

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

2020

Том 63, № 1  
Vol. 63, #1

PROCEEDINGS OF HIGHER  
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

1

# 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 63, № 1**  
**2020**

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. 63, No. 1**  
**2020**

The journal has been published since January, 1958  
Frequency: 6 times per year

**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 деятельно-

сти 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.

Редакция и редколлегия ставят перед собой цель повышения качества издания в соответствии с требованиями международных стандартов и глобальных индексов цитирования (ГИЦ) Scopus и/или Web of Science.

**Главный редактор**

**Лопатин Алексей Владимирович**, академик РАН, доктор биологических наук, профессор, директор, Палеонтологический институт им. А.А. Борисяка РАН, г. Москва, Россия

**Заместители главного редактора**

**Куликов Владимир Владиславович**, доктор технических наук, профессор, первый проректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

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

**Редакционная коллегия**

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

**Вердоа Массимо**, PhD, профессор, Университет Генуи, Генуя, Италия

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

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

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

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

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

**Керимов Вагиф Юнус оглы**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

**Кузнецов Николай Борисович**, доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

**Куликов Вячеслав Степанович**, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

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

**Малков Анатолий Валентинович**, доктор технических наук, директор, ООО «Нарзан-гидроресурсы», г. Кисловодск, 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, 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

# GEOLOGY AND EXPLORATION

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

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

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

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

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

## Председатель редакционного совета

**Косьянов Вадим Александрович**, доктор технических наук, профессор, ректор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

## Редакционный совет

**Варламов Алексей Иванович**, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель, Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт, г. Москва, Россия

**Гусев Павел Николаевич**, главный редактор газеты «Московский комсомолец», г. Москва, Россия

**Козловский Евгений Александрович**, доктор технических 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

**Спиридонов Игорь Геннадьевич**, кандидат геолого-минералогических наук, директор, Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, г. Москва, Россия

**Трубецкой Климент Николаевич**, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| История издания журнала                                  | Издается с января 1958 г.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Периодичность                                            | 6 раз в год                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Префикс DOI                                              | <a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ISSN print                                               | 0016-7762                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ISSN online                                              | 2618-8708                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Свидетельство о регистрации средства массовой информации | ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Учредитель и издатель                                    | ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия                                                                                                                                                                                                                                               |
| Редакция                                                 | ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь)<br>23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия<br>+7 (495) 433-63-33<br><a href="https://geology.mgri-rggru.ru/jour">https://geology.mgri-rggru.ru/jour</a> ,<br>E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a> |
| Тираж                                                    | 200 экз.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Типография                                               | Отпечатано в ООО «БЕАН», 1, корп. 5, Баррикад ул., г. Нижний Новгород 603003, Россия                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Копирайт                                                 | © Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Стоимость одного выпуска                                 | Свободная цена                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Условия распространения материалов                       | Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Индексация                                               | РИНЦ, DOAJ, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat.<br>Включен в Ulrich's Periodicals Directory.<br>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. Geo-*

*logy 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.

The Journal is continually improving its publication standards in accordance with the requirements of the international citation databases Scopus and Web of Science.

### Editor-in-Chief

**Alexey V. Lopatin**, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. Sci. (Biol.), Director, Borissiak Paleontological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

### Deputy Editors-in-Chief

**Vladimir V. Kulikov**, Dr. Sci. (Engineering), First Vice-Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

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

### Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Vyacheslav S. Kulikov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

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

**Anatoliy V. Malkov**, Dr. Sci. (Engineering), Director, Narzan-Gidroresursy Ltd., Kislovodsk, Russia

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

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

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

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

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

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

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

**Alexander V. Tolstov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

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

**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

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

## Chairman of the Editorial Council

**Vadim A. Kosyanov**, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

## Editorial Council

**Alexey I. Varlamov**, Dr. Sci. (Geol.-Mineral.), Scientific Adviser, All-Russian Research Geological Oil Institute, Moscow, Russia

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

**Eugeny A. Kozlovsky**, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

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

**Igor G. Spiridonov**, Cand. Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

**Kliment N. Trubetskoy**, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Founded                             | The journal has been published since January, 1958                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Frequency                           | 6 times per year                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| DOI Prefix:                         | <a href="https://doi.org/10.32454/">https://doi.org/10.32454/</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| ISSN print                          | 0016-7762                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| ISSN online                         | 2618-8708                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Mass Media Registration Certificate | PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Founder and Publisher               | Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Editorial Office                    | Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary)<br>23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia<br>+7 (495) 433-63-33<br><a href="https://geology.mgri-rggru.ru/jour">https://geology.mgri-rggru.ru/jour</a> ,<br>E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>                                                                                    |
| Circulation                         | 200 copies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Printing House                      | BEAN Ltd., 1, build. 5, Barricad str., Nizhny Novgorod 603003, 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 (RINTS), DOAJ, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.<br>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 СИСТЕМЫ РАЗЛОМОВ В ВЕРХНЕЙ КОРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА**  
*В.С. БУРТМАН*

- 19 СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНДАМЕНТА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ**  
*В.Ю. КЕРИМОВ, Е.А. ЛАВРЕНОВА, Ю.В. ЩЕРБИНА, Р.А. МАМЕДОВ*

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

- 30 ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САН-ФЕРНАНДО. КУБА**  
*Д. ДЕ ЛА НУЭС КОЛОН*

- 39 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ СЕРИЙНОГО ВЗРЫВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ**  
*К.С. МАЛЬСКИЙ, Ю.А. БОРОВКОВ*

- 46 КРУПНОЕ ЗОЛОТО И САМОРОДКИ ПРИАМУРЬЯ**  
*В.А. СТЕПАНОВ*

### МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

---

- 54 АСИНХРОННОСТЬ РАЗВИТИЯ РИФОВ И РИФОСТРОЯЩЕЙ БИОТЫ. ПАЛЕОЗОЙ**  
*В.Г. КУЗНЕЦОВ*

- 63 ЭОЛОВЫЕ ПЕСКИ СЕВЕРНОЙ АФРИКИ И ЮГО-ЗАПАДА АРАВИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ОАЭ)**  
*Е.В. РАХИМОВА, А.К. НАРАВАС, Е.О. ДЕРНОВА, А.Ш. МАХМУД*

- 75 СОСТАВ И СТРОЕНИЕ НЕПСКОЙ И ТИРСКОЙ СВИТЫ ПРИЛЕНСКО-НЕПСКОЙ СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА**  
*А.В. ПЛЮСНИН, М.И. ГЁКЧЕ*

### ГЕОЭКОЛОГИЯ

---

- 90 О ВЛИЯНИИ ПОЧВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**  
*Р.Х. МУСИН, А.Р. ГАЛИЕВА, Т.Г. КУДБАНОВ, З.Г. КАЛКАМАНОВА, Н.А. КУРЛЯНОВ*

## GEOLOGY

- 8 FAULT SYSTEMS IN THE UPPER CRUST OF THE CENTRAL ASIAN FOLDING BELT**  
VALENTIN S. BURTMAN
- 19 STRUCTURAL-TECTONIC MODEL OF THE BASEMENT AND SEDIMENTARY COVER OF EAST ARCTIC WATER AREAS**  
VAGIF Y. KERIMOV, ELENA A. LAVRENOVA, YULIA V. SHCHERBINA, RUSTAM A. MAMEDOV

## GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 30 VERTICAL MINERAL ZONALITY OF THE SAN FERNANDO VOLCANOGENIC MASSIVE SULPHIDE DEPOSIT, CUBA**  
DEYSY DE LA NUEZ COLON
- 39 ANALYSIS OF THE RESULTS OF INVESTIGATIONS AIMED AT REDUCING THE ROCK STRENGTH IN SERIAL EXPLOSIONS OF BOREHOLE EXPLOSIVE CHARGES**  
KIRILL S. MALSKIY, YURIY A. BOROVKOV
- 46 COARSE GOLD AND NUGGETS IN THE AMUR REGION**  
VITALIY A. STEPANOV

## MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 54 ASYNCHRONOUS DEVELOPMENT OF REEFS AND REEF-BUILDING BIOTA. PALEOZOIC**  
VITALY G. KUZNETSOV
- 63 AEOLIAN SANDS IN NORTH AFRICA AND THE SOUTHWEST OF THE ARABIAN PENINSULA**  
ELENA V. RAKHIMOVA, ANTON K. NARAVAS, ELENA O. DERNOVA, ABDELHALIM S. MAHMOUD
- 75 COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE NEPSKY AND TIRSKY FORMATION OF THE PRILENSK-NEPSKY STRUCTURAL-FACIES ZONE OF THE NEPA-BOTUOBA ANTECLISE BY THE RESULTS OF CORE MATERIAL STUDIES**  
ALEXEY V. PLYUSNIN, MARYANA I. GYOKCHE

## GEOECOLOGY

- 90 SOIL INFLUENCE ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUND WATERS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN**  
RUSTAM Kh. MUSIN, ALBINA R. GALIEVA, TIMUR G. KUDBANOV, ZILYA G. KALKAMANOVA, NIKITA A. KURLYANOV



## СИСТЕМЫ РАЗЛОМОВ В ВЕРХНЕЙ КОРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

В.С. БУРТМАН

*Геологический институт РАН  
7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия*

### АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрена дизъюнктивная деформация верхней коры в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах Центрально-Азиатского складчатого пояса. Проведен анализ диаграмм направлений разломов, построенных по данным о более чем 3000 разломах. Он позволил выделить ортогональные ассоциации систем разломов в этих регионах. Изучение ассоциаций систем разломов показало, что значительное число разломов функционирует в двух и более эпохах орогенных деформаций. Направление перемещения по разлому обусловлено действующим в эпоху полем деформаций. Оно не зависит от кинематики разлома в предыдущие эпохи деформации. Тянь-Шань — палеозойский складчатый пояс, который испытал покровно-складчатые деформации и орогенез в палеозое и был подвергнут неотектоническому орогенезу в позднем кайнозое. Палеозойский Тянь-Шань состоит из каледонской и варисской провинций, в которых было разное количество эпох деформации. В варисской провинции Тянь-Шаня были две эпохи деформации, охватившие всю провинцию, — позднепалеозойская и позднекайнозойская. Позднепалеозойские деформации связаны с коллизией Таримского и Казахстанского палеоконтинентов. Туркестанский океан, разделявший эти блоки, был закрыт в позднем карбоне. Орогенез был поздней стадией этой эпохи деформации и происходил в пермское время. В каледонском Северном Тянь-Шане было четыре или более эпох орогенеза. В среднем ордовике был закрыт Терской океан, который в раннем палеозое разделял Кокчетау-Иссыкульский и Сырдарьинский микроконтиненты. Коллизия этих блоков сопровождалась орогенными деформациями и формированием позднеордовикской молассы. Распространение в регионе молассы позднего девона свидетельствует об орогенных процессах и в это время. Затем территория каледонид вместе со всем Тянь-Шанем была охвачена орогенезами в пермское время и в позднем кайнозое. В процессе позднекайнозойской деформации в варисской и каледонской провинциях Тянь-Шаня не возникали новые системы разломов: происходило перемещение по палеозойским разломам подходящего направления. В разных частях Алтай-Саянского региона орогенные дислокации происходили в кембрии, ордовике, силуре, девоне, позднем палеозое и позднем кайнозое. В этом регионе определены позднепалеозойские ассоциации систем разломов, которые были активизированы в новейшую эпоху, и выявлена ассоциация систем разломов, созданная в позднем кайнозое.

**Ключевые слова:** тектонические разломы, активные разломы, Тянь-Шань, Алтай, Саяны

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

**Финансирование:** исследования проведены по плану ГИН РАН, тема № 0135-2019-0055.

**Благодарности:** автор благодарен В.Г. Трифонову и Д.М. Бачманову за разрешение пользоваться дополненной ими картой активных разломов Евразии. М.Л. Копп и В.Г. Трифонов ознакомились с предварительным вариантом статьи и высказали замечания, которые автором учтены.

**Для цитирования:** Буртман В.С. Системы разломов в верхней коре Центрально-Азиатского складчатого пояса. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(1):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-8-18>



# FAULT SYSTEMS IN THE UPPER CRUST OF THE CENTRAL ASIAN FOLDING BELT

VALENTIN S. BURTMAN

*Geological Institute of the Russian Academy of Sciences  
7, Pyzhevsky per., Moscow 119017, Russia*

## ABSTRACT

This article considers the disjunctive deformation of the upper crust in the Tien Shan and Altai-Sayan regions of the Central Asian folding belt. An analysis of the diagrams of fault directions constructed on the basis of information on more than 3000 faults revealed orthogonal fault system assemblages in these regions. Among them, a significant number of faults were functioning during two or more epochs of orogenic deformations. The direction of displacements was determined by the deformation field existing in that epoch, irrespective of the fault kinematics in the previous deformation epochs. The Tien Shan is a Paleozoic folded belt that experienced cover-folded deformations and orogenesis in the Paleozoic, as well as neotectonic orogenesis in the Late Cenozoic. The Paleozoic Tien Shan consists of the Caledonian and Variscan provinces, which underwent a different number of deformation epochs. Two deformation epochs — Late Paleozoic and Late Cenozoic — covered the entire Variscan province of the Tien Shan. Late Paleozoic deformations were associated with a collision of the Tarim and Kazakhstan paleocontinents. The Turkestan Ocean having separated these blocks was closed in the Late Carboniferous. The orogenesis having occurred during Permian was a late stage of that deformation epoch. Four or more orogenic epochs were characteristic of the Caledonian Northern Tien Shan. In the middle Ordovician, the Terskey Ocean, which had separated the Kokchetau-Issyk-Kul and Syrdarya microcontinents in the early Paleozoic, was closed. The collision of these blocks was accompanied by orogenic deformations and the formation of the Late Ordovician molasses. The distribution of the Late Devonian molasses in the region indicates orogenic processes having occurred at that time. Subsequently, the Caledonide territory, along with the entire Tien Shan, was covered by orogenesis in the Permian and Late Cenozoic. During the Late Cenozoic deformation, no fault systems appeared in the Variscan and Caledonian provinces of the Tien Shan; rather, a movement along the Paleozoic faults of a corresponding direction took place. Orogenic dislocations occurred in the different parts of the Altai-Sayan region in Cambrian, Ordovician, Silurian, Devonian, Late Paleozoic and Late Cenozoic. In this region, the Late Paleozoic assemblages of fault systems activated in the most recent epoch were identified, and the fault system assemblage in the Late Cenozoic was revealed.

