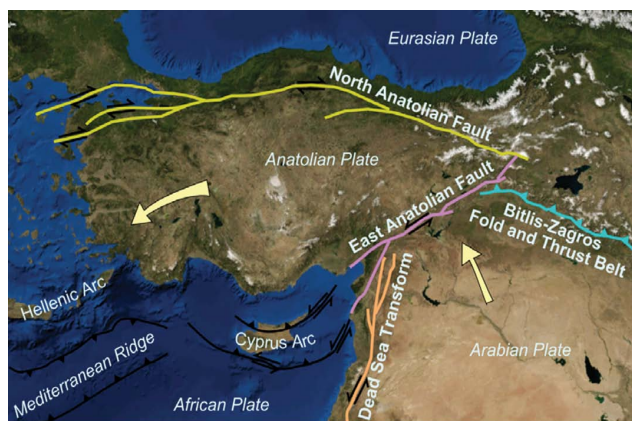


Рис. 1. Крупнейшие системы активных разломов Ближнего Востока: Северо-Анатолийская — Загросская и Леванто-Восточно-Анатолийская. https://ru.wikipedia.org/wiki/Восточно-Анатолийский_разлом#/media/Файл:Anatolian_Plate.png

Fig. 1. The largest systems of active faults in the Middle East: North Anatolian — Zagros and Levant — East Anatolian. https://ru.wikipedia.org/wiki/Восточно-Анатолийский_разлом#/media/Файл:Anatolian_Plate.png

на глубине 10,0 км. За землетрясением последовало землетрясение магнитудой 7,7 в 13:24. Это землетрясение произошло в 95 км к северо-северо-востоку от первого.

Землетрясение магнитудой 7,8 является крупнейшим в Турции после землетрясения той же магнитуды в Эрзинджане 1939 года и вторым по силе в стране после землетрясения 1668 года в Северной Анатолии. Были нанесены обширные повреждения на площади около 350 000 кв. км. Пострадали 14 миллионов человек (16% населения Турции). Около 1,5 миллиона человек остались без крова.

Подтверждено более 52 800 смертей: более 46 100 в Турции и более 6700 в Сирии. Это самое смертоносное стихийное бедствие в современной истории Турции. Землетрясения причинили ущерб на сумму более 100 миллиардов долларов США.

Место землетрясения связано с тройным сочленением Анатолийской, Аравийской и Африканской плит (рис. 1, 2).

Восточно-Анатолийский разлом представляет собой левосторонний трансформный разлом протяженностью 700 км с северо-востока

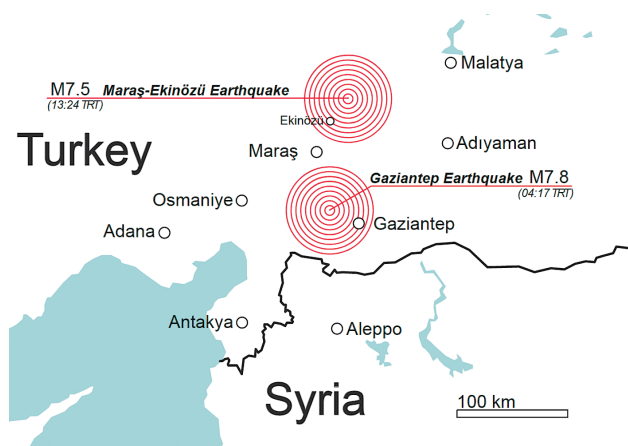


Рис. 2. Расположение эпицентров первого и второго землетрясений. https://en.wikipedia.org/wiki/File:2023_Gaziantep-Marash_Earthquakes.svg

Fig. 2. Epicenter locations of the first and second major earthquakes. https://en.wikipedia.org/wiki/File:2023_Gaziantep-Marash_Earthquakes.svg

на юго-запад и образует границу между Анатолийской и Аравийской плитами. Этот внутриконтинентальный трансформный разлом является вторым по величине разломом в Турции.

Скорость подвижек уменьшается с востока на запад от 10 до 1—4 мм в год. К разлому приурочены сильные землетрясения в 1789 г. (М 7,2), 1795 (М 7,0), 1872 (М 7,2), 1874 (М 7,1), 1875 (М 6,7), 1893 (М 7,1) и 2020 г. (М 6,8) (рис. 3).

С 1905 г. здесь произошло только пять землетрясений (1905, 1945, 1986, 1998) магнитудой 6,0 и более. Все они произошли вдоль Восточно-Анатолийского разлома или в его окрестностях.

Северо-Анатолийский разлом, первый по величине сдвиговый разлом в Турции, вызвал 11 крупных землетрясений в XX веке (рис. 4).

Турция расположена в сейсмоопасной зоне [13] (рис. 5), ее территорию пересекает активная Северо-Анатолийская зона разломов (САЗР), которая разделяет Евразийскую и Анатолийскую тектонические плиты, скользящие относительно друг друга со скоростью 2 см в год. Вдоль нее постоянно происходят землетрясения, и активность постепенно смещается все дальше и дальше на запад, в Мраморное море, в сторону Стамбула. Сегмент этой зоны, примыкающий к городу, не активировался 250 лет, и это дает два варианта развития событий. В первом случае происходит постоянное и малоамплитудное скольжение плит относительно друг друга и снимается тектоническое напряжение в виде «тихого землетрясения». Во втором случае отсутствие подвижки означает накопление напряжения в зоне разлома, которое при достижении критического значения может быть снято резким толчком

огромной силы. И это означает неминуемую катастрофу для Стамбула, города с населением 14 миллионов человек. Поэтому изучение и мониторинг состояния САЗР жизненно важны для Турции.

Геодинамические модели регионов опасных природных процессов

Геолого-геофизические и сейсмотомографические исследования позволяют связать сложную геодинамику и напряженно-деформированное состояние района с подъемом мантийного потока от границы ядра [10, 12, 15, 26, 27] (рис. 6). Этот апвеллинг огромного мантийного потока подтверждается магматизмом и базальтовым вулканизмом (рис. 7, 8).

Поверхностные скорости необходимо анализировать из разных источников [2, 3, 6, 7, 22]. Для целей механико-математического моделирования вертикальные и горизонтальные скорости необходимо оценивать детально и в больших масштабах в зависимости от области моделирования (рис. 9).

Сейсмотомографические данные подтверждают существование литосферного окна под восточной Анатolieй, через которое поднимается горячий материал астеносферы, и это помогает прояснить глубинное строение под восточной Анатolieй в районе Восточно-Анатолийского разлома [18] (рис. 10).

Механико-математическая модель глубинной геодинамики

Рассмотрим слой высоковязкой несжимаемой жидкости, описывающей поведение вещества

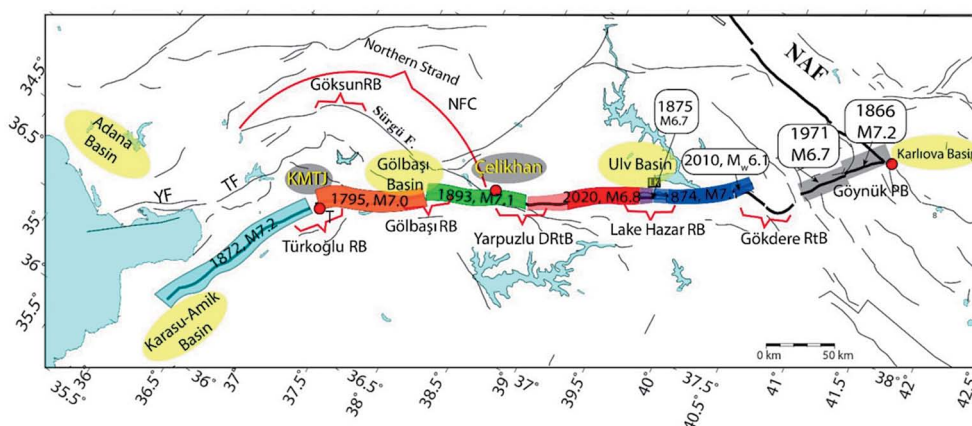


Рис. 3. Участки Восточно-Анатолийского разлома с указанием дат и эпицентров крупнейших землетрясений до события 6 февраля 2023 г. NAF — Северо-Анатолийский разлом [16]

Fig. 3. Sites on the East Anatolian Fault, showing the dates and epicenters of the largest earthquakes before the event of February 6, 2023. NAF — North Anatolian Fault [16]

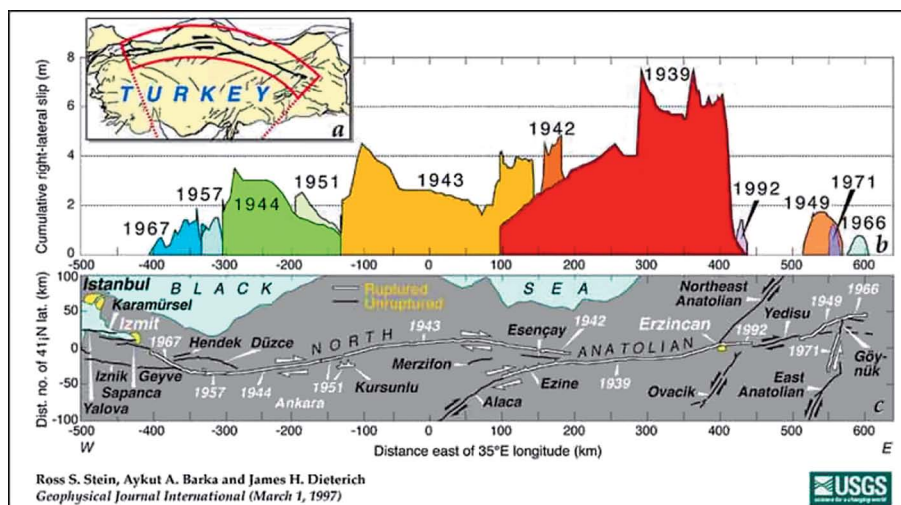


Рис. 4. Северо-Анатолийский разлом: а — активные разломы в Турции, Северо-Анатолийский разлом выделен жирным шрифтом. GPS-наблюдения установили скорость смещения 24 ± 4 мм/год по Северо-Анатолийско-му разлому; б — кумулятивный правосторонний сдвиг, связанный с землетрясениями с магнитудой $M \geq 6,7$; последовательность разломов изменяется от теплых к холодным цветам. Проскальзывание вдоль толчков 1949, 1966 и 1971 годов является приблизительным; с — область, отмеченная сплошной красной линией на «а», проецируется относительно Анатолии-Евразии [21]

Fig. 4. North Anatolian fault: a — active faults in Turkey with the North Anatolian fault in bold. GPS observations establish a 24 ± 4 mm/yr deep slip rate on the North Anatolian fault; b — cumulative right-lateral slip associated with $M \geq 6.7$ earthquakes; the sequence ruptured from warm to cool colors. Slip in the 1949, 1966, and 1971 shocks is approximate; c — the region inscribed by the solid red line in a is projected relative to the Anatolia-Eurasia rotation pole, so that a transform fault would strike due east-west; the North Anatolian fault is seen to deviate less than 40 km from being a simple right-lateral transform [21]

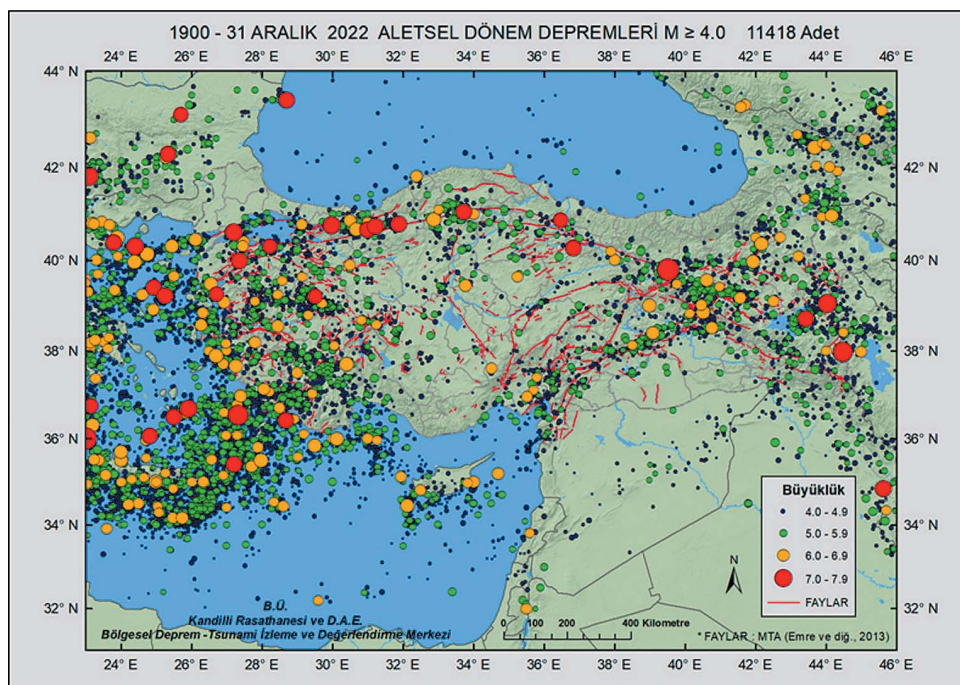


Рис. 5. Карта сейсмичности Турции и близлежащих регионов за период с 1900 по 2022 год (региональный центр мониторинга землетрясений и цунами, Университет Бogaзичи)

Fig. 5. Seismicity map of Turkey and nearby regions for the period from 1900 to 2022 (regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, Boğaziçi University)

литосферы с помощью уравнения Навье — Стокса и уравнения неразрывности:

$$dv/dt = F - (1/\rho)\text{grad } p + (\mu/\rho)\Delta v, \quad (1)$$

$$\text{div } \mathbf{v} = 0, \quad (2)$$

где $\mathbf{v}$ — вектор скорости, F — сила тяжести, p — давление, ρ — плотность, μ — вязкость, t — время.

Пусть характерный размер моделируемых структур по латерали L значительно превосходит характерную толщину слоя h .

Введем безразмерные значения координат, скоростей и давления X, Y, Z, U, V, W, P :

$$\begin{aligned} x &= LX, y = LY, z = hZ, u = u_0 U, \\ v &= u_0 V, w = u_0 (h/L)W, p = \rho_0 ghP. \end{aligned} \quad (3)$$

Тогда, используя уравнение неразрывности и приближенное уравнение Навье — Стокса, для достаточно медленных движений в тонком слое можно получить в безразмерном виде для двумерного случая [1, 5, 8, 20]:

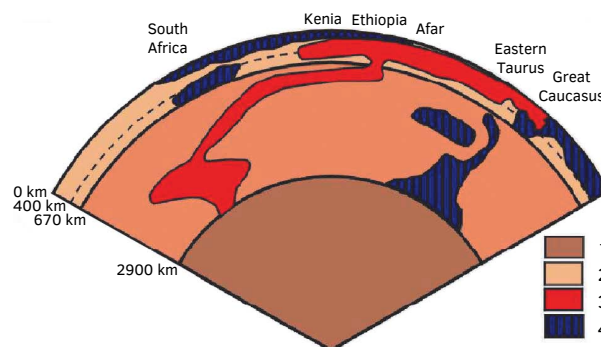


Рис. 6. Схематический сейсмотомографический разрез мантии вдоль 120-градусного сегмента большой окружности, проходящей через точку с координатами 0° с.ш. и 35° в.д. по азимуту 10°: 1 — ядро Земли; 2 — мантия; 3 — горячие низкоскоростные зоны; 4 — холодные зоны высоких скоростей [12, 27]

Fig. 6. Schematic seismotomographic section across the mantle along 120° segment of the great circle passing through the point with coordinates 0° N and 35° E at azimuth 10°: (1) the Earth core; (2) mantle; (3) hot low-velocity zones; (4) cold high-velocity zones [12, 27]

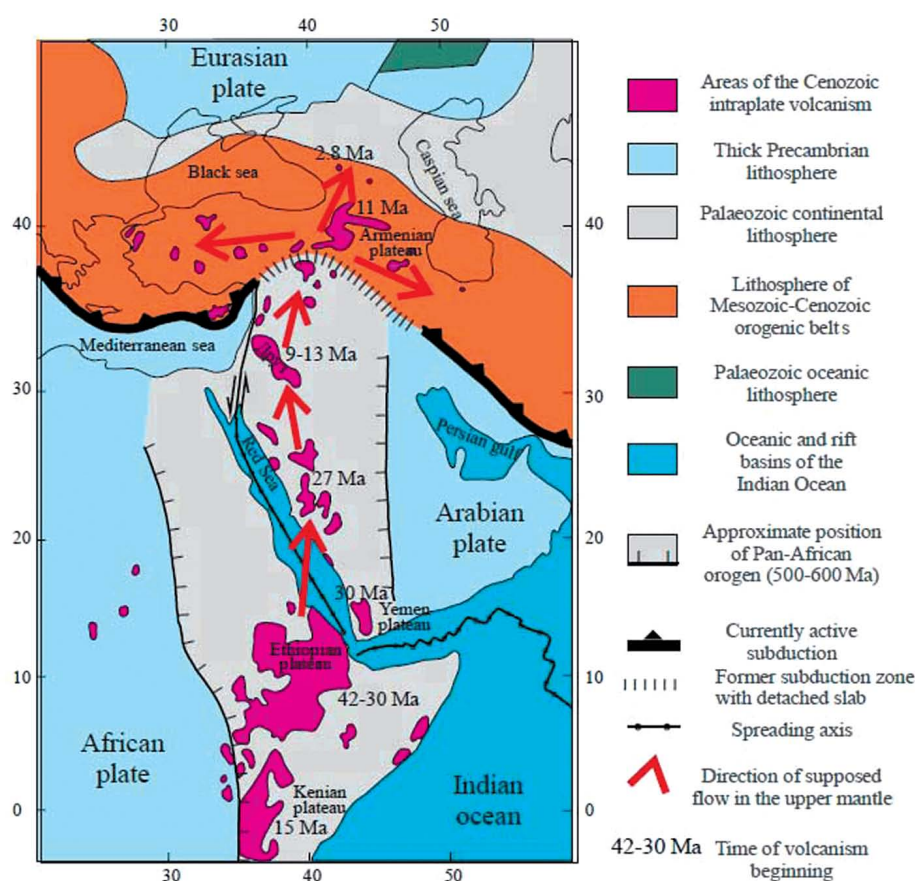


Рис. 7. Распространение базальтового вулканизма кайнозойских внутримитных плато и его возраст, млн лет [11]

Fig. 7. Tectonic units and distribution of Cenozoic intraplate plateau basalt volcanism and its ages. Numbers near volcanic plateaus designate their age, Ma [11]

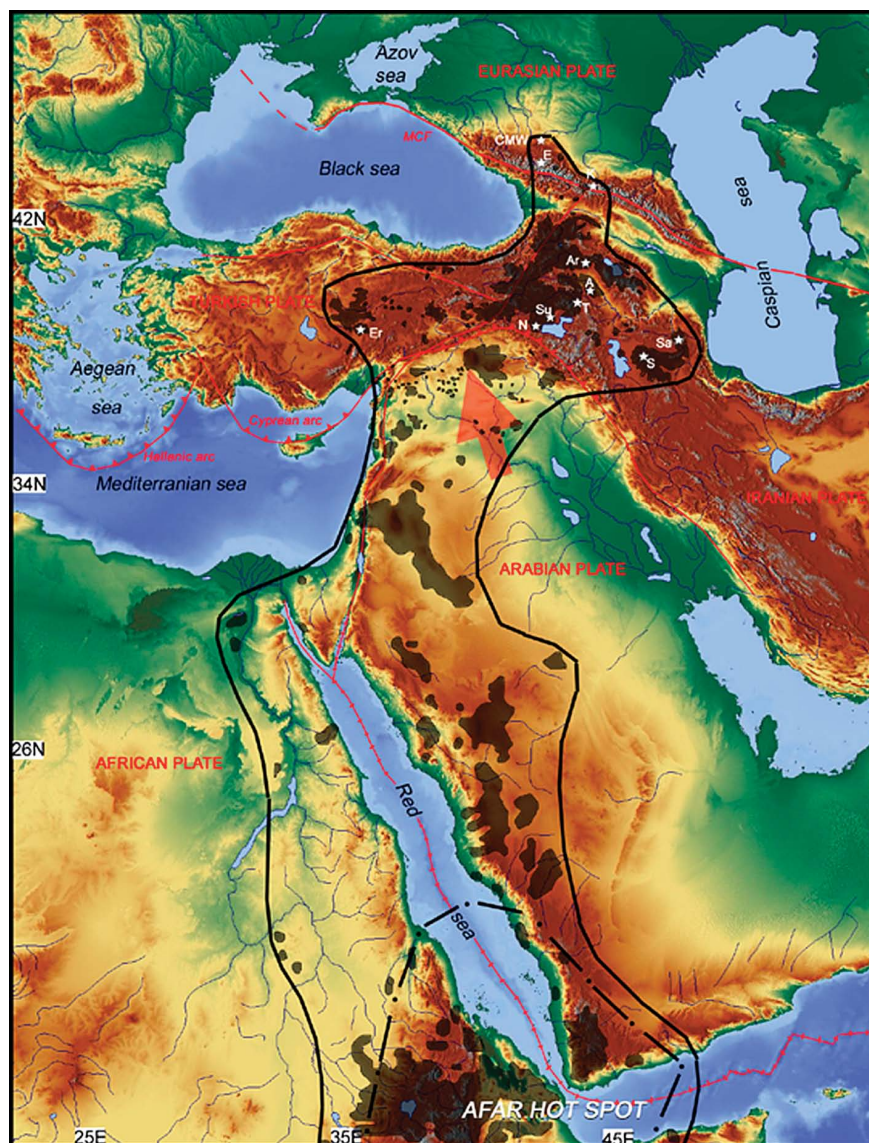


Рис. 8. Распространение современного плюмового вулканизма в Афро-Аравийской литосферной плите. Черная линия — контур проекции мантийного плюма на поверхность. Поля, окрашенные черным цветом, — области молодой вулканической активности. Крупнейшие четвертичные вулканы: А — Арарат, Ar — Арагац, CMW (КМВ) — Кавказские Минеральные Воды, E — Эльбрус, Er — Эрцисес, K — Казбек, N — Немрут, S — Савалан, Sa — Саханд, Su — Сунхан, T — Тендюрек [19]

Fig. 8. Distribution of the modern plume-related volcanism in the Afro-Arabian LIP (lithosphere plate) up to the Greater Caucasus. Black line — contour of projection of proposed mantle plume head to the surface. The fields painted by black represent the areas of young volcanic activity. The largest Quaternary volcanoes: A — Ararat, Ar — Aragats, CMW — Caucasian Mineral Waters, E — Elbrus, Er — Ercies, K — Kazbek, N — Nemrut, S — Savalan, Sa — Sahand, Su — Suphan, T — Tendürek. [19]

$$\begin{cases} \frac{\partial P}{\partial X} = \alpha \mu \frac{\partial^2 U}{\partial Z^2}, \\ \frac{\partial P}{\partial Z} = -\rho \end{cases}, \quad (4)$$

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial W}{\partial Z} = 0, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{F}{R \left(\frac{h}{L} \right)^3}, \quad F = \frac{u_0^2}{gL}, \quad R = \frac{u_0 L \rho_0}{\mu_0}, \quad (6)$$

где P — безразмерное давление, U, W — безразмерные скорости, F — число Фруда, R — число Рейнольдса, ρ — плотность, μ — вязкость, ρ_0, μ_0, u_0 — характерный масштаб плотности, вязкости и скорости.

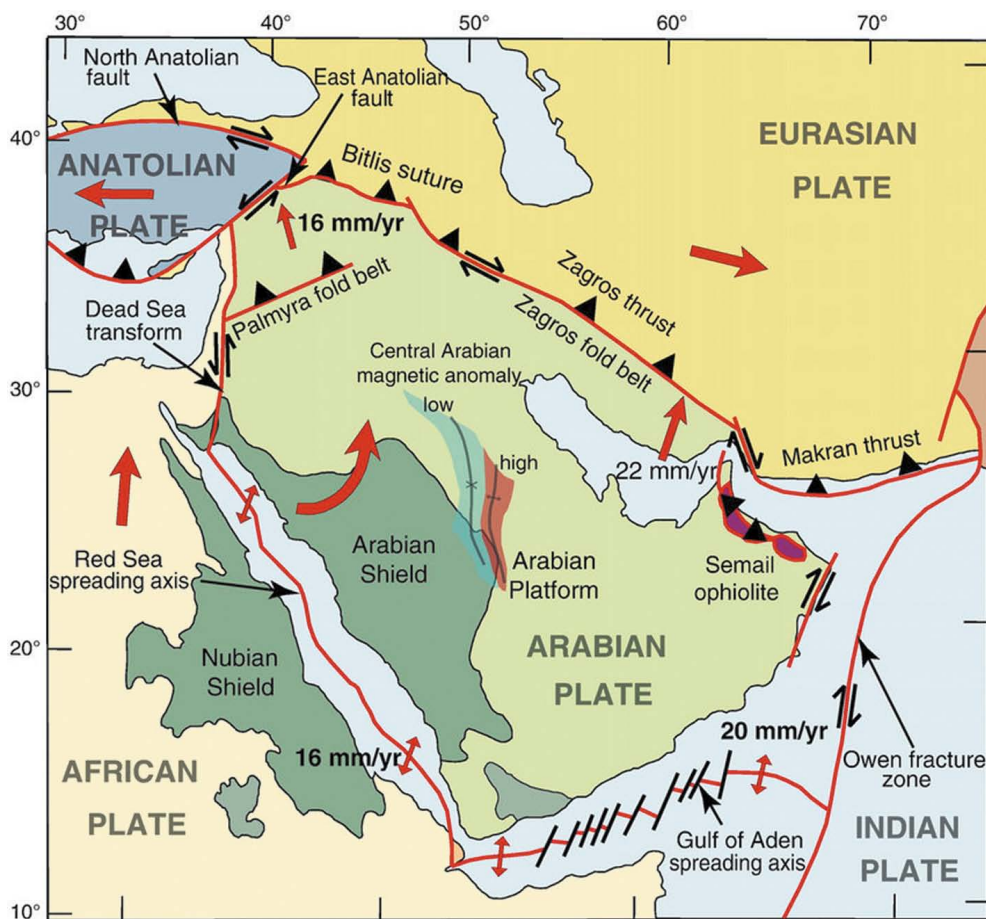


Рис. 9. Упрощенная карта Аравийской плиты с границами плит, приблизительными векторами конвергенции плит и основными геологическими особенностями. Обращает на себя внимание расположение Центрально-Аравийской магнитной аномалии (ЦАМА) [22]

Fig. 9. Simplified map of the Arabian Plate, with plate boundaries, approximate plate convergence vectors, and principal geologic features. Note location of Central Arabian Magnetic Anomaly (CAMA) [22]

Пусть на верхней границе поле сил равно нулю (свободная поверхность). Также пусть задано поле скоростей U^* , W^* на верхней границе моделирования ζ^* . Тогда можно найти распределение скоростей и давлений в слое:

$$P = \rho(\zeta^* - Z), \quad (7)$$

$$U = U^* + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} (\zeta^* - Z)^2, \quad (8)$$

$$W = W^* + \frac{\partial U^*}{\partial X} (\zeta^* - Z) + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta^* - Z)^3 + \left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta^* - Z)^2 \right]. \quad (9)$$

Таким образом, по известным скоростям на поверхности определены скорости и давления

на глубине, что дает возможность получить поля напряжений в слое.

На верхней границе должно также выполняться кинематическое условие свободной поверхности, означающее, что точки поверхности не покидают ее в процессе движения:

$$S \frac{\partial \zeta^*}{\partial t} + U^* \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} - W^* = 0, \quad (10)$$

$$S = \frac{L}{u_0 t_0}, \quad (11)$$

где S — число Струхала, t_0 — характерный масштаб времени.

Аналогично можно рассмотреть нижнюю границу моделирования как поверхность, точки которой остаются на ней в процессе эволюции (условие непротекания). Тогда, подставляя

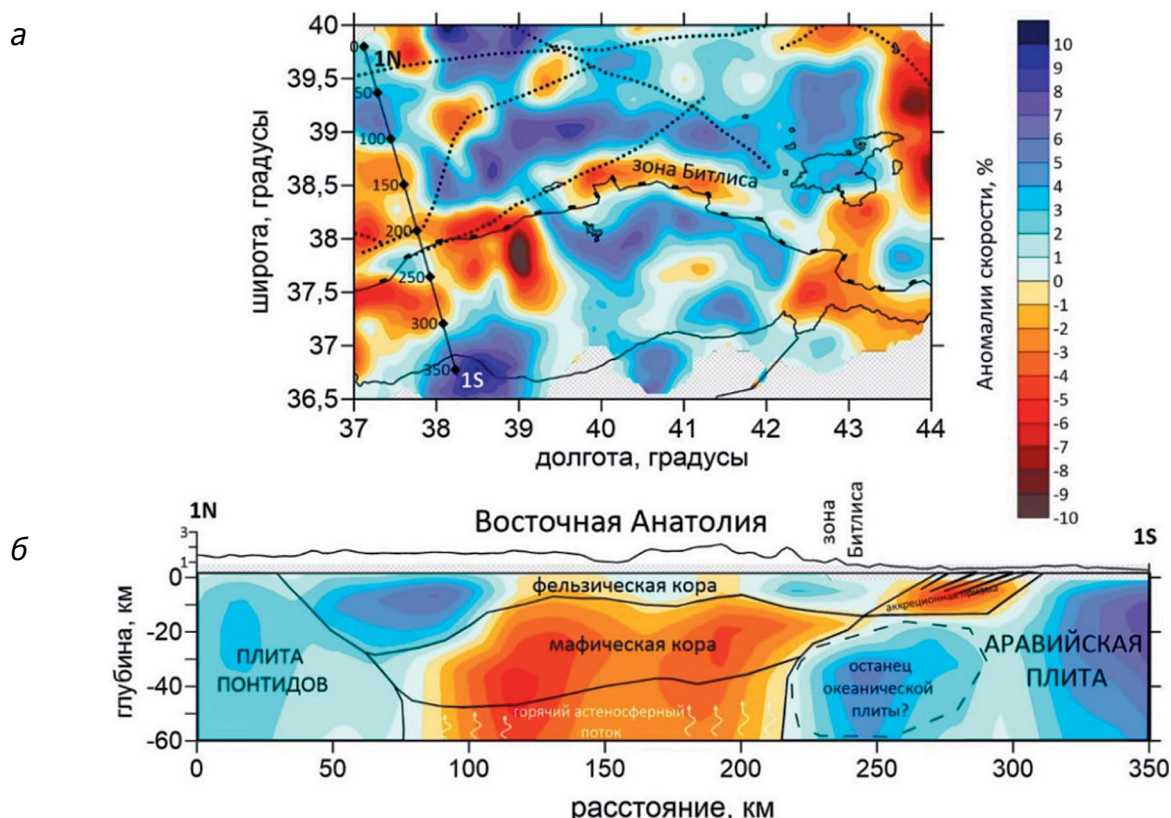


Рис. 10. Сейсмотомография Восточной Анатолии и зоны Битлиса. а — горизонтальный разрез аномалий Р-скорости на глубине 50 км. Широта, градусы (слева); долгота, градусы (внизу); зона Битлиса (в центре); аномалии скорости (справа); б — схема строения земной коры по профилю 1N-1S под Восточной Анатолией [18]

Fig. 10. Seismotomography of Eastern Anatolia and Bitlis zone. а — horizontal section of P-velocity anomalies at a depth of 50 km. Latitude, degrees (left); longitude, degrees (below); Bitlis zone (center); speed anomalies (right); б — scheme of the Crustal Structure along profile 1N -1S under Eastern Anatolia [18]

скорости, получаем уравнение движения нижней границы ζ_* :

$$S \frac{\partial \zeta_*}{\partial t} - W^* + U^* \frac{\partial \zeta_*}{\partial X} (\zeta_*^* - \zeta_*) + \\ + \frac{\rho}{2\alpha\mu} \left[\frac{\partial \zeta_*}{\partial X} \frac{\partial \zeta_*^*}{\partial X} (\zeta_*^* - \zeta_*)^2 - \frac{\partial^2 \zeta_*^*}{\partial X^2} \frac{1}{3} (\zeta_*^* - \zeta_*)^3 - \right. \\ \left. - \left(\frac{\partial \zeta_*^*}{\partial X} \right)^2 (\zeta_*^* - \zeta_*)^2 \right] = 0. \quad (12)$$

На основе анализа полученных соотношений можно говорить о наличии нисходящих движений в литосфере и погружения подошвы литосферы под горными структурами, что может иметь место в случае Кавказа (рис. 11).

Интересно сравнить результаты механико-математического моделирования с данными геолого-геодинамической реконструкции и сейсмотомографии [14, 17] (рис. 12).

Обсуждение и выводы

Геодинамическая модель Кавказско-Анатолийско-Аравийского региона определяется мантийным потоком, поднимающимся с поверхности ядра и распространяющимся под литосферой, создавая сложные поверхностные скорости в Анатолии на запад, в Аравийской плите на восток и на Кавказе на север. Этот поток будет продолжать перемещать вещество вдоль Северо-Анатолийского и Восточно-Анатолийского разломов.

Существует разная частота сильных землетрясений вдоль разломов, что объясняется различной толщиной коры и различной реологией геологической среды разломов. Глубина границы Мохо Восточно-Анатолийского разлома около 40 км, а Северо-Анатолийского около 50 км [18]. Вдоль Северо-Анатолийского разлома сильные землетрясения происходят каждые 1—10 лет (1939, 1942, 1943, 1944, 1953, 1957, 1966, 1967, 1971, 1992,

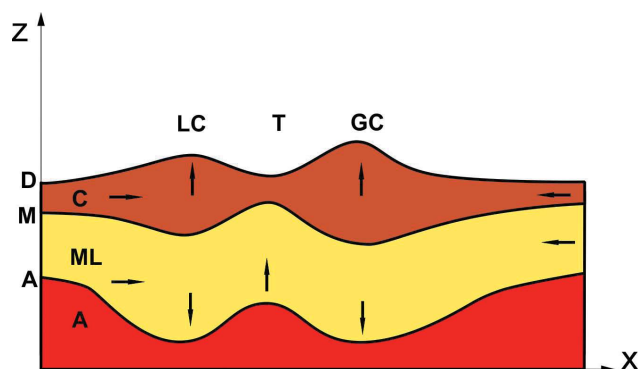


Рис. 11. Схематический разрез Кавказского региона на основе механико-математического моделирования. D — дневная поверхность, M — граница Мохо, A — поверхность астеносферы, C — кора, ML — мантийная литосфера, LC — малый Кавказ, GC — Большой Кавказ, T — Закавказский прогиб. Стрелки — возможные направления движения вещества

Fig. 11. Schematic section of the Caucasus region based on mechanical and mathematical modeling. D — day surface, M — Moho boundary, A — asthenosphere surface, C — crust, ML — mantle lithosphere, LC — Lesser Caucasus, GC — Greater Caucasus, T — Transcaucasian trough. Arrows indicate possible directions of motion of matter

1999) с расстоянием между гипоцентрами около 100 км с направлением на запад (рис. 13).

Поскольку Измитское землетрясение 1999 г. произошло в 80 км к востоку от Стамбула, ждать землетрясения в районе Стамбула можно через несколько лет (1—10 лет). Стамбул можно считать «горячим пятном» сейсмического риска.

Регион наибольшей сейсмичности в Турции (красный цвет на рис. 14) можно рассматривать как «горячую зону» сейсмического риска, а крупные города как — «горячие пятна» сейсмического риска [4]. Стамбул — «горячее пятно» сейсмического риска (белый круг) (рис. 14). В любом случае необходимо проверить и укрепить здания и сооружения в городах из «горячей зоны» [23—25].

Поскольку Восточно-Анатолийский разлом произвел сильные землетрясения 1789 (M 7.2), 1795 (M 7.0), 1872 (M 7.2), 1874 (M 7.1), 1875 (M 6.7), 1893 (M 7.1), 2020 (M 6.8), 2023 г. (M 7.8, M 7.7), то есть повторяемость групп (1790—1880—2020) около 100 лет. Но внутри групп бывает 2—4 близких по времени сильных землетрясения. Можно прогнозировать, что сильное землетрясение на Восточно-Анатолийском разломе если не произойдет через 1—2 года, то произойдет только через 100 лет.

Анализ геолого-геофизических данных и обстановок дает возможность сформулировать и разработать Геодинамическую концепцию геоэкологии.

Геодинамическая концепция геоэкологии и снижение геоэкологического риска

1. Построение геодинамических моделей регионов опасных природных процессов с целью прогноза и предупреждения стихийных бедствий и катастроф.

2. Анализ предвестников землетрясений, извержений вулканов, цунами, оползней и других опасных природных процессов.

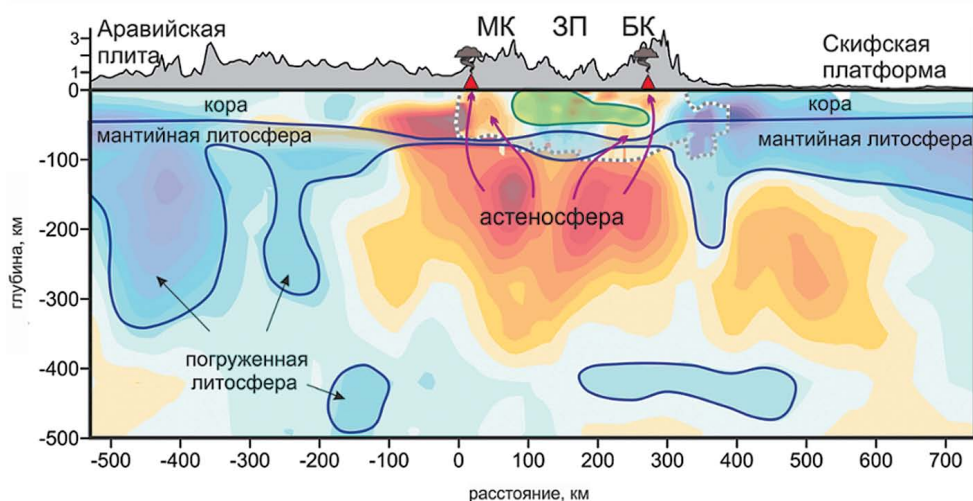


Рис. 12. Вертикальное сейсмотомографическое сечение Кавказского региона. МК, БК — Малый и Большой Кавказ соответственно. ЗП — область Закавказского межгорного прогиба. Наверху рельеф над профилем [17]

Fig. 12. Vertical seismic tomographic section of the Caucasus region. МК, БК — Lesser and Greater Caucasus, respectively. ЗП — region of the Transcaucasian intermountain trough. Top relief above the profile [17]

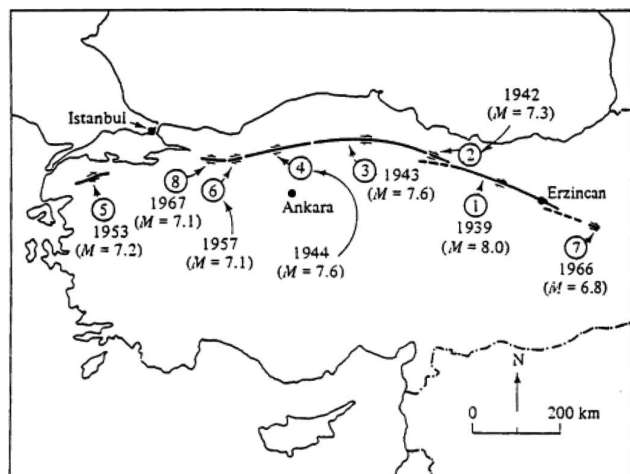


Рис. 13. Северо-Анатолийский разлом и связанные с ним сильные землетрясения [9]

Fig. 13. The North Anatolian fault and its associated strong earthquakes [9]

3. Анализ напряженно-деформированного состояния литосферы на базе изучения систем глубинных и поверхностных разломов как маркеров областей максимальных напряжений и нарушения пределов прочности вещества в литосфере.

4. Разработка подходов и последовательно-сти геолого-геофизических исследований с целью снижения геоэкологического риска и создания систем мониторинга.

5. Механико-математическое моделирование эволюции геологических структур в регионах опасных природных процессов в связи с глубокой геодинамикой литосферы и астеносферы.

6. Оценка и управление геоэкологическим риском.

7. Разработка и создание систем мониторинга.

8. Разработка и применение сейсмостойкого строительства.

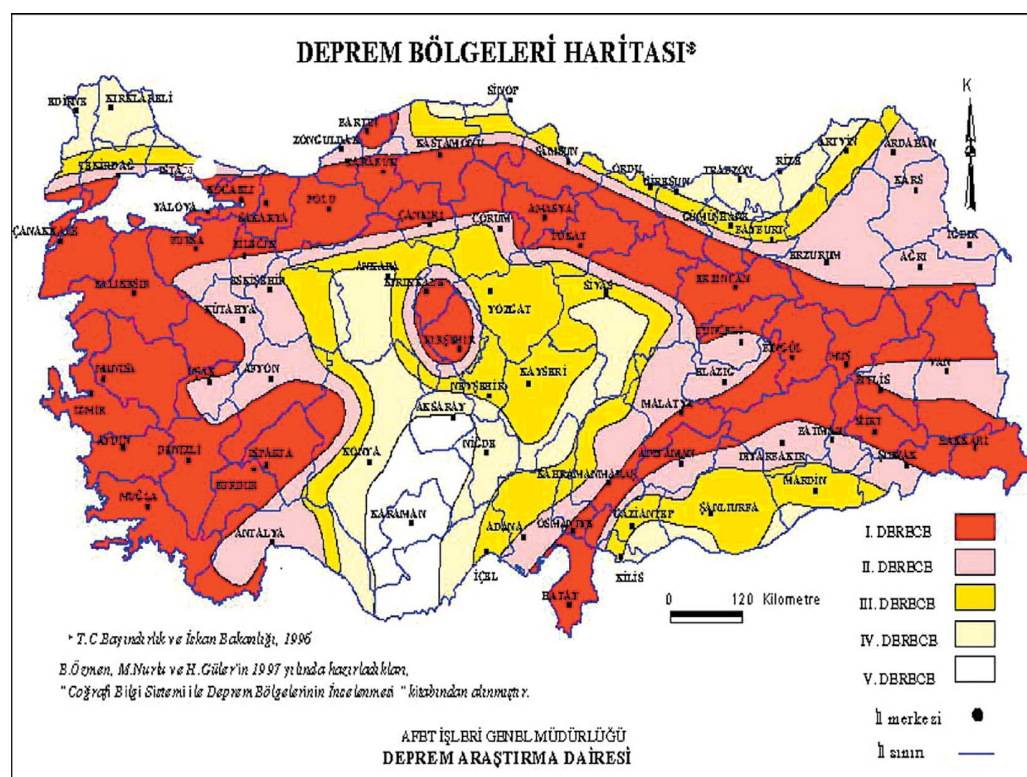


Рис. 14. Стамбул как «горячее пятно» риска землетрясений (белый круг). «Горячая зона» опасности землетрясений (красный цвет) в Турции. Основа: Карта зон землетрясений. Отдел исследования землетрясений. Главное управление по делам стихийных бедствий, Турция

Справа на легенде — уровень сейсмического риска. Красный — очень высокий, розовый — высокий, желтый — средний, светло-желтый — низкий, белый — очень низкий.

Fig. 14. Istanbul as an earthquake risk hotspot (white circle). Earthquake hazard hot zone (red) in Turkey. Base: Map of earthquake zones. Department of Earthquake Research. General Directorate of Disaster Affairs, Türkiye To the right of the legend is the degree of seismic risk. Red is very high, pink is high, yellow is medium, light yellow is low, white is very low.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров М.А., Короновский Н.В., Разницын Ю.Н. Свалова В.Б. Вклад мантийного диапиризма в процесс формирования новообразованных впадин Средиземноморья и Карибского бассейна и окружающих центробежно-вергентных складчато-покровных орогенов // Геотектоника. 2015. № 6. С. 80—93.
2. Милуков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А., Стеблов Г.М. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям // Геотектоника. 2015. № 3. С. 56—65.
3. Рогожин Е.А., Горбатилов А.В., Степанова М.Ю., Овсяченко А.Н., Андреева Н.В., Харазова Ю.В. Структура и современная геодинамика мегантиклинория Большого Кавказа в свете новых данных о глубинном строении // Геотектоника. 2015. № 2. С. 36—49.
4. Свалова В.Б. «Горячие пятна» геоэкологического риска и проблемы территориального планирования // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 64(3). С. 19—34. DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-3-19-34
5. Свалова В.Б. Механико-математическое моделирование формирования и эволюции геологических структур в связи с глубинным мантийным диапиризмом // Мониторинг. Наука и технологии. 2014. № 3(20). С. 38—42.
6. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли. 2007. № 7. С. 31—45.
7. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005. 560 с.
8. Шарков Е.В., Свалова В.Б. Внутриконтинентальные моря как результат задугового спрединга при коллизии континентальных плит // Доклады Академии наук СССР. 1989. Т. 308, № 3. С. 685—688.
9. Allen C.R. Active faulting in northern Turkey. California Institute of Technology. California, 1969. P. 32—34.
10. Becker T.W., Boschi L. A comparison of tomographic and geodynamic mantle models // Geochem. Geophys. Geosyst. 2002. No. 3. Paper No. 2001GC000168 DOI: 10.1029/2001GC000168
11. Ershov A.V., Nikishin A.M. Recent geodynamics of the Caucasus-Arabia-East Africa region // Geotectonics. 2004. No. 2. P. 55—72.
12. Bijwaard H., Spakman W., Engdahl E.R. Closing the gap between regional and global travel time tomography // J. Geophys. Res. 1998. Vol. 103. P. 30055—30078.
13. Duman T.Y., et al. Seismotectonic database of Turkey // Bulletin of earthquake engineering. 2018. Vol. 16, no. 8. P. 3277—3316.
14. Gee D.G., Zeyen H.J. (eds). EUROPROBE 1996 — Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents. Uppsala University. 1996. 138 p.
15. Grand S.P., van der Hilst R.D., Widiyantoro S. Global seismic tomography: A snapshot of convection in the Earth // GSA Today. 1997. No. 7(4). P. 1—7.
16. Güvercin S.E., Karabulut H., Konca A.O., Doğan U., Ergintav S. Active seismotectonics of the East Anatolian Fault // Geophysical Journal International. 2022. No. 230(1). P. 50—69.
17. Koulakov I., Zabelina I., Amanatashvili I., Meskhia V. Nature of orogenesis and volcanism in the Caucasus region based on results of regional tomography // Solid Earth. 2012. No. 3. P. 327—337.
18. Medved I., Koulakov I., Polat G. Crustal structure of the eastern Anatolia region (Turkey) based on seismic tomography // Geosciences (Switzerland). 2021. Vol. 11. No. 2. P. 1—12.
19. Sharkov E., Lebedev V. Caucasian-Arabian Segment of Alpine-Himalayan Convergence: an Example of Continental Collision above Mantle Plume // Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere. V. Svalova (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 381—390.
20. Sharkov E., Svalova V. Geological-geomechanical simulation of the Late Cenozoic geodynamics in the Alpine-Mediterranean mobile belt. New Frontiers in Tectonic Research — General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs. INTECH, Croatia. 2011. P. 18—38.
21. Stein R.J., Barka A.A., Dieterich J.H. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering // Geophysical Journal International. 1997. Vol. 128. Iss. 3. P. 594—604, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x
22. Stern R.J., Johnson P. Continental lithosphere of the Arabian Plate: A geologic, petrologic, and geophysical synthesis // Earth-Science Reviews. 2010. No. 101. P. 29—67. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.01.002
23. Svalova V. (ed.). Earthquakes — Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71298
24. Svalova V. Earthquakes: Life at Risk / In: Svalova V. (ed.). Earthquakes — Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction. InTech. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79917
25. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas // Geology of the South of Russia. 2019. No. 9(2). P. 109—127. DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31981
26. Zhao D. Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes // Earth Planet. Sci. Lett. 2001. Vol. 192. P. 423—436.
27. Zhou H. A high-resolution P wave model for the top 1200 km of the mantle // J. Geophys. Res. 1996. Vol. 101. P. 27791—27810.

REFERENCES

1. Goncharov M.A., Koronovsky N.V., Raznitsin Yu.N., Svalova V.B. The contribution of mantle diapirism to the process of formation of the newly formed basins of the Mediterranean and the Caribbean and the surrounding centrifugal-vergent folded-cover orogens // *Geotectonics*. 2015. No. 6. P. 80—93.
2. Milyukov V.K., Mironov A.P., Rogozhin E.A., Steblov G.M. Estimates of the velocities of modern movements of the North Caucasus from GPS observations // *Geotectonics*. 2015. No. 3. P. 56—65.
3. Rogozhin E.A., Gorbatiykov A.V., Stepanova M.Yu., Ovsyuchenko A.N., Andreeva N.V., Kharazova Yu.V. Structure and modern geodynamics of the meganticlinorium of the Greater Caucasus in the light of new data on the deep structure // *Geotectonics*. 2015. No. 2. P. 36—49.
4. Svalova V.B. "Hot spots" of geoecological risk and problems of territorial planning // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and exploration*. 2022. No. 64(3). P. 19—34. DOI: 10.32454/0016-7762-2022-64-3-19-34
5. Svalova V.B. Mechanical and mathematical modeling of the formation and evolution of geological structures in connection with deep mantle diapirism // *Monitoring. Science and technology*. 2014. No. 3(20). P. 38—42.
6. Ulomov V.I., Danilova T.I., Medvedeva N.S., Polyakova T.P., L.S. Shumilina L.S. On the assessment of seismic hazard in the North Caucasus // *Physics of the Earth*. 2007. No. 7. P. 31—45.
7. Khain V.E., Lomize M.G. *Geotectonics with the basics of geodynamics*. Moscow: KDU, 2005. 560 p.
8. Sharkov E.V., Svalova V.B. Inland seas as a result of back-arc spreading during continental plate collision // *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. 1989. Vol. 308, no. 3. P. 685—688.
9. Allen C.R. *Active faulting in northern Turkey*. California Institute of Technology. California, 1969. P. 32—34.
10. Becker T.W., Boschi L. A comparison of tomographic and geodynamic mantle models // *Geochem. Geophys. Geosyst.* 2002. No. 3. Paper No. 2001GC000168. DOI: 10.1029/2001GC000168
11. Ershov A.V., Nikishin A.M. Recent geodynamics of the Caucasus-Arabia-East Africa region // *Geotectonics*. 2004. No. 2. P. 55—72.
12. Bijwaard H., Spakman W., Engdahl E.R. Closing the gap between regional and global travel time tomography // *J. Geophys. Res.* 1998. Vol. 103. P. 30055—30078.
13. Duman T.Y., et al. Seismotectonic database of Turkey // *Bulletin of earthquake engineering*. 2018. Vol. 16, no. 8. P. 3277—3316.
14. Gee D.G., Zeyen H.J. (eds). *EUROPROBE 1996 — Lithosphere Dynamics: Origin and Evolution of Continents*. Uppsala University. 1996. 138 p.
15. Grand S.P., van der Hilst R.D., Widiyantoro S. Global seismic tomography: A snapshot of convection in the Earth // *GSA Today*. 1997. No. 7(4). P. 1—7.
16. Güvercin S.E., Karabulut H., Konca A.O., Doğan U., Ergintav S. Active seismotectonics of the East Anatolian Fault // *Geophysical Journal International*. 2022. No. 230(1). P. 50—69.
17. Koulakov I., Zabelina I., Amanatashvili I., Meskhia V. Nature of orogenesis and volcanism in the Caucasus region based on results of regional tomography // *Solid Earth*. 2012. No. 3. P. 327—337.
18. Medved I., Koulakov I., Polat G. Crustal structure of the eastern Anatolia region (Turkey) based on seismic tomography // *Geosciences (Switzerland)*. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 1—12.
19. Sharkov E., Lebedev V. Caucasian-Arabian Segment of Alpine-Himalayan Convergence: an Example of Continental Collision above Mantle Plume // *Heat-Mass Transfer and Geodynamics of the Lithosphere*. V. Svalova (ed.) Springer book: 89082526, 2021. P. 381—390.
20. Sharkov E., Svalova V. Geological-geomechanical simulation of the Late Cenozoic geodynamics in the Alpine-Mediterranean mobile belt. *New Frontiers in Tectonic Research — General Problems, Sedimentary Basins and Island Arcs*. INTECH, Croatia. 2011. P. 18—38.
21. Stein R.J., Barka A.A., Dieterich J.H. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering // *Geophysical Journal International*. 1997. Vol. 128. Iss. 3. P. 594—604, DOI: 10.1111/j.1365-246X.1997.tb05321.x
22. Stern R.J., Johnson P. Continental lithosphere of the Arabian Plate: A geologic, petrologic, and geophysical synthesis // *Earth-Science Reviews*. 2010. No. 101. P. 29—67. DOI: 10.1016/j.earscirev.2010.01.002
23. Svalova V. (ed.). *Earthquakes — Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction*. InTech, 2018. DOI: 10.5772/intechopen.71298
24. Svalova V. *Earthquakes: Life at Risk* / In: Svalova V. (ed.). *Earthquakes — Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction*. InTech. 2018. DOI: 10.5772/intechopen.79917
25. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landslide risk in mountain areas // *Geology of the South of Russia*. 2019. No. 9(2). P. 109—127. DOI: 10.23671/VNC.2019.2.31981
26. Zhao D. Seismic structure and origin of hotspots and mantle plumes // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2001. Vol. 192. P. 423—436.
27. Zhou H. A high-resolution P wave model for the top 1200 km of the mantle // *J. Geophys. Res.* 1996. Vol. 101. P. 27791—27810.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Valentina B. Svalova — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Свалова Валентина Борисовна — кандидат физико-математических наук, в.н.с. ФГБУН «Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук».

13, Уланский пер., г. Москва 101000, Россия

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук

93а, ул. Маркова, г. Владикавказ 362002, Россия

e-mail: v-svalova@mail.ru

тел.: +7 (916) 206-41-47

SPIN-код: 6883-5190

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5597-2438>

Valentina B. Svalova — Cand. of Sci. (Phys. and Math.), Leading scientist, Sergeev Institute of Environmental Geoscience of RAS.

13, Ulansky lane, Moscow 101000, Russia

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

93a, st. Markova, Vladikavkaz 362002, Russia

e-mail: v-svalova@mail.ru

tel.: +7 (916) 206-41-47

SPIN-code: 6883-5190

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5597-2438>



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МУЗЕЕФИКАЦИИ АРХИТЕКТУРНО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ

К.А. ДУБРОВИН*, О.Е. ВЯЗКОВА

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Туризм является важной отраслью экономики. Значительную часть людей привлекает интерес к историческим достопримечательностям — памятникам, в том числе архитектурно-археологическим. Вопрос об их музеефикации в настоящее время решается исходя из их исторической значимости и экономической целесообразности, при этом возможность физически сохранить конструкции и материалы дошедших до нас памятников не оценивается.

Цель. Обосновать необходимость изучения инженерно-геологических условий при музеефикации архитектурно-археологических памятников для прогнозирования устойчивого функционирования исторических ПТС.

Материалы и методы. Основой для статьи послужили результаты многолетней работы авторов над изучением инженерно-геологических условий и оценкой их влияния на сохранность архитектурно-археологических памятников при музеефикации. Основными методами являлись сбор, систематизация и обработка информации, полученной авторами в ходе полевых, лабораторных и камеральных исследований.

Результаты. Сформулировано два различных сценария проведения инженерно-геологической оценки состояния не только уже музеефицированных, но и подлежащих музеефикации памятников с целью обеспечить их длительное, безопасное и управляемое функционирование в качестве музеев.

Заключение. В статье обоснована необходимость привлечения инженеров-геологов к решению вопроса о музеефикации архитектурно-археологических памятников. Приведены примеры успешной реализации подобной практики, когда она помогла избежать аварийных ситуаций.

Ключевые слова: архитектурно-археологический памятник, естественный ландшафт, инженерно-геологические условия, музеефикация, экзогенные геологические процессы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: часть исследования была выполнена в рамках работ по гранту РФФИ № 19-05-00679/19.

Для цитирования: Дубровин К.А., Вязкова О.Е. Инженерно-геологические аспекты музеефикации архитектурно-археологических памятников. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):42—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-42-51>

Статья поступила в редакцию 09.02.23

Принята к публикации 24.05.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

ENGINEERING AND GEOLOGICAL ASPECTS IN THE MUSEUMIFICATION OF ARCHITECTURAL AND ARCHAEOLOGICAL MONUMENTS

KIRILL A. DUBROVIN*, OLGA E. VYAZKOVA

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

ABSTRACT

Background. Tourism is an important economic sector, attracting a large amount of people to historical sites, including architectural and archaeological monuments. At present, the question of their museumification is resolved by considering their historical value and economic expediency. At the same time, the possibility of physically preserving the structures and materials of extant monuments is frequently ignored.

Aim. To substantiate the need to study the engineering and geological conditions during museumification of architectural and archaeological monuments to predict their sustainable functioning.

Materials and methods. The results of the authors' long-term field and desktop research into the impact of engineering and geological conditions on the preservation of architectural and archaeological monuments during museumification were generalized and analyzed.

Results. Two different scenarios were formulated for carrying out an engineering and geological assessment of the state of not only already museumified monuments, but also those that are supposed to be museumified in order to ensure their long-term, safe and manageable functioning as museums.

Conclusion. The need to involve geologists in solving the question of museumification of architectural and archaeological monuments is substantiated. Examples of successful implementation of such a practice, which allowed emergency situations to be avoided, are provided.

Keywords: architectural and archaeological monument, natural landscape, engineering and geological conditions, museumification, exogenous geological processes

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

Financial disclosure: part of research was carried out on the subject of the RFBR grant No. 19-05-00679/19.

For citation: Dubrovin K.A., Vyazkova O.E. Engineering and geological aspects in the museumification of architectural and archaeological monuments. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):42—51. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-42-51>

Manuscript received 09 February 2023

Accepted 24 May 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

Во многих странах мира доходы от туристической отрасли являются бюджетобразующими. Значительную часть туристов привлекает в эти страны интерес к историческим достопримечательностям: пирамиды Египта, Колизей в Риме, руины Пальмиры в Сирии, Акрополь в Афинах и др. Наша страна только начинает осознавать культурную ценность своих древностей и приводить их в состояние, при котором они могут представлять интерес. Одним из типов исторических объектов

являются архитектурно-археологические памятники (ААП), которые представляют собой в той или иной степени руинированные архитектурные сооружения прошлого.