**Keywords:** tectonic faults, active faults, Tien Shan, Altai, Sayans

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

**Funding:** the research was conducted according to the plan of the GIN RAS, topic No. 0135-2019-0055.

**Acknowledgments:** the author expresses his appreciation to V.G. Trifonov and D.M. Bachmanov for the permission to use their map of Eurasia's active faults, as well as to M.L. Kopp and V.G. Trifonov for their critical comments of the manuscript draft that significantly improved the overall quality of the work.

**For citation:** Burtman V.S. Fault systems in the upper crust of the Central Asian folding belt. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):8—18. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-8-18>

Земная кора в складчатых областях имеет мощность 40—70 км. На глубине 10—15 км или более расположена граница между верхней и нижней корой, которая соответствует сейсмической границе Форша (F, K1). Эта граница служит разделом, определяющим структурную дисгармонию между верхней и нижней корой [8]. Во многих районах граница между верхней и нижней корой отмечена «волноводом» — слоем или сериями тел, которые характеризует пониженная скорость сейсмических волн [1, 10, 15]. Вероятно, волновод представляет собой насыщенный флюидом пористый катаклазит или милонит [9, 15, 16].

Верхняя кора в разных тектонических условиях обладает свойствами упруго-пластичного или упруго-вязкого реологического тела. В ней возможно хрупкое разрушение — возникновение дизъюнктивных дислокаций. Нижняя кора, вероятно, имеет свойства, близкие к свойствам вязко-пластичного тела, в котором хрупкая деформация не происходит или происходит в локальных кратковременных аномалиях. Сейсмологические данные, результаты сейсмического и магнитотеллурического зондирования показывают, что протяженные разломы, изученные на земной поверхности, проникают в нижнюю кору и в верхнюю мантию. В вязко-пластичной среде нижней коры и мантии они должны иметь иное выражение, чем в верхней коре. Экстраполяция на глубину физических параметров разломов, изученных на земной поверхности, возможна в пределах верхней коры.

В статье рассмотрена дизъюнктивная деформация верхней коры, записанная в виде тектонических разломов в Тянь-шаньской и Алтай-Саянской

складчатых областях (рис. 1), которые занимают значительную часть территории Центрально-Азиатского складчатого пояса. Представительными для исследования можно считать разломы, которые глубоко проникают в верхнюю кору или пересекают ее. Изучение активных разломов и гипоцентров внутрикоровых землетрясений показало [19], что глубина проникновения разломов в земную кору близка к длине линий разломов на дневной поверхности. В статье использованы разломы, линии которых на земной поверхности имеют длину более шести километров.

#### Особенности методики исследования

В деформируемом теле, подвергаемом сжатию, возникают системы разломов первичной генерации, имеющие четыре направления. Вдоль направления сжатия образуются сбросы и раздвиги, под углом  $90^\circ$  к этому направлению — взбросы и надвиги. Эта ортогональная ассоциация систем разломов двух направлений может быть названа сброс-взбросовой ассоциацией. Под углом к направлениям разломов этой ассоциации формируются системы сдвигов двух направлений, которые образуют сдвиговую ассоциацию систем разломов (которую также называют «диагональной» [23]). В изотропном твердом теле сдвиговая ассоциация систем разломов также ортогональна. Угол между разломами, принадлежащими сброс-взбросовой и сдвиговой ассоциациям, в изотропном теле равен  $45^\circ$ . В земной коре этот угол может уменьшаться до  $30^\circ$  [21, 25]. Внутри сдвиговой ассоциации угол между двумя системами разломов может быть в интервале  $60^\circ$ — $90^\circ$ . Между системами разломов сброс-взбросовой ассоциации он обычно близок к  $90^\circ$  (рис. 2).

Анализ розы-диаграммы направлений разломов региона позволяет выявить системы разломов и ассоциации систем разломов этого региона. Роза-диаграмма содержит разломы, функционировавшие в региональном поле деформаций, и разломы, которые возникли в локальных полях деформаций. Лучи диаграммы показывают системы разломов, которые имеют относительно широкое распространение, маркируя направления региональных систем разломов. Ассоциация систем разломов обычно состоит из двух лучей, которые отмечают системы разломов двух направлений. Тектонофизические эксперименты показали, что разломы в лучах часто имеют разную длину, возможно также формирование лишь одного луча сдвиговых разломов [18].

При изучении тектонических разломов региона предварительным этапом обычно служит

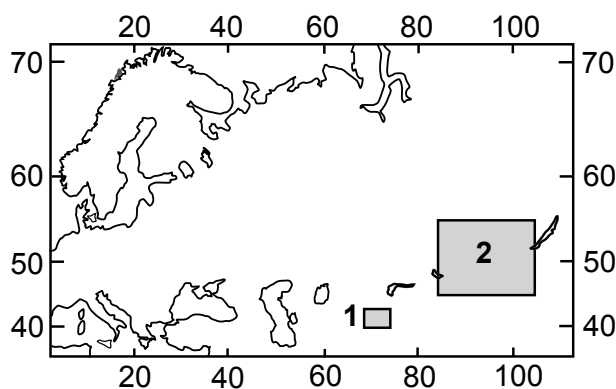


Рис. 1. Исследованные регионы: 1 — Тянь-шаньский, 2 — Алтай-Саянский

Fig. 1. The investigated regions: 1 — Tien Shan, 2 — Altai-Sayan

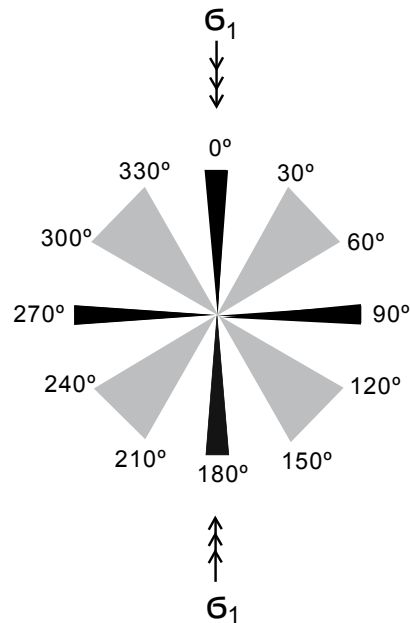
дешифрирование фотоснимков с летательных аппаратов и выделение на снимках фотолинеаментов, природа которых должна изучаться при наземных исследованиях. Нередко дешифрирование фотоснимков — единственный этап исследования, и фотолинеаменты являются основой для выводов. Значительная роль субъективного фактора при дешифрировании фотоснимков приводит к созданию принципиально разных карт фотолинеаментов для одного и того же региона [14]. Геологические карты, основанные на фотографических, топографических и иных линеаментах, в статье не были использованы. Исключение составляют карты разломов, активных в современную эпоху, эти разломы надежно распознаваемы на снимках с космических и других летательных аппаратов.

В складчатых зонах, сложенных шарьяжами, аллохтонные массы могут достигать 10—15 км мощности и занимать большую часть или всю верхнюю кору. На стадии шарьирования верхняя кора таких регионов расслоена наволоками: тектоническими поверхностями в основании шарьяжей, которые первоначально имеют пологий наклон. Формирование шарьяжей предшествует орогенезу [2]. В дальнейшем на стадии складчатости наволоки приобретают разный наклон — вплоть до вертикального и опрокинутого залегания. К наволокам не применима упомянутая выше схема деформации, в соответствии с которой возникают и функционируют сбросы, взбросы, сдвиги, надвиги. К наволокам не относится и упомянутое выше соотношение между длиной линии разлома и глубиной его проникновения в земную кору. Диаграммы, приводимые в статье, показывают простираия разломов всех типов, кроме наволоков и пологих надвигов.

### Тянь-шаньский регион

Тянь-Шань — палеозойский складчатый пояс, который в палеозое испытал покровно-складчатые деформации и орогенез и в позднем кайнозое был подвергнут неотектоническому орогенезу. Палеозойский Тянь-Шань состоит из варисской и каледонской провинций (рис. 3), в которых было разное количество эпох орогенной деформации.

**Варисский Тянь-Шань.** В варисской провинции Тянь-Шаня были две эпохи деформации, охватившие всю провинцию, — позднепалеозойская и позднекайнозойская. Позднепалеозойские деформации связаны с коллизией Таримского и Казахстанского энсиалических блоков [2]. Туркестанский океан, разделявший эти блоки, был закрыт в позднем карбоне [3, 20]. Сутура Турке-

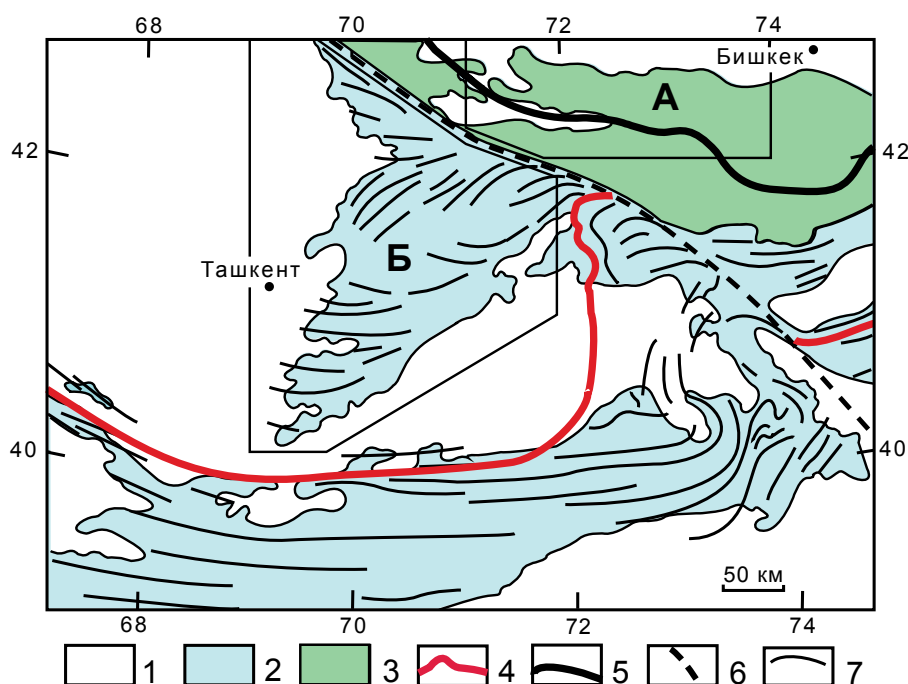


**Рис. 2.** Интервалы направлений, в которых могут возникать и функционировать системы разломов сброс-взбросовой (черные поля) и сдвиговой (серые поля) ассоциаций.  $\sigma_1$  — направление сжатия объекта  
**Fig. 2.** Intervals of directions in which downthrow-upthrow (black fields) and strike-slip (gray fields) associations of fault systems can arise and function,  $\sigma_1$  — the direction of compression

станского океана (рис. 3) разделяет тектонические зоны Южного и Срединного Тянь-Шаня, история и стиль деформаций которых имеют значительные отличия. На территории Южного Тянь-Шаня находятся многослойные шарьяжи, которые формировались на окраине Туркестанского океана на ранней стадии варисской деформации — в позднекаменноугольное время [3]. В пермское время в процессе орогенеза автохтон и шарьяжи были смяты в складки, наволоки приобрели разный наклон и нередко — простираия вдоль складчатого пояса.

В Срединном Тянь-Шане — севернее Туркестанской сутуры — нет шарьяжей раннего этапа варисской деформации. Это способствовало выбору Чаткальского района Срединного Тянь-Шаня (рис. 3Б) для изучения направлений разломов в орогенные эпохи. Диаграмма I (рис. 4) показывает простираия 439 разломов в Чаткальском районе, который охватывает территорию Кураминского, Чаткальского, Пскемского и Угамского хребтов, горы Каржантау, западную часть южного склона Таласского хребта и межгорные долины. Географические координаты этой территории:





**Рис. 3.** Палеозойские тектонические провинции Тянь-Шаня. 1 — кайнозой и мезозой, 2 — варисская провинция, 3 — каледонская провинция, 4—5 — океанические сuture (4 — Туркестанского палеозойского океана, 5 — Терской раннепалеозойского океана), 6 — Таласо-Ферганский позднепалеозойский сдвиг, 7 — оси позднепалеозойских складок в варисской провинции Тянь-Шаня

**Fig. 3.** Paleozoic tectonic provinces of the Tien Shan: 1 — Cenozoic and Mesozoic, 2 — Variscides, 3 — Caledonides, 4—5 — oceanic sutures (4 — Turkestan Paleozoic ocean, 5 — Terskey Early Paleozoic ocean), 6 — Talas-Fergana Late Paleozoic strike-slip, 7 — axis of the Late Paleozoic folds in Variscian province of the Tien Shan

40°—43° с.ш., 69°—72° в.д., источник данных о разломах — [6].

На диаграмме I видны две ортогональные ассоциации систем разломов — I-1 и I-2 (рис. 4). Каждая ассоциация состоит из двух систем разломов (0°/180° и 90°/270°, 40°/220° и 120°/300°) — двух лучей, направленных под углом около 90° друг к другу. Тянь-шаньская позднепалеозойская складчатая система имеет в современных координатах субширотное простирание. Направление максимального сжатия при ее формировании было близко к меридиональному (в современных координатах). В таких условиях, ассоциация I-1 была сброс-взбросовой, ассоциация I-2 — сдвиговой. Это подтверждается результатами полевых исследований смещений по разломам. Диаграмма I имеет также луч 70°/250°, направленный под углом 20° к ближайшему лучу, который принадлежит ассоциации I-1. Система разломов такого направления не могла быть создана или активна в поле деформаций, в котором функционировали разломы ассоциаций I-1 и I-2, это — система разломов другого возраста.

Складки, сформированные в позднем палеозое на территории Чаткальского района, имеют широкий спектр направлений (рис. 3), говорящий о локальных полях деформаций, параметры которых отличались от параметров регионального поля деформаций, в котором функционировали разломы ассоциаций I-1 и I-2. Такая картина свидетельствует о том, что складчатые и дизъюнктивные деформации — формирование складок и движения по большинству разломов — происходили в разное время, на разных стадиях деформации. Этот вывод находится в соответствии с полевыми наблюдениями, которые показали, что многие позднепалеозойские разломы возникли после смятия пород в складки.

**Каледонский Тянь-Шань.** Каледонскую провинцию Тянь-Шаня называют Северным Тянь-Шанем. В каледонском Тянь-Шане (рис. 3) было четыре или более эпох орогенеза. В среднем ордовике был закрыт Терский океан, который в раннем палеозое разделял Иссыккульский (Кокчетау-Иссыккульский) и Сырдарьинский энсиалические блоки [3, 7]. Коллизия этих блоков

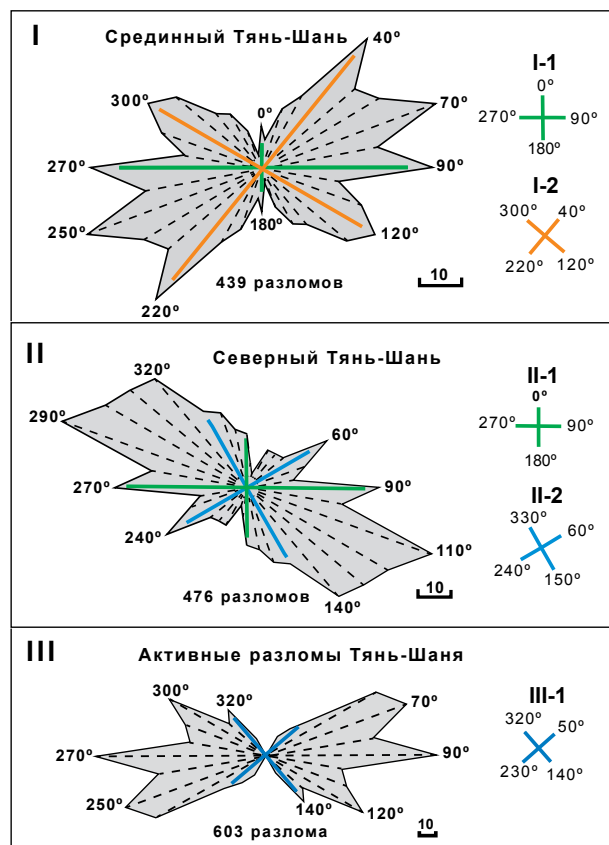
сопровождалась орогенными деформациями и формированием позднеордовикской молассы. Распространение в регионе молассы позднего девона свидетельствует об орогенных процессах и в это время. Затем территория каледонид вместе со всем Тянь-Шанем была охвачена орогенезами в пермское время и в позднем кайнозое.

Диаграмма II (рис. 4) показывает простираения 476 разломов в западном районе Северного Тянь-Шаня (рис. 3А). Район находится на территории Киргизского и Таласского хребтов и межгорных долин, географические координаты территории:  $42^{\circ}$ — $43^{\circ}$  с.ш.,  $71^{\circ}$ — $74^{\circ}$  в.д., источники данных о разломах — [5, 13].

Диаграмма II имеет два луча ( $60^{\circ}/240^{\circ}$  и  $90^{\circ}/270^{\circ}$ ) и широкую полосу разломов СЗ/ЮВ простираения. В поле диаграммы вне ее лучей нередко находятся разломы, ассоциированные с разломами лучей диаграммы, но не столь широко распространенные. На диаграмме II показаны направления таких разломов, которые ассоциированы с разломами лучей  $60^{\circ}/240^{\circ}$  и  $90^{\circ}/270^{\circ}$ . На этой диаграмме можно выделить ассоциации систем разломов II-1 и II-2, ориентированные под углом  $30^{\circ}$  одна к другой. Ассоциация II-1 идентична сброс-взбросовой позднепалеозойской ассоциации систем разломов I-1. Выше было отмечено, что позиция ассоциации I-1 соответствует региональному полю деформаций в позднем палеозое. Это свидетельствует о том, что разломы ассоциации II-1 в каледонидах были сформированы в процессе позднепалеозойского орогенеза, который охватил территорию всего Тянь-Шаня. Сдвиговой ассоциацией систем разломов, активных в эту эпоху, могла быть ассоциация II-2.

Полоса СЗ/ЮВ направления на диаграмме II содержит данные о 199 разломах, имеющих простираение в интервале  $110^{\circ}$ — $140^{\circ}/290^{\circ}$ — $320^{\circ}$ . В диаграмме II нет ассоциации систем разломов, включающей разломы, которые простираются вдоль этой полосы. СЗ/ЮВ направление имеет сутура раннепалеозойского Терской океана в рассматриваемом районе (рис. 3). Это позволяет предположить связь разломов СЗ/ЮВ простираения с коллизионным процессом, происходившим в каледонидах в среднем и позднем ордовике. Обилие разломов в полосе СЗ/ЮВ направления может быть результатом присутствия в ней наволоков, которые приобрели такое положение при смятии в складки.

**Активные разломы Тянь-Шаня.** В позднем кайнозое Тянь-Шань был подвергнут повторному орогенезу. Разломы этого этапа дефор-



**Рис. 4.** Диаграммы направлений разломов в Тянь-шаньском регионе (полярные проекции, интервал —  $10^{\circ}$ ): I — разломы в Чаткальском районе варисской провинции Тянь-Шаня (Б, рис. 3), II — разломы в Западном районе каледонской провинции Тянь-Шаня (А, рис. 3), III — разломы, активные в современную эпоху на всей территории Тянь-Шаня  
**Fig. 4.** Diagrams of fault directions in the Tien Shan region (polar projections, interval —  $10^{\circ}$ ): I — faults in Chatkal district of the Variscian province of Tien Shan (B, Fig. 3), II — faults in the Western region of the Caledonian province of Tien Shan (A, Fig. 3), III — faults, active in the modern era throughout the Tien Shan

мации Тянь-Шаня были активны в позднем плиоцене-голоцене. Диаграмма III (рис. 4) показывает простираения 603 активных разломов, расположенных на территории всех тектонических зон Тянь-Шаня, — в координатах  $35^{\circ}$ — $45^{\circ}$  с.ш.,  $65^{\circ}$ — $95^{\circ}$  в.д. Источник данных — карты активных разломов Евразии [11, 15, 27].

У диаграммы III — четыре луча (рис. 4). Наименьший из них указывает на существование слабо развитой ассоциации систем разломов III-1 с простираением лучей  $50^{\circ}/230^{\circ}$  и  $140^{\circ}/320^{\circ}$ . Эти простираения близки к направлениям систем разломов в позднепалеозойских ассоциациях

I-2 и II-2. Три больших луча диаграммы III простираются под  $20^{\circ}$ — $30^{\circ}$  один к другому. В поле диаграммы нет ассоциированных с ними разломов. Аналоги этих лучей диаграммы III присутствуют на диаграммах палеозойских разломов: луч с простиранием  $90^{\circ}/270^{\circ}$  есть на диаграммах I и II, лучи  $120^{\circ}/300^{\circ}$  и  $70^{\circ}/250^{\circ}$  — на диаграмме I, луч  $140^{\circ}/320^{\circ}$  — на диаграмме II. Всё это свидетельствует о том, что в процессе позднекайнозойской деформации Тянь-Шаня в большинстве случаев не возникали новые разломы, а происходили перемещения по палеозойским разломам. Полевое изучение активных разломов показало широкое распространение среди них разломов палеозойского происхождения.

Позднекайнозойский орогенез Тянь-Шаня обусловлен коллизией Индостанского континента с Евразией [24]. Кинематика активных разломов и данные GPS свидетельствуют о том, что направление горизонтального сжатия Тянь-шаньского региона в это время было близко к меридиональному [4]. Позднекайнозойский орогенез происходит в Тянь-Шане в поле деформаций, ориентировка которого подобна ориентировке позднепалеозойского поля деформаций. Небольшая ассоциация систем разломов III-1 (рис. 4) мо-

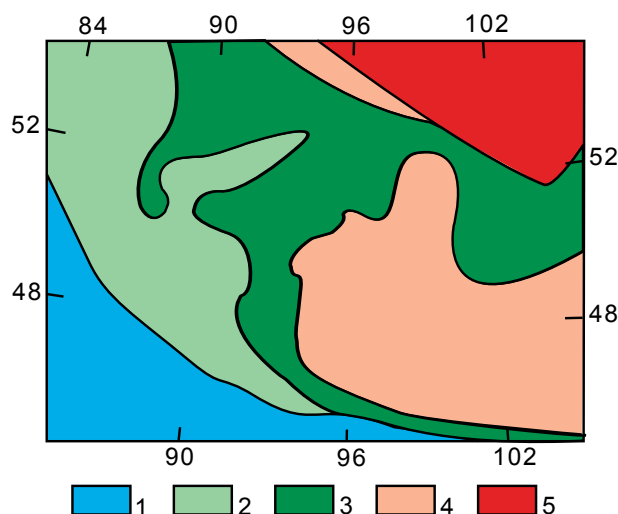
жет быть результатом реактивации позднепалеозойской ассоциации, но широкой реактивации палеозойских ассоциаций не произошло. «Ожидали» позднепалеозойские разломы в региональных полях деформаций, которые возникали при землетрясениях.

#### Алтай-Саянский регион

В Алтай-Саянском регионе (рис. 5) размещение раннепалеозойских, среднепалеозойских и других террейнов на площади региона [22, 26] более сложное, чем в Тянь-Шане. В разных частях этого региона орогенные дислокации происходили в кембрии, ордовике, силуре, девоне, позднем палеозое и позднем кайнозое. Рассматриваемая территория Алтай-Саянского региона находится в географических координатах  $45^{\circ}$ — $55^{\circ}$  с.ш.,  $84^{\circ}$ — $104^{\circ}$  в.д., источник данных о разломах — [12]. Диаграмма IV (рис. 6) показывает направления 1187 разломов в этом регионе. Диаграмма IV имеет четыре луча. Опираясь на их направления, можно выделить три ассоциации системы разломов. Ассоциация IV-1 включает разломы лучей  $60^{\circ}/240^{\circ}$  и  $140^{\circ}/320^{\circ}$ . Ассоциацию IV-2 образуют разломы луча  $90^{\circ}/270^{\circ}$  и разломы меридионального направления, которые находятся внутри поля диаграммы. Ассоциация IV-3 содержит разломы луча  $20^{\circ}/200^{\circ}$  и находящиеся внутри диаграммы разломы, которые имеют простирание  $110^{\circ}/290^{\circ}$ .

Алтай-Саянский регион, как и Тянь-Шань, в позднем кайнозое был подвергнут орогенезу, вызванному коллизией Индостанского континента с Евразией [24]. Диаграмма V (рис. 6) показывает простирания 663 разломов, активных в позднем плейстоцене — голоцене, которые расположены на той же территории, для которой составлена диаграмма IV. Источник данных — карты активных разломов [11, 17, 27]. На диаграмме V видны две ортогональные ассоциации систем разломов — ассоциация V-1 с лучами  $70^{\circ}/250^{\circ}$  и  $160^{\circ}/340^{\circ}$  и ассоциация V-2 с лучами  $0^{\circ}/180^{\circ}$  и  $90^{\circ}/270^{\circ}$ . Эти ассоциации ориентированы под углом  $20^{\circ}$  одна к другой. Это свидетельствует о формировании ассоциаций V-1 и V-2 в разное время, — в разные эпохи или на разных этапах деформации. Значительное количество разломов рассматриваемого региона имеют простирание  $110^{\circ}$ — $140^{\circ}/290^{\circ}$ — $320^{\circ}$ . В поле диаграммы V не удастся выделить систему разломов, ассоциативную с разломами такого направления.

При составлении диаграммы VI (рис. 6) из комплекса данных, на которых основана диа-



**Рис. 5.** Схема палеозойских тектонических провинций Алтай-Саянского региона — по [26], с изменениями. 1 — варсциды, 2 — поздние каледониды, 3 — ранние каледониды, 4 — микроконтиненты, 5 — Сибирский кратон

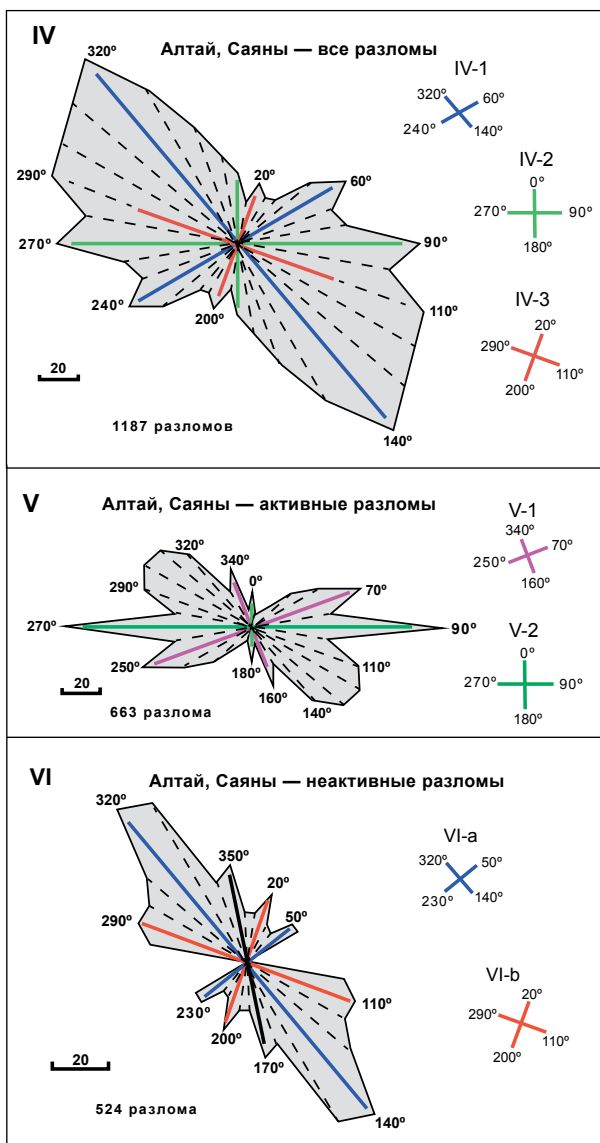
**Fig. 5.** Diagram of the Paleozoic tectonic provinces of the Altai-Sayan region — according to [26], with changes: 1 — varscides, 2 — late caledonides, 3 — early caledonides, 4 — microcontinent, 5 — Siberian craton

грамма IV, были вычтены данные об активных разломах диаграммы V. В результате диаграмма VI показывает направления 524 разломов, по которым не было перемещений в неотектоническую эпоху. На этой диаграмме видны две ортогональные ассоциации систем разломов: ассоциация VI-a, которая подобна ассоциации IV-1, и ассоциация VI-b, подобная ассоциации IV-3. Аналогичные ассоциации IV-2 на диаграмме VI отсутствуют.