В настоящее время решение о музеефикации принимается после оценки исторической значимости, решения вопросов правовой принадлежности объекта, экономической целесообразности, географической доступности, наличия и степени развития общей туристической инфраструктуры

[13, 14, 17, 20]. При этом вопрос о физической возможности сохранения конструкции и материалов дошедших до нас элементов памятников не рассматривается.

Музеефикация архитектурно-археологических памятников может осуществляться одним из следующих способов:

- 1) в условиях естественного ландшафта без специальных инженерно-технических мероприятий;
- 2) в условиях естественного ландшафта с применением мер искусственной защиты (техническая мелиорация, введение дополнительных конструкций);
- 3) музеефикация в павильонах на фоне ландшафта (с мерами технической защиты или без них).

При музеефикации ААП в условиях естественных ландшафтов специалисты в области инженерной геологии должны участвовать в принятии решений о принципиальной возможности сохранить исторические сооружения в современной природной обстановке. Обсуждение способов музеефикации того или иного памятника должно производиться в рамках двух различных сценариев.

Первый (представляющийся авторам наиболее верным) — это проведение инженерно-геологической оценки возможности музеефикации памятника. Данный сценарий реализуется, когда тот или иной памятник только собираются музеефицировать и своевременно задаются вопросом, как это лучше осуществить, безопасно ли это сделать и для памятника, и для туристов в условиях естественного ландшафта. Целью при этом является прогноз возможности безопасного функционирования исторической ПТС (ИПТС).

Второй сценарий имеет совершенно другую направленность и сводится к инженерно-геологической оценке состояния уже музеефицированного архитектурно-археологического памятника. Целью в этом случае будет ликвидация и/или минимизация последствий экзогенных геологических процессов, протекающих в системе «памятник — окружающая среда».

Таким образом, первый сценарий направлен на грамотную и безопасную для памятника музеефикацию с заблаговременным учетом потенциально опасных геологических процессов, второй — на ликвидацию последствий протекания последних и «адаптацию» памятника к современным и прогнозируемым инженерно-геологическим условиям.

В зависимости от сценария перед инженером-геологом будут стоять разные задачи. Тем не менее в обоих случаях должно исследоваться взаимодействие памятника с окружающей средой.

Это обуславливает необходимость изучения инженерно-геологических условий (ИГУ) [22—24] и анализ взаимодействий в системе «памятник — окружающая среда» [18, 19].

Инженерно-геологическая оценка подлежащего музеефикации архитектурно-археологического памятника

При реализации первого сценария целью инженера-геолога будет изучение инженерно-геологических условий и прогноз их долгосрочного влияния на функционирование и сохранность ИПТС для принятия обоснованного решения о возможности его музеефикации в условиях естественного ландшафта.

При этом решаются следующие задачи:

1. Изучение истории строительства, эксплуатации памятника, причин его разрушения.
2. Анализ современных ИГУ участка расположения памятника.
3. Палеорекострукция ИГУ на момент создания и эксплуатации памятника.
4. Оценка влияния ИГУ и их изменений во времени на состояние компонентов ИПТС.

После решения всех задач инженер-геолог обоснованно отвечает на два вопроса:

1. Есть ли возможность управляемо и безопасно для памятника и туристов провести музеефикацию?
2. Каким именно способом следует это сделать?

В ходе работ необходимо исследовать и оценить все компоненты инженерно-геологических условий согласно требованиям разработанного специально для реставрации культурного наследия ГОСТ Р 55945-2014¹ во взаимосвязи между собой (рис. 1).

Важно оценивать как современные инженерно-геологические условия участка расположения памятника, так и их эволюцию как минимум за период существования исследуемой ИПТС [7]. Например, для крепости Корелы [11] в рамках ее исследования потребовалось изучение эволюции в течение нескольких столетий всей озерно-речной

¹ «Инженерно-геологические условия: компоненты геологической среды, которые влияют на использование и сохранение объектов культурного наследия (рельеф и речная сеть, климатические, геологические, неотектонические, геоморфологические, гидрогеологические условия, экзогенные и эндогенные геологические процессы, свойства грунтов)». Цитата из ГОСТ Р 55945-2014 Общие требования к инженерно-геологическим изысканиям и исследованиям для сохранения объектов культурного наследия. М.: Стандартинформ, 2014. 33 с.

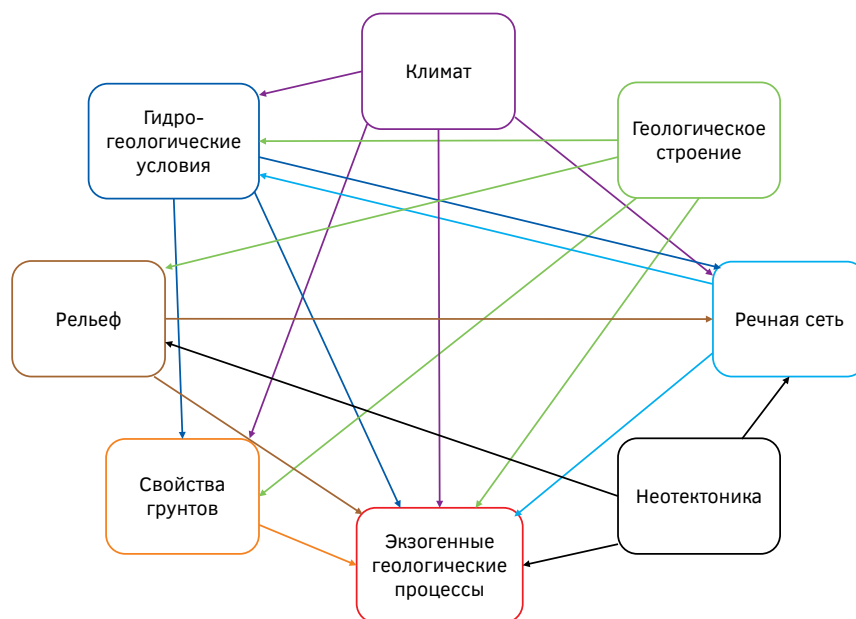


Рис. 1. Сложная взаимосвязь компонентов инженерно-геологических условий
Fig. 1. Interrelation of components of engineering-geological conditions

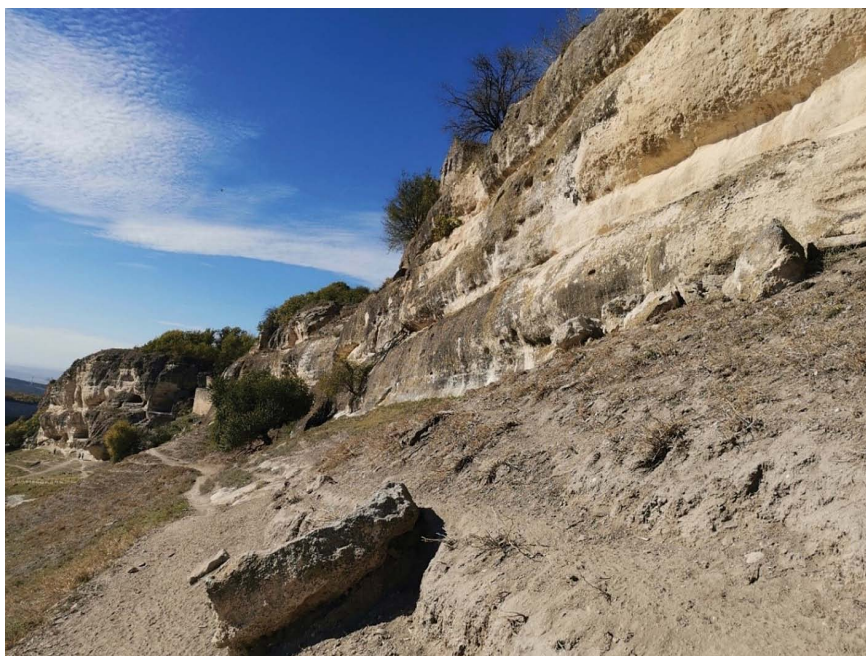


Рис. 2. Парагенезис выветривания, карста и обвалов на Чуфут-Кале
Fig. 2. Paragenesis of weathering, karst and crumbling in the Chufut-Kale

системы Вуокса, распространенной практически на всем Карельском перешейке².

² Здесь и далее в качестве примеров для обоих сценариев приведены ИПТС, большая часть которых уже музеефицирована без инженерно-геологической оценки возможности их сохранения. Возникающие при этом проблемы и позволяют говорить о двух сценариях.

В ходе инженерно-геологической оценки следует уделять внимание развитым и потенциально опасным геологическим процессам [26], свойственным для данного инженерно-геологического региона и типа расположения памятника [8, 25]. Например, для памятников «мысового» типа расположения, таких как Староладжская

[4], Копорская и Ачипсинская крепости [5], характерен парагенезис выветривания, речной эрозии и осыпей. Для пещерных городов Крыма (Эски-Кермен [10], Чуфут-Кале, Мангуп-Кале [9] и др.) (рис. 2), расположенных в массивах столовых плато, типичны процессы карстообразования, выветривания, осыпи и обвалы. Здесь проявляются уже характерные региональные особенности геологического строения и геоморфологических условий. Похожая ситуация наблюдается в регионе Балтийско-Ладжского глинта [4]. В пределах Карельского перешейка, напротив, региональные инженерно-геологические условия не так опасны, и при изучении памятников этого региона следует больше концентрировать внимание на проблемах, связанных преимущественно с процессами, происходящими в конструкциях памятника (Выборг [3], Корела, Тиверск [11]).

Изучение ИГУ позволяет выявлять потенциальные угрозы для сохранности ААП, выражающиеся в проявлениях экзогенных геологических

процессов. Это дает возможность заблаговременно, уже на этапе проектирования принять превентивные меры (например, инженерной защиты) по минимизации ущерба и правильно подобрать наиболее оптимальный для сохранности исследуемого памятника тип музеефикации.

Кроме того, необходимо учитывать, что архитектурно-археологические памятники (Староладжская [4] и Копорская [5] крепости, Выборгский замок [3], Раевское городище [6] и фундаменты построек Горгиппии [6]) построены из природных материалов [28, 29], которые тоже подвержены выветриванию и осыпанию. В настоящее время 60% оборонительных стен Копорской крепости разрушаются синхронно с процессами выветривания и осыпания крутого склона реки Копорки, сложенного ордовикскими известняками (рис. 3). В результате этот процесс делает невозможной музеефикацию в условиях естественного ландшафта без мер технической защиты.

Таким образом, инженеры-геологи должны оценивать в рамках описываемого сценария все



Рис. 3. Совместное выветривание и осыпание склона и стен Копорской крепости
Fig. 3. Joint weathering and crumbling of the slope and walls of the Kopper fortress

компоненты ИПТС, в том числе и инженерно-технические особенности конструкций самого памятника [1, 15].

Авторам представляется верным проведение оценки возможности длительной сохранности архитектурно-археологического памятника на этапе планирования его преобразования в музей. Однако, к сожалению, ответы на вопросы сохранности ААП ищут уже в рамках другой ситуации: «Что не так с памятником?» [27], сопровождая их поиски значительными финансовыми затратами, которых можно было избежать.

Инженерно-геологическая оценка музеефицированного архитектурно-археологического памятника

Разумеется, специалистов, имеющих дело с памятниками, беспокоят вопросы их безопасности и сохранности, однако отвечать на них они не могут в силу «гуманитарности» образования. Некоторые исследователи ошибочно полагают, что если недвижимый исторический объект, например курган или крепостные стены, «дожил» до сегодняшнего дня, то он так же просуществует еще не одну сотню лет. К сожалению, ситуация далеко не всегда обстоит так, и довольно часто по вине таких специалистов скорость процесса разрушения памятников только экспоненциально возрастает, поскольку:

1) при археологических работах происходит неизбежное нарушение сложившегося за столетия природного равновесия;

2) музеефикация без понимания происходящих в ИПТС процессов может привести к неминуемой утрате значительных частей музеефицируемого памятника (крепость Копорье находится в аварийном состоянии и продолжает разрушаться [2]).

Если первый пункт неизбежен, хотя его последствия можно минимизировать при грамотных и своевременных инженерно-геологических исследованиях, то второго пункта можно полностью избежать. В настоящее время часто вместо поиска ответов на вопрос «Что не так?» специалисты сразу же начинают вести работы по реставрации памятника все так же без привлечения инженеров-геологов, что довольно часто не только портит внешний вид ААП (как это произошло с Раскатной башней в Старой Ладоге) и приводит к большим финансовым затратам, но и наносит ему значительный ущерб.

В пример можно привести случай с Копорской крепостью [21], когда порывами сильного ветра 6 марта 2020 г. снесло металлическую конструкцию нового навеса, вырвав его из стены памятника вместе с элементами исторической кладки (рис. 4).

В качестве еще одного примера можно привести крепость Чембало, на территории которой



Рис. 4. Обрушение защитного козырька в крепости Копорье [21]

Fig. 4. The collapse of the protective canopy in the Koprorye fortress [21]

из-за затянувшейся реконструкции произошло обрушение части средневековой башни в 2008 году [12]. В январе 2022 года на территории крепости обвалились строительные леса [16]. Справедливо отметить, что часть технических проблем формируется по финансовым причинам. Однако, если своевременно привлекать к их решению специалистов инженеров-геологов, можно избежать значительных экономических затрат, которые и приводят к затягиванию, а порой и заморозке абсолютно необходимых реставрационных работ.

Таким образом, в рамках второго сценария целью инженера-геолога является изучение инженерно-геологических условий и оценка их влияния на сохранность исследуемого памятника для принятия решений о минимизации ущерба от уже протекающих геологических процессов.

Для достижения цели требуется решать следующие задачи.

1. Изучать историю строительства и эксплуатации памятника.
2. Анализировать современные инженерно-геологические условия участка расположения памятника.
3. Осуществлять палеореконструкцию инженерно-геологических условий на момент создания и эксплуатации памятника.
4. Оценивать влияние ИГУ и их изменений во времени на состояние компонентов ИПТС.
5. Выделять компоненты инженерно-геологических условий, оказывающие наибольшее влияние на функционирование ИПТС.
6. Изучать причины, механизмы и скорость развития экзогенных геологических процессов в системе «памятник — окружающая среда».
7. Прогнозировать состояние исследуемого памятника и дальнейшее протекание процессов.

8. Разрабатывать меры инженерной защиты памятника.

Видно, что перечень подлежащих решению задач во втором сценарии спасения памятника гораздо объемнее, чем в первом — наиболее рациональном и благоприятном для его сохранения.

В зависимости от «запущенности» опасного процесса и скорости его протекания принимаются те или иные решения, направленные на поддержание удовлетворительного состояния памятника. Таким образом, перед инженером-геологом стоит задача адаптации памятника к сложившимся условиям и минимизации ущерба от уже активных угроз.

Заключение

Рассмотренные сценарии имеют общую направленность на длительное безопасное сохранение часто уникальных материальных свидетельств нашей истории. Так, при первом сценарии требуется всеобъемлющее глубокое изучение всех компонентов инженерно-геологических условий участка и компонентов ИПТС, чтобы не навредить памятникам и не тратить большие государственные ресурсы на бесперспективные и заведомо не подходящие конкретному памятнику схемы музеефикации. При втором сценарии изучению и оценке также подлежат все аспекты, однако степень их проработки будет несколько иная, поскольку уже не стоит задачи создания наиболее благоприятных для памятника условий. Здесь подобное изучение проводится для того, чтобы выделить наиболее значимый для той или иной ситуации компонент, оказывающий наибольшее влияние на активизацию и скорость протекания геологических процессов, уже негативно воздействующих на исследуемый ААП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С., Леушина И.В., Панасьян Л.Л. Значение геологической информации при реставрации исторических памятников, построенных с использованием «Белого камня» // Вестник Российской академии естественных наук. 2016. Т. 16. № 1. С. 3—10.
2. Битва со временем: что спасет крепость Копорье от разрушения. 2021. URL: <https://tvspb.ru/news/2021/12/18/bitva-so-vremenem-cto-spa-set-krepost-kopore-ot-razrusheniya/> (дата обращения: 30.01.2023).
3. Вязкова О.Е., Дубровин К.А. Анализ влияния инженерно-геологических условий на формирование и функционирование ИПТС «Выборгский замок» // Молодые — наукам о Земле: мат-лы IX Междунар. науч. конф. молодых ученых. В 7 т. М., 2020. С. 82—84.
4. Вязкова О.Е., Дубровин К.А. Инженерно-геологические проблемы музеефикации Староладожской крепости // Инженерные изыскания в строительстве: мат-лы XIV Общерос. конф. изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2018. С. 528—533.
5. Вязкова О.Е., Дубровин К.А. Инженерно-геологические причины и механизмы разрушения архитектурно-археологических памятников фортификационного назначения в различных условиях // Перспективы развития инженерных изысканий в Российской Федерации: мат-лы XV Общерос. науч.-практич. конф. изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2019. С. 459—464.
6. Вязкова О.Е. Инженерно-геологические аспекты музеефикации архитектурно-археологических

- памятников Новороссийского района // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: мат-лы XVI Общерос. науч.-практич. конф. изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2021. С. 634—640.
7. Вязкова О.Е. Об изменении инженерно-геологических условий в процессе эксплуатации архитектурных памятников // Сб. тезисов 7-го Междунар. науч.-практич. симпозиума «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси» 14—15 ноября 2018 г. Свято-Троицкая Сергиева лавра, Московская духовная академия, Сергиев Посад. С. 48—50.
 8. Вязкова О.Е., Никишина Т.А. К вопросу о влиянии геоморфологических условий на проявление геологических процессов на территориях монастырей Центральной России // Инженерная геология. 2020. Т. 15. № 4. С. 68—80.
 9. Дубровин К.А. Влияние инженерно-геологических условий на музеефикацию пещерных городов Мангуп-Кале и Чуфут-Кале (Республика Крым) // Молодые — наукам о Земле: тезисы докл. X Междунар. научной конференции молодых ученых. Т. 5. М.: Росс. гос. геологоразвед. ун-тет им. С. Орджоникидзе (МГРИ), 2022. С. 144—148.
 10. Дубровин К.А. Влияние инженерно-геологических условий на перспективы музеефикации Пещерного города Эски-Кермен (Республика Крым) // Перспективы развития и инженерные изыскания в строительстве в Российской Федерации: мат-лы докл. XVI Общерос. конф. изыскательских организаций. М.: Геомаркетинг, 2021. С. 641—647.
 11. Дубровин К.А. Влияние изменения гидрографической сети на сооружения крепостей русского Севера // Мат-лы III Общерос. науч.-практич. конф. молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М.: Геомаркетинг, 2019. С. 119—125.
 12. Уникальный памятник рушится на глазах. 2008. URL: <https://www.ntv.ru/novosti/136393/> (дата обращения: 30.01.2023).
 13. Кепин Д.В. Дефиниция понятия «музей-заповедник» // Искусство и культура. 2016. № 1(21). С. 80—87.
 14. Ковешникова Е.А. Музеефикация археологических и палеонтологических памятников в Кемеровской области // Образовательные стратегии и инициативы в этнокультурном развитии регионов Большого Алтая: мат-лы междунар. науч.-практич. конф. / Под ред. И.Р. Лазаренко. Алтайский государственный педагогический университет, Барнаул, 2016. С. 93—99.
 15. Крамина Т.А., Васильева Ю.В. Инженерно-геологические аспекты реставрации памятников архитектуры // Известия КГАСУ. 2005. № 2(4). С. 78—79.
 16. Крепость Чембало в Балаклаве закрыли из-за обрушения лесов. 2022. URL: <https://rg.ru/2022/01/24/reg-ufo/krepost-chembalo-v-balaklave-zakryli-iz-za-obrusheniia-lesov.html> (дата обращения: 30.01.2023).
 17. Паршикова Т.С. Опыт музеефикации археологических памятников Алтайского края: проблемы и перспективы // Известия Алтайского государственного университета. 2017. № 5(97). С. 213—217.
 18. Пашкин Е.М. Место инженерно-геологической диагностики в инженерной реставрации памятников архитектуры // Инженерные изыскания. 2013. № 7. С. 44—51.
 19. Пашкин Е.М. Инженерно-геологическая диагностика деформаций памятников архитектуры: монография. М.: Традиция, 2022. 368 с.
 20. Покровская А.Ф., Евдокимова М.А. Характеристика сети археологических музеев-заповедников России // Ученые записки музея-заповедника «Томская Писаница». 2017. № 5. С. 22—30.
 21. После реставрации за десятки миллионов рублей обрушился вход в крепость Копорье. 2020. URL: <https://www.5-tv.ru/news/287620/posle-restavratsii-zadesatki-millionov-rublej-obrusilsa-vhod-vkrepost-kopore/> (дата обращения: 20.01.2023).
 22. Anthimos S.A. Structural restoration of historical monuments. Specific examples from Greek Practice // 2nd Workshop “Restoration of Architectural Surfaces”. 2003. URL: <http://asacon.eu/> (дата обращения: 30.01.2023).
 23. Caputo V. The role of geotechnical engineering in the preservation of our architectural heritage // Built Environment. 2003. Vol. 66, P. 687—695. DOI: 10.2495/STR030671
 24. Cavallaro A., Grasso S., Ferraro A. A geotechnical engineering study for the safeguard, restoration and strengthening of historical heritage // Procedia Engineering. 2016. Vol. 158. P. 134—139. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.418
 25. Christaras B. Engineering Geological Factors of Damage at Greek Monuments and Sites included in the World Heritage List of UNESCO // Technica Chronica. 2003. Vol. 2. P. 37—52.
 26. Margottini C., Gigli G., Ruther H., Spizzichino D. Advances in sustainable conservation practices in rupestrian settlements inscribed in the UNESCO's World Heritage List // Procedia Earth and Planetary Science. 2016. Vol. 16. P. 52—60. DOI: 10.1016/j.proeps.2016.10.006
 27. Okten B.B., Okten M.S., Haydaroglu C., Benzoni G. Structural engineering perspective on historic building restoration // Interaction between Theory and Practice in Civil Engineering and Construction / Eds. R. Komurlu, A.P. Gurgun, A. Singh and S. Yazdani. Istanbul: ISEC Press, 2016. P. 583—587.
 28. Prikryl R., Torok A. Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation // Geological Society. 2010. P. 1—9. DOI: 10.1144/SP333.1
 29. Sousa L., Lourenco J., Pereira D. Suitable Re-Use of Abandoned Quarries for Restoration and Conservation of the Old City of Salamanca-World Heritage Site // Sustainability. 2019. № 11(16). 14 p. DOI: 10.3390/su11164352

REFERENCES

1. Alekseev A.S., Leushina I.V., Panasyan L.L. The importance of geological information in the restoration of historical monuments built using "White stone" // Herald of the Russian Academy of Natural Sciences. 2016. Vol. 16, no. 1. P. 3—10 (In Russian).
2. Battle with time: what will save the Koporye fortress from destruction. Available from: <https://tvspb.ru/news/2021/12/18/bitva-so-vremenem-chto-spaset-krepost-kopore-ot-razrusheniya/> (accessed 30.01.2023) (In Russian).
3. Vyazkova O.E., Dubrovin K.A. Analysis of the influence of engineering-geological conditions on the formation and functioning of the "Vyborg Castle" // Young — to Earth sciences. Materials of the IX International Scientific Conference of Young Scientists: in 7 volumes. Moscow, 2020. P. 82—84 (In Russian).
4. Vyazkova O.E., Dubrovin K.A. Engineering and geological problems of museumification of the Old Ladoga fortress // Engineering surveys in construction. Materials of the Fourteenth All-Russian Conference of survey organizations. Moscow: Geomarketing, 2018. P. 528—533 (In Russian).
5. Vyazkova O.E., Dubrovin K.A. Engineering-geological causes and mechanisms of destruction of architectural-archaeological monuments of fortification purpose in various conditions // Prospects for the development of engineering surveys in the Russian Federation. Materials of the Fifteenth All-Russian Scientific and practical Conference of survey organizations. Moscow: Geomarketing, 2019. P. 459—464 (In Russian).
6. Vyazkova O.E. Engineering-geological aspects of museumification of architectural-archaeological monuments of the Novorossiysk region // Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation. Materials of the Sixteenth All-Russian Scientific and practical Conference of survey organizations. Moscow: Geomarketing, 2021. P. 634—640 (In Russian).
7. Vyazkova O.E. On changes in engineering-geological conditions during the operation of architectural monuments // Collection of abstracts of the 7th International Scientific and Practical Symposium «Natural conditions for the construction and preservation of churches of Orthodox Russia» on November 14-15, 2018. Holy Trinity Sergius Lavra, Moscow Theological Academy, Sergiev Posad. P. 48—50 (In Russian).
8. Vyazkova O.E., Nikishina T.A. On the influence of geomorphological conditions on the geological processes in the territories of monasteries in Central Russia // Engineering geology. 2020. Vol. 15, no. 4. P. 68—80 (In Russian).
9. Dubrovin K.A. The influence of engineering-geological conditions on the museumification of the rupestrian towns of Mangup-Kale and Chufut-Kale (Republic of Crimea) // Young — to Earth Sciences, Abstracts of reports of the X International Scientific Conference of Young Scientists. 2022. Vol. 5. Moscow, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI). P. 144—148 (In Russian).
10. Dubrovin K.A. The influence of engineering-geological conditions on the prospects of museumification of the Rupestrian city of Eski-Kermen (Republic of Crimea) // Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation. Materials of the reports of the XVI All-Russian Conference of survey organizations. Moscow: Geomarketing, 2021. P. 641—647 (In Russian).
11. Dubrovin K.A. The influence of changes in the hydrographic network on the fortresses of the Russian North // Materials of the third All-Russian scientific and practical conference of young specialists "Engineering surveys in construction". Moscow: Geomarketing, 2019. P. 119—125 (In Russian).
12. A unique monument is crumbling before our eyes. Available from: <https://www.ntv.ru/novosti/136393/> (accessed 30.01.2023) (In Russian).
13. Kepin D.V. Definition of the concept of "museum-reserve" // Art and culture. 2016. No. 1(21). P. 80—87 (In Russian).
14. Koveshnikova E.A. Museumification of archaeological and paleontological monuments in the Kemerovo region // Educational strategies and initiatives in the ethnocultural development of the regions of the Greater Altai: materials of the international scientific and practical conference. Altai State Pedagogical University, Barnaul. 2016. P. 93—99 (In Russian).
15. Kramina T.A., Vasilyeva Yu.V. Engineering-geological aspects of restoration of architectural monuments // News KSUAE, 2005. No. 2(4). P. 78—79 (In Russian).
16. Chembalo fortress in Balaklava was closed due to the collapse of the scaffolding. Available from: <https://rg.ru/2022/01/24/reg-ufu/krepost-chembalo-v-balaklave-zakryli-iz-za-obrusheniia-lesov.html> (accessed 30.01.2023) (In Russian).
17. Parshikova T.S. The experience of museumification of archaeological monuments of the Altai Territory: problems and prospects // Izvestiya of Altai State University. 2017. No. 5(97). P. 213—217 (In Russian).
18. Pashkin E.M. The place of engineering-geological diagnostics in the engineering restoration of architectural monuments // Engineering surveys. 2013. No. 7. P. 44—51 (In Russian).
19. Pashkin E.M. Engineering-geological diagnostics of deformations of architectural monuments: monograph. Moscow: Tradition, 2022. 368 p. (In Russian).
20. Pokrovskaya A.F., Evdokimova M.A. Characteristics of the network of archaeological museums-reserves of Russia // Scientific notes of the museum-reserve "Tomsk Pisanitsa". 2017. No. 5. P. 22—30 (In Russian).
21. After restoration, the entrance to the Koporye fortress collapsed for tens of millions of rubles. Available from: <https://www.5-tv.ru/news/287620/posle-restavracii-zadesatki-millionov-rublej-obrusilsa-vhod-vkrepost-kopore/> (accessed 20.01.2023) (In Russian).
22. Anthimos S.A. Structural restoration of historical monuments. Specific examples from Greek Practice // 2nd Workshop "Restoration of Architectural Surfaces". 2003. URL: <http://asacon.eu/> (дата обращения: 30.01.2023).
23. Caputo V. The role of geotechnical engineering in the preservation of our architectural heritage // Built Environment. 2003. Vol. 66, P. 687—695. DOI: 10.2495/STR030671

24. Cavallaro A., Grasso S., Ferraro A. A geotechnical engineering study for the safeguard, restoration and strengthening of historical heritage // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 158. P. 134—139. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.418
25. Christaras B. Engineering Geological Factors of Damage at Greek Monuments and Sites included in the World Heritage List of UNESCO // *Technica Chronica*. 2003. Vol. 2. P. 37—52.
26. Margottini C., Gigli G., Ruther H., Spizzichino D. Advances in sustainable conservation practices in rupestrian settlements inscribed in the UNESCO's World Heritage List // *Procedia Earth and Planetary Science*. 2016. Vol. 16. P. 52—60. DOI: 10.1016/j.proeps.2016.10.006
27. Okten B.B., Okten M.S., Haydaroglu C., Benzoni G. Structural engineering perspective on historic building restoration // *Interaction between Theory and Practice in Civil Engineering and Construction* / Eds. R. Komurlu, A.P. Gurgun, A. Singh and S. Yazdani. Istanbul: ISEC Press, 2016. P. 583—587.
28. Prikryl R., Torok A. Natural stones for monuments: their availability for restoration and evaluation // *Geological Society*. 2010. P. 1—9. DOI: 10.1144/SP333.1
29. Sousa L., Lourenco J., Pereira D. Suitable Re-Use of Abandoned Quarries for Restoration and Conservation of the Old City of Salamanca—World Heritage Site // *Sustainability*. 2019. № 11(16). 14 p. DOI: 10.3390/su11164352

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Дубровин К.А. — занимался сбором и адаптацией материалов, разработкой методологии, осуществлял полевые выезды на объекты исследования: Пещерные города Эски-Кермен, Чуфут-Кале, Мангуп-Кале; крепости Чембало, Копорье, Корела, Староладожская, а также Выборгский замок, Раевское и Тиверское городища и руины античного города Горгиппию.