Сравнение диаграмм IV, V и VI (рис. 6) позволяет сделать следующие выводы. Активные разломы ЮВ/СЗ направления на диаграмме V, не имеющие ассоциированных с ними разломов, — это активизированные палеозойские разломы ассоциаций IV-1 и IV-3. Ассоциации IV-2 и V-2 идентичны не только по направлению, но и по количеству разломов в их лучах. Это — веский довод в пользу зарождения разломов этих ассоциаций в неотектоническую эпоху. В отличие от Тянь-Шаня, в котором при позднепалеозойском и позднекайнозойском орогенезах деформации происходили в полях, имеющих близкое направление осей, в Алтай-Саянском регионе такого совпадения не было. По кинематике активных разломов направление регионального сжатия в неотектоническую эпоху изменялось от меридионального в Алтае до СВ/ЮЗ в Саянах [17]. Создание неотектонической ассоциации систем разломов V-2, вероятно, было реакцией на несовпадение региональных полей деформации в позднем палеозое и позднем кайнозое.

### Обсуждение

Изучение ассоциаций систем разломов в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах показало, что значительное число разломов функционирует в двух или более эпохах деформаций. Направление перемещения по разлому обусловлено действующим в эту эпоху региональным полем деформаций. Оно не зависит от кинематики этого разлома в предыдущие эпохи деформации (если разлом в эти эпохи существовал). Кинематический тип разлома (сброс, правый сдвиг и др.) определяют по околоразломным деформациям, если они видны, или по соотношению между породами на его крыльях. Эти определения соответствуют направлению перемещения по разлому в одну эпоху деформации, обычно — последнюю. Поэтому для разделения систем разломов по возрасту их заложения следует использовать данные о направлениях разломов региона, не разделяя их на сбросы, взбросы сдвиги, надвиги. Так



**Рис. 6.** Диаграммы направлений разломов в Алтай-Саянском регионе (полярные проекции, интервал — 10°): IV — все разломы, V — разломы, активные в современную эпоху, VI — палеозойские разломы, которые не были активизированы в современную эпоху деформации

**Fig. 6.** Diagrams of fault directions in the Altai-Sayan region (polar projections, interval — 10°): IV — all faults, V — faults active in the modern era, VI — Paleozoic faults not activated in the modern era of deformation

построены диаграммы направлений разломов в этой статье.

Для выяснения — когда были созданы системы разломов и какие системы были активны в разные эпохи деформаций, необходимо знание параметров регионального поля деформаций в ис-



следуемые эпохи. Эта информация обычно основана на данных о тектонике и геодинамике региона. Для определения параметров неотектонического поля деформаций можно также использовать кинематику активных разломов, так как вид их активности в неотектоническую эпоху определяется безошибочно. Данные о кинематике активных разломов были использованы для определения параметров неотектонических полей деформаций в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах.

### Заключение

Изучение ассоциаций систем разломов, которые пересекают верхнюю кору континента или проникают в нее на значительную глубину, проведено в Тянь-шаньском и Алтай-Саянском регионах Центрально-Азиатского палеозойского складчатого пояса. В варисцидах Срединного Тянь-Шаня выявлены системы разломов и их ассоциации, сформированные в процессе позднепалеозойского орогенеза. Установлено, что формирование большинства складок и движения по многим разломам этого региона происхо-

дили на разных этапах позднепалеозойской эпохи деформации. В каледонидах Северного Тянь-Шаня выявлена ассоциация систем разломов, имеющая позднепалеозойское происхождение, а также разломы, вероятно, имеющие раннепалеозойской возраст. Установлено, что в процессе позднекайнозойской деформации в обеих провинциях Тянь-Шаня не возникали новые системы разломов, — происходило перемещение по палеозойским разломам подходящего направления. В Алтай-Саянском регионе определены позднепалеозойские ассоциации систем разломов, которые были активизированы в новейшую эпоху, и выявлена ассоциация систем разломов, созданная в позднем кайнозое. Проведенное исследование показало, что анализ ассоциаций систем разломов позволяет разделить системы разломов региона, бывшие активными в разные эпохи деформации. Это способствует систематизации многоэтапных дизъюнктивных деформаций верхней коры исследованных регионов и позволяет оценивать степень сейсмической опасности палеозойских разломов разного направления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Багманова Н.Х., Миркин Е.Л., Сабитова Т.М. Волноводы в земной коре Тянь-Шаня // Вестник института сейсмологии НАН Киргизской Республики. 2014. № 3. С. 31—38.
2. Буртман В.С. Структурная эволюция палеозойских складчатых систем. М.: Наука, 1976. 164 с.
3. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: тектоника и геодинамика в палеозое. М.: Геос, 2006. 215 с.
4. Буртман В.С. Тянь-Шань и Высокая Азия: геодинамика в кайнозое. М.: Геос, 2012. 187 с.
5. Буртман В.С., Каткова Н.С., Кордун Б.М., Медведев В.Я. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000, лист К-43-XIV. М.: Госгеолиздат, 1961.
6. Геологическая карта СССР масштаба 1:1 000 000, лист К-42,43. М.: Мингео СССР, 1990.
7. Дегтярев К.Е., Рязанцев А.В., Третьяков А.А. Строение каледонид Киргизского хребта и тектоническая эволюция Северного Тянь-Шаня в позднем докембрии — раннем палеозое // Геотектоника. 2014. № 6. С. 3—38.
8. Иванов С.Н. Зоны пластичных и хрупких деформаций в вертикальном разрезе литосферы // Геотектоника. 1990. № 2. С. 3—11.
9. Иванов С.Н. Вероятная природа главных сейсмических границ в земной коре континентов // Геотектоника. 1994. № 3. С. 3—13.
10. Каракин А.В., Курьянов Ю.А., Павленкова Н.И. Разломы, трещиноватые зоны и волноводы в верхних слоях земной оболочки. М.: ВНИИгеосистем, 2003. 221 с.
11. Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий, масштаб 1:8 000 000. М.—Иркутск: АН СССР, 1986.
12. Карта разломов территории СССР и сопредельных стран, масштаб 1:2 500 000. М.: Мингео СССР, 1980.
13. Киселев В.В., Королев В.Г. Бешташ-Терекский правый сдвиг и сдвиговая тектоника в западной части Северного Тянь-Шаня // Тектоника западных районов Северного Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1964. С. 61—78.
14. Короновский Н.В., Брянцева Г.В., Гончаров М.А., Наймарк А.А., Копаев А.В. Линеаменты, планетарная трещиноватость и регматическая сеть: суть явлений и терминология // Геотектоника. 2014. № 2. С. 75—88.
15. Краснопевцева Г.В. Геолого-геофизические особенности строения слоев с пониженными скоростями в земной коре. М.: ВИЭМС. 1978. 37 с.
16. Николаевский В.Н., Шаров В.И. Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Физика Земли. 1985. № 1. С. 16—28.
17. Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А. Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. М.: Геос, 2002. 224 с.
18. Шерман С.И. Сдвиги и трансформные разломы литосферы // Проблемы разломной тектоники. Новосибирск: Наука, 1981. С. 5—44.
19. Шерман С.И. Физические закономерности развития разломов земной коры. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.

20. Alexeiev D.V., Biske Yu.S., Djenchuraeva A.V., Kröner A., Getman O.F. Late Carboniferous (Kasimovian) closure of the South Tianshan Ocean: No Triassic subduction // *J. Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 173. P. 54—60.
21. Burtman V.S. Stationary network of continental faults and mobilism // *Geotectonics*. 1978. Vol. 12. no. 3. P. 177—184.
22. Buslov M.M., De Grave J. Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan Foldbelt (southern Siberia). In: *The Central Asian Orogenic Belt* / Stuttgart: Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung. 2015. P. 93—153.
23. Jaroszeewski W. *Fault and fold tectonics*. Warszawa: PWN-PSP. 1984. 565 p.
24. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // *Science*. 1975. Vol. 189. P. 419—426.
25. Moody J.D., Hill M.J. Wrench-fault tectonics // *GSA Bull.* Vol. 67. no. 9. 1956. P. 1207—1246.
26. Safonova I., Seltmann R., Kröner A., Gladkochub D., Schulmann K., Xiao W., Kim J., Komiya T., Sun M. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt // *Episodes*. 2011. Vol. 34. no. 3. P. 186—196.
27. Trifonov V.G. World map of active faults, their seismic and environmental effects // *Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*. Dordrecht: Kluwer Acad. Pub. 1997. P. 169—180.

## REFERENCES

1. Bagmanova N.Kh., Mirkin E.L., Sabitova T.M. Waveguides in the Earth crust of the Tien Shan. *Vestnik instituta seysmologii NAN Kirgizskoy Respubliki [Bulletin of the Institute of Seismology of the NAS of the Kyrgyz Republic]*, 2014, no. 3, pp. 31—38. (In Russian).
2. Burtman V.S. *Structural evolution of the Paleozoic folded systems*. Moscow, Nauka Publ., 1976, 164 p. (In Russian).
3. Burtman V.S. *Tien Shan and High Asia: tectonics and geodynamics in the Paleozoic*. Moscow, Geos Publ., 2006, 215 p. (In Russian).
4. Burtman V.S. *Tien Shan and High Asia: Cenozoic geodynamics*. Moscow, Geos Publ., 2012, 187 p. (In Russian).
5. Burtman V.S., Katkova N.S., Kordun B.M., Medvedev V.Ya. *Geological map of the USSR on a scale of 1:200,000, sheet K-43-XIV*. Moscow, Gosgeolizdat Publ., 1961. (In Russian).
6. *Geological map of the USSR, scale 1:1.000.000, sheet K-42.43*. Moscow, Mingeo USSR Publ., 1990. (In Russian).
7. Degtyarev K.E., Ryazantsev A.V., Tretyakov A.A. The structure of the caledonids of the Kyrgyz ridge and the tectonic evolution of the Northern Tien Shan in the Late Precambrian — Early Paleozoic. *Geotectonics*, 2014, no. 6, pp. 3—38. (In Russian).
8. Ivanov S.N. Zones of plastic and brittle deformations in a vertical section of the lithosphere. *Geotectonics*, 1990, no. 2, pp. 3—11. (In Russian).
9. Ivanov S.N. The probable nature of the main seismic boundaries in the continental crust. *Geotectonics*, 1994, no. 3, pp. 3—13. (In Russian).
10. Karakin A.V., Kuryanov Yu.A., Pavlenkova N.I. *Faults, fractured zones and waveguides in the upper layers of the earth's shell*. Moscow, Geosystem Publ., 2003, 221 p. (In Russian).
11. *Map of the active faults of the USSR and adjacent territories, scale 1:8.000.000*. Moscow—Irkutsk: Academy of Sciences of the USSR Publ., 1986. (In Russian).
12. *Map of faults of the USSR and neighboring countries, scale 1:2.500.000*. Moscow, Mingeo USSR Publ., 1980. (In Russian).
13. Kiselev V.V., Korolev V.G. Beshtash-Tereksky right shift and shear tectonics in the western part of the Northern Tien Shan. *Tektonika zapadnykh rayonov Severnogo Tyan-Shanya [Tectonics of the western regions of the Northern Tien Shan]*. Frunze: Ilim Publ., 1964, pp. 61—78. (In Russian).
14. Koronovsky N.V., Bryantseva G.V., Goncharov M.A., Naimark A.A., Kopaev A.V. Lineaments, planetary fracturing and a regmatic network: the essence of phenomena and terminology. *Geotectonics*, 2014, no. 2, pp. 75—88. (In Russian).
15. Krasnopevtseva G.V. *Geological and geophysical structural features of layers with reduced speeds in the earth's crust*. Moscow, VIEMS Publ., 1978. 37 p. (In Russian).
16. Nikolaevsky V.N., Sharov V.I. Faults and rheological stratification of the earth's crust. *Physics of the Earth*, 1985, no. 1, pp. 16—28. (In Russian).
17. Trifonov V.G., Soboleva O.V., Trifonov R.V., Vostrikov G.A. *Modern geodynamics of the Alpine-Himalayan collision belt*. Moscow, Geos Publ., 2002, 224 p. (In Russian).
18. Sherman S.I. Shifts and transform faults of the lithosphere. *Problemy razlomnoy tektoniki [Problems of fault tectonics]*. Novosibirsk, Science Publ., 1981, pp. 5—44. (In Russian).
19. Sherman S.I. *Physical laws of the development of faults in the earth's crust*. Novosibirsk, Science Publ., 1977, 102 p. (In Russian).
20. Alexeiev D.V., Biske Yu.S., Djenchuraeva A.V., Kröner A., Getman O.F. Late Carboniferous (Kasimovian) closure of the South Tianshan Ocean: No Triassic subduction. *J. Asian Earth Sciences*, 2019, vol. 173, pp. 54—60.
21. Burtman V.S. Stationary network of continental faults and mobilism. *Geotectonics*, 1978, vol. 12, no. 3, pp. 177—184.
22. Buslov M.M., De Grave J. *Tectonics and geodynamics of the Altai-Sayan Foldbelt (southern Siberia). The Central Asian Orogenic Belt*. Stuttgart, Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2015, pp. 93—153.
23. Jaroszeewski W. *Fault and fold tectonics*. Warszawa, PWN-PSP Publ., 1984, 565 p.

24. Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision. *Science*, 1975, vol. 189, pp. 419—426.
25. Moody J.D., Hill M.J. Wrench-fault tectonics. *GSA Bull.*, 1956, vol. 67, no. 9, pp. 1207—1246.
26. Safonova I., Seltmann R., Kröner A., Gladkochub D., Schulmann K., Xiao W., Kim J., Komiya T., Sun M. A new concept of continental construction in the Central Asian Orogenic Belt. *Episodes*, 2011, vol. 34, no. 3, pp. 186—196.
27. Trifonov V.G. *World map of active faults, their seismic and environmental effects. Historical and prehistorical earthquakes in the Caucasus*. Dordrecht, Kluwer Acad. Pub., 1997, pp. 169—180.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Burtman V.S. — developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Буртман Валентин Семенович** — доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ГИН РАН, Геологический институт РАН 7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия  
e-mail: [vburtman@gmail.com](mailto:vburtman@gmail.com)  
тел.: +7 (499) 251-82-76, +7 (985) 909-23-63  
SPIN: 2996-2801  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-9664>

**Valentin S. Burtman** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Leading researcher, Geological Institute of the RAS 7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia  
e-mail: [vburtman@gmail.com](mailto:vburtman@gmail.com)  
tel.: +7 (499) 251-82-76, +7 (985) 909-23-63  
SPIN: 2996-2801  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7213-9664>

# СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНДАМЕНТА И ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ

В.Ю. КЕРИМОВ<sup>1</sup>, Е.А. ЛАВРЕНОВА<sup>2,3</sup>, Ю.В. ЩЕРБИНА<sup>1,\*</sup>, Р.А. МАМЕДОВ<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> ООО АСАП «Сервис»  
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Областью накопления больших мощностей осадочного чехла и эпицентром погружения в течение долгого времени являлись глубокие прогибы бассейнов Арктики. Проблемы геологического строения и тектоники наиболее полно и подробно изложены в публикациях ряда исследователей Восточно-Арктического шельфа.

**Цель исследования.** На основе анализа геолого-геофизических данных акваторий Арктического шельфа в статье поднимается вопрос геолого-тектонического строения восточно-арктических акваторий мезозой-кайнозойского времени. Знания о структурной эволюции осадочного бассейна важны с практической точки зрения, поскольку в нем располагается большое количество полезных ископаемых, в частности залежи углеводородов.

**Материалы и выводы.** Представленная работа основана на результатах обобщения геологоразведочных работ с применением современных технологий бассейнового анализа и численного бассейнового моделирования. Для формирования структурно-тектонического каркаса модели осадочных бассейнов Восточной Арктики были использованы структурные построения масштаба 1:5 000 000, выполненные специалистами ВСЕГЕИ в 2014 г. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Стратегия моделирования акваторий определялась особенностями геологического строения и эволюции осадочных бассейнов, а также качеством доступной геолого-геофизической и геохимической информации. Восточно-арктические акватории включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий.

**Результаты.** На основе комплекса исходных данных и выполненных по результатам их анализа и синтеза построений и моделирования разработана структурно-тектоническая модель Восточно-Сибирского и Чукотского морей и прилегающих районов, отражающая распределение главных структурных элементов, их пространственные взаимоотношения, а также их региональную иерархическую номенклатуру. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, предаптское несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна.

**Заключение.** В результате применения технологии бассейнового моделирования была создана структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях, что послужит основой для планирования поисково-оценочных работ на новых структурах и выбора объектов для лицензирования.



**Ключевые слова:** геологоразведочные работы, геолого-геофизические данные, тектоника, палеогеография, фациальные схемы, цифровая база, Берингово море, Восточно-Сибирское море, море Лаптевых, бассейновое моделирование, Анадырский бассейн, перспективные объекты, фациальные обстановки

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

**Финансирование:** исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-35-70062.

**Для цитирования:** Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Щербина Ю.В., Мамедов Р.А. Структурно-тектоническая модель фундамента и осадочного чехла восточно-арктических акваторий. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>

\* Автор, ответственный за переписку

## STRUCTURAL-TECTONIC MODEL OF THE BASEMENT AND SEDIMENTARY COVER OF EAST ARCTIC WATER AREAS

VAGIF Y. KERIMOV<sup>1</sup>, ELENA A. LAVRENOVA<sup>2</sup>, YULIA V. SHCHERBINA<sup>1,\*</sup>, RUSTAM A. MAMEDOV<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *ООО ASAP "Service"  
39, Krasnogvardeiskaya str., Gelendzhik 353460, Russia*

<sup>3</sup> *Gubkin University (National University of Oil and Gas)  
65, Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia*

**Background.** For a long time, deep deflections present in the Arctic basin seafloor have been a site for accumulating a thick sedimentary cover and a subsidence epicentre. Issues associated with the geological structure and tectonics of these formations have been addressed in numerous publications devoted to the East Arctic shelf.

**Aim.** To discuss the question of the geological and tectonic structure of Mesozoic-Cenozoic East Arctic water areas by analysing the existing geological and geophysical data on the Arctic shelf. Information on the structural evolution of the sedimentary basin is important from a practical point of view, since these areas contain a large number of extractable resources, in particular, hydrocarbon deposits.

**Materials and methods.** The present work reviews the results of exploration works using modern technologies of basin analysis and numerical basin modelling. A structural-tectonic model of the East Arctic sedimentary basin was developed using the structural representations of the 1:5,000,000 scale performed by VSEGEI specialists in 2014. The developed model includes four main sedimentary complexes: pre-Aptian, Apt-Upper Cretaceous, Paleogene and Neogene-Quaternary. The modelling strategy was determined by the geological structure and evolution features of the sedimentary basin under study, as well as by the quality of available geological, geophysical and geochemical information. The East Arctic water areas were combined into a single model, since their sedimentary basins are part of the same continental margin and their boundaries do not always coincide with the conventional boundaries.

**Results.** On the basis of the conducted analysis of initial data, we developed a structural-tectonic model of the East Siberian and Chukchi Seas, as well as their surrounding areas. This model describes the distribution of the main structural elements, their spatial relationships, as well as their regional hierarchical nomenclature. The developed model includes four main sedimentary complexes: pre-Aptian, Apt-Upper Cretaceous, Paleogene, and Neogene-Quaternary. The structural model covering the aquatic areas of the Laptev Sea, East Siberian and Chukchi Seas includes five main surfaces: the basement of the sedimentary cover; the Pre-Aptian unconformity; the Cenozoic base; the unconformity in the lower part of the Oligocene and the basement of the Quaternary sediments; as well as the modern bottom topography.

**Conclusion.** Using the technology of basin modelling, a structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of East Arctic water areas was created, which can be used for planning exploration works.

**Keywords:** geological exploration, geological and geophysical data, tectonics, paleogeography, facies schemes, digital base, Bering sea, East Siberian sea, Laptev sea, basin's modeling, Anadyr basin, prospective objects, facies conditions

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

**Financial disclosure:** the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-70062.

**For citation:** Kerimov V.Yu., Lavrenova E.A., Mustaev R.N., Shcherbina Yu.V. Structural-tectonic model of the basement and sedimentary cover of East Arctic water areas. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):19—29. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-19-29>

\* Corresponding author

Проблемы геологического строения и тектоники наиболее полно и подробно изложены в публикациях В.А. Виноградова, В.Л. Иванова, Б.И. Кима, М.К. Косько, Д.В. Лазуркина, С.Б. Секретова, О.И. Супруненко, С.Д. Яшина и ряда других исследователей Восточно-Арктического шельфа [1, 2, 4—7, 9, 11—15, 18]. В статье для создания структурно-тектонической модели фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях использованы современные технологии бассейнового моделирования — программа Petromod. В качестве основы для бассейнового анализа использована модель, разработанная специалистами Equinor [14], которая охватывает временной период с триаса по палеоген включительно и учитывает плито-тектонические реконструкции, выполненные Dor'е и соавт. в 2015 г. восточно-арктические акватории включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны

входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий. Стратегия моделирования акваторий определялась особенностями геологического строения и эволюции осадочных бассейнов, а также качеством доступной геолого-геофизической и геохимической информации. Для формирования структурно-тектонического каркаса модели осадочных бассейнов Восточной Арктики были использованы структурные построения масштаба 1:5 000 000, выполненные специалистами ВСЕГЕИ в 2014 г. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный (рис. 1).

Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, преаптское

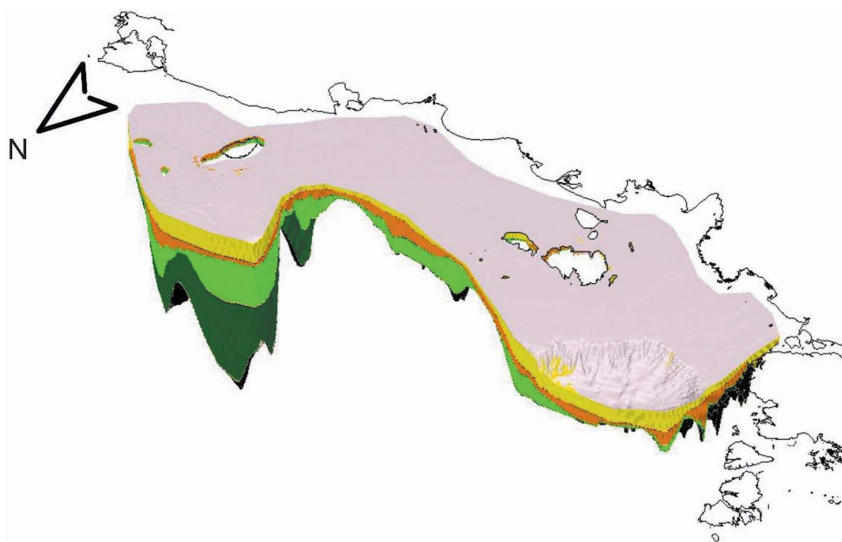
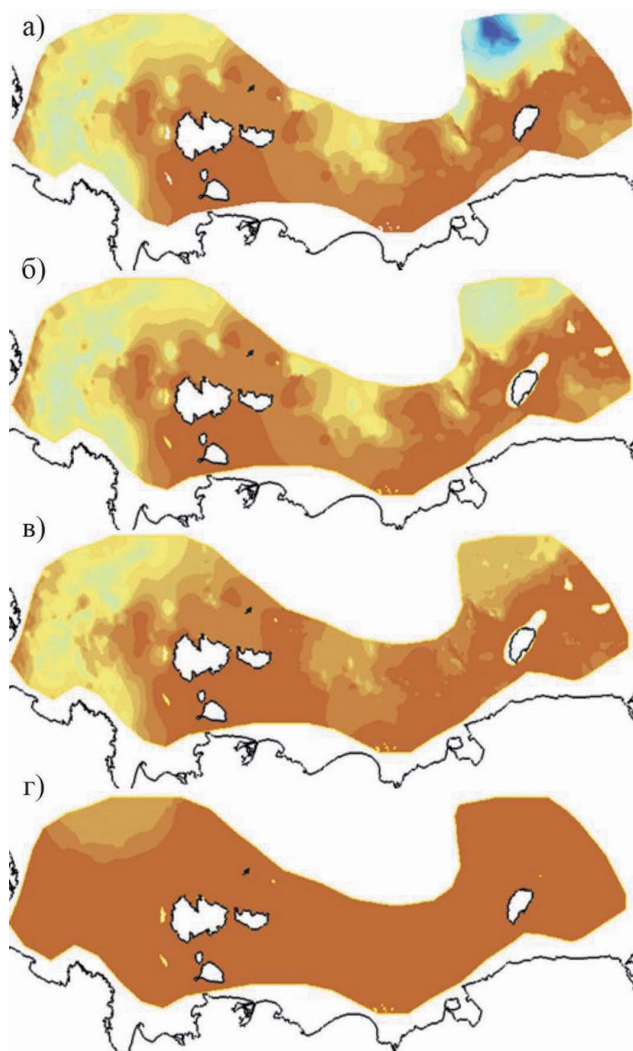


Рис. 1. Пространственно-временная модель Восточной Арктики

Fig. 1. Space-time model of the Eastern Arctic

несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна (рис. 2).

Плитная модель базируется на представлении о последовательном трехэтапном раскрытии Арктики: Канадский бассейн, Котловина Подводников и Евразийский бассейн. Ключевым для формирования осадочного чехла рассматриваемых осадочных бас-



**Рис. 2.** Структурно-тектонические модели восточно-арктических акваторий (моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей): а — по поверхности разновозрастного фундамента; б — по поверхности преаптинского несогласия; в — по подошве кайнозойских отложений; г — по подошве неоген-квартера

**Fig. 2.** Structural and tectonic model of the Eastern Arctic area (Laptev sea, East Siberian and Chukchi seas) and on the uneven surface of the Foundation; б — on the surface pre-apertine of disagreement; в — in the soles of Cenozoic sediments; г — at the bottom of the Neogene-Quaternary

сейнов является существование с конца палеозоя — начала триаса Аляскинско-Чукотского микроконтинента (АСМС) и его последующая трансформация под влиянием тектонических факторов. В течение мезо-кайнозоя АСМС являлся областью рифтогенеза и заложения осадочных бассейнов и наконец в мелу сформировал большую часть шельфа Восточно-Сибирского моря. Палеозойские (допермские) и более древние породы входят в состав фундамента всех рассматриваемых осадочных бассейнов за исключением прогиба Ханна [9].