Вязкова О.Е. — осуществляла научное и методическое руководство, участвовала в разработке методологии и осуществляла полевые выезды на объекты исследования: крепости Копорье, Корела, Староладожская и Ачипсинская, а также Раевское городище и Горгиппию. В ходе многолетних исследований разрабатывала рекомендации для специалистов в области истории, искусствоведов и археологов.

Kirill A. Dubrovin — was engaged in the collection and adaptation of materials, the development of methodology, carried out field work on researched sites — the rupestrian cities of Eski-Kermen, Chufut-Kale, Mangup-Kale; the fortresses of Chembalo, Koporye, Korela, Staroladozhskaya, as well as Vyborg Castle, Raevsky and the Tiverskoye settlements and the ruins of the ancient city of Gorgippia.

Olga E. Vyazkova — carried out scientific and methodological guidance, participated in the development of methodology and field visits work on the objects of research — the fortresses of Koporye, Korela, Staroladozhskaya and Achipsinskaya, as well as the Raevsky and the Tiverskoye settlements and Gorgippia. She has been engaged in a long-term study of the last two, developing recommendations for specialists in the field of history, art historians and archaeologists.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Дубровин Кирилл Андреевич* — аспирант кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: kadubrovin@gmail.com

SPIN-код: 3352-0054

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2834-9848>

Kirill A. Dubrovin* — post-graduate researcher of the Department of Engineering Geology of the Hydrogeological Faculty of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: kadubrovin@gmail.com

SPIN-code: 3352-0054

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2834-9848>

Вязкова Ольга Евгеньевна — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной геологии гидрогеологического факультета ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

e-mail: wjask@yandex.ru

SPIN-код: 8597-3841

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0927-3606>

Olga E. Vyazkova — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), professor of the Department of Engineering Geology of the Hydrogeological Faculty of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

e-mail: wjask@yandex.ru

SPIN-code: 8597-3841

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0927-3606>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗМЕЩЕНИЕ ЛОВУШЕК НЕФТИ И ГАЗА В ПРЕДЕЛАХ 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, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Предуральский краевой прогиб и зона его сочленения с Западно-Уральской внешней зоной складчатости известны как структуры с высоким нефтегазовым потенциалом. Однако сложность геологического строения, обусловленная широким развитием разрывных нарушений различного генезиса и морфологии, несоответствием структурных планов частей осадочного разреза и др., а также низкое качество имеющегося сейсмического материала и, как следствие, недостоверные геологические модели объекта являются сдерживающим фактором к освоению ресурсной базы рассматриваемой территории.

Цель. Изучить условия формирования и типизировать ловушки нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости.

Материалы и методы. Для проведения исследований была использована серия сейсмогеологических профилей субширотного направления: № 2622001-02 ШП в интерпретации В.В. Дроздова, Красновишерск-Североуральск в интерпретации А.Г. Попова, № 15-РС в интерпретации В.Н. Макаревича. Применялась методика структурно-кинематического моделирования, которая позволяет произвести реконструкцию структурной эволюции складчато-надвиговых зон.

Результаты. На основе геолого-геофизических данных с использованием современных технологий компьютерного моделирования создана обоснованная концептуальная геологическая модель формирования и строения зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости, спрогнозированы и типизированы ловушки нефти и газа.

Заключение. По итогам работы изучены условия формирования, сохранности и размещения ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости, произведена их типизация, что позволяет, в совокупности с анализом углеводородных систем, дать научно обоснованную оценку перспектив нефтегазоносности изучаемого региона.

Ключевые слова: поднадвиговые зоны, шарьяжно-надвиговые пояса, Предуральский прогиб, Урал, месторождения углеводородов, кинематическое моделирование, разломы, миграция углеводородов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: 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;65(3):52—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65>

Статья поступила в редакцию 01.06.2023

Принята к публикации 29.06.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

FORMATION AND PLACEMENT OF OIL AND GAS TRAPS WITHIN THE JUNCTION AREA OF CIS-URAL TROUGH AND WEST-URAL OUTER FOLDING ZONE

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

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

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

ABSTRACT

Background. The Cis-Ural trough and its junction area with the West-Ural outer folding zone are known as structures with high oil and gas potential. However, the complexity of the geological structure, due to the wide development of faults of various genesis and morphology, the discrepancy between the structural plans of parts of the sedimentary section, etc., as well as the low quality of the available seismic material and, as a result, unreliable geological models of the object are a deterrent to the development of the resource base of the area under consideration.

Aim. To study the formation conditions and to typify oil and gas traps within the junction area of the Cis-Ural trough and the West-Ural outer folding zone.

Materials and methods. A series of seismogeological profiles in the sublatitudinal direction was used for the research: No. 2622001-02 ShP in the interpretation of Drozdov V.V., Krasnovishersk-Severouralsk in the interpretation of Popov A.G., No. 15-RS in the interpretation of Makarevich V.N. The technique of structural-kinematic modeling was used, which allows reconstructing the structural evolution of fold-thrust zones.

Results. Based on geological and geophysical data and using modern computer modeling technologies, a substantiated conceptual geological model of the formation and structure of the junction area of the Cis-Ural trough and the West-Ural outer folding zone was created. Oil and gas traps were predicted and their types were determined.

Conclusion. Conditions for the formation, preservation and placement of oil and gas traps within the junction area of the Cis-Ural trough and the West-Ural outer folding zone were studied. The types of the traps were determined, which, in conjunction with the analysis of hydrocarbon systems, creates the basis for a scientifically robust assessment of the prospects for oil and gas potential of the studied area.

Keywords: subthrust zones, thrust belts, Cis-Ural trough, Urals, hydrocarbon deposits, kinematic modeling, faults, hydrocarbon migration

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

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

For citation: 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;65(3):52—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65>

Manuscript received 01 June 2023

Accepted 29 June 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

Введение

Предуральский краевой прогиб и зона его сочленения с Западно-Уральской внешней зоной складчатости известны как структуры с высоким нефтегазовым потенциалом [2, 10, 12—15, 20, 21, 24]. Однако сложность геологического строения, обусловленная широким развитием разрывных нарушений различного генезиса и морфологии, несоответствием структурных планов частей осадочного разреза и др., а также низкое качество имеющегося сейсмического материала и, как следствие, недостоверные геологические модели объекта являются сдерживающим фактором к освоению ресурсной базы рассматриваемой территории.

Развитие современных технологий компьютерного моделирования геологических объектов, в том числе сложных складчато-надвиговых структур, позволяет детализировать механизмы формирования структур взбросо-надвигового типа. С помощью моделирования тектонических процессов возможно создать обоснованную концептуальную геологическую модель формирования и строения надвиговых зон, прогнозировать ловушки нефти и газа и оценивать их сохранность.

В настоящей работе предпринята попытка обобщить имеющийся геолого-геофизический материал и на основе накопленных данных с помощью современных компьютерных технологий провести типизацию ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости и дать научно обоснованную оценку условий их формирования и сохранности.

Краткий обзор геологического строения и истории геологического развития

Складчато-надвиговые образования на западном склоне Урала формируют Западно-Уральскую внешнюю зону складчатости и сопряженную с ней территорию Предуральского краевого прогиба.

В пределах взбросо-надвигового пояса Уральской складчатой системы выделяют автохтонный комплекс, залегающий под поверхностью надвига и характеризующийся покровно-складчатым строением, и противоположный ему — аллохтонный комплекс, залегающий над поверхностью надвига и имеющий чешуйчато-надвиговое строение [2].

Геодинамическая природа формирования взбросо-надвиговых структур Предуралья обусловлена герцинским орогенезом под воздействием коллизионных процессов [7, 9].

Современные представления М.А. Камалетдинова [9], Т.Т. Казанцевой [7], Ю.В. Казанцева [6], В.В. Юдина [27], В.Н. Пучкова [22], К.О. Соборнова [23, 24], С.Н. Сычева [25], А.В. Ступаковой [26] об истории геологического развития Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости позволяют выделить 5 этапов тектонодинамического развития рассматриваемой территории, которое напрямую связано с тектонодинамической эволюцией Урала (рис. 1).

1. Предколлизионный этап. Данный этап продолжался от рифея до раннекаменноугольной эпохи и включает в себя следующие стадии: океанический спрединг, субдукцию, задуговой спрединг. На этом этапе был заложен Главный Уральский разлом — разлом растяжения, происходило раскрытие Уральского палеоокеана, была сформирована Уральская островодужная система за счет субдукционных процессов. Предколлизионный этап характеризуется формированием тиманид.

2. Этап пластичных деформаций. Данный этап продолжался от среднекаменноугольной до позднепермской эпохи и включает в себя стадию «мягкой коллизии» — столкновение «дуга — континент» и ранний этап «жесткой коллизии» — столкновение «континент — континент» [22]. На данном этапе происходило формирование Уральского орогена и складчато-надвигового пояса.

3. Этап хрупких деформаций. Данный этап продолжался от позднепермского до триасового времени и включает в себя стадию «поздней коллизии». Данный этап привел к формированию уралид и сдвиговых дислокаций.

4. Постколлизионный этап. Данный этап продолжался от триасового времени до неогенового периода и включает в себя формирование трещин отрыва, секущих сопряженных сколов. На этом этапе развития происходила пенепленизация Уральского орогена.

5. Современный этап. Данный этап продолжался от неогенового периода до настоящего времени и характеризуется формированием современных Уральских гор.

Таким образом, формирование основной складчатой структуры Урала закончилось в конце карбона — начале перми, на севере Урала позже — в триасе. Перед фронтом Уральских гор был сформирован глубокий прогиб, куда поступали продукты эрозии. Дальнейшая история Урала заключалась в его постепенном разрушении, пенепленизации и формировании кор выветривания.

В нефтегазогеологическом отношении изучаемая территория относится к Предуральской

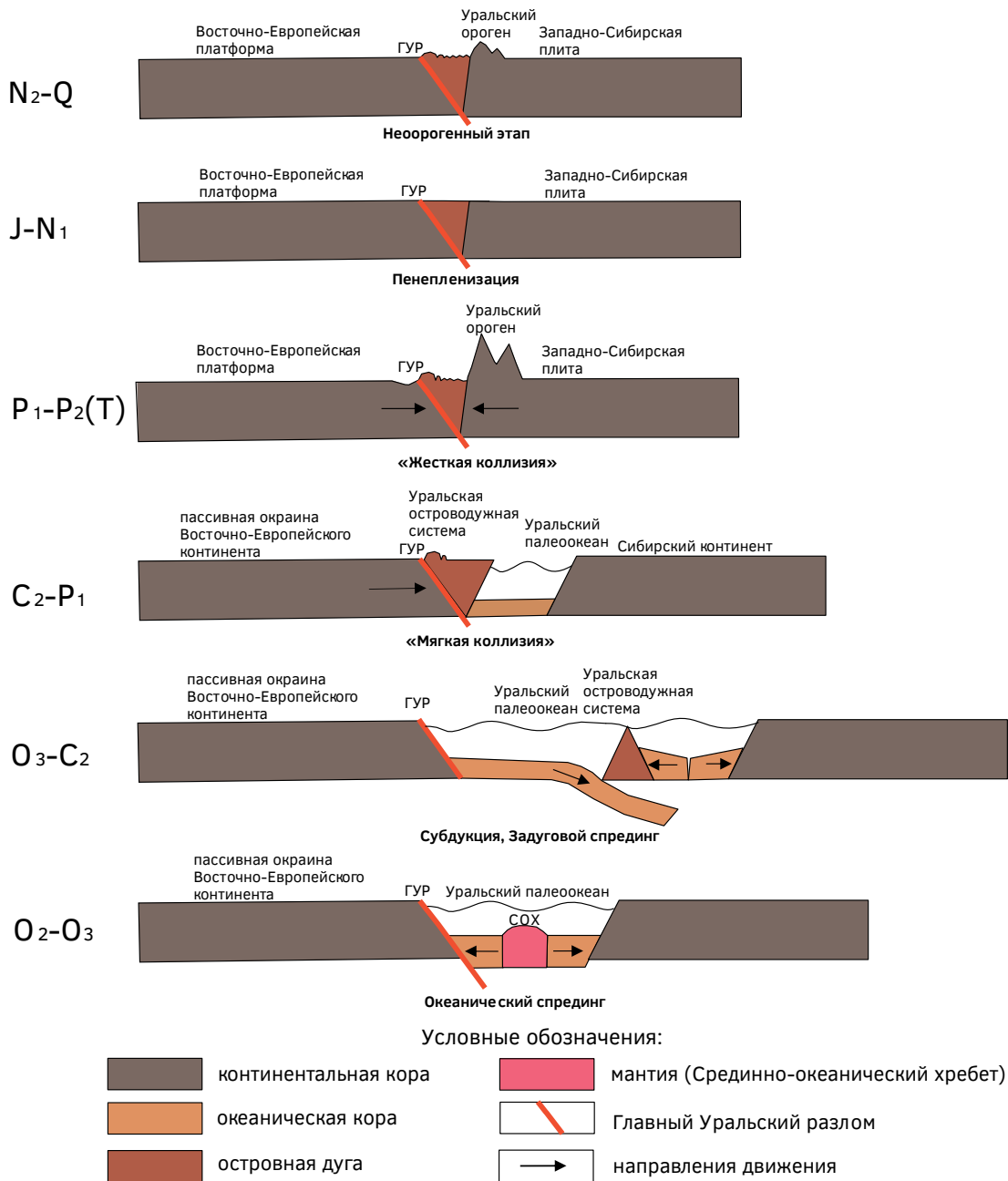


Рис. 1. Концептуальная модель тектонодинамического развития Уральского орогена

Fig. 1. Conceptual model of tectonodynamic development of the Ural orogen

нефтегазоносной субпровинции Предуральско-Предновоземельского пояса нефтегазонакопления [3, 8].

К настоящему времени в пределах субпровинции открыто более 100 месторождений УВ [1]. Продуктивны девонские, каменноугольные и пермские отложения, также есть признаки нефтегазопоявлений в силурийских комплексах [1]. Наиболее крупными из открытых месторождений

являются Курьинское, Романьельское, Вуктыльское и Гежское.

Материалы и методы

В данной работе в качестве исходных данных была использована серия сейсмогеологических профилей, секущих в субширотном направлении изучаемую территорию: № 2622001-02 ШП в интерпретации В.В. Дроздова,

Красновишерск-Североуральск в интерпретации А.Г. Попова, № 15-РС в интерпретации В.Н. Макаревича.

Для изучения условий формирования и сохранности ловушек УВ, их тектонодинамического развития, изучения типов разломов и времени их формирования в настоящей работе была применена технология структурно-кинематического моделирования, реализованная в ПК «Dynel» компании Schlumberger и ПК «Move» компании Midland Valley.

Основы технологии структурно-кинематического моделирования включают в себя геометрическую балансировку, деформационную кинематику (геометрию движения слоев), а также типизацию структурных форм, слагающих различные типы складчато-надвиговых систем [4].

Основными этапами структурно-кинематического моделирования являются [4]:

- 1) сбор и анализ входных данных;
- 2) построение структурного каркаса модели. Проверка достоверности структурной интерпретации;
- 3) построение сбалансированного (восстановленного) разреза;
- 4) построение палеоразрезов каждого слоя путем выравнивания на основные изохронные границы.

Основными методами структурно-кинематического моделирования являются [4, 5, 17]:

1) балансировка — метод восстановления разреза к преддеформационному состоянию при условии сохранения длины и мощности слоев в процессе деформации. Если разрез сбалансирован, то на восстановленном разрезе все слои должны совместиться вдоль траектории надвигов без пробелов и перекрытий;

2) палеотектонические (палинспастические) реконструкции — метод восстановления первоначального взаимного расположения геологических тел, претерпевших крупномасштабные горизонтальные смещения. Метод позволяет «раздвинуть» тектонические чешуи и «распрямить» складки.

Результаты и их обсуждение

Структурные парагенезы

Для создания ретроспективных динамических структурных моделей были изучены т.н. структурные парагенезы изучаемого объекта — устойчиво повторяющиеся целостные комплексы элементарных структурных форм, составляющие морфологически сходные тектонические зоны и отличающиеся по структуре от соседних участков

[16]. Формирование всех элементарных структур единого парагенеза предполагает некий общий механизм или хотя бы общую причину. В структурные парагенезы могут быть объединены разномасштабные элементы: от макромасштабных (складчатые зоны) до мезомасштабных (отдельные складки, структуры будинажа, кливаж и пр.) и даже до микромасштабных (кинкбанды и т.д.).

В пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости встречаются нижеперечисленные структурные парагенезы (римскими цифрами обозначены соответствующие структурные парагенезы на рисунках 2—4).

- Тастубская флексура (I). Формирование флексур обусловлено обстановками чистого сдвига (горизонтальное сжатие).

- Сюреньский, Западно-Уральский, Акчимский, Вашуткино-Талотинский надвиг (II). Структурные парагенезы надвига обусловлены обстановками чистого сдвига — горизонтального сжатия. Данная обстановка соответствует коллизии. Надвиговую систему ограничивает сверху и снизу детачмент.

- Серия наклонных и опрокинутых складок той же вергентности в аллохтоне (III). Все пликативные формы взаимосвязаны с дизъюнктивными нарушениями и отражают смятие слоистых толщ, происходящее в условиях действия бокового сжатия.

- Серия прямых и слабонаклонных складок той же вергентности в автохтоне (IV). Пликативные формы в автохтонной части менее подвержены коллизионным воздействиям.

- Серия взбросов, сбросов (V). Структурные парагенезы взбросов восточнее надвига в аллохтонной части и серия мелких сбросов — в отложениях ближе к фундаменту.

- Надвиговая система «чешуйчатый веер» (пакет надвиговых пластин) (VI). Парагенез чистого сдвига — обстановок горизонтального сжатия, за счет коллизионных процессов. Надвиговая система состоит из серии чешуй (пластин). Каждая чешуя — объем горных пород, ограниченный ведущим и тыловым разрывным нарушением. Чешуйчатый веер состоит из серии чешуй, связанных только подошвенным надвигом. Надвиги имеют листрическую морфологию, соединяются с подошвенным срывом и расщепляются вверх, как полуоткрытый веер [4].

- Надвиговая система — дуплексная (VII). Надвиговые системы, которые состоят из серии сдвоенных чешуй, осложненных кровельными и подошвенными надвигами, называются дуплексными.

С глубиной надвиги дуплексов объединяются в единый субгоризонтальный разлом, который приурочен к пластичной толще основания осадочного чехла на границе с жесткими породами фундамента.

- Взбросо-складка (VIII) [28]. Взбросо-складки формируются при затухании рампа. Взбросо-складки, как правило, асимметричны — с крутыми фронтальными и более пологими тыловыми крыльями. Формирование обусловлено коллизионными процессами совместно с надвиговой системой.

- Рамповая складка (IX). Рамповые складки (fault-bend-fold) — «сгибаемая разломом складка» [28]. В русскоязычной терминологии — рамповая антиклиналь или наднадвиговая антиклиналь. Рамповые складки образуются при перемещении надвига с одного субпластового горизонта скольжения на другой [4].

- «Цветочная», или «пальмовая», структура (X). При транспрессии отдельные пластины выдавливаются вверх из сдвиговой зоны и формируются дивергентные серии надвигов — «цветочная» или «пальмовая» структуры.

- Ретронадвиг в Предуральском прогибе (XI). Формирование данного структурного парагенезиса обусловлено сдвиговыми деформациями. Ретронадвиги формируются совместно с «цветочной» или «пальмовой» структурой.

Условия формирования и типы ловушек нефти и газа

Для типизации ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости и анализа условий их формирования и сохранности было проведено структурно-кинематическое моделирование по трем региональным сейсмогеологическим разрезам, пересекающим в широтном направлении северный, центральный и южный сегменты восточного борта Предуральского краевого прогиба и зоны Передовых складок Урала (рис. 2—4).

От позднедевонской до раннепермской эпохи на изучаемой территории ловушки структурного (сводового) типа в девонских, каменноугольных и пермских толщах были сформированы в результате активизации тектонических процессов. В зоне Передовых складок Урала часть ловушек структурного (сводового) типа были разрушены за счет воздымания поверхности осадконакопления и дальнейшей ее эрозии, но некоторые более глубокозалегающие потенциальные продуктивные горизонты сохранились до настоящего времени.

Ловушки структурного (тектонически экранированного) типа в самом начале формирования были по типу сводовые, однако на «постколлизийном» этапе при затухающих коллизионных процессах начали «переформировываться» из сводового в тектонически экранированного типа ловушки УВ [18]. Так, на изучаемой территории были выделены ловушки структурного (сводового), структурного (тектонически экранированного) типа. На территории Соль-Илецкого свода и Варандей-Адзвинской структурной зоны выделены ловушки стратиграфического типа, сформированные в результате периодических процессов денудации [11, 18].

Для формирования скоплений УВ в Предуралье наиболее благоприятными являются структурные (сводовые) ловушки в девонских, каменноугольных и пермских толщах, сформированные от позднедевонской эпохи до пермского времени, сохранившие конфигурацию и объем до настоящего времени. Чуть менее перспективными являются структурные (тектонически экранированные) ловушки в девонских, каменноугольных и пермских толщах, сформированные после перми. Малоперспективными являются стратиграфические ловушки в девонских и каменноугольных толщах, распространенных в пределах Соль-Илецкого свода и Варандей-Адзвинской структурной зоны, в связи с их небольшой площадью распространения и количеством.

Таким образом, на исследуемой территории были сформированы ловушки УВ различных типов (табл. 1).

Модель формирования скоплений углеводородов

Анализ условий формирования ловушек нефти и газа во взбросо-надвиговых и поднадвиговых структурах позволили уточнить и детализировать концептуальную модель [10, 11, 13, 18] формирования в них скоплений нефти и газа (рис. 5).

На первом (консидиментационном) этапе происходило формирование (накопление) ордовикско-нижнекаменноугольного комплекса пород. На этом этапе начали реализовываться процессы генерации, миграции и аккумуляции УВ в силурийских, девонских отложениях южного и северного сегмента Предуралья. Формируются разрывные нарушения сбросового типа в условиях погружения и растяжения осадочного комплекса. Сбросы являются благоприятными путями для миграции нефти и газа.

Второй этап «мягкой коллизии» [22] обусловлен коллизионными процессами со стороны

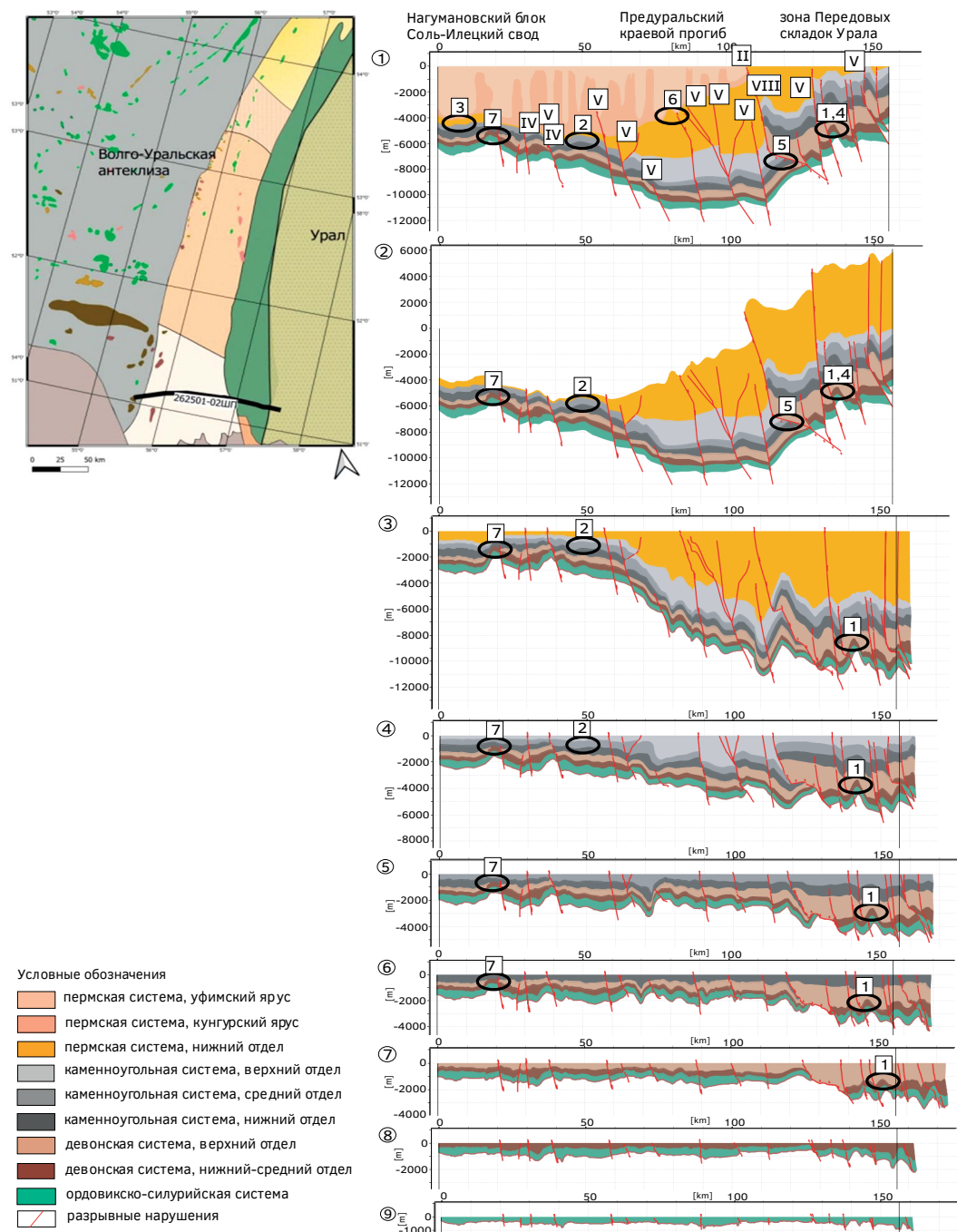


Рис. 2. Палеорекострукция разреза № 262501-02 ШП, пересекающего южный сегмент Предуралья [2, 11, 17—19]. Условные обозначения: римскими цифрами — структурные парагенезы, арабскими цифрами — ловушки УВ (см. табл. 1); номера профилей: 1 — оцифрованный разрез, 2 — сбалансированный разрез, 3 — к концу ассельского века, 4 — к концу каменноугольного периода, 5 — к концу среднекаменноугольной эпохи, 6 — концу раннекаменноугольной эпохи, 7 — концу девонского периода, 8 — концу среднедевонской эпохи, 9 — к концу силурийского периода.

Fig. 2. Paleoreconstruction of section no. 262501-02 ShP, crossing the southern segment of the Pre-Urals [2, 11, 17—19]. Symbols: Roman numerals—structural paragenezes; Arabic numerals — HC traps (see Table 1); profile numbers: 1 — digitized section, 2 — balanced section, 3 — by the end of the Asselian, 4 — by the end of the Carboniferous, 5 — by the end of the Middle Carboniferous, 6 — end of the Early Carboniferous, 7 — end of the Devonian, 8 — end of the Middle Devonian, 9 — by the end of the Silurian.

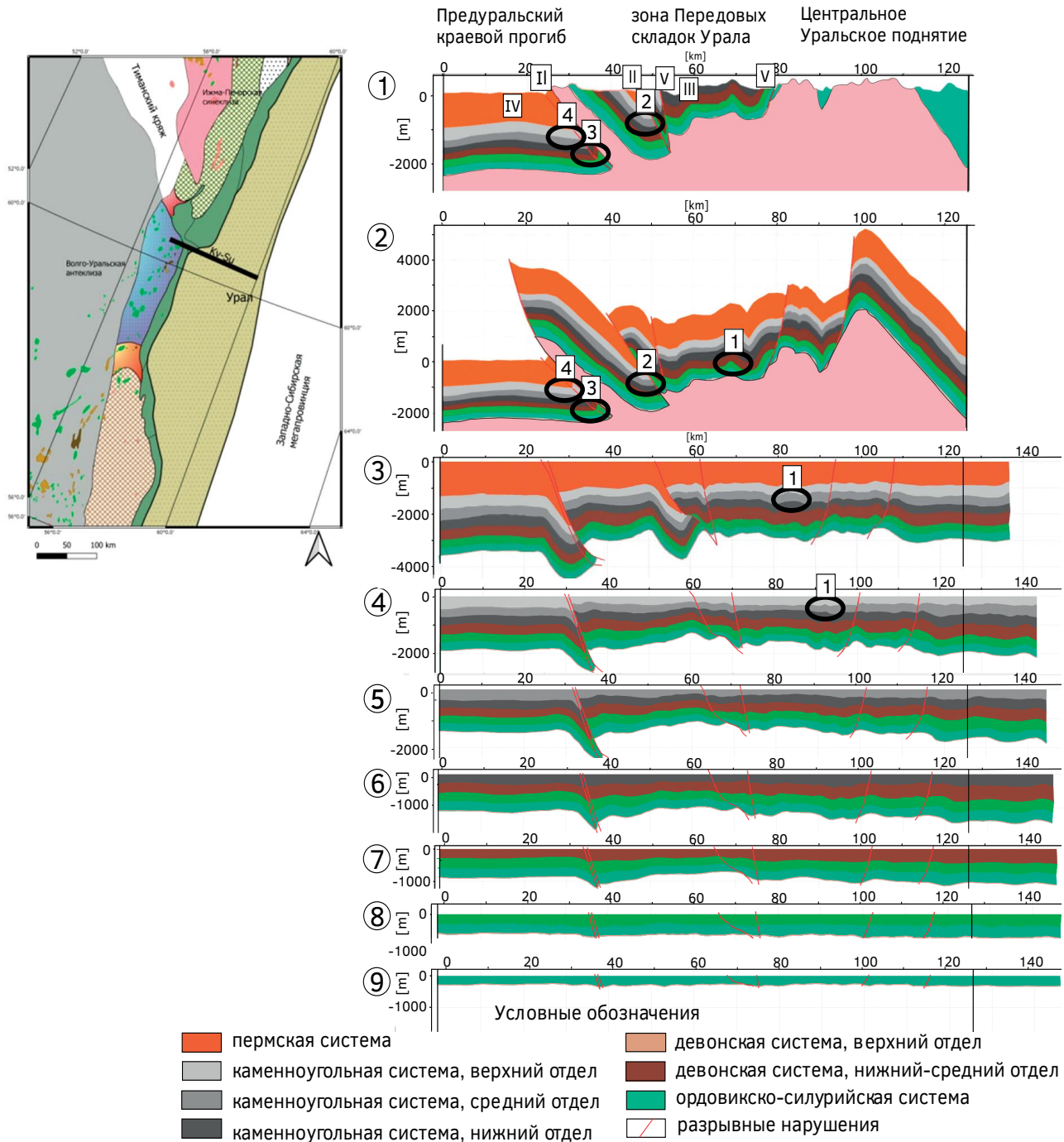


Рис. 3. Палеорекострукция разреза по линии Красновишерск — Североуральск, пересекающего центральный сегмент Предуралья. Условные обозначения: римскими цифрами — структурные парагенезы, арабскими цифрами — ловушки УВ (см. табл. 1); номера профилей: 1 — оцифрованный разрез, 2 — сбалансированный разрез, 3 — к концу пермского периода, 4 — к концу каменноугольного периода, 5 — к концу среднекаменноугольной эпохи, 6 — к концу раннекаменноугольной эпохи, 7 — к концу девонского периода, 8 — к концу среднедевонской эпохи, 9 — к концу силурийского периода

Fig. 3. Paleoreconstruction of the section along the line Krasnovishersk — Severouralsk, crossing the central segment of the Pre-Urals. Symbols: Roman numerals—structural parageneses; Arabic numerals — HC traps (see Table 1); profile numbers: 1 — digitized section, 2 — balanced section, 3 — by the end of the Permian, 4 — by the end of the Carboniferous, 5 — by the end of the Middle Carboniferous, 6 — by the end of the Early Carboniferous, 7 — by the end of the Devonian, 8 — by the end of the Middle Devonian, 9 — by the end of the Silurian

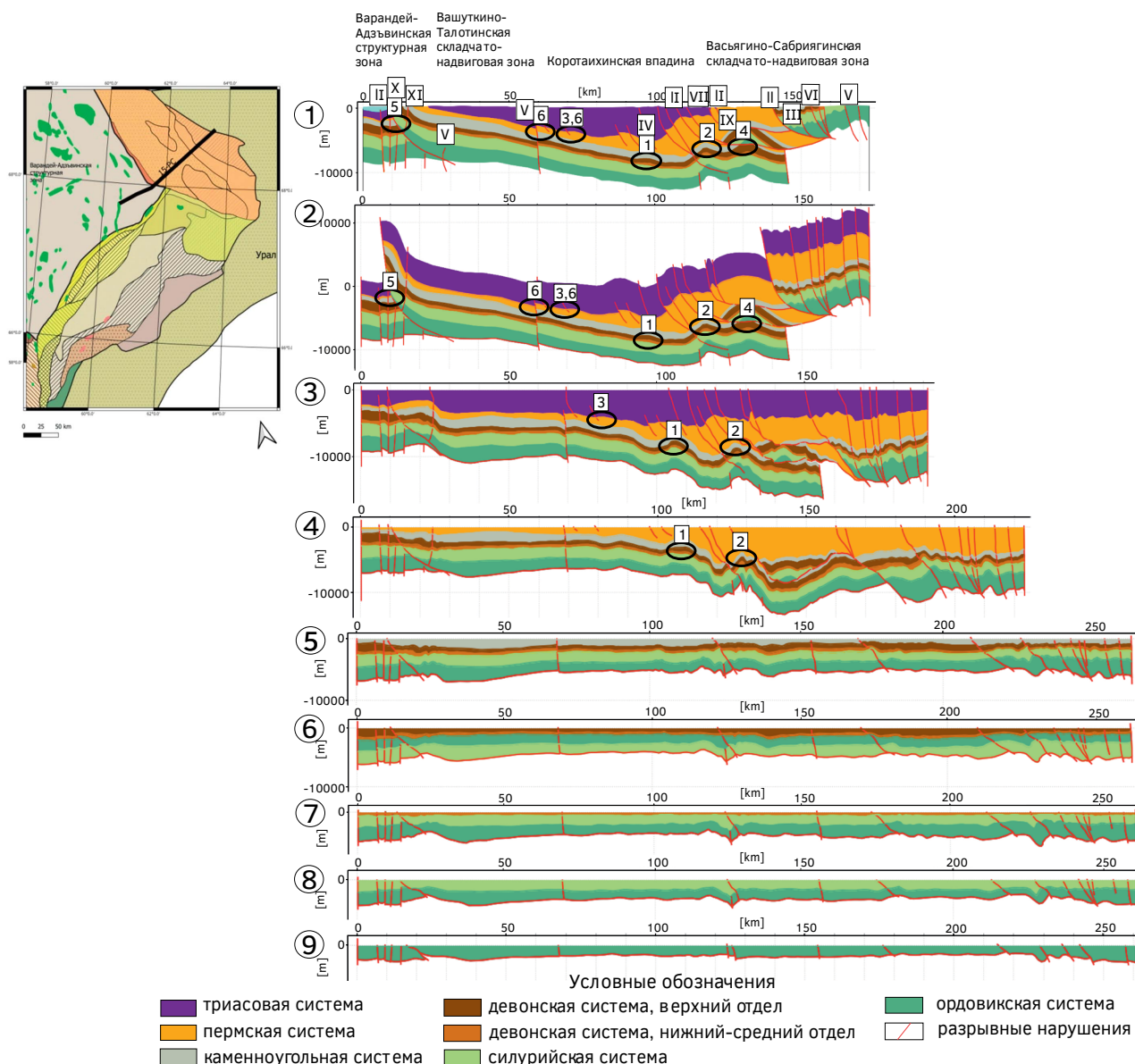


Рис. 4. Палеорекострукция разреза по профилю № 15-РС, пересекающего северный сегмент Предуралья. Условные обозначения: римскими цифрами — структурные парагенезы, арабскими цифрами — ловушки УВ (см. табл. 1); номера профилей: 1 — оцифрованный разрез, 2 — сбалансированный разрез, 3 — к концу триасового периода, 4 — к концу пермского периода, 5 — к концу каменноугольного периода, 6 — к концу позднедевонской эпохи; 7 — к концу среднедевонской эпохи, 8 — к концу силурийского периода, 9 — к концу ордовикского периода

Fig. 4 Paleoreconstruction of the section along profile No. 15-RS, crossing the northern segment of the Pre-Urals. Symbols: Roman numerals—structural parageneses; Arabic numerals—HC traps (see Table 1); profile numbers: 1, digitized section, 2, balanced section, 3, by the end of the Triassic, 4, by the end of the Permian, 5, by the end of the Carboniferous, 6, by the end of the Late Devonian; 7 — by the end of the Middle Devonian epoch, 8 — by the end of the Silurian period, 9 — by the end of the Ordovician period

Уральского орогена, продолжавшимися со среднекаменноугольного времени и протекавшими до кунгурского времени включительно. На данном этапе происходило формирование разрывных нарушений взбросового типа.

Третий этап «жесткой коллизии» [22]. После кунгурского времени в сочленении Предуральского прогиба и зоны Передовых складок Урала транс-прессивный (бокового сжатия и сдвига) геодинамический режим обусловил преобразование ранее

Таблица 1. Типизация ловушек УВ по разрезам (см. рис. 2—4) зоны сочленения Предуральского прогиба и Передовых складок Урала**Table 1.** Typification of hydrocarbon traps according to sections (see Fig. 2—4) of the junction zone of the Pre-Ural trough and the Forward folds of the Urals

Тип ловушки	Тектоническое событие	Время формирования ловушки	№ ловушки на разрезе	Возраст продуктивных пластов	Глубина залегания, м
Южный сегмент Предуралья					
Стратиграфический	«Мягкая коллизия»	$C_1—P_1$	7	D_2	5100
Структурный (тектонически экранированный)	«Постколлизийный этап»	после P_2	6	P_1	3000
			5	C_2	7000
			4	D_2	4500
Структурный (сводовый)	«Жесткая коллизия»	P_2	3	P_1	4000
	«Мягкая коллизия»	$C_3—P_1$	2	C_2	6000
		$D_3—C_2$	1	D_2	4500
Центральный сегмент Предуралья					
Структурный (тектонически экранированный)	«Постколлизийный этап»	после P_2	4	P_1	1000
			3	C_2	1500
			2	D_2	2000
Северный сегмент Предуралья					
Структурный (тектонически экранированный)	«Постколлизийный этап»	после Т	6	P_2	3000
			5	C_1v-C_3	3000
			4	D_1-D_3fr	5000
Структурный (сводовый)	«Жесткая коллизия»	$P_2—T$	3	P_2	2000
	«Мягкая коллизия»	$C—P_1$	2	C_1v-C_3	6000
			1	D_1-D_3fr	7000

сформированных разрывных нарушений сбросов — во взбросы, которые к концу коллизийного этапа преобразовались в надвиговую систему. Надвиги сформировали пути миграции УВ и оказали влияние на перераспределение потенциальных первичных скоплений УВ из нижележащих ловушек УВ девонских и нижнекаменноугольных отложений в вышележащие ловушки УВ средне-верхнекаменноугольных, пермских и триасовых отложений, тем самым формируя вторичные залежи УВ, или же происходило рассеивание первичных залежей УВ.

На четвертом этапе после триасового времени осуществлялась консервация ранее сформированных залежей и аккумуляция УВ в новые тектонически экранированные ловушки.

На пятом этапе в кайнозое продолжалась консервация всех залежей УВ. Однако в результате кайнозойской (альпийской) реактивации тектонических процессов на этом этапе могло происходить разрушение ранее сформированных залежей УВ.

Заключение

Комплексный анализ разнородных геолого-геофизических материалов позволил провести структурно-парагенетический анализ и структурно-кинематическое моделирование зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости. Были изучены геометрия, деформационная кинематика, пространственное размещение и геодинамические условия формирования взбросо-надвиговых структур. Для разрезов южного, центрального и северного Предуралья представлены общие структурные парагенезы, что указывает на единые условия и механизм формирования изучаемых структурных форм. На основе анализа палеотектонических (палинспатических) реконструкций проведена типизация ловушек УВ в складчато-надвиговой зоне, а также определены условия и время их формирования. На исследуемой территории были сформированы ловушки УВ следующих типов: структурного (сводового),

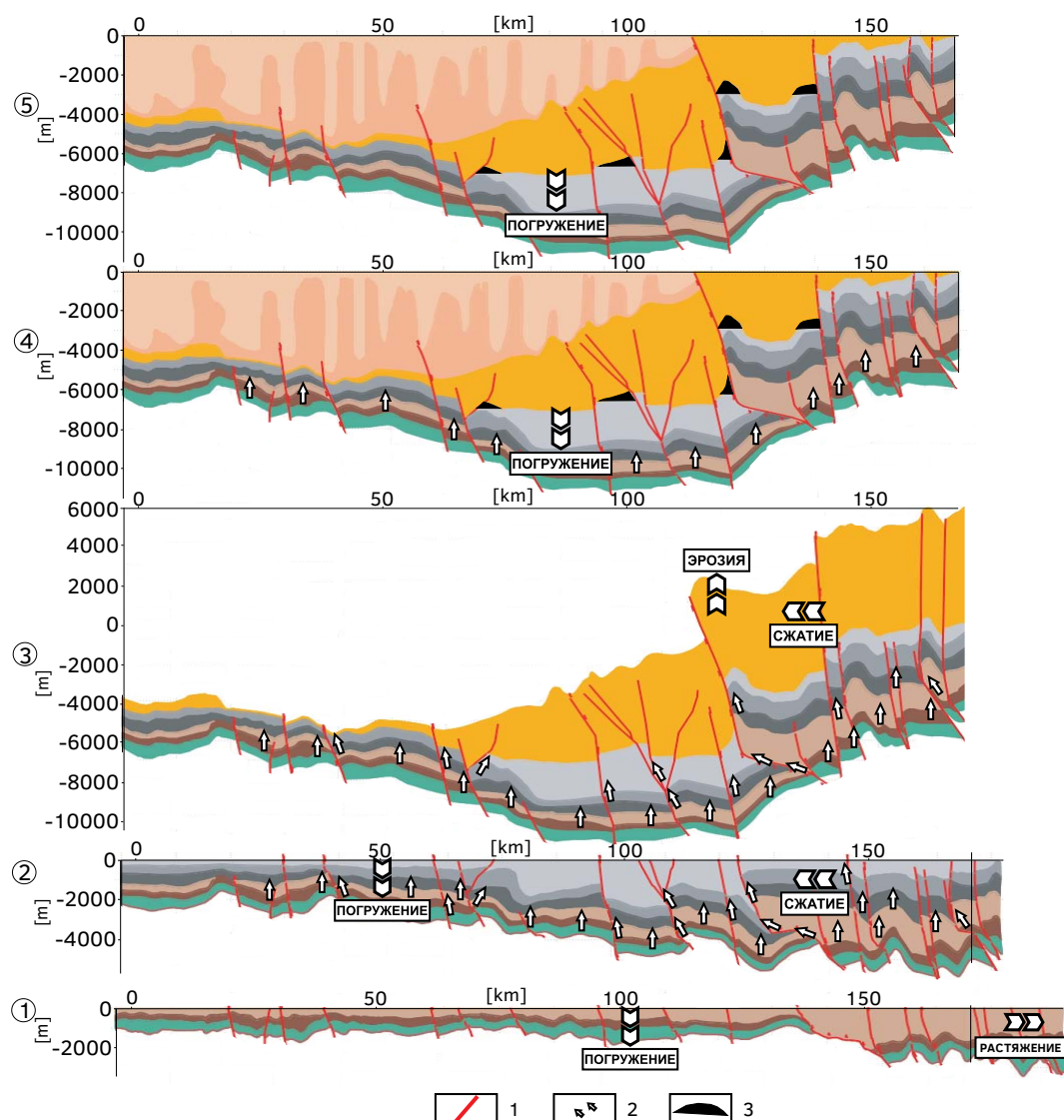


Рис. 5. Модель формирования скоплений УВ во взбросо-надвиговых структурах на примере разреза № 262501 [11, 18]. Этапы формирования: 1 — формирование осадочного комплекса в условиях погружения и растяжения к концу девонского периода; 2 — начало образования взбросо-надвиговых дислокаций и ловушек УВ сводового типа к концу каменноугольного периода; 3 — перераспределение скоплений УВ к концу пермского периода; 4 — аккумуляция углеводородов в ловушках тектонически экранированного типа после триаса; 5 — консервация залежей УВ в настоящее время. Условные обозначения: 1 — разломы; 2 — направление миграции УВ; 3 — залежи УВ

Fig. 5. Model of the formation of hydrocarbon accumulations in reverse-thrust structures using the example of section No. 262501 [11, 18]. Stages of formation: 1, formation of the sedimentary complex under conditions of subsidence and extension by the end of the Devonian; 2, the beginning of the formation of reverse-thrust dislocations and dome-type hydrocarbon traps by the end of the Carboniferous; 3 — redistribution of hydrocarbon accumulations by the end of the Permian period; 4 — accumulation of hydrocarbons in traps of tectonically shielded type after the Triassic; 5 — conservation of hydrocarbon deposits at the present time. Symbols: 1 — faults; 2 — direction of hydrocarbon migration; 3 — hydrocarbon deposits

структурного (тектонически экранированного), стратиграфического в отложениях палеозоя.

Предложена модель формирования нефтегазоносности зоны сочленения Предуралья

прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости, учитывающая основные этапы тектонодинамического развития Предуралья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Т.В., Шибанова А.М., Жарков А.М. Складчато-надвиговая зона Урала как один из крупнейших нефтегазоперспективных объектов Европейской части России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9, № 4. С. 1—14.
2. 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.
3. Гаврилов В.П. Геодинамическая модель нефтегазообразования в литосфере и ее следствия // Геология нефти и газа. 1998. № 6. С. 2—12.
4. Гайдук В.В., Куксов С.В., Земцов П.А., Грищенко Д.В. Технология структурного кинематического моделирования на этапах поиска и разведки в складчато-надвиговых зонах // Научно-технический вестник ОАО «НК-Роснефть». 2014. № 4, вып. 37. С. 5—9.
5. Гайдук В.В., Прокопьев А.В., Фридовский В.Ю. Разломы (морфология, геометрия и кинематика). Якутск: ЯФ СО РАН. 2004. 148 с.
6. Казанцев Ю.В. Чешуйчато-надвиговая структура Предуральского прогиба: автореферат дис. ... д-ра геол.-минерал. наук: 25.00.12. Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР. 1982. 33 с.
7. Казанцева Т.Т. Аллохтонные структуры и формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1987. 158 с.
8. Каламкаров Л.В. Нефтегазоносные провинции России и сопредельных стран. М.: Нефть и газ, 2005. 570 с.
9. Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 230 с.
10. Кузнецов Н.Б., Керимов В.Ю., Осипов А.В., Бондарев А.В., Монакова А.С. Эволюция, геодинамика поднадвиговых зон Предуральского краевого прогиба и геомеханическое моделирование формирования скоплений углеводородов // Геотектоника. 2018. № 3. С. 3—20.
11. Керимов В.Ю. Моделирование углеводородных систем и месторождений нефти и газа. М.: Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2021. 303 с.
12. Керимов В.Ю., Горбунов А.А., Лавренова Е.А., Осипов А.В. Модели углеводородных систем зоны сочленения Русской платформы и Урала // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 5. С. 445—458.
13. 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.
14. Керимов В.Ю., Кузнецов Н.Б., Осипов А.В. Геодинамические условия нефтегазоаккумуляции в Предуральско-Предновоземельском поясе // Доклады Академии наук. 2019. Т. 487, № 1. С. 49—53.
15. Керимов В.Ю., Осипов А.В., Нефедова А.С. Углеводородные системы южной части Предуральского краевого прогиба // Нефтяное хозяйство. 2017. № 4. С. 36—40.
16. Лукьянов А.В., Щерба И.Г. Парагенетический анализ структур как основа тектонического районирования и составления среднемасштабных структурных карт складчатых областей // Тектоника Сибири. 1972. Т. V. С. 15—24.
17. 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.
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., Керимов В.Ю., Косьянов В.А., Мустаев Р.Н. Геомеханическое моделирование взбросо-надвиговых поясов южной части Предуралья // Сборник трудов конференции EAGE «Геомодель», 2019.
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. Осипов А.В. Геохимические предпосылки нефтегазонасности Бельской впадины и прилегающих территорий // Нефть, газ и бизнес. 2012. № 11. С. 44—49.
22. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. С. 280.
23. Соборнов К.О. Структура складчатых поясов и перспектива открытия крупных месторождений в складчатом Предуралье // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10, № 1. С. 1—24.
24. 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.
25. Сычев С.Н. Строение и эволюция зоны главного Уральского разлома (Южная часть Полярного Урала): автореферат дис. ... канд.-геол.-минерал. наук. 25.00.01. М.: Геологический институт РАН, 2015. 25 с.
26. Ступакова А.В. Тимано-Печорский бассейн. Строение и основные этапы развития // Георесурсы. Спецвыпуск. 2017. Ч. 1. С. 56—64.
27. Юдин В.В. Разрывные нарушения западного склона Северного Урала в связи с перспективами

нефтегазоносности // Тектоника и нефтегазо-
носность Тимано-Печорской провинции и ее струк-
турных обрамлений. Сыктывкар: Коми фил. АН

СССР. 1978. С. 30—41.

28. *Suppe J., Medwedeff D.A.* Fault-propagation folding. *Geol. Soc. Amer. Abst. Prog.* 16. 1984. P. 670.

REFERENCES

1. Aleksandrova T.V., Shibanova A.M., Zharkov A.M. Fold-thrust zone of the Urals as one of the most important oil and gas objects protected by parts of Russia // *Oil and gas geology. Theory and practice.* 2014. T. 9, No. 4. P. 1—14.
2. Bondareva L.I., Bondarev A.V., Ermolkin V.I., Tkacheva A.A. Geodynamic evolution of the formation of reverse-thrust belts of the Cis-Urals based on the results of structural-kinematic modeling // *Oil Industry.* 2021. No. 5. P. 15—21.
3. Gavrilov V.P. Geodynamic model of oil and gas formation in the lithosphere and its consequences // *Geology of Oil and Gas.* 1998. No. 6. P. 2—12.
4. Gaiduk V.V., Kuksov S.V., Zemtsov P.A., Grishchenko D.V. Structural kinematic modeling technology at the stages of prospecting and exploration in fold-thrust zones // *Scientific and technical bulletin of OAO NK-Rosneft.* 2014. No. 4, iss.37. P. 5—9.
5. Gaiduk V.V., Prokopiev A.V., Fridov V.Yu. *Faults (morphology, geometry and kinematics).* Yakutsk: YaPh SB RAS. 148 p.
6. Kazantsev Yu.V. Scale-thrust structure of the Cis-Ural trough: abstract. dis. Doctor of Geol.-Mineral, Sciences: 25.00.12. Novosibirsk: IGIG SO AN USSR, 1982. 33 p.
7. Kazantseva T.T. *Allochthonous structures and formation of the earth's crust of the Urals.* Moscow: Nauka, 1987. 158 p.
8. Kalamkarov L.V. *Oil and gas provinces of Russia and neighboring countries.* Moscow: Oil and gas, 2005. 570 p.
9. Kamaletdinov M.A. *Integumentary structures of the Urals.* Moscow: Nauka, 1974. 230 p.
10. Kuznetsov N.B., Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Bondarev A.V., Monakova A.S. Geodynamics of the Ural Foredeep and Geomechanical Modeling of the Origin of Hydrocarbon Accumulations // *Geotectonics.* 2018. Vol. 52, № 3. P. 297—311.
11. Kerimov V.Yu. Modeling of hydrocarbon systems and oil and gas fields. Moscow: Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, 2021. 303 p.
12. Kerimov V.Yu., Gorbunov A.A., Lavrenova E.A., Osipov A.V. Models of Hydrocarbon Systems in the Russian Platform — Ural Junction Zone // *Lithology and Mineral Resources.* 2015. Vol. 50, no. 5. P. 394—406.
13. Kerimov V.Yu., Kuznetsov N.B., Mustaev R.N., Osipov A.V., Bondarev A.V., Nefedova A.S. Conditions for hydrocarbon deposits formation in the uplift-thrust structures of the eastern side of the Pre-Ural fore deep // *Oil Industry.* 2017. No. 7. P. 36—41.
14. Kerimov V.Yu., Kuznetsov N.B., Osipov A.V. Geodynamic Conditions of Oil-and-Gas Accumulations in the Ural-Novaya Zemlya Belt // *Reports Earth Sciences.* 2019. Vol. 487, p. 1. P. 741—744.
15. Kerimov V.Yu., Osipov A.V., Nefedova A.S. Hydrocarbon systems of the Pre-Ural fore deep // *Oil Industry.* 2017. No. 4. P. 36—40.
16. Lukyanov A.V., Shcherba I.G. Paragenetic analysis of structures as a basis for tectonic zoning and compiling medium-scale structural maps of folded areas // *Tectonics of Siberia.* 1972. T. V. P. 15—24.
17. Minligalieva L.I., Ermolkin V.I., Osipov A.V., Bondarev A.V., Monakova A.S. Geodynamic evolution and conditions for the formation of hydrocarbon traps in the junction zone of the Cis-Ural marginal foredeep and the Forede folds of the Urals based on structural-kinematic modeling // *Proceedings of the Russian State Oil and Gas University. THEM. Gubkin.* 2019. No. 4 (297). P. 43—59.
18. Minligalieva L.I., Kerimov V.Yu. Conditions for the formation of traps and deposits of hydrocarbons in the underthrust zones of the Cis-Urals // *Subsoil use XXI century.* 2019. No. 4. P. 34—45.
19. Minligalieva L.I., Kerimov V.Yu., Kosyanov V.A., Mustaev R.N. Geomechanical modeling of reverse-thrust belts in the southern part of the Cis-Urals // *EAGE Geomodel. Gelendzhik,* 2019.
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 Gubkin University.* 2015. No. 1 (278). P. 17—26.
21. Osipov A.V. Geochemical conditions of oil-gas-bearing capacity of Belskaya depression and surrounding areas // *Oil, Gas & Business.* 2012. No. 11. P. 44—49.
22. Puchkov V.N. *Geology of the Urals and Cis-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny).* Ufa: DesignPolygraphService, 2010. P. 280.
23. Sobornov K.O. The structure of folded belts and the prospect of discovering large deposits in the folded Cis-Urals // *Oil and gas geology. Theory and practice.* 2015. T. 10. No. 1. P. 1—24.
24. Sobornov K.O., Danilov V.N., Priymak P.I., Nikonov N.I. The fold-and-thrust belt of the Subpolar Urals: an updated geological model and prospects for major discoveries // *Geology of Oil and Gas.* 2016. No. 3. P. 65—77.
25. Sychev S.N. Structure and evolution of the zone of the main Ural fault (Southern part of the Polar Urals): Abstract of the thesis. Ph.D.-Geol.-Mineral, Sciences. 25.00.01. Moscow: Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, 2015. P. 25.
26. Stupakova A.V. Timan-Pechora basin. Structure and

- main stages of development // Georesursy. Special issue. 2017. P. 1. P. 56—64.
27. Yudin V.V. Faults in the western slope of the Northern Urals in connection with the prospects for oil and gas potential // Tectonics and oil and gas potential of the Timan-Pechora province and its structural framing. Syktyvkar: Komi Phil. USSR Academy of Sciences, 1978. P. 30—41.
28. Suppe J., Medwedeff, D.A. Fault-propagation folding. Geol. Soc. Amer. Abst. Prog. 1984. No. 16. P. 670.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Бондарева Л.И. — занималась построением структурно-кинематических моделей, построением графических приложений, внесла вклад в работу, 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 structural-kinematic models, the construction of graphic applications, contributed to the work, 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>

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>

Осипов Александр Викторович — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, член-корреспондент РАЕН, исполняющий обязанности декана 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>

Alexander V. Osipov — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Acting 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



МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОКАЗАНИЯ ГРАВИМЕТРОВ И СЕЙСМОГРАФОВ

Ю.В. АНТОНОВ*, И.А. ПОНОМАРЕНКО

*Воронежский государственный университет
1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Плотность атмосферного воздуха изменяется от температуры. Следовательно, с изменением температуры атмосферного слоя возникают локальные аномалии силы тяжести. Амплитуда таких аномалий может достигать более $\pm 0,1$ мГал. Результаты обработки неприливых вариаций силы тяжести для обсерватории Арти (г. Екатеринбург) подтверждают влияние температуры на показания гравиметра, но намного превышают расчетные.

Цель. Оценка влияния погоды на изменение сейсмического и гравитационного полей.

Материалы и методы. Измерения силы тяжести проводились гравиметром CG-5 AUTOGRAV на Бишкекском геодинамическом полигоне РАН (г. Бишкек, Киргизстан), в Институте геофизики РАН (г. Екатеринбург) и обсерватории Заполье (г. Владимир). На обсерваториях м. Шульц (г. Владивосток), п. Арти (г. Екатеринбург) и BFO (Шварцвальд, Германия [10]) гравиметрические измерения получены с помощью приливных гравиметров La Coste — Romberg.

Результаты. С изменением температуры атмосферного слоя возникают локальные аномалии силы тяжести. Амплитуда таких аномалий может достигать более $\pm 0,1$ мГал. Результаты обработки неприливых вариаций силы тяжести для обсерватории Арти (г. Екатеринбург) подтверждают влияние температуры на показания гравиметра, но намного превышают расчетные.