**Структурно-тектонические особенности моря Лаптевых.** В региональном плане море Лаптевых соответствует одноименной плите [6], занимающей промежуточное положение между подвижными платформами (метаплатформами) Западно- и Восточно-Арктической [17], также характеризующейся высокой подвижностью и сформированной над областью стыка блоков и зон разновозрастного фундамента. Согласно существующим представлениям [10], в западной и юго-западной частях акватории фундамент образован, в основном, блоками карельского и гренвильского фундамента. На востоке акватории, в пределах Восточно-Лаптевской ступени, преобладает киммерийский (или герцинско-киммерийский) фундамент Новосибирско-Чукотской складчатой системы. Такой же фундамент предполагается в некоторых шовных зонах между массивами карельской и гренвильской консолидации на юго-западе и в центральной части акватории (Южно-Лаптевский вал и вал Минина, возможно, представляющий собой ветвь Верхояно-Колымской складчатой системы). Главными элементами внутренней структуры мегабассейна являются системы положительных и отрицательных форм субмеридионального и северо-западного простирания, таких как прогибы (грабены) Оленёкско-Бегичевский, Центрально-Лаптевский, Омолойский, а также Лено-Таймырская зона поднятий, вал Минина и ряд менее крупных элементов (рис. 3). В составе осадочного чехла моря Лаптевых выделяются промежуточный и плитный структурный этажи [10, 16]. Первый охватывает интервал от верхнего рифея до нижнего мела и развит, в основном, в центральной и западной частях акватории. Второй включает отложения верхнего мела и кайнозоя, развитые на всей акватории.

**Промежуточный этаж** делится на три комплекса: верхнерифейско-вендский, ниже-среднепалеозойский и верхнепалеозойско-нижнемеловой, выделяемые на основе сейсмостратиграфического анализа и по аналогии с континентальными разрезами.



### Структурные элементы

- А — ПЕЧОРО-БАРЕНЦЕВО-СЕВЕРО-КАРСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. А1 — Таймыро-Северо-Земельский щит; А2 — Восточно-Октябрьская зона дислокаций.
- Б — ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКИЙ ПРОГИБ. Б1 — Таймырская складчато-орогенная система; Б2 — Журавлёвско-Бегичевская зона поднятий (Анабаро-Хатангская седловина — в верхних этажах разреза); Б3 — Жданихинский/Жданинский прогиб (восточное замыкание: Усть-Хатангская впадина).
- В — СИБИРСКАЯ ПЛАТФОРМА. В1 — Лено-Анабарский прогиб.
- Г — ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА. Г1 — Верхоянский мегантиклинарий; Г2 — Оленёвская складчатая зона; Г3 — Эльги-Адычанский мегантиклинарий (Шелонский массив).
- Д — ЛАПТЕВСКО-НИЖНЕКОЛЫМСКАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА. Д1 — Лаптевская/Лаптевоморская плита; 1 — Малотаймырская ступень; 2 — Усть-Ленская сводово-блоковая область (2а — Западно-Ленский купол, 2б — Саастырская ступень); 3 — Западно-Лаптевская синеклиза (3а — ступень Прончищевых, 3б — Оленёвско-Бегичевская зона прогибов, 3в — Лено-Таймырская зона пограничных поднятий, 3г — Южно-Лаптевская впадина, 3д — вал Минина, 3е — Омолойская зона прогибов/грабен, 3ж — Северо-Западное поднятие); 4 — Восточно-Лаптевская ступень (4а — Восточно-Лаптевское поднятие, 4б — Бельковский горст, 4в — Столбовской горст, 4г — Северо-Шелонская терраса, 4д — Бельковско-Святоноская система грабен); 5 — Анисинский прогиб. Д2 — Хромско-Индибирская седловина.
- Е — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА.
- Ж — НОВОСИБИРСКО-ЧУКОТСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА.
- З — ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКАЯ ОКРАИННО-КОНТИНЕНТАЛЬНАЯ ПОДВИЖНАЯ ПЛАТФОРМА.
- И — РЕЛИКТОВАЯ СКЛАДЧАТО-ОРОГЕННАЯ СИСТЕМА ЛОМОНОСОВА-ГЕОФИЗИКОВ.
- К — ТРАНСАРКТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ШЕЛЬФОВО-СКЛОНОВЫХ ПРОГИБОВ И ВПАДИН (впадина Подводников-Толля).
- Л — ЕВРАЗИЙСКАЯ ГЛУБОКОВОДНАЯ ВПАДИНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВОГО ОКЕАНА. Л1 — котловина Нансена; 1 — Восточно-При-таймырская впадина. Л2 — градово-рифтовая система хр. Гаккеля; Л3 — котловина Амундсена.

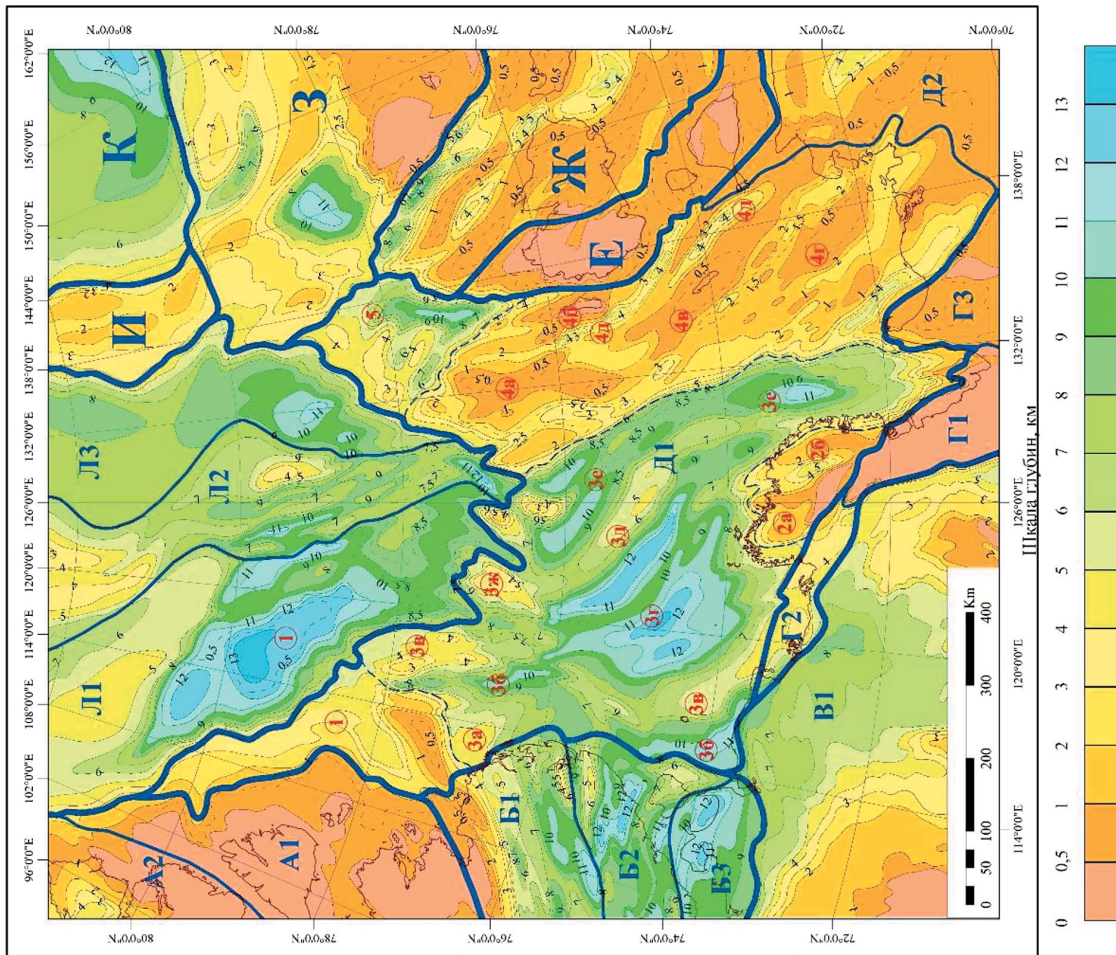


Рис. 3. Структурно-тектоническая карта моря Лаптевых и прилегающих территорий и акваторий (по данным АО «Союзморгео», 2018)  
Fig. 3. Structural and tectonic map of the Laptev sea and adjacent territories and water areas (according to the JSC «Soyuzmorgeo», 2018)



*Плитный этаж* также включает три комплекса: верхнемеловой-палеогеновый (мел-палеоценовый) [8], миоценовый (палеоцен-среднемиоценовый) и плиоцен-четвертичный (среднемиоцен-плейстоценовый). Существуют региональные особенности развития отложений этого этажа. Так, на материке кайнозойские отложения резко несогласно залегают на позднемезозойском складчатом основании, а отложения верхнемелового-палеогенового (палеоцен-эоцен) комплекса в большинстве районов обрамления моря Лаптевых отсутствуют, что часто рассматривается как свидетельство регионального пенеплена конца мела-палеогена.

*Структурно-тектонические особенности Восточно-Сибирского моря.* Согласно сформированной модели в распределении глубин поверхности фундамента и ее морфологии в направлении от побережья Восточно-Сибирского моря к внешнему краю его шельфа наблюдается определенная зональность, следующая примерно параллельно берегу. В ближней к берегу зоне шириной примерно 300—400 км поверхность фундамента залегает на небольших глубинах, в основном от 0,5 км и менее до 1,0—1,5 км, реже — до 2,0 км, и образует своеобразную региональную ступень.

Эта ступень разделена неглубокими депрессиями на отдельные «плато», или террасы. Некоторые из этих террас в плане продолжают по простиранию антиклинории, выраженные в складчато-орогенной структуре прилегающего побережья (Аньюйский антиклинорий и Северо-Чукотский мегантиклинорий), а разделяющие их депрессии — синклинальные зоны между ними. Некоторые террасы увенчаны узкими грядами, продолжающимися по простиранию островные антиклинальные поднятия (о-ва Ляховский и Котельный). При этом генеральное простирание этих гряд также соответствует ориентировке складчатых зон киммерид Северной Чукотки.

На основе комплекса исходных данных и выполненных по результатам их анализа и синтеза построений и моделирования разработана структурно-тектоническая модель Восточно-Сибирского и Чукотского морей и прилегающих районов, отражающая распределение главных структурных элементов, их пространственные взаимоотношения, а также их региональную иерархическую номенклатуру (рис. 4).

В качестве надрегиональных элементов структуры региона выделяются окраинно-континентальные (или — материковые) подвижные платформы и плиты, палеоплатформенные области,

складчато-орогенные пояса и другие элементы. В составе региональных элементов выделяют плиты, системы поднятий и депрессионные системы, отдельные структурные объекты положительного и отрицательного знака, в том числе антиклинории и синклинории, зоны сбросово-блоковых структур, некоторые другие элементы. В число субрегиональных и прочих структурных элементов включены меньшие по масштабам формы, характеризующиеся тем или иным уровнем отношений соподчиненности с более масштабными структурно-геологическими объектами.

Наряду с традиционно выделяемыми структурно-тектоническими элементами авторы сочли целесообразным и полезным для понимания тенденций развития структуры на основе комплекса геолого-геофизических данных и моделирования выделять такой элемент, как «палеоплатформенная область», или палеоплатформа. Теоретической предпосылкой для выделения этого элемента являются идеи Л.П. Зоненшайна и Л.М. Натапова об эпигренвилевском кратоне Арктида и более ранняя — Н.С. Шатского о Гиперборейской платформе [3, 12]. Как считают эти исследователи, фрагментами указанной платформы, разрушенной в настоящее время, являются выходы докембрийского фундамента Таймыра, Канадской Арктики, Аляски, Чукотки; ее обломки занимают, по их мнению, всю полярную область, включая шельфы и острова Баренцева, Восточно-Сибирского и Чукотского морей, поднятия Ломоносова, Менделеева, Чукотского плато и др.

Учитывая, что часть фрагментов этой древней платформы (кратона) в современной структуре Арктики вошла в состав новых платформенных образований (например, Восточно-Сибирской и Чукотско-Бофортской), а остальные части либо ушли в «самостоятельное плавание» в виде «террейнов» или срединных массивов, либо образовали более или менее компактные глыбово-блоковые ассоциации, мы приходим к выводу о целесообразности выделения этих последних в качестве палеоплатформ или палеоплатформенных областей.

В рассматриваемой части Арктического региона можно наблюдать два типа таких образований, возможно, отображающих разные стадии развития их структуры.

В Центрально-Арктическом регионе, примыкающем с севера к Восточно-Арктической окраинно-материковой подвижной платформе, такая область представлена совокупностью поднятых блоков и зон докембрийского и палеозойского основания, местами прикрытого мезозойско-кайнозойским чехлом, и разделяющих их глубоких трогов с корой

## Условные обозначения

1—4 — границы структурных элементов: 1 — субглобальные и надрегиональные; 2 — региональные и впадин; Б1 — впадина Подводников-Толля; Б2 — прогиб Вилькицкого; Б3 — Северо-Чукотский прогиб; В — Восточно-Арктическая эпикаледонская окраинно-континентальная подвижная платформа (реликт Гиперборейской палеоплатформы). В1 — плита Анжу; 1 — поднятие/купол Де Лонга (1а — Жоховско-Беннетский выступ, 1б — Жан-нетско-Генриетский выступ, 1в — грабен Эммеины); 2 — Северо-Беннетская ступень, 3 — Южно-Ломоносовская зона поднятий и впадин; В2 — Восточно-Арктическая/Восточно-Новосибирская плита; 1 — Восточно-Жоховское поднятие, 2 — Восточно-Новосибирская синеклиза (2а — Северное поднятие, 2б — Ротундский прогиб, 2в — Денбарский жёлоб, 2г — Северо-Шелагская блоковая терраса). 3 — Медвежинско-Шелагская зона блоковых поднятий и впадин (3а — Мелвилская впадина, 3б — Барановское блоково-сводовое поднятие, 3в — Дрежхедский прогиб, 3г — Мамоново поднятие, 3д — Янранайская/Южно-Барановская седловина). В3 — Чукотско-Борфортская плита (Северо-Врангелевская ступень). Г — Новосибирско-Чукотская эпикиммерийская подвижная платформа. Г1 — Западно-Новосибирская плита; 1 — Фаддевско-Благовещенская ступень (1а — Восточно-Фаддевская зона поднятий, 1б — Восточно-Ляховская/Санникова зона поднятий и впадин, 1в — Благовещенская терраса, 1г — Куропаточный прогиб), 2 — Анжу-Новосибирская зона прогибов и поднятий (2а — жёлоб Санга-Балаган, 2б — Анжуйский/Илин-Юрхский прогиб/жёлоб, 2в — поднятие м. Каменного), 3 — Западно-Денбарская терраса, 4 — Южно-Жоховский жёлоб. Г2 — Усть-Колымско-Пеггымельская региональная ступень; 1 — Пушкарёвское поднятие, 2 — Айонский прогиб, 3 — Певекско-Шмидтовское поднятие, 4 — Крестовская терраса. Г3 — Врангелевско-Чукотская плита; 1 — Врангелевско-Геральдская зона поднятий (1а — Западно-Врангелевская седловина, 2а — Врангелевское поднятие), 2 — Лонга-Южно-Чукотская синеклиза (2а — впадина Лонга, 2б — Валькарайская седловина). Д — Новосибирско-Чукотский складчато-орогенный пояс. Д1 — Котельническо-Гусиный край; Д2 — Медвежинско-Аноийский прогиб, 2 — Южно-Медвежинская седловина, 3 — Аноийский антиклинорий (Аляраутский выступ), Д3 — Рачуанский прогиб, Д4 — Чукотский мегантиклинорий; 1 — Экиатапский выступ, 2 — Паловаямская складчато-орогенная зона. Е — Лаптевско-Нижнеколымская раннеальпийская (пострифтовая) подвижная платформа. Е1 — Хромско-Индигирская седловина; 2 — Святоносская зона поперечных поднятий, 2 — Ойгос-Ярская ступень, 3 — Кондаковское/Чоккурдахское поднятие, 4 — Тастакская впадина; Е2 — Нижнеколымско-Южно-Аноийская система прогибов; 2 — Усть-Индигирский прогиб, Е3 — Лаптевоморская плита (Анисинский прогиб). Ж — Восточно-Якутская (Колымско-Омолонская) эпикиммерийская подвижная платформа. Ж1 — Улахан-Тас-Полуосенская система поднятий, Ж2 — Среднеколымская впадина.

## Структурные элементы

А — Центральная-Арктическая область реликтовых платформенных структур (палеоплатформа Арктида). Б — Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин: Б1 — впадина Подводников-Толля; Б2 — прогиб Вилькицкого; Б3 — Северо-Чукотский прогиб; В — Восточно-Арктическая эпикаледонская окраинно-континентальная подвижная платформа (реликт Гиперборейской палеоплатформы). В1 — плита Анжу; 1 — поднятие/купол Де Лонга (1а — Жоховско-Беннетский выступ, 1б — Жан-нетско-Генриетский выступ, 1в — грабен Эммеины); 2 — Северо-Беннетская ступень, 3 — Южно-Ломоносовская зона поднятий и впадин; В2 — Восточно-Арктическая/Восточно-Новосибирская плита; 1 — Восточно-Жоховское поднятие, 2 — Восточно-Новосибирская синеклиза (2а — Северное поднятие, 2б — Ротундский прогиб, 2в — Денбарский жёлоб, 2г — Северо-Шелагская блоковая терраса). 3 — Медвежинско-Шелагская зона блоковых поднятий и впадин (3а — Мелвилская впадина, 3б — Барановское блоково-сводовое поднятие, 3в — Дрежхедский прогиб, 3г — Мамоново поднятие, 3д — Янранайская/Южно-Барановская седловина). В3 — Чукотско-Борфортская плита (Северо-Врангелевская ступень). Г — Новосибирско-Чукотская эпикиммерийская подвижная платформа. Г1 — Западно-Новосибирская плита; 1 — Фаддевско-Благовещенская ступень (1а — Восточно-Фаддевская зона поднятий, 1б — Восточно-Ляховская/Санникова зона поднятий и впадин, 1в — Благовещенская терраса, 1г — Куропаточный прогиб), 2 — Анжу-Новосибирская зона прогибов и поднятий (2а — жёлоб Санга-Балаган, 2б — Анжуйский/Илин-Юрхский прогиб/жёлоб, 2в — поднятие м. Каменного), 3 — Западно-Денбарская терраса, 4 — Южно-Жоховский жёлоб. Г2 — Усть-Колымско-Пеггымельская региональная ступень; 1 — Пушкарёвское поднятие, 2 — Айонский прогиб, 3 — Певекско-Шмидтовское поднятие, 4 — Крестовская терраса. Г3 — Врангелевско-Чукотская плита; 1 — Врангелевско-Геральдская зона поднятий (1а — Западно-Врангелевская седловина, 2а — Врангелевское поднятие), 2 — Лонга-Южно-Чукотская синеклиза (2а — впадина Лонга, 2б — Валькарайская седловина). Д — Новосибирско-Чукотский складчато-орогенный пояс. Д1 — Котельническо-Гусиный край; Д2 — Медвежинско-Аноийский прогиб, 2 — Южно-Медвежинская седловина, 3 — Аноийский антиклинорий (Аляраутский выступ), Д3 — Рачуанский прогиб, Д4 — Чукотский мегантиклинорий; 1 — Экиатапский выступ, 2 — Паловаямская складчато-орогенная зона. Е — Лаптевско-Нижнеколымская раннеальпийская (пострифтовая) подвижная платформа. Е1 — Хромско-Индигирская седловина; 2 — Святоносская зона поперечных поднятий, 2 — Ойгос-Ярская ступень, 3 — Кондаковское/Чоккурдахское поднятие, 4 — Тастакская впадина; Е2 — Нижнеколымско-Южно-Аноийская система прогибов; 2 — Усть-Индигирский прогиб, Е3 — Лаптевоморская плита (Анисинский прогиб). Ж — Восточно-Якутская (Колымско-Омолонская) эпикиммерийская подвижная платформа. Ж1 — Улахан-Тас-Полуосенская система поднятий, Ж2 — Среднеколымская впадина.

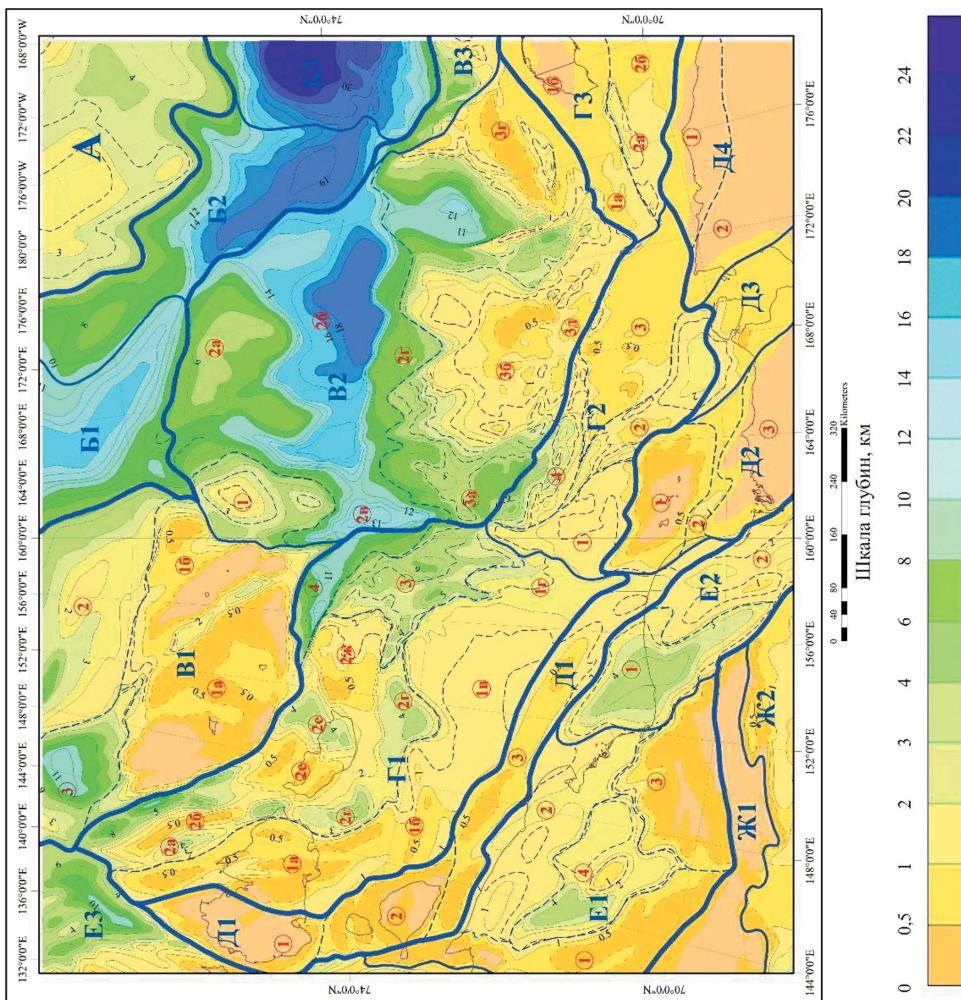


Рис. 4. Структурно-тектоническая схема Восточно-Сибирского и Чукотского морей (по данным АО «Союзморгео», 2018)

Fig. 4. Structural and tectonic diagram of the East Siberian and Chukchi seas (according to the JSC «Soyuzmorgeo», 2018)

субконтинентального, субокеанического или океанического типов и местами, возможно, с зачаточными явлениями спрединга.

Эта область ограничена двумя абиссальными котловинами — Евразийской и Канадской, Иннуитским складчатым поясом севера Гренландии и окраинно-материковой платформой Восточно-Арктической окраины Евразии.

Географически и структурно она включает поднятия Ломоносова, Менделеева-Альфа, Чукотского плато и более мелкие возвышенности, разделяющие их глубоководные бассейны, и в геодинамическом отношении представляет собой область многоосного растяжения и погружения, возможно, с присутствием «вращательной» составляющей.

Другим типом палеоплатформенной области, представленным в пределах континентального региона, является Колымско-Омолонская, включающая древние массивы (Колымский, Приколымский, Омуревский, Омолонский), ряд межблоковых складчатых зон и ограниченная со всех сторон мезозойскими или мезозойско-кайнозойскими складчатыми или вулканическими поясами. В отличие от предыдущей области, где массив разделен зонами растяжения, в этом случае они разделяются зонами смятия, возникшими, по-видимому, на месте межблоковых трогов, подобных современным океаническим, существовавшим здесь в перми — ранней-средней юре.

Таким образом, эта палеоплатформенная область в геодинамическом отношении представляет собой область многоосного сжатия, так же, возможно, включающего и сдвигово-вращательную составляющую.

Ключевым элементом класса структурно-тектонических комплексов региона океанообразования является Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин, включающая в качестве региональных элементов впадину Подводников-Толля, прогиб Вилькицкого и Северо-Чукотский прогиб. Эта система разделяет области океанического и окраинно-континентального структурообразования и содержит огромные объемы осадочного разреза, который является одним из наиболее мощных в регионе генераторов углеводородного сырья.

Ключевым элементом класса комплексов окраинно-континентальных подвижных платформ и плит в регионе является Восточно-Арктическая окраинно-континентальная подвижная платформа, а в ее составе — четыре плиты, отделенные друг от друга системами (поясами) продольных и поперечных по отношению к шельфовой зоне нарушений: плита

Анжу, Восточно-Арктическая (или Восточно-Сибирская) плита, Чукотско-Бофортская плита и Врангелевско-Чукотская плита. Каждая из плит характеризуется сложным сочетанием субрегиональных и более дробных положительных и отрицательных структурно-тектонических элементов, в том числе более или менее мощным разрезом осадочного чехла, залегающим, по большей части, на древнем докаледонском или каледонском фундаменте. Исключение составляет только Врангелевско-Чукотская плита, осадочный чехол которой залегает на киммерийском основании и имеет, скорее всего, кайнозойский или мел-кайнозойский возраст.

Особенностью структурных элементов, относимых к классу комплексов континентальных и островных систем, является, как правило, незначительная мощность осадочного чехла, перекрывающего фундамент в их пределах. Мощности отложений, имеющих в основном мел-кайнозойский возраст, здесь увеличиваются лишь в обособленных и пространственно разобщенных орогенных впадинах.

Как следует из материалов полевых исследований, в регионе распространены три мегаформационных мегакомплекса, представленные фундаментом, промежуточным мегакомплексом и осадочным чехлом (плитный мегакомплекс).

Промежуточный мегакомплекс в целом представляет собой складчатый чехол останца (блока) выделенной здесь в 1930-е годы Н.С. Шатским Гиперборейской платформы. Породы мегакомплекса занимают стратиграфический диапазон от верхнего протерозоя до верхней юры — нижнего мела и встречаются как в складчатом, так и в недислоцированном платформенном залегании. Мегакомплекс представлен карбонатно-терригенными, темноцветно-глинистыми терригенными и терригенно-карбонатными формациями, скорее всего, морского происхождения.