Заключение. Метеорологические процессы оказывают влияние на показания гравиметров и сейсмометров. Влияние оказывают водность облаков и изменение температуры земной атмосферы. Плотность атмосферного воздуха изменяется от температуры. Помимо температуры на гравиметры и сейсмометры влияют давление, влажность и водность атмосферы. Это связано с деформацией атмосферы за счет Луны и Солнца. Наибольшее влияние на показания гравиметров и сейсмометров оказывают удары метеорных потоков по атмосфере Земли.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферное давление, влажность, водность, неприливые вариации силы тяжести

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Антонов Ю.В., Пономаренко И.А. Метеорологическое влияние на показания гравиметров и сейсмографов. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):66—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-66-75>

Статья поступила в редакцию 01.02.2023

Принята к публикации 19.05.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

METEOROLOGICAL IMPACT ON GRAVIMETER AND SEISMOMETER READINGS

YURY. V. ANTONOV*, IVAN A. PONOMARENKO

Voronezh State University
1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russian Federation

Background. The density of atmospheric air varies with temperature. Therefore, variations in the atmospheric layer temperature leads the emergence of local gravity anomalies. The amplitude of such anomalies can exceed ± 0.1 mGal. The results obtained by the Arti Geophysical Observatory (Yekaterinburg, Russia) on the non-tidal variations of gravity confirm the influence of temperature variations on gravimeter readings, which may significantly exceed the calculated data.

Aim. To assess the impact of weather changes on seismic and gravity fields.

Materials and methods. At the RAS Bishkek Geodynamic Test Area (Bishkek, Kyrgyzstan), RAS Institute of Geophysics (Yekaterinburg, Russia) and Zapolye Observatory (Vladimir, Russia), gravity was measured by CG-5 AUTOGRAV gravimeters. At the Shults Cape (Vladivostok, Russia), Arti (Yekaterinburg, Russia) and BFO (Black Forest, Germany [10]) observatories, gravimetric measurements were conducted by La Coste & Romberg tidal gravimeters.

Results. Variations in the atmospheric layer temperature were found to lead to the emergence of local gravity anomalies. The amplitude of such anomalies can exceed ± 0.1 mGal. The results obtained by the Arti Geophysical Observatory (Yekaterinburg, Russia) on the non-tidal variations of gravity confirm the influence of temperature on gravimeter readings, which may significantly exceed the calculated data.

Conclusion. Meteorological processes, such as liquid-water content and the Earth's atmospheric temperature, affect the readings of gravimeters and seismometers. The atmospheric air density varies with temperature. Along with temperature, gravimeters and seismometers are affected by pressure, humidity and water content of the atmosphere. This is related to atmospheric deformations under the influence of the Moon and the Sun. Meteor streams and their impact on the Earth's atmosphere have the greatest influence on the readings of gravimeters and seismometers.

Keywords: air temperature; atmospheric pressure; humidity; water content; non-tidal variations of gravity

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

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

For citation: Antonov Y.V., Ponomarenko I.A. Meteorological impact on gravimeter and seismometer readings. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):66—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-66-75>

Manuscript received 01 February 2023

Accepted 19 May 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

Неприливынные вариации силы тяжести, полученные после исключения лунно-солнечных вариаций из мониторинговых наблюдений, обусловлены различными причинами: землетрясениями, ударами корональных выбросов масс по магнитосфере и метеорными потоками по атмосфере Земли и т. д. [1—5]. Примерно то же самое происходит с сейсмическими наблюдениями, так как измерения сейсмического и гравитационного полей выполняются с помощью одного и того же датчика

(маятника Голицына). Частично влияние космических и погодных факторов на показания гравиметров и сейсмометров рассматривалось ранее [1—5]. При этом основное внимание уделялось влиянию космических факторов. Но анализ многолетних наблюдений за гравиметрами и сейсмометрами показывает, что погодные изменения также влияют на показания приборов (особенно на сейсмометры), не меньше, чем космические факторы. Кроме того, процессы, происходящие в атмосфере Земли, очень

сложны и зависят от многих факторов. В первую очередь состояние атмосферы определяется температурой, давлением, влажностью, водностью облаков, фазами Луны и т.д. Тем не менее отметим, что деление на космические и погодные факторы достаточно условное. Например, удар метеорного потока по атмосфере вызывает в ней не только колебания, но и изменения в погоде. Те же погодные изменения вызывают выбросы корональных масс при ударе по магнитному полю Земли.

Исходные данные

Для оценки влияния погоды на изменение сейсмического и гравитационного полей использованы мониторинговые наблюдения этих полей во времени в различных пунктах Евразийского континента. Измерения силы тяжести проводились гравиметром CG-5 AUTOGRAV на Бишкекском геодинатическом полигоне РАН (г. Бишкек, Киргизстан), в Институте геофизики РАН (г. Екатеринбург) и обсерватории Заполье (г. Владимир). На обсерваториях м. Шульц (г. Владивосток), п. Арти (г. Екатеринбург) и BFO (Шварцвальд, Германия [10]) гравиметрические измерения получены с помощью приливных гравиметров La Coste — Romberg. На всех упомянутых пунктах ведутся сейсмические наблюдения. Но гравиметрические данные сравниваются в основном с сейсмическими на ст. Галичья Гора Воронежской обсерватории, где, к сожалению, гравиметрических наблюдений нет. Это обусловлено тем, что на Галичьей Горе практически нет технических помех. Кроме того, гравиметрические данные, взятые в разных точках Евразийского континента и совпадающие с сейсмическими данными в Воронеже, подчеркивают глобальность протекающих процессов в космосе и на Земле. Данные о внешней температуре воздуха и атмосферном давлении взяты с ближайших к вышеперечисленным пунктам наблюдений метеостанций [11].

Методика обработки гравиметрических измерений

Вычисление неприливных вариаций силы тяжести делалось следующим образом. На первом этапе исключается притяжение Луны и Солнца. В связи с тем, что в программном продукте гравиметра CG-5 AUTOGRAV, в котором рассчитывается притяжение Луны и Солнца, обнаружены погрешности [1], то заново рассчитывались лунно-солнечные вариации силы тяжести и учитывались при обработке [12]. После учета лунно-солнечных вариаций вычислялся линейный тренд полученных значений, который исключался. Значения тренда в основном отражают в себе сползание нуля-пункта прибора

и какую-то низкочастотную часть изменения внешнего гравитационного поля. Оставшуюся часть вариаций после исключения лунно-солнечной части и тренда назовем неприливной вариацией силы тяжести. Как показывают исследования [1, 2], неприливая вариация с помощью метода осреднения делится на локальную (остаточную) и осредненную неприливые вариации. Кстати, локальная неприливая вариация может быть получена с помощью метода осреднения непосредственно из исходных наблюдений, минуя операции учета лунно-солнечных вариаций силы тяжести и смещения нуля-пункта прибора. Вариация, полученная по исходным наблюдениям с помощью осреднения, и вариация силы тяжести, полученная обычным способом, практически совпадают между собой. Разность между ними не превышает одного микрогала, что минимум на два порядка меньше амплитуды наблюдаемых неприливных вариаций и погрешности измерений [1, 2]. Так что в большинстве случаев для получения неприливной вариации лучше пользоваться методом осреднения.

Обсуждение результатов интерпретации

А теперь рассмотрим, как проявляется изменение метеоусловий в неприливных вариациях силы тяжести. Сами метеоусловия характеризуются в основном температурой и влажностью воздуха, атмосферным давлением и водностью. Все эти параметры тесно увязаны между собой. Их (параметров) влияние на плотность воздуха (а именно эта величина будет интересовать нас) может складываться или вычитаться. Например, увеличение влажности воздуха ведет к понижению его плотности, а увеличение атмосферного давления, наоборот, к повышению плотности. Но наиболее существенную роль играет температура. Поэтому, естественно, возникает вопрос: а как проявляются сезонные изменения температуры в неприливных вариациях силы тяжести? В зимне-осенний период плотность воздуха больше, избыточные массы находятся выше пункта наблюдения, следовательно, должны иметь отрицательную аномалию силы тяжести, а летом должно быть наоборот. Указанные рассуждения подтверждаются измерениями в обсерватории Арти под Екатеринбургом (рис. 1).

На графике неприливной вариации силы тяжести (рис. 1а) приведены осредненные значения вариации на пятиминутном интервале (дискретность наблюдений 1 с) за 2018 г. Год весьма спокойный в смысле космической погоды, т.е. минимум погрешностей из космоса. Смещение нуля-пункта незначительно — менее 1 мГала. После исключения

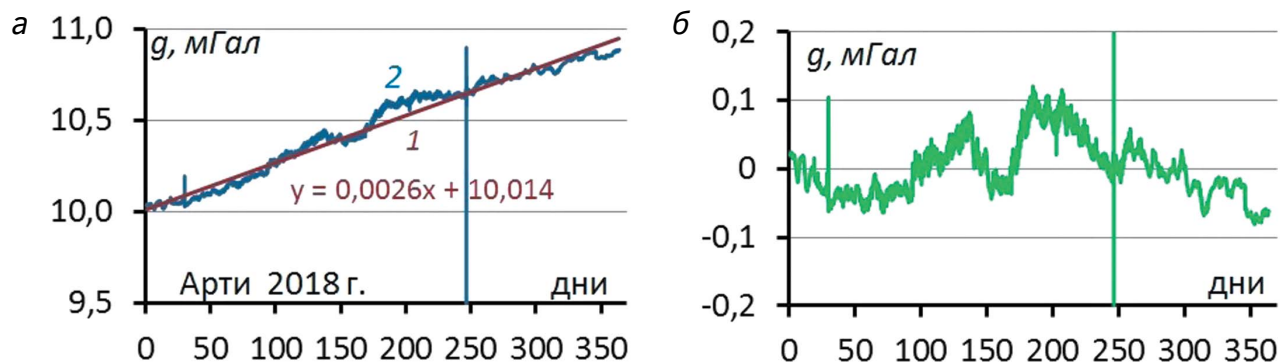


Рис. 1. Изменения неприливной вариации силы тяжести на обсерватории Арти за 2018 г.: а — графики неприливной вариации силы тяжести (2) и линейного тренда (1) изменения вариации; б — график остаточной неприливной вариации силы тяжести

Fig. 1. Changes in the non—tidal variation of gravity at the Arti Observatory for 2018: а — graphs of the non-tidal variation of gravity (2) and linear trend (1) changes in variation; б — graph of the residual non-tidal variation of gravity

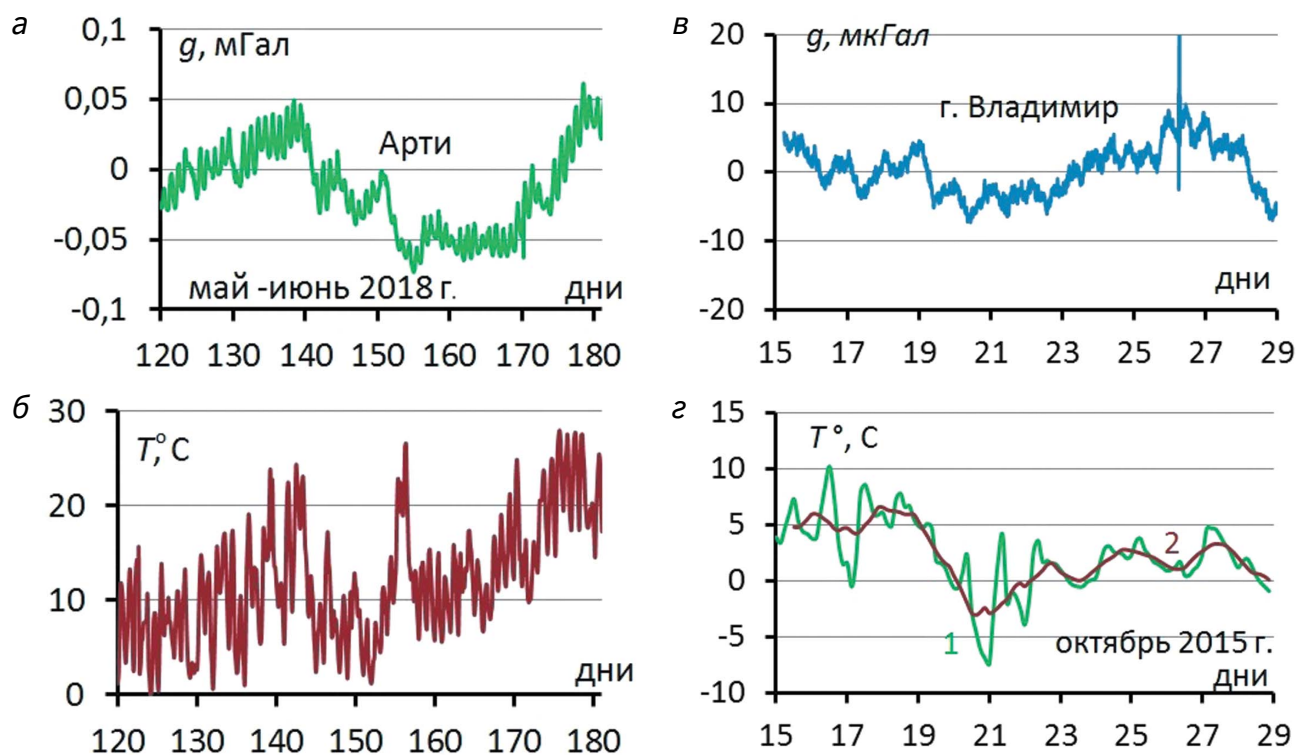


Рис. 2. Сравнение неприливных вариаций силы тяжести (а, в) и наружной температуры (б, г) на обсерваториях Арти и Заполье (г. Владимир). 1 — изменение суточной температуры; 2 — среднесуточный ход температуры

Fig. 2. Comparison of non-tidal variations of gravity (а, с) and outdoor temperature (б, д) at the Arti and Zapolye Observatories (Vladimir). 1 — change in daily temperature; 2 — average daily temperature

нуль-пункта (рис. 16) теплый период времени года характеризуется положительной аномалией силы тяжести. Обращает на себя внимание на фоне летней положительной аномалии локальный минимум (рис. 16), который связан с май-июньским похолоданием в зоне обсерватории. Рассмотрим этот

отрезок отдельно (рис. 2а, б). На данном рисунке наряду с графиком изменения силы тяжести приводятся графики изменения текущей температуры воздуха. В данном локальном случае видим четкую корреляцию между похолоданием и изменением силы тяжести. Здесь же (рис. 2в, г) приводятся

аналогичные результаты зависимости силы тяжести от температуры воздуха по обсерватории Заполье (г. Владимир). Таким образом, температура атмосферы вносит существенные коррективы в неприливно-вариации силы тяжести. Ранее автором указывалось [2, 3], что влиянию температуры подвержены датчики не только гравиметров, но и сейсмометров.

Отметим одну особенность, которая проявляется при сравнении изменений температуры воздуха и силы тяжести. Корреляция между температурой и силой тяжести характерна преимущественно для среднесуточного хода температуры и силы тяжести, хотя локальное изменение температуры в течение дня намного превышает среднесуточный ход. Объяснить это явление можно следующим образом. Среднесуточный ход определяется мощным слоем атмосферы, небольшое изменение плотности в котором вызывает изменение силы тяжести. Изменение температуры в течение суток касается в основном приземного (пограничного) слоя атмосферы

небольшой мощности, который не вызовет заметных изменений силы тяжести. Причем кривая среднесуточного похолодания (потепления) чаще всего начинается с резкого скачка температуры с последующим уменьшением.

Влияние влажности на изменение плотности возможно преимущественно при положительных температурах воздуха, и оно почти на два порядка меньше влияния температуры [4, 5]. Атмосферное давление изменяет плотность воздуха несколько больше, чем влажность, но не столь существенно [7, 9]. Вопрос об учете влияния атмосферного давления при гравиметрических измерениях ранее рассматривался в [6, 7]. Там же [7] приводится приближенная формула перевода давления в значения силы тяжести

$$\Delta g = K \Delta P, \quad (1)$$

где Δg — приращение силы тяжести; ΔP — приращение атмосферного давления, K — коэффициент

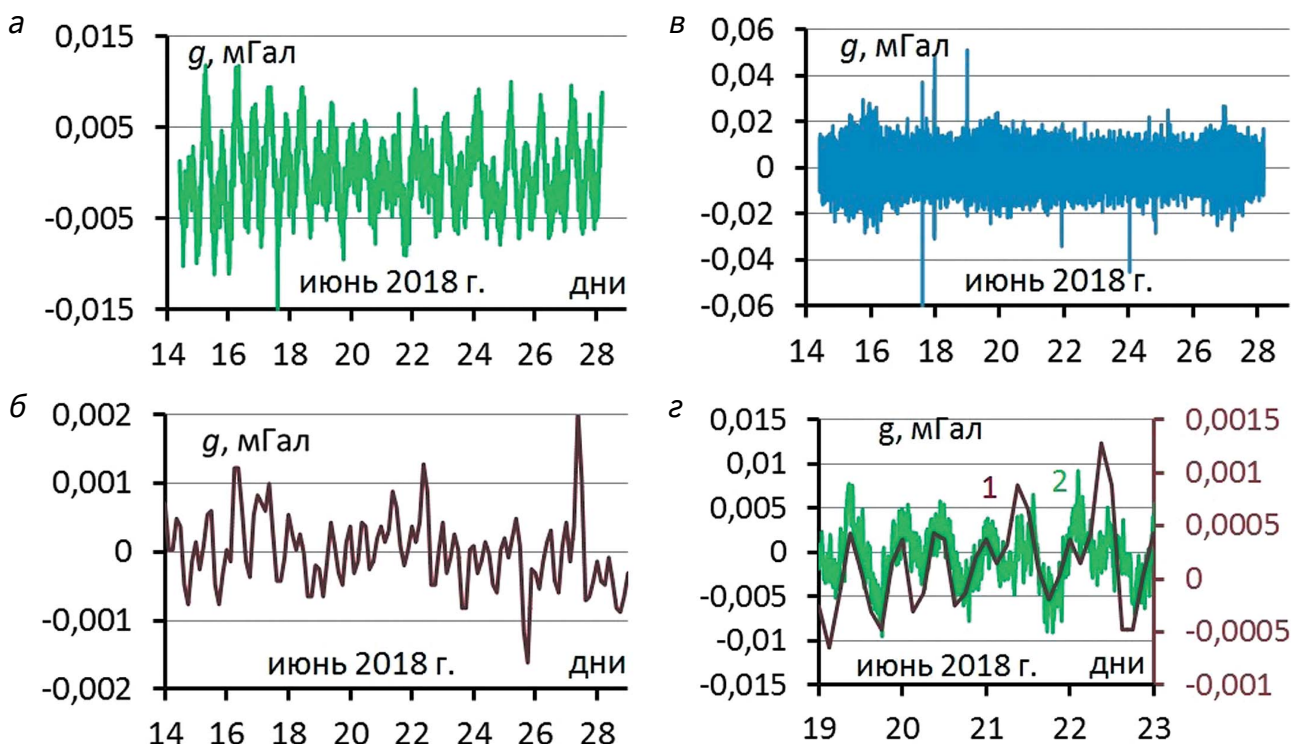


Рис. 3. Сравнение графиков осредненной и остаточной неприливных вариаций силы тяжести с графиками атмосферного давления в Бишкеке в июне 2018 г.: а — график осредненной неприливной вариации силы тяжести б — график атмосферного давления (шкала в условных миллигалах); в — график остаточной неприливной вариации силы тяжести; г — сравнение графиков осредненной неприливной вариации силы тяжести (кривая 2) и атмосферного давления (кривая 1)

Fig. 3. Comparison of graphs of averaged and residual non—tidal gravity variations with graphs of atmospheric pressure in Bishkek in June 2018: a — graph of averaged non—tidal gravity variation b — graph of atmospheric pressure (scale in conditional milligals); c — graph of residual non-tidal gravity variation; d — comparison of graphs of averaged non-tidal variation gravity (curve 2) and atmospheric pressure (curve 1)

перевода значений давления в значения силы тяжести. Этот коэффициент равен $0,0568 \times 10^{-3}$ для давления в мм рт. ст. или $0,0426 \times 10^{-3}$ при давлении в миллибарах. Кроме того, из значений атмосферного давления вычтена постоянная составляющая и оставлена вариативная часть, которая, собственно, оказывает влияние на значения силы тяжести.

Рассмотрим некоторые особенности морфологии графиков изменения атмосферного давления и силы тяжести. На рисунке 3 приведены графики осредненной (а) и локальной (в) непривливаемых вариаций, а также давления (б). Значения атмосферного давления для удобства сравнения с непривливаемыми вариациями переведены с помощью указанной формулы (1) в условные значения силы тяжести. Отсюда можно сделать вывод, что вклад давления в изменение непривливаемых вариаций минимален: значения силы тяжести при изменении давления $\pm(10-15)$ миллибар

сопоставимы с погрешностью измерений силы тяжести. На рисунке 3г приведено сравнение осредненной непривливаемой вариации и влияния давления: разница в амплитудах составляет целый порядок. Причем, в отличие от случая с температурой, здесь превалирует корреляция силы тяжести и давления для суточного хода. Для подтверждения этого высказывания рассмотрим графики лунно-солнечных вариаций и атмосферного давления (рис. 4а, в). Внешне они похожи, но при внимательном рассмотрении видим, что максимумы давления больше тяготеют к максимальным значениям градиента лунно-солнечных вариаций. Поэтому было решено продифференцировать лунно-солнечные вариации и сравнить с давлением. Налицо полное совпадение изменения производной и давления (рис. 4б, г). На графиках производная (рис. 4б, г) заменена приращением вариаций $\delta g = \Delta g(t_{n+1}) - \Delta g(t_n)$ с шагом 1 мин. Здесь

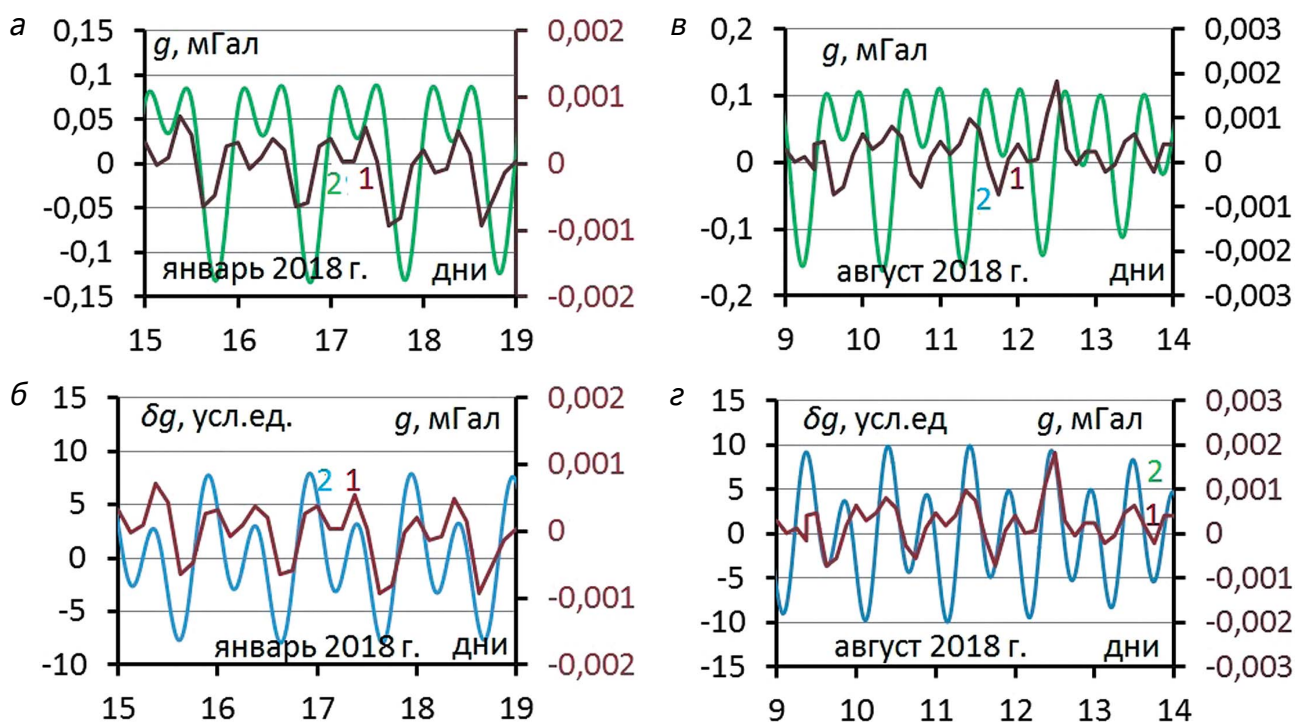


Рис. 4. Сравнение графиков лунно-солнечных вариаций силы тяжести и их градиента во времени с графиками атмосферного давления в Бишкеке (2018 г.): а — графики атмосферного давления (кривая 1) и лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в январе 2018 г.; б — график атмосферного давления (кривая 1) и график градиента лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в январе 2018 г.; в — графики атмосферного давления (кривая 1) и лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в августе 2018 г.; г — графики атмосферного давления (кривая 1) и градиента лунно-солнечных вариаций силы тяжести (кривая 2) в августе 2018 г.

Fig. 4. Comparison of graphs of lunar-solar gravity variations and their gradient over time with graphs of atmospheric pressure in Bishkek (2018): а — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and lunar-solar gravity variations (curve 2) in January 2018; б — graph of atmospheric pressure (curve 1) and a graph of the gradient of lunar-solar gravity variations (curve 2) in January 2018; в — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and lunar-solar gravity variations (curve 2) in August 2018; г — graphs of atmospheric pressure (curve 1) and the gradient of lunar-solar gravity variations (curve 2) in August 2018

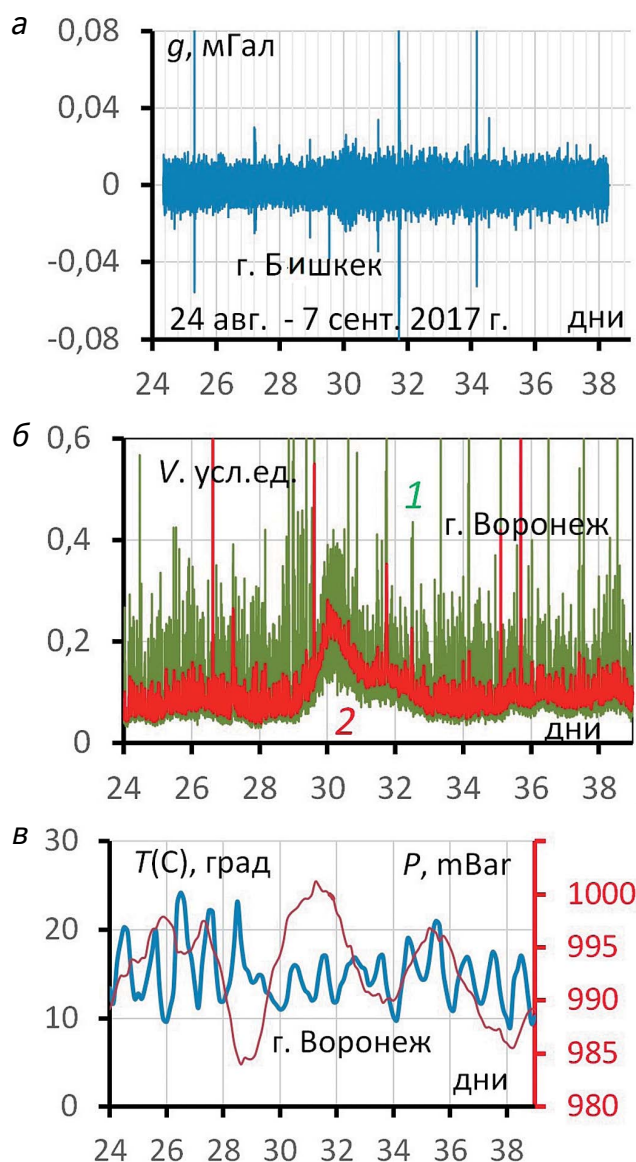


Рис. 5. Сравнение остаточной неприливной вариации силы тяжести в Бишкеке с сейсмограммой и метеоданными в Воронеже: а — график остаточной неприливной вариации силы тяжести; б — графики вертикальной составляющей (кривая 1) и осредненной вертикальной составляющей сейсмического поля (кривая 2); в — графики изменения текущей (кривая 1) и среднесуточной температуры (кривая 3) и давления (кривая 2)

Fig. 5. Comparison of the residual non—tidal variation of gravity in Bishkek with the seismogram and meteorological data in Voronezh: а — graph of the residual non—tidal variation of gravity; б — graphs of the vertical component (curve 1) and the averaged vertical component of the seismic field (curve 2); в — graphs of changes in the current (curve 1) and average daily temperature (curve 3) and pressure (curve 2)

сталкиваемся с такой же ситуацией, которую имеем между силой тяжести и вертикальной составляющей сейсмического поля [3].

В силу малости изменения поправок за счет давления при проведении гравиметрических работ их можно не учитывать, за исключением случаев, когда поправки могут достигать 3—5 мкГал. Это случаи высокоточных работ в инженерной или подземной гравиразведке. А вот при проведении измерений в горной местности поправки на давление надо вводить.

Что же касается водности кучевых облаков, данный вопрос очень прост с физической точки зрения. После полного насыщения воздуха парами воды излишняя влага выделяется в виде жидкости, резко увеличивая плотность облаков, тем самым увеличивая влияние на датчики сейсмографов и гравиметров. Ранее уже отмечалось [4] влияние атмосферных фронтов на показания приборов. Но атмосферные фронты по длине своей неоднородны: в одних случаях накрапывает дождь, а в других идет ливень с градом. Кроме того, меняется высота облачности, скорость перемещения фронта, пространственная форма объекта, в котором содержатся осадки, и т.д. [8, 9]. Ясно, что все это влияет на показания приборов, и дать оценку этому влиянию трудно. В какой-то мере о водности можно судить по выпавшему дождю, но это будет некорректно. Допустим, что выпал кратковременный дождь 50 мм. Это мощный ливень. Он может начаться резко при светлом небе, после окончания опять солнечная погода. В другом случае такой же дождь выпадет за сутки. Эффект от притяжения водной массы в том и другом случае один и тот же. А сколько воды осталось в облачном облаке? При облачном дожде влаги в тучах может оставаться достаточно много, и погода долго будет дождливой, оказывая влияние на показания приборов.

На рисунках 5 и 6 приведены примеры влияния дождливой погоды на показания сейсмометра. Выбраны самые дождливые отрезки времени. На рисунке 5 приведены сейсмические данные в Воронеже, которые отличаются резким изменением сейсмического поля. Особенно четко выделяется отрезок времени с 28 августа по 3 сентября, когда прошел атмосферный фронт. Посчитано среднее значение сейсмических колебаний (рис. 5б, кривая 2), которое соответствует прохождению фронта. Основная водная масса сосредоточена в голове фронта, затем она убывает и ее (массы) влияние медленно ослабевает. В данном случае (рис. 5б) влияние температуры незначительно. Среднесуточная температура в течение

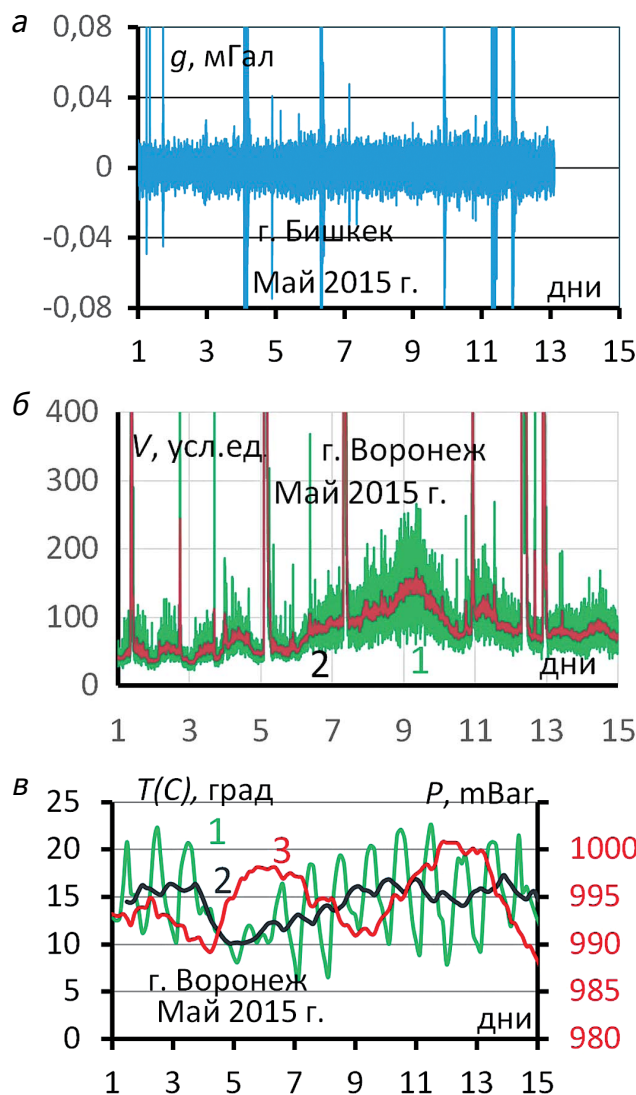


Рис. 6. Сравнение остаточной неприливной вариации силы тяжести в Бишкеке с сейсмограммой и метеоданными в Воронеже: обозначения те же, что на рисунке 5

Fig. 6. Comparison of the residual non-tidal variation of gravity in Bishkek with the seismogram and meteorological data in Voronezh: the designations are the same as in Figure 5

двух недель практически не менялась, оставаясь почти постоянной во время прохождения фронта, а до и после прохождения фронта характеризовалась обычными дневными флуктуациями. Поведение давления (рис. 5в) соответствует динамике прохождения фронта [4]: минимум давления соответствует периоду дождя, затем давление по мере прохождения фронта возрастает. Кроме того, на рисунке 5а приведена локальная неприливая вариация, по морфологии которой можно

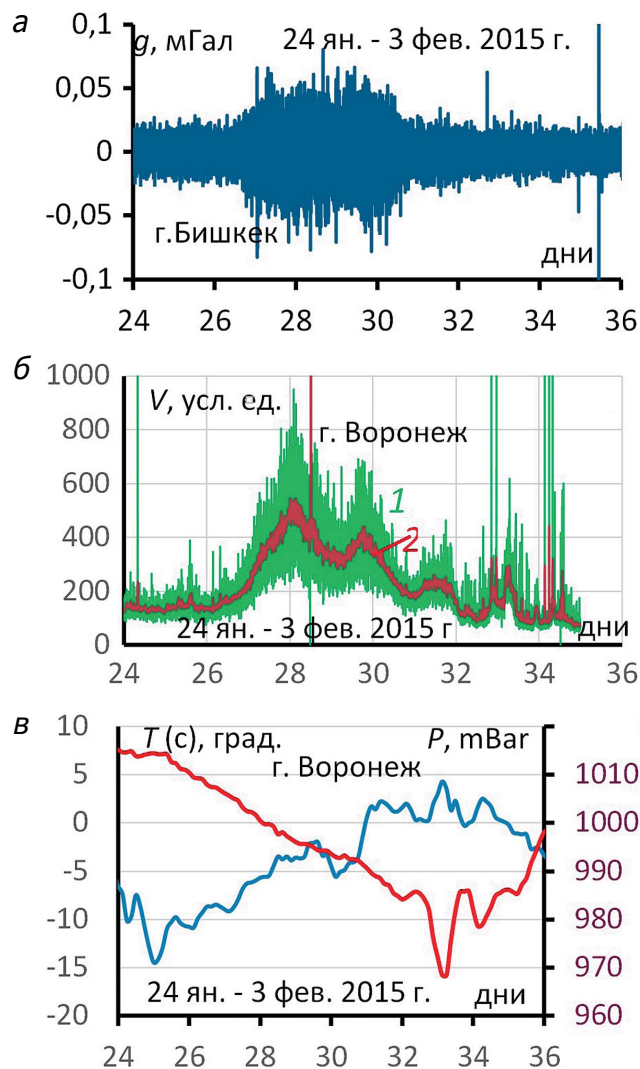


Рис. 7. Характер сейсмограммы при наличии пульсаций силы тяжести: а — график пульсации (остаточной неприливной вариации) силы тяжести; б — графики наблюдаемой вертикальной составляющей сейсмического поля (кривая 1) и осредненной вертикальной составляющей сейсмического поля (кривая 2); в — графики изменения температуры и давления

Fig. 7. The nature of the seismogram in the presence of gravity pulsations: а — a graph of gravity pulsation (residual non-tidal variation); б — graphs of the observed vertical component (curve 1) and the averaged vertical component of the seismic field (curve 2); в — graphs of temperature and pressure changes

заключить, что пульсаций неприливных вариаций силы тяжести за весь рассматриваемый период не было.

Далее перейдем к рисунку 6. Две недели шли дожди с небольшими перерывами. Но колебания, в отличие от рассмотренного выше случая,

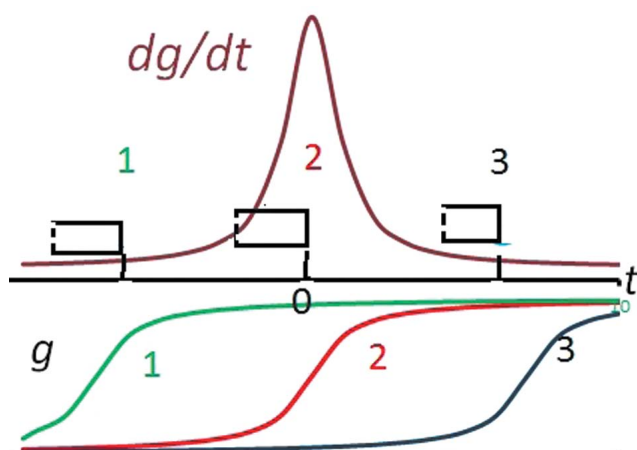


Рис. 8. Схема возможного влияния атмосферного фронта на сейсмограф

Fig. 8. Diagram of the possible influence of the atmospheric front on the seismograph

имеют меньшую частоту. Амплитуда колебаний почти та же. Диапазон изменения давления и температуры невелик, и никаких закономерностей не отмечается. Пульсаций несприливных вариаций (рис. 6а), как и в предыдущем случае, нет. Это замечание неслучайное. Обратимся к рисунку 7, где приводятся сейсмические данные при наличии пульсаций. Такая картина наблюдается всегда при пульсациях. Ведь в принципе метеорные потоки, которые создают пульсации, являются аналогами «пыльных облаков». Но данный вопрос достаточно широк и будет рассмотрен отдельно.

Далее попытаемся дать трактовку осредненным значениям сейсмического поля (рис. 5б и 6б, кривые 2). На изменения сейсмического поля оказывает влияние сила тяжести. При обработке сейсмических наблюдений притяжение Луны и Солнца исключается программным

обеспечением сейсмографа, а влияние несприливных вариаций силы тяжести не учитывается. Разберем это на примере прохождения атмосферного фронта (рис. 8). Прохождение фронта в первом приближении можно представить в виде перемещения масс холодного (теплого) влажного воздуха, имеющих форму уступа. Допустим, сейсмограф находится в нулевой точке. Аномалии силы тяжести g в позициях 1, 2, 3 показаны в нижней части рисунка. Следовательно, при прохождении уступа через нулевую точку будет наибольшая амплитуда градиента dg/dt . А как известно [3], показания сейсмометра определяются производной силы тяжести по времени. На наш взгляд, влияние несприливных вариаций можно сопоставить со средним значением сейсмических наблюдений. Очевидно, среднее значение несприливной вариации можно учитывать так же, как лунно-солнечные вариации силы тяжести. В конце добавим, что форма плотностных атмосферных неоднородностей может иметь самые причудливые конфигурации.

Заключение

Таким образом, по результатам исследований можно уверенно сказать, что метеорологические процессы оказывают влияние на показания гравиметров и сейсмометров. Наибольшее влияние оказывают водность облаков и изменение температуры земной атмосферы. Но если говорить в целом, то лунно-солнечные вариации силы тяжести и происходящие процессы в атмосфере тесно связаны между собой. Атмосфера окружает Землю, поэтому влияние всех внешних и внутренних факторов находит отклик в атмосфере, тем самым определяя состояние как самой атмосферы, так и состояние геофизических полей внутри и вне ее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Ю.В. Разделение несприливных вариаций силы тяжести на основе спектрального анализа и метода осреднения // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. 2016. Вып. 2. С. 100—106.
2. Антонов Ю.В., Сизаск И.А. Синхронные пульсации в несприливных вариациях гравитационного и сейсмического полей // Геология и разведка. Изв. вузов. 2015. № 5. С. 46—52.
3. Антонов Ю.В., Антонова И.Ю. Сравнение приливных вариаций силы тяжести и вертикальной составляющей сейсмографа // Геофизика. 2013. № 2. С. 27—31.
4. Антонов Ю.В. Влияние атмосферного фронта на показания гравиметров и сейсмометров // Геология и разведка. Изв. вузов. 2017. № 4. С. 66—71.
5. Антонов Ю.В. Зависимость несприливных вариаций силы тяжести от температурного режима пограничного слоя атмосферы // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. 2019. Вып. 4. С. 90—94.
6. Бычков С.Г., Долгаль А.С., Симанов А.А. Вычисление аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических съемках. Пермь: УрО РАН, 2015. 142 с.
7. Дикий Л.А. Теория колебаний земной атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 195 с.
8. Калинин Н.А., Смирнова А.А. Методика расчета водности и водозапаса кучево-дождевой облачности // Вестник Удмуртского ун-та. Биология, науки о Земле. 2008. Вып. 1. С. 59—72.
9. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 2000. 780 с.

10. Официальный сайт IRIS Consortium [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://iris.edu/> (дата обращения: 10.01.2020).
11. Официальный сайт ООО «Расписание Погоды» [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://Rp5.ru/> (дата обращения: 10.01.2020).
12. Timmen L., Wenzel H.-G. Worldwide synthetic gravity tide parameters available on Internet // Bulletin d'information-Bureau gravimétrique international. 1994. V. 75. P. 32—40.

REFERENCES

1. Antonov Yu.V. Separation of non-tidal gravity variations based on spectral analysis and averaging method // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology, 2013. Vol. 2. P. 100—106 (In Russian).
2. Antonov Yu.V., Sizask I.A. Synchronous pulsations in non-tidal variations of gravitational and seismic fields // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2015. No. 5. P. 46—52 (In Russian).
3. Antonov Yu.V., Antonova I.Yu. Comparison of tidal variations of gravity and vertical component of the seismograph // Geophysics. 2016. No. 2. P. 27—31 (In Russian).
4. Antonov Yu.V. The influence of atmospheric front on the readings of the gravimeters and seismometers // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2017. No. 4. P. 66—71 (In Russian).
5. Antonov Yu.V. Dependence of non-tidal variations of gravity on the temperature regime of the boundary layer of the atmosphere // Proceedings of Voronezh State University. Series: Geography. Geoecology 2019. No. 4. P. 90—94 (In Russian).
6. Bychkov S.G., Dolgal A.S., Simanov A.A. Calculation of gravity anomalies in high-precision gravimetric surveys. Perm: PFRC UB RAS, 2015. 142 p. (In Russian).
7. Dikiy L.A. Theory of oscillations of Earth's atmosphere. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1969. 195 p. (In Russian).
8. Kalinin N.A., Smirnova A.A. Method for calculating the water content and water storage of cumulonimbus clouds // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences 2008. Vol. 1. P. 59—72 (In Russian).
9. Matveev L.T. Atmospheric physics. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 2000. 780 p. (In Russian).
10. Incorporated Research Institutions for Seismology Consortium, On-line Bulletin, 2020. Available from: <https://iris.edu/> (last accessed 10 January 2020).
11. Official website of LLC "Weather Schedule", On-line Bulletin, 2020. <https://Rp5.ru/> (last accessed 10 January 2020).
12. Timmen L., Wenzel H.-G. Worldwide synthetic gravity tide parameters available on Internet // Bulletin d'information-Bureau gravimétrique international. 1994. V. 75. P. 32—40.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

И.А. Пономаренко — обработка наблюдений, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yury. V. Antonov — 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.

Ivan A. Ponomarenko — processing observations, 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

Антонов Юрий Васильевич* — доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет.

1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия
e-mail: yuriyantono@yandex.ru
SPIN-код: 4246-5256
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3323-9697>

Yury. V. Antonov* — Dr. of Sci. (Tech.), Prof., Voronezh State University

1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia
e-mail: yuriyantono@yandex.ru
SPIN-code: 4246-5256
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3323-9697>

Пономаренко Иван Александрович — аспирант, Воронежский государственный университет.

1, Университетская пл., г. Воронеж 394006, Россия
e-mail: kochuma@yandex.ru
SPIN-код: 2690-0793
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2588-3917>

Ivan A. Ponomarenko — postgraduate researcher, Voronezh State University.

1 Universitetskaya pl., Voronezh 394018, Russia
e-mail: kochuma@yandex.ru
SPIN-code: 2690-0793
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-2588-3917>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕХОДА НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ К ШЕСТОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ УКЛАДУ В КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

У.С. СЕРИКОВА

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Ранние этапы развития общества отличаются низким уровнем развития техники, поэтому их уклады общественного развития принято относить к доиндустриальным, тип развития производства которых основывался на мускульной силе животных и человека, создании наиболее простых вещей и инструментов. С наступлением «эры машин» начался индустриальный период развития мирового сообщества, в котором принято выделять технологические уклады. В истории становления и развития нефтегазового комплекса Каспийского региона выделяются пять технологических укладов. Сегодня нефтегазовая промышленность стран, входящих в Каспийский регион, стоит на пороге шестого технологического уклада. Исследование перспектив и возможностей ускоренного перехода к шестому технологическому укладу составляет предмет данного исследования.

Цель. Определение основных направлений перехода нефтегазовой промышленности Каспийского региона к шестому технологическому укладу.

Материалы и методы. В работе использованы методы ретроспективного, графического, статистического, системно-структурного анализа.

Результаты. По результатам исследования выделены основные направления технологического прогрессирования процессов геологоразведки, добычи и переработки, которые позволят нефтегазовой промышленности Каспийского региона осуществить полноценный переход к шестому технологическому укладу.

Ключевые слова: Каспийский регион, нефтегазовая промышленность, технологии, шестой технологический уклад

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Серикова У.С. Основные направления перехода нефтегазовой промышленности к шестому технологическому укладу в Каспийском регионе. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(3):76—86.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-76-86>

Статья поступила в редакцию 01.05.2023

Принята к публикации 29.06.2023

Опубликована 30.06.2023

MAIN DIRECTIONS FOR THE TRANSITION OF THE OIL AND GAS INDUSTRY TO THE SIXTH TECHNOLOGICAL STRUCTURE IN THE CASPIAN REGION

ULIANA S. SERIKOVA

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

ABSTRACT

Background. At early evolutionary stages, human societies were characterized by a low level of technological development, therefore referred to as pre-industrial societies. The production process was associated with simple inventions and was based on the muscular strength of animals and humans. The Industrial Revolution marked the advent of industrial societies, the development of which undergoes “technological waves”, or “technological structures”. In total, five “technological structures” can be defined in the evolution of the oil and gas complex in the Caspian region. At present, the oil and gas industry of the countries forming the Caspian region has reached the verge of the sixth technological structure. In this work, the author investigates the prospects and possibilities of an accelerated transition to the sixth technological structure.

Aim. To outline the main directions for the transition of the oil and gas industry in the Caspian region to the sixth technological structure.

Materials and methods. The methods of retrospective, graphical, statistical, system-structural analysis were used.

Results. The main directions for the development of geological exploration, production and processing in the Caspian region were identified, the implementation of which could support the transition to the sixth technological structure.

Keywords: Caspian region, oil and gas industry, technology, sixth technological structure

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

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

For citation: Serikova U.S. Main directions for the transition of the oil and gas industry to the sixth technological structure in the Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):76—86. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-76-86>

Manuscript received 01 June 2023

Accepted 29 June 2023

Published 30 June 2023

Введение

Технологический уклад — один из терминов теории научно-технического прогресса (НТП), принадлежащий ученому-экономисту Николаю Кондратьеву, пришедшему к идее существования больших экономических циклов, для которых характерен определенный уровень развития производительных сил («технологический уклад, цикл»). Начало каждого цикла характеризуется подъемом экономики, тогда как завершение — кризисами, за которыми следует этап перехода производительных сил на более высокий уровень развития. На основе этой и других теорий российскими экономиста-

ми и была разработана концепция технологических укладов. В начале 1990-х гг. Д.С. Львовым и С.Ю. Глазьевым было введено понятие технологического уклада, которое представляет собой совокупность технологий, характерных для определенного уровня развития производства, охватывающего замкнутый воспроизводственный цикл от добычи природных ресурсов и профессиональной подготовки кадров до непроемкого потребления. Исходя из этой концепции, научно-технический прогресс (НТП) позиционируется как драйвер экономического роста, формирующий длинные волны (циклы) экономического развития.

Каждый такой цикл начинается, когда новый комплект инноваций поступает в распоряжение производителей. Основы последующего технологического уклада зарождаются, как правило, еще в период расцвета предыдущего, а иногда и пред-предыдущего уклада [9—15].

Критерием отнесения производства к определенному технологическому укладу является использование в данном производстве технологий, присущих этому укладу, либо технологий, обеспечивающих выпуск продукции, которая по своим техническим либо физико-химическим характеристикам может соответствовать продукции данного уклада. В истории становления и развития нефтегазового комплекса Каспийского региона выделяются пять технологических укладов.

Первый технологический уклад (1710—1840 гг.). Первая промышленная революция.

Второй технологический уклад (1840—1920 гг.). «Эпоха нефти».

Третий технологический уклад (1920—1946 гг.). «Эпоха стали». Вторая промышленная революция.

Четвертый технологический уклад (1946—1990 гг.). «Эпоха морской нефти».

Пятый технологический уклад (1990—2030 гг.). Современный этап развития нефтегазового комплекса Каспийского региона.

Сегодня нефтегазовая промышленность стран, входящих в Каспийский регион, стоит на пороге

шестого технологического уклада. Его контуры начинают складываться в странах Каспийского региона по-разному. Для получения максимально подробного облика нефтегазовой отрасли в рамках формирования новых технологических укладов необходимо выделить перспективные технологические направления, которые получат свое развитие в будущем, и временные рамки «продолжительности жизни» нефтегазового сектора. В настоящее время нефтегазовая промышленность Каспийского региона сталкивается с проблемами, влияющими на развитие определенных технологических направлений.

Шестой технологический уклад в нефтегазовой промышленности в странах Каспийского региона в первую очередь должен включать прорывные и информационные технологии.

Интенсификация производства — тренд нашего времени. Чтобы обеспечить необходимые нормы прибыли в условиях падения спроса на углеводороды, нефтяным компаниям приходится повышать эффективность геолого-разведочных работ. При этом существующие производственные процессы близки к своему технологическому пределу и не могут обеспечить требуемый прирост эффективности за счет их модернизации. Желаемый результат может принести внедрение в производство прорывных решений (рис. 1) [7].

Стандартные технологии не могут обеспечить решение нестандартных задач, так как в этой области они крайне малоэффективны — предполагают существенные временные и материальные затраты даже для обеспечения небольшого прироста в качестве. Преимущество прорывных технологий состоит в том, что они обеспечивают высокую производительность при решении как стандартных, так и нестандартных задач.

Активно развивающиеся компьютерные технологии и академическое знание формируют хорошую базу для возникновения инновационных идей. Однако, несмотря на существующий потенциальный запрос со стороны нефтяных компаний, создаваемые прорывные технологии не находят широкого применения в секторе upstream и зачастую не преодолевают стадию прототипа, а цифровая трансформация производства при этом протекает медленно и не обеспечивает желаемый результат.

Внедрение прорывных решений в производство

Основная причина, по которой многие прогрессивные идеи не трансформируются в рабочий технологический процесс, состоит

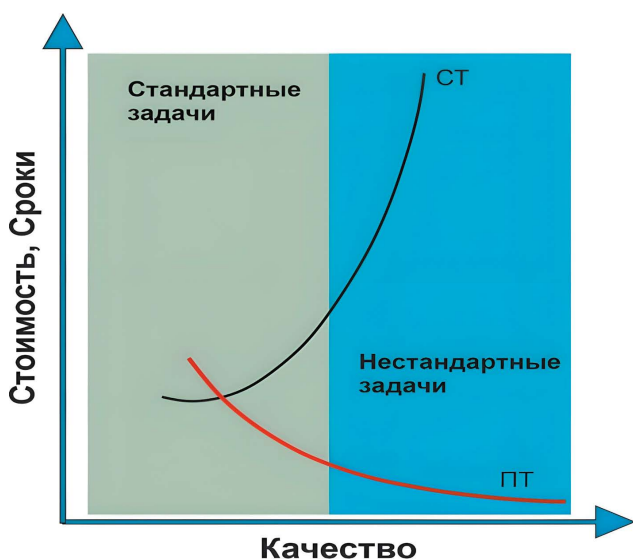


Рис. 1. Стандартные технологии (СТ) и прорывные технологии (ПТ)

Fig. 1. Standard technologies (ST) and breakthrough technologies (PT)

в отсутствии механизма, позволяющего тестировать их в условиях производства. Традиционно апробация осуществляется в рамках единственного пилотного проекта, по результатам которого принимается решение о дальнейшем использовании или не использовании тестируемого решения. Такой подход крайне малоэффективен, так как предполагает, что прорывную технологию можно разработать, отталкиваясь только от идеи, а тестирование на одном объекте не позволяет оценить устойчивость предлагаемого решения в различных геологических условиях. На самом деле создание технологии происходит в процессе преодоления текущих производственных проблем на множестве объектов. Ключевой момент здесь состоит в том, что реальные геологические задачи влияют на развитие технологии.

Вторым по значимости негативным фактором является абсолютная ориентированность производственного процесса на стандартные технологии. При подготовке программы исследований, технических или геологических заданий заказчики работ формулируют задачи исходя из доступных инструментов и методов, а также сложившихся стереотипов. Зачастую такие документы содержат требования в деталях следовать определенному workflow, например графу обработки сейсмических данных, и в худшем случае предполагают использование конкретного программного обеспечения. Это, в конце концов, приводит к формированию шаблонных ТЗ, где меняется только название объекта исследования, а заказчик из года в год получает одни и те же результаты — 6—8 карт по опорным и 2—3 по целевым горизонтам, которые просто не могут снизить неопределенности при принятии решений, поскольку не привносят новой геологической информации.

Такая ситуация фактически исключает спрос на новые технологии, которые по своей сути нацелены не только на более эффективное решение стандартных задач, но и на возможность постановки более сложных, обеспечивающих извлечение большего количества полезной информации из геолого-геофизических данных и снижение рисков.

Пресловутый человеческий фактор — также существенный барьер на пути прорывных технологий. На уровне менеджмента логика очевидна, и при наличии ответственности за принятие решения об использовании традиционного или инновационного подхода в проекте выбор будет сделан в пользу менее рискованного традиционного решения, которое с учетом прошлого опыта может

обеспечить ожидаемый результат за определенное время и деньги. На уровне экспертов и специалистов также понятна ментальная мотивация по сохранению устоявшихся технологических процессов, так как они являются экспертами и специалистами в области стандартных подходов и зачастую инициаторами и носителями существующих производственных практик. Любая инновация, привнесенная извне, рассматривается как конкурирующая и порождает конфронтацию.

Довершают картину правила закупочной деятельности нефтяных компаний, которые нацелены на решение двух основных задач: соблюдение федерального законодательства в соответствующей сфере и недопущение недобросовестных подрядчиков к участию в конкурсах. При этом предквалификационные критерии к потенциальным исполнителям формируются на основании существующих практик и стереотипов. Они, в частности, могут содержать требования к количеству персонала, наличию определенных вычислительных мощностей и программного обеспечения и даже необходимость наличия опыта работы с заказчиком. Эти требования окончательно закрывают дверь перед новыми технологиями по следующим основаниям:

- прорывные технологии, как правило, предлагаются новыми игроками на рынке услуг;
- инновационные подходы предполагают применение высокотехнологичных решений, обеспечивающих снижение сроков и себестоимости работ за счет автоматизации, т.е. уменьшения числа задействованного персонала, и применения алгоритмов, не требующих значительных производственных мощностей.

Стандартные технологии сейсмической интерпретации достигли своего технологического предела и не могут обеспечить требуемый в настоящее время уровень эффективности. Так, в целях оптимизации управления проектами и своевременного принятия решений нефтяные компании нуждаются в двукратном сокращении сроков камеральных работ. При этом предполагается одновременное увеличение качества получаемых геологических моделей. Удовлетворение такого запроса за счет модернизации стандартных решений невозможно. Единственный путь — запуск инновационных прорывных технологий. Однако даже при наличии таких технологий их использование тормозится по ряду причин. Наиболее труднопреодолимой проблемой является сложность внедрения прорывных технологий в производство, так как обеспечиваемый

скачок эффективности результирующего продукта предполагает и новый подход к достижению желаемого результата: смену устаревших парадигм и принципиальную модернизацию всего производственного процесса (рис. 2).

Речь идет об инновационной разработке — технологии полнообъемной сейсмической интерпретации «SAI-SVision», которая обеспечивает получение геологических моделей на качественно новом уровне и полностью меняет парадигму организации камеральных работ. Как любая прорывная технология, «SAI-SVision» полностью меняет саму парадигму организации производственного процесса.

При стандартном подходе последовательно выполняется серия процедур с неоднозначным результатом. То есть до завершения работы трудно оценить ее экономический эффект, поскольку неизвестно, сколько перспективных объектов будет выявлено, каков их ресурсный потенциал, насколько затратной окажется их разработка и т. д. [6].

В случае полнообъемной интерпретации информации о наличии и размерах всех объектов как антиклинального, так и стратиграфического типа мы получаем уже через пару дней после завершения этапа обработки. В частности, на одном из пилотных проектов было продемонстрировано, что за 8 месяцев камеральных работ опытная сервисная компания, применяя стандартную технологию, не смогла предоставить дополнительной геологической информации об объекте исследования по сравнению с той, которая была

получена с применением технологии «SAI-SVision» через два дня после начала работ [7].

При проведении реорганизации существующих производственных процессов существенный экономический эффект от внедрения технологии «SAI-SVision» может быть достигнут на текущем уровне ее развития, так как быстрое получение структурной модели позволяет сократить сроки работ за счет распараллеливания технологических процессов, привлечь больше методов для комплексирования, увеличить его эффективность за счет использования единой структурной основы.

Дальнейшее развитие технологии в направлении ее применения на стадии обработки сейсмических данных позволит повысить качество глубинно-скоростной модели и соотношения «сигнал — шум», обеспечит еще большее сокращение сроков камеральных работ.

Последующая разработка и интеграция седиментационного модуля «SAI-SVision» [7] позволит трансформировать сейсмические данные непосредственно в трехмерный грид литофаций — основу для детального прогнозирования флюидонасыщения, геомеханических характеристик разреза, моделирования резервуара.

Условия цифровой трансформации геолого-разведочных работ

Очевидно, что для запуска цифровой трансформации в компании чрезвычайно важно, но недостаточно осознавать прикладную значимость

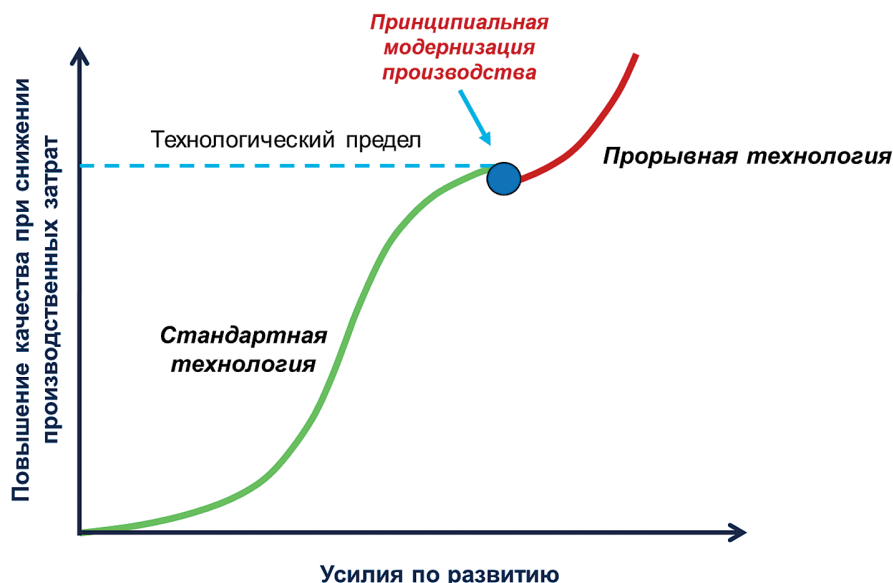


Рис. 2. Прорывная vs стандартная технология

Fig. 2. Breakthrough vs Standard Technology

прорывных технологий и понимать необходимость их внедрения в геологоразведку. Даже само по себе формирование подразделения по цифровизации не обеспечит желаемого эффекта, пока привлечение, развитие и внедрение инновационных подходов не станет неотъемлемой частью существующего производственного процесса [2].

Часть озвученных проблем, стоящих на пути цифровой трансформации, может быть решена на административном уровне, другие требуют глубокой проработки. Например, адаптировать правила закупочной деятельности в целом несложно.

Привлечение внешних креативных команд и организация их совместной работы со специалистами и экспертами компании над текущими проектами позволит решить сразу две проблемы: «человеческого фактора» и «ориентированности производственного процесса на устоявшиеся практики». При этом тестирование прорывных технологий в рамках научно-исследовательских работ, одновременно с выполнением проекта по стандартной технологии, здесь представляется логичным, но не таким простым для реализации решением. Сложность состоит в том, что такой подход не оправдывает ожиданий, если не будет решен вопрос формализации независимых критериев и понятной количественной оценки эффективности применения тех или иных технологий.

Отталкиваясь, на наш взгляд, здесь следует от поставленных перед проектом геологических задач, и основным критерием, соответственно, будет являться их решенность или нерешенность, второстепенными — сроки выполнения работ, экономический эффект, а также ценность полученной геологической информации с точки зрения снижения неопределенностей при принятии управленческих решений.

Основная задача информационных технологий заключается в снижении до минимума уровня затрат на добычу нефти и газа путем разработки и внедрения технологий разработки месторождений (smart-технологии), направленная на автоматизацию (измерение дебита скважины в устье, расхода воды, нефти и газа), проведение диагностики, управление различными системами в режиме реального времени. Smart-технологии реализуются через установку систем сверхточных датчиков и инструментов управления процессами в режиме online. Широкое внедрение технологии второй информационной революции — облачных хранилищ данных, а также технологии бизнес-аналитики Big Data.

Концепция построения иерархической системы управления нефтегазовым комплексом выделяет четыре уровня управления: первый, инструментальный, уровень — применение оптоволоконных сенсоров, датчиков для непрерывного сбора данных работы подземного, подводного и поверхностного оборудования, скважин в основных технологических процессах; второй, информационный, уровень — анализ большого объема геолого-промысловой информации (Big Data); третий, операционный, уровень — применение систем управления процессами добычи нефти и газа типа SCADA, систем типа MES для умных энергосистем, умных транспортных систем, водопользования и четвертый, управленческий, уровень — использование интегрированных интеллектуальных информационных систем типа ERP для оперативного и стратегического управления нефтегазовым комплексом в целом [6].

Дальнейшее развитие технологий технологического уклада позволит постепенно включать в процессы геологоразведки, добычи и переработки когнитивные технологии, предполагающие обучение компьютерных систем и выполнение задач, которые обычно требуют привлечения человеческого разума, элементы искусственного интеллекта. Новые технологии призваны повысить эффективность этих процессов за счет повышения качества использования, существующего энергopotенциала залегающих в пласте углеводородов и быстрого реагирования на малейшие изменения в углеводородных системах. Это применение в развитии нефтегазовой промышленности стран, входящих в Каспийский регион, нанотехнологий (нанопhotоника, наноматериалы, оптические наноматериалы, наносистемная техника, наноборудование), технологий, используемых в геномной инженерии, водородной энергетике и для создания искусственного интеллекта и глобальных информационных сетей — синтез достижений на этих направлениях должен привести к созданию, например, квантового компьютера, искусственного интеллекта и в конечном счете обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления нефтегазовой промышленностью стран Каспийского региона.

В ИПНГ РАН под руководством академика А.Н. Дмитриевского разрабатывается технологическая платформа «Ресурсно-инновационная модель нефтегазового месторождения реального времени» с использованием системного подхода при внедрении отечественных и зарубежных прорывных технологий в нефтегазовую

промышленность. Реализация данной технологической платформы создаст необходимый научно-технический базис для модернизации нефтегазовой отрасли экономики и прогресса во всей технологической цепочке производства нефти и газа. Создание умного нефтегазового комплекса требует нового мышления и технологий, с тем чтобы сделать нашу добычу нефти и газа более эффективной, интегрированной и экологически ответственной. Умный нефтегазовый комплекс ориентирован на существенный рост производительности труда, сокращение трудовых, материальных ресурсов, снижение капитальных и эксплуатационных затрат, нивелирование техногенного воздействия на окружающую среду [6].

Для высокорентабельной разработки месторождений нефти и газа необходимо создание умных нефтегазовых комплексов, характеризующихся высокой степенью автоматизации, безлюдными добычными комплексами, интеллектуальными системами управления технологическими, энергетическими, транспортными, производственными процессами (умный транспорт, энергетические сети, использование воды, снабжение месторождений и маркетинг нефти, газа и нефтепродуктов).

Количество умных скважин первого поколения в мире на 01.01.2013 г. составляло 900, из них 40 — в России. Технология проводки умных скважин первого поколения типов «Змея» и «Дракон» позволяет увеличить продуктивность горизонтальных скважин на 20—30% за счет строительства горизонтальных и боковых стволов с учетом геологических и тектонических особенностей строения коллекторов. Скважины типа «Змея» применялись для разработки месторождения Champion West в Брунее (Южно-Китайское месторождение). На месторождении была построена безлюдная морская платформа и пробурены десятки «змеиных» скважин с умным заканчиванием до 8 км по длине ствола, из них 4 км — по простирацию залежи. Дебит «змеиной» скважины достигает 2000 т/сут. Месторождение Champion West успешно осваивается: дебит на пике добыче составил 9000 т/сут.

Создание умных скважин второго поколения находится на стадии опытно-пилотных испытаний. Десятки тысяч оптоволоконных сенсоров в умной скважине второго поколения расположены спирально на расстоянии до 1 см друг от друга на обсадной колонне и встроены в песчаный экран, каждый из сенсоров измеряет субмикронные деформации. Они фиксируют все трубные напряжения, в том числе: осевые нагрузки (сжатие

и напряженность); смятие труб (потеря овальной формы); температуру; давление. Умная скважина второго поколения позволит проводить мониторинг и контроль за выработкой запасов на протяжении всего жизненного цикла месторождения нефти и газа. На 01.01.2013 г. количество умных месторождений первого поколения (включая месторождения, на которых были частично внедрены элементы умных технологий) в мире достигло 250; количество умных месторождений второго поколения — 2. В РФ количество месторождений с элементами умных технологий первого поколения составило 13: Роснефть (Ванкорское; Приобское; Одопту — Сахалин I); TNK-BP (Уватская группа месторождений (Урненское); Каменное; Самоотлорское; Ваньеганское); Татнефть (Ромашкинское); Лукойл (Западная Курна II; Кокуйское ГНМ); Газпром (Пильтун-Астохское и Лунское НГМ — Сахалин II); Газпромнефть (Муравленское ГКМ, 2011) [6].

Основные принципы и технологии проектного управления

Деятельность нефтяных и газовых компаний, занимающихся геолого-разведочными работами, добычей, транспортировкой, переработкой и реализацией углеводородов, приносящая непосредственный доход предприятию, осуществляется в рамках технологических и деловых процессов, которые координируются соответствующими проектами. Получение доходов невозможно без создания, поддержки и развития необходимой инфраструктуры, которая нужна при проведении и управлении геолого-разведочными работами, добычей нефти и газа, бурением скважин, сервисным обслуживанием различных процессов, строительством трубопроводов, хранилищ и т. д. Объем этих работ так значителен, а влияние качества и своевременности их выполнения столь велико, что современные нефтяные и газовые компании можно смело отнести к классу проектно-ориентированных компаний.

Прежде чем внедрять проектное управление, необходимо анализировать и определить стадию жизненного цикла, которую проходит в своем развитии любая организация. Необходимо четко понимать, на какой стадии жизненного цикла находится компания и способна ли она в настоящий момент к подобным изменениям или нет. За основу можно взять модель жизненного цикла организации (рис. 3), которую предлагает И. Адизес в своей книге «Управление жизненным циклом корпорации». Согласно



Рис. 3. Жизненный цикл организации (автор И. Адизес) [1]

Fig. 3. The life cycle of an organization (author I. Adizes) [1]

этой модели, каждая компания проходит через 10 стадий жизненного цикла: выживание, младенчество, «давай-давай», юность, расцвет, стабильность, аристократизм, ранняя бюрократизация, бюрократизация и смерть [1].

Основные процессы компаний и предприятий, занятых геолого-разведочными работами, поисками, разведкой и добычей углеводородов, определяются жизненным циклом месторождения (рис. 4). Внешний вид этого цикла порождает аналогии с жизненными циклами других объектов (информационной системы, здания, продукта или услуги и т. д.), включающими инвестиционную стадию (направленную на создание объекта), стадию эксплуатации объекта (направленную на извлечение дохода) и стадию ликвидации объекта.

Моделирование и математические методы для решения задач, стоящих перед каждым этапом и стадией жизненного цикла месторождения углеводородов (рис. 4), зависят от избранной платформы анализа данных и компьютерных технологий. Численное моделирование углеводородных систем проводится на разных этапах геолого-разведочных работ путем применения серия проектов, направленных на реализацию задач отдельных стадий и этапов, на основе анализа данных и разработки новых, а также адаптации существующих технологий.

Как правило, подавляющий объем работ всех стадий выполняется в проектной форме. Работы

некоторых стадий исполняются в основном в рамках соответствующих технологических процессов, однако значительный объем работ, связанных с реконструкцией, модернизацией и ремонтом объекта, может и должен выполняться также в проектной форме. Таким образом, жизненный цикл любого объекта (в том числе месторождения) может быть представлен как серия проектов, направленных на реализацию отдельных стадий, этапов и других более мелких элементов жизненного цикла. Учитывая масштаб работ, выполняемых нефтегазодобывающими компаниями и предприятиями, задачи объединения разнородных работ в проекты и их организационно-го оформления являются достаточно сложными. Иногда целесообразно создание комплексных проектов. Примером комплексного проекта может служить совокупность работ, выполняемых на региональном и поисково-оценочном этапах геолого-разведочных работ. Основным содержанием этих работ являются проведение комплекса геолого-геофизических мероприятий, бурение поисково-оценочных скважин, моделирование углеводородных систем, оценка ресурсов и запасов и лицензирование, по результатам которых принимается решение о проведении дальнейших работ в соответствии с жизненным циклом месторождения. Все эти мероприятия выполняются непосредственно командой проекта. Однако основные процессы жизненного цикла месторождения



Рис. 4. Технологии моделирования и программы анализа информации на отдельных этапах геолого-разведочных работ и разработки месторождений углеводородов

Fig. 4. Modeling technologies and programs for analyzing information at individual stages of exploration and development of hydrocarbon deposits

невозможно реализовать без поддержки со стороны вспомогательных процессов. В частности, для комплексного проекта геолого-разведочных работ на различных этапах и стадиях приходится привлекать специалистов в таких областях, как закупки и снабжение, транспортное обеспечение, управление кадрами, построение и анализ моделей скважины, проектирование и строительство, юридическое обеспечение.

Организационная структура нефтяных и газовых компаний и предприятий выстроена по функциональному принципу, поэтому реализация процессов в этих областях осуществляется соответствующими профильными подразделениями: предприятиями-подрядчиками и субподрядчиками. Это означает, что часть работ, непосредственно влияющая на успешность выполнения комплексного проекта, вынуждено выпадает из зоны влияния руководителя проекта, оставаясь при этом в зоне его ответственности. Организация этой части работ полностью является прерогативой функциональных руководителей соответствующих подразделений. Возможно (но не обязательно), эти работы, в свою очередь, будут организованы как проекты, которые станут подпроектами комплексных проектов «Геолого-разведочные работы» или «Поиск месторождения» и др. [4, 5, 8].

Таким образом, участниками комплексных проектов нефтяных и газовых компаний и предприятий являются многие подразделения: планирующие и контролирующие ход проектов и подпроектов; обеспечивающие эти проекты финансовыми, материально-техническими и человеческими ресурсами, выполняющие научно-исследовательские, опытно-конструкторские, проектно-изыскательские и строительные работы. В такой ситуации одним из ключевых элементов в организации проекта является создание таких органов управления проектом, которые позволили бы осуществлять планирование, мониторинг, контроль, анализ проекта и вырабатывать сбалансированные управленческие решения, учитывающие мнение всех заинтересованных сторон на разных уровнях ответственности. В настоящее время проектное управление прочно вошло в жизнь многих российских компаний, в том числе в нефтегазовой отрасли. В настоящий момент многие компании активно внедряют практику проектного управления в свои бизнес-процессы и постоянно обучают своих сотрудников техникам управления проектами. Сегодня, чтобы стать профессионалом практически в любой области бизнеса, каждому специалисту абсолютно необходимо владеть навыками проектного управления. Сейчас это входит в базовый набор компетенций высококлассного сотрудника в любой компании, независимо от ее размера и отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адизес, И. Схожие черты и различия между коммерческими и некоммерческими организациями по модели жизненных циклов Адизеса // Экономические стратегии. 2008. Т. 10, № 1(59). С. 126-129.
2. Алиев И.Г. Каспийская нефть Азербайджана. М.: Известия, 2003. 712 с.
3. Али-Заде А.А., Гулиев И.С., Косьянов В.А., Керимов В.Ю. Россия — Азербайджан: состояние и развитие научно-образовательного и технологического сотрудничества // Горный журнал. 2020. № 8. С. 4—7.
4. Гулиев И.С., Федоров Д.Л., Кулаков С.И. Нефтегазоносность Каспийского региона. Баку: Nafta-Press, 2009. 409 с.
5. Гулиев И.С., Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н. Фундаментальные проблемы нефтегазоносности Южно-Каспийского бассейна // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 1. С. 62—65.
6. Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А. Инновационные технологии освоения нефтяных месторождений в режиме реального времени // Георесурсы, геодинамика, геополитика. 2013. № 1(7). С. 1-7.
7. Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Косьянов В.А., Горбунов А.А., Мустаев Р.Н. Проблемы внедрения прорывных технологий в производство геологоразведочных работ / // Санкт-Петербург 2020. Геонауки: трансформируем знания в ресурсы: 9-я международная геолого-геофизическая конференция, Санкт-Петербург, 16—19 ноября 2020 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ». 2020. — С. 18.
8. Керимов В.Ю., Серикова У.С., Мустаев Р.Н., Гулиев И.С. Нефтегазоносность глубокозалегающих отложений Южно-Каспийской впадины // Нефтяное хозяйство. 2014. № 5. С. 50—54.
9. Мир-Бабаев М.Ф. Краткая история азербайджанской нефти. Баку, 2008—2012.
10. Серикова У.С. Становление и развитие нефтегазового комплекса Каспийского региона / под науч. ред. В.Ю. Керимова. М.: Недра, 2014. 245 с.
11. Серикова У.С. История становления и основные этапы развития нефтегазовой промышленности в Каспийском регионе // История и педагогика естествознания. 2013. № 2. С. 15—21.
12. Серикова У.С. Роль российских ученых и специалистов в становлении и развитии нефтегазового комплекса каспийского региона // История и педагогика естествознания. 2013. № 3. С. 40—46.
13. Серикова У.С. Становление и развитие научных знаний и техники освоения нефтегазовых ресурсов Каспийского региона // Нефть, газ и бизнес. 2013. № 8. С. 34—39.
14. Султанов Ч.А. Нефтегазовые стратегии и политика XXI века. Баку: «Нурлар», 2008. 654 с.
15. Султанов Ч.А. Нефть. Баку: «Нурлар», 2008. 703 с.

REFERENCES

1. Adizes, I. Skhozhie cherty i razlichiya mezhdru kommercheskimi i nekommercheskimi organizacijami po modeli zhiznennyh ciklov Adizesa [Similarities and differences between commercial and non-profit organizations according to the Adizes lifecycle model] // Ekonomicheskie strategii. 2008. V. 10, № 1(59). P. 126—129. (In Russian).
2. Aliev I.G. Caspian oil of Azerbaijan. Moscow: Izvestia, 2003. 712 p. (In Russian).
3. Ali-Zade A.A., Guliev I.S., Kosyanov V.A., Keromov V.Yu. Russia — Azerbaijan: state and development of scientific, educational and technological cooperation // Mining journal. 2020. No. 8. P. 4—7 (In Russian).
4. Guliev I.S., Fedorov D.L., Kulakov S.I. Oil and gas potential of the Caspian region. Baku: Nafta-Press, 2009. 409 p. (In Russian).
5. Guliyev I.S., Kerimov V.Yu., Mustaev R.N. Fundamental problems of oil and gas potential in the South Caspian basin // Reports of the Academy of Sciences. 2016. V. 471. No. 1. P. 62—65 (In Russian).
6. Dmitrievskij A.N., Eremin N.A. Innovacionnye tekhnologii osvoeniya neftyanyh mestorozhdenij v rezhime real'nogo vremeni [Innovative technologies for the development of oil fields in real time] // Georesursy, geodina, geopolitika. 2013. № 1(7). P. 1—7. (In Russian).
7. Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Kosyanov V.A., Gorbunov A.A., Mustaev R.N. Implementation of Disruptive Innovations in Exploration — Problems and Possible Ways of their Overcoming // Saint Petersburg 2020 — Geosciences: Converting Knowledge into Resources, 2020, p. 1—5. (In Russian).
8. Kerimov V.Yu., Serikova U.S., Mustaev R.N., Guliev I.S. Oil and gas potential of deep-lying deposits of the South Caspian depression // Oil industry. 2014. No. 5. P. 50—54 (In Russian).
9. Mir-Babaev M.F. Brief history of Azerbaijani oil. Baku: 2008—2012 (In Russian).
10. Serikova U.S. Formation and development of the oil and gas complex of the Caspian region / under scientific ed. V.Yu. Kerimov. Moscow: Nedra, 2014. 245 p. (In Russian).
11. Serikova U.S. The history of formation and the main stages of development of the oil and gas industry in the Caspian region // History and pedagogy of natural sciences. 2013. No. 2. P. 15—21 (In Russian).
12. Serikova U.S. The role of Russian scientists and specialists in the formation and development of the oil and gas complex of the Caspian region // History and pedagogy of natural sciences. 2013. No. 3. P. 40—46 (In Russian).
13. Serikova U.S. Formation and development of scientific

- knowledge and technology for the development of oil and gas resources of the Caspian region // Oil, gas and business. 2013. No. 8. P. 34—39 (In Russian).
14. Sultanov Ch.A. Oil and gas strategies and politics of the XXI century. Baku: Nurlar, 2008. 654 p. (In Russian).
15. Sultanov Ch.A. Oil. Baku: Nurlar, 2008. 703 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Ulyana S. Serikova — developed the concept of the article, prepared 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 АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

23, ул. Миклухо-Маклая, 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>

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

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

e-mail: lubava45@gmail.com

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

SPIN-code: 9363- 4064

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

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ / BOOK REVIEW

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-87-90>
УДК 552.5



ОБ УЧЕБНИКЕ «ЛИТОЛОГИЯ» И УЧЕБНОМ ПОСОБИИ «ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ»

А.Н. КОЛЬЧУГИН*, В.П. МОРОЗОВ, Н.С. ЗАХАРОВА

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

АННОТАЦИЯ

В представленных материалах дана краткая характеристика двум изданиям профессора РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина Виталия Германовича Кузнецова. В материалах разобраны учебник «Литология» и учебное пособие «Осадочные горные породы и методы их изучения». В условиях большого дефицита учебной литературы, публикуемой в последние годы по курсу «Литология», названные издания будут очень полезны студентам-геологам в освоении литологических дисциплин, а также при подготовке к вступительным испытаниям в аспирантуру и кандидатскому экзамену по специальности 1.6.5. Литология.

Ключевые слова: литология, учебник, учебное пособие, методы литологических исследований

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Кольчугин А.Н., Морозов В.П., Захарова Н.С. Об учебнике «Литология» и учебном пособии «Осадочные горные породы и методы их изучения». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(3):87—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-87-90>

Статья поступила в редакцию 09.06.2023

Принята к публикации 29.06.2023

Опубликована 30.06.2023

* Автор, ответственный за переписку

ABOUT THE TEXTBOOKS “LITHOLOGY” AND “SEDIMENTARY ROCKS AND METHODS FOR THEIR ANALYSIS”

ANTON N. KOLCHUGIN*, VLADIMIR P. MOROZOV, NADEZHDA S. ZAKHAROVA

Kazan Federal University
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

ABSTRACT

We provide a brief description of two editions by Professor Vitaly Germanovich Kuznetsov, Gubkin Russian State University of Oil and Gas. These include the textbooks “Lithology” and “Sedimentary rocks and methods for their analysis”, which present particular interest in the context of the lack of educational materials on lithology. The reviewed textbooks will be helpful for geology students mastering lithological disciplines and preparing for graduate examinations in discipline 1.6.5. Lithology.

Keywords: lithology, textbook, student tutorial, lithological research methods

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

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

For citation: Kolchugin A.N., Morozov V.P., Zakharova N.S. About the textbooks “Lithology” and “Sedimentary rocks and methods for their analysis”. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(3):87—90. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-87-90>

Manuscript received 09 June 2023

Accepted 29 June 2023

Published 30 June 2023

* Corresponding author

В последние годы публикуется не так много учебников и учебных пособий по циклу геологических дисциплин, в том числе по литологии и методам изучения осадочных горных пород. Пожалуй, определенной стабильностью подготовки таких изданий в последние годы отличается профессор кафедры литологии РГУ Виталий Германович Кузнецов.

Виталий Германович хорошо известен геологической общественности и имеет большой авторитет у студентов, аспирантов, педагогических и научных работников вузов, академических и отраслевых институтов. Авторы настоящего сообщения на собственном опыте убедились, что учебники и учебные пособия В.Г. Кузнецова имеют большую востребованность среди студентов и сотрудников Казанского федерального университета.

Им опубликованы:

1) Кузнецов В.Г. Литология: Учебник. М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2018. 411 с. (Национальный исследовательский университет). ISBN 978-5-91961-269-8. EDN UDVVGI [1].

В учебнике дана краткая история становления и развития литологии как одной из фундаментальных геологических дисциплин. Приводится современная классификация осадочных пород, основанная на их составе. Приводится характеристика структур и текстур осадочных образований. Достаточно подробно характеризуются различные типы осадочных пород, в том числе их распространенность, признаки, основные типы, составные части, механизмы и способы образования, включая седиментогенез и постседиментационные изменения. Приводятся сведения об их научном и прикладном значении.

Также рассматриваются вопросы стадийности формирования осадочных пород: источники

и способы образования материала, перенос материала в различных формах, его осаждение (седиментогенез), постседиментационные изменения: диагенез, катагенез. Показаны факторы, определяющие осадконакопление: тектонический, климатический, а также роль биоты и органического вещества в осадочном процессе.

Приводятся примеры основных областей осадконакопления и строение их осадочных комплексов. Дается определение фациям и показывается суть фациального анализа на основе изучения состава осадочных пород, их структур и текстур, органических остатков. Также приводится взаимосвязь морфологии осадочных тел, их взаимоотношение с окружающими образованиями.

В учебнике даны краткие сведения о формациях и формационном анализе. Заслуживают внимания разделы учебника, посвященные эволюции осадочного процесса в истории Земли и факторам, ее определяющим. Приводится авторское видение возможных направлений дальнейшего развития литологии.

2) Кузнецов В.Г. Осадочные горные породы и методы их изучения. М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2022. 204 с. ISBN 978-5-91961-353-4. EDN UEMBYJ [2].

В пособии приведены основные сведения о различных типах осадочных горных пород и методах их изучения. Рассмотрены основные методы изучения осадочных пород в целом и их отдельных типов, разобраны методы обработки аналитических данных, представлено большое количество схем, диаграмм, зарисовок и фотографий. В первой главе приводится классификация составных частей горных пород по месту и механизму образования. Даются необходимые сведения о структурах и текстурах осадочных образований,

формирующихся при седиментогенезе и последующих постседиментационных изменениях. Также приводятся необходимые сведения об общих принципах классификации и наименования осадочных горных пород. Во второй главе размещены сведения о породообразующих минералах, слагающих осадочные образования: их кристаллооптических свойствах, диагностических признаках, распространенности, генезисе. Здесь приводятся таблицы, позволяющие студентам повысить успешность определения минералов в шлифах под поляризационным оптическим микроскопом. В главе 3 показана схема изучения осадочных пород в процессе лабораторных занятий при макроскопическом и оптико-микроскопическом изучении образцов и шлифов. В главах 4—9 показаны основные приемы и примеры изучения глинистых, обломочных, карбонатных, кремнистых, соляных, фосфатных, аллитовых и железистых пород. В главе 10 дана техника

проведения гранулометрического анализа обломочных пород в шлифах.

В обоих изданиях приводится список отечественной и зарубежной литературы, позволяющий студентам более детально ознакомиться с различными осадочными образованиями.

И учебник, и учебное пособие предназначены прежде всего для студентов вузов — геологов и геофизиков. В них проявляются научный и преподавательский опыт работы автора.

В Казанском федеральном университете названные и более ранние издания В.Г. Кузнецова востребованы как в курсах дисциплин «Литология», «Методы литологических исследований», так и в курсах «Методы изучения минералов, руд и горных пород», «Методы изучения геоматериалов», «Литология нефтеносных толщ» и др. Издания востребованы также и при подготовке вступительных экзаменов в аспирантуру и кандидатского экзамена по специальности 1.6.5. Литология.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.Г. Литология: Учебник. М.: Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2018. 411 с.
2. Кузнецов В.Г. Осадочные горные породы и методы их изучения. М.: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2022. 204 с.

REFERENCES

1. Kuznetsov V.G. Litology. Moscow: Gubkin University, 2018. 411 p. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G. Sedimentary rocks and methods of their study. Moscow: Gubkin University, 2022. 204 p. (In Russian).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Кольчугин А.Н. — разработал идею статьи, осуществлял финальную верстку материалов и подготовку статьи к публикации.

Морозов В.П. — написал текст статьи, внес дополнения, осуществлял финальную редакцию текста.

Захарова Н.С. — написала статью, осуществляла редактирование.

Anton N. Kolchugin — a creation the idea of the paper, the final layout of the materials and prepared the article for publication.

Vladimir P. Morozov — writing the text of the paper, made additions, carried out the final edition of the text.

Nadezhda S. Zakharova — writing the paper, editorial work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Кольчугин Антон Николаевич* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заместитель директора по научной деятельности Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет».
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: Anton.Kolchugin@gmail.com
тел. +7 (843) 233-79-54
SPIN-код: 7493-4371
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0959-5085>

Anton N. Kolchugin* — PhD, Associate Professor, Deputy Director for Science, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia
e-mail: Anton.Kolchugin@gmail.com
tel. +7 (843) 2337954
SPIN-code: 7493-4371
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0959-5085>

Морозов Владимир Петрович — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет».
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: Vladimir.Morozov@kpfu.ru
тел. +7 (843) 292-96-92
SPIN-код: 3300-3674
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-2805>
Web of Science Researcher ID: E-5367-2017

Vladimir P. Morozov — Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Professor, Head of the Department of Mineralogy and Lithology, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia
e-mail: Vladimir.Morozov@kpfu.ru
tel. +7 (843) 292-96-92
SPIN-code: 3300-3674
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9713-2805>
Web of Science Researcher ID: E-5367-2017

Захарова Надежда Сергеевна — инженер кафедры минералогии и литологии Института геологии и нефтегазовых технологий ФГАОУ ВО «Казанский федеральный университет».
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия
e-mail: Zaharova.nadyuch@mail.ru
тел. +7 (843) 292-96-92

Nadezhda S. Zakharova — Engineer, Department of Mineralogy and Lithology, Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan Federal University.
18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia
e-mail: Zaharova.nadyuch@mail.ru
tel. +7 (843) 292-96-92

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