Плитный мегакомплекс соответствует этапу заложения наблюдаемых в современной структуре седиментационных бассейнов и датируется второй половиной раннего мела — неогеном. Мегакомплекс с несогласием залегает на породах фундамента или промежуточного мегакомплекса. Он состоит из двух ярусов (комплексов), разделенных скользящей в возрастном отношении (диахронной) границей между ними. Нижний, меловой комплекс представлен преимущественно терригенно-угленосной, паралической черносланцевой формациями, верхний — палеогеновыми или неогеновыми преимущественно терригенными формациями, а также базальтовой формацией (о-в Жохова).



### Заключение

В результате применения технологии бассейнового моделирования программа Petromod создала структурно-тектонические модели фундамента и осадочного чехла в восточно-арктических акваториях, которые включены в единую модель в связи с тем, что изучаемые осадочные бассейны входят в состав одной континентальной окраины и их границы не всегда совпадают с условными границами акваторий. Сформированная модель включает четыре основных осадочных комплекса: доаптский, апт-верхнемеловой, палеогеновый, неоген-четвертичный. Структурная модель охватывает акватории моря Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей и включает пять основных поверхностей: подошву осадочного чехла, предаптское несогласие, подошву кайнозоя, несогласие в нижней части олигоцена и подошву четвертичных отложений, а также современный рельеф дна.

Наряду с традиционно выделяемыми структурно-тектоническими элементами для понимания тенденций развития структуры на основе комплекса геолого-геофизических данных и мо-

делирования выделяется такой элемент, как «палеоплатформенная область», или палеоплатформа, в геодинамическом отношении представляющий собой область многоосного сжатия, также, возможно, включающего и сдвигово-вращательную составляющую.

Ключевым элементом класса структурно-тектонических комплексов региона океанообразования является Трансарктическая система рифтогенно-океанических прогибов и впадин, включающая в качестве региональных элементов впадину Подводников-Толля, прогиб Вилькицкого и Северо-Чукотский прогиб. Эта система разделяет области океанического и окраинно-континентального структурообразования и содержит огромные объемы осадочного разреза, который является одним из наиболее мощных в регионе генераторов углеводородного сырья.

В регионе распространены три мегаформационных мегакомплекса, представленных фундаментом, промежуточным мегакомплексом и осадочным чехлом (плитный мегакомплекс).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов В.А. Море Лаптевых // В кн.: Геологическое строение СССР и размещение полезных ископаемых. Т. 9. Моря Советской Арктики. Л.: Недра, 1984. С. 50—60.
2. Голионко Г.Б., Погребницкий Ю.Е., Сенин Б.В., Шипилов Э.В. Рельеф складчатого фундамента арктических морей СССР и сопредельных территорий. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1989. 44 с.
3. Зоненшайн Л.П., Натапов Л.М. Тектоническая история Арктики // В кн.: Актуальные проблемы тектоники. М.: Наука, 1987. С. 31—57.
4. Иванов В.Л., Ким Б.И., Косыко М.К. и др. Лаптевский седиментационный бассейн // В кн.: Геология и полезные ископаемые России. Т. 5. Арктические и Дальневосточные моря. Кн. 1. Арктические моря. ВСЕГЕИ, 2004. С. 274—319.
5. Иванова Н.М., Секретов С.Б., Шкарубо С.И. Данные о геологическом строении шельфа моря Лаптевых по материалам сейсмических исследований // Океанология. 1989. Т. XXIX. Вып. 5. С. 789—793.
6. Ким Б.И. Геологическое строение моря Лаптевых // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 26—37.
7. Ким Б.И., Рейнин И.В. Эволюция Восточно-Арктического шельфа и палеошельфа в плейстоцене: Проблемы кайнозойской палеоэкологии и палеогеографии морей Северного Ледовитого океана // Тез. докл. 3-й Всес. конф. КНЦ АН СССР. Апатиты, 1989. С. 44—45.
8. Косыко М.К., Бондаренко Н.С., Непомилуев В.Ф. Государственная геологическая карта СССР. М-б 1: 200 000 (серия Новосибирские острова). Листы Т-54 — XXXI, XXXII, XXXIII; S-53 — IV, V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Объясн. Записка. М.: ПГО «Севморгеология», 1985. 162 с.
9. Кумар Н., Грантс Дж., Эммет П.А. Стратиграфические и тектонические границы Американского Чукотского шельфа: разведочные данные новой региональной глубинно-сейсмической съемки // Лондонское Геологическое Общество. Мемуары 35(1). Глава 33. 2011. С. 501—508.
10. Лазуркин Д.В. Перспективы нефтегазоносности морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Масштаб 1:7 500 000 // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГИН РАН, 2004.
11. Литвин Е.С. и др. Оценка перспектив нефтегазоносности российского континентального шельфа за пределами 200 миль в рамках подготавливаемой заявки в Комиссию по границам континентального шельфа, оценка неразведанных потенциальных ресурсов УВ в пределах заявки на основе сейсмических исследований МОВ-ОГТ ГСЗ // ГК № 33/23/82-1. Мурманск: МАГЭ, 2015 (ф).
12. Петровская Н.А. Изучение геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов в Восточно-Сибирском море // Отчет ОАО «Дальморнефтегеофизика». Ю.-Сахалинск, 2012 (ф).
13. Секретов С.Б. Осадочные комплексы и перспективы нефтегазоносности морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 54—77.
14. Секретов С.Б. Региональная сейсмостратиграфия осадочного чехла шельфа моря Лаптевых и континентальной окраины Восточно-Сибирского моря // В кн.: Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: Геос, 2002. С. 37—54.



15. *Сомме Т.О., Доре А.Г., Лундин Е.Р., Торудбаккен Б.О.* Триасовая палеогеография Арктики: последствия для направления отложений и заполнения бассейнов // Бюллетень AAPG. 2018. Т. 102. № 12. С. 2481—2517..
16. Тектоническая карта морей Карского, Лаптевых и Севера Сибири // М 1:2 500 000 (под. ред. Н.А. Богданова и В.Е. Хаина). М.: Инст. литосферы, 1998.
17. *Хорошилова М.А., Фанке Д., Кириллова Т.А., Мули Б., Никишин А.М. и др.* Датировка и корреляция опорных сейсмических горизонтов в Лаптевоморском бассейне // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2014. Т. 4. № 5. С. 3—11.
18. *Шкарубо С.И., Заварзина Г.А., Зуйкова О.Н.* Результаты современного этапа изучения лаптевоморского шельфа: от гипотез к новым фактам и проблемам // Разведка и охрана недр. 2014. № 4 С. 23—30.
19. *Яшин Д.С., Ким Б.И.* Геохимические признаки нефтегазоносности Восточно-Арктического шельфа России // Геология нефти и газа. 2007. № 4. С. 25—29.

## REFERENCES

1. Vinogradov V.A. *Laptev Sea* // In the book: The geological structure of the USSR and the location of minerals. T. 9. Sea of the Soviet Arctic. Leningrad, Nedra, 1984, pp. 50—60. (In Russian).
2. Golionko G.B., Pogrebickij Yu.E., Senin B.V., Shipilov Ye.V. *The relief of the folded foundation of the Arctic seas of the USSR and adjacent territories*. Kola research center Academy of Sciences of the USSR — Apatity, 1989, 44 p. (In Russian).
3. Zonenshajn L.P., Natapov L.M. *Tectonic history of the Arctic*. Moscow, Nauka, 1987, pp. 31—57. (In Russian).
4. Ivanov V.L., Kim B.I., Kos'ko M.K. et al. *Laptev sedimentation basin* // In the book: Geology and minerals of Russia. T. 5. The Arctic and Far Eastern Seas. Book. 1. Arctic seas. VSEGEI, 2004, pp. 274—319. (In Russian).
5. Ivanova N.M., Sekretov S.B., Shkarubo S.I. Data on the geological structure of the shelf of the Laptev Sea based on seismic data. *Oceanology*, 1989. T. XXIX. Vol. 5, pp. 789—793. (In Russian).
6. Kim B.I. *Geological structure of the Laptev Sea* // In the book: Geology and Minerals of the Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 26—37. (In Russian).
7. Kim B.I., Rejnin I.V. The evolution of the East Arctic shelf and the paleoshelf in the Pleistocene: Problems of the Cenozoic paleoecology and paleogeography of the seas of the Arctic Ocean. *Theses of the report of the 3rd all-Union conference — KSC of the Academy of Sciences of the USSR — Apatity*, 1989, pp. 44—45. (In Russian).
8. Kos'ko M.K., Bondarenko N.S., Nepomiluev V.F. *State geological map of the USSR*. M-b 1: 200 000 (series Novosibirsk Islands). Sheets T-54 — XXXI XXXII XX-XIII; S-53 — IV, V, VI; S-53 — XI, XII; S-54 — I, II, III; S-54 — VII, VIII, XIX, XIII, XIV, XV. Explained Note. Moscow, PGO "Sevmorgeologiya", 1985, 162 p. (In Russian).
9. Kumar N., Granath J., Emmet P.A. Stratigraphic and tectonic framework of the US Chukchi Shelf: Exploration insights from a new regional deep-seismic reflection survey. *Geological Society London Memoirs*, 2011, vol. 35, no. 1, chapter 33, pp. 501—508.
10. Lazurkin D.V. *Prospects for the oil and gas potential of the Laptev, East Siberian, Chukchi Seas* // Scale 1: 7 500 000. Atlas: Geology and minerals of the Russian shelf. Moscow, GIN RAS, 2004. (In Russian).
11. Litvin E.S. et al. *Evaluation of the oil and gas prospects of the Russian continental shelf beyond 200 miles in the framework of a prepared application to the Commission on the boundaries of the continental shelf, assessment of unexplored potential hydrocarbon resources within the application based on seismic studies of the MOV-OGT GSZ* // GK no. 33/23 / 82-1. MAGE, Murmansk, 2015, f. (In Russian).
12. Petrovskaja N.A. *The study of the geological structure and assessment of the prospects of oil and gas sedimentary basins in the East Siberian Sea*. Report of OJSC Dal'morneftegeofizika Y.-Sakhalinsk, 2012 (f). (In Russian).
13. Sekretov S.B. *Sedimentary complexes and oil and gas prospects of the Laptev and East Siberian Seas* // In the book: Geology and Minerals of Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 54—77. (In Russian).
14. Sekretov S.B. *Regional seismic stratigraphy of the sedimentary cover of the Laptev Sea shelf and the continental margin of the East Siberian Sea* // In the book: Geology and Minerals of Russian Shelves. Moscow, Geos, 2002, pp. 37—54. (In Russian).
15. Somme T.O., Dore A.G., Lundin E.R., Torudbakken B.O. Triassic paleogeography of the Arctic: Implications for sediment routing and basin fill. *AAPG Bulletin*. 2018, vol. 102, no. 12, pp. 2481—2517.
16. *Tectonic map of the seas of Kara, Laptev and the North of Siberia*. Moscow, Inst. Lithosphere, 1998. (In Russian).
17. Horoshilova M.A., Fanke D., Kirillova T.A., Muli B., Nikishin A.M., et al. Dating and correlation of reference seismic horizons in the Laptev Sea basin. *Moscow University Herald. Series 4, Geology*, 2014, vol. 4, no. 5, pp. 3—11. (In Russian).
18. Shkarubo S.I., Zavarzina G.A., Zujkova O.N. The results of the modern stage of the study of the Laptev Sea shelf: from hypotheses to new facts and problems. *Exploration and protection of mineral resources*, 2014, no. 4, pp. 23—30. (In Russian).
19. Jashin D.S., Kim B.I. Geochemical signs of oil and gas potential of the East Arctic shelf of Russia. *Geology of oil and gas*, 2007, no. 4, pp. 25—29. (In Russian).

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

Лавренова Е.А. — внесла вклад в работу при построении и моделирования структурно-тектонической модели и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Щербина Ю.В. — присоединилась к подготовке текста статьи, выполнила перевод на английский язык и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Мамедов Р.А. — присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Lavrenova E.A. — contributed to the construction and modeling of the structural-tectonic model and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Shcherbina Yu.V. — joined the preparation of the text of the article, translated it into English and agreed to take responsibility for all aspects of the work. R. A. Mamedov — joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Керимов Вагиф Юнусович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, проректор по научной работе ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [kerimovvy@mgri.ru](mailto:kerimovvy@mgri.ru)  
тел.: +7 (495) 461-37-77, доб. 21-12  
SPIN: 9696-1364  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

**Vagif Yu. Kerimov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., academician of the RAS, Vice-rector for scientific work, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [kerimovvy@mgri.ru](mailto:kerimovvy@mgri.ru)  
tel.: +7 (495) 461-37-77, add. 21-12  
SPIN: 9696-1364  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9485-8208>

**Лавренова Елена Александровна** — кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО АСАП «Сервис», отдел нефтегазовой геологии и бассейнового моделирования  
39, Красногвардейская ул., г. Геленджик 353460, Россия  
Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия  
e-mail: [lavrenovaelena@mail.ru](mailto:lavrenovaelena@mail.ru)  
SPIN: 1859-8634  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

**Elena A. Lavrenova** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), General Director of ASAP “Service” LLC, Department of oil and gas Geology and basin modeling  
39, Krasnogvardeiskaya str., Gelendzhik 353460, Russia  
Gubkin University (National University of Oil and Gas)  
65, Leninskiy ave., Moscow 119991, Russia  
e-mail: [lavrenovaelena@mail.ru](mailto:lavrenovaelena@mail.ru)  
SPIN: 1859-8634  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-7424>

**Щербина Юлия Витальевна\*** — ведущий специалист управления фундаментальных и прикладных научных исследований ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [scherbinauv@mgri.ru](mailto:scherbinauv@mgri.ru)  
тел.: +7 (915) 024-93-03  
SPIN: 3225-9373  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

**Yulia V. Shcherbina\*** — leading specialist in the Department of fundamental and applied scientific research, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [scherbinauv@mgri.ru](mailto:scherbinauv@mgri.ru)  
tel.: +7 (915) 024-93-03  
SPIN: 3225-9373  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-7979>

**Мамедов Рустам Ахмедович** — аспирант кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [mamedovra@mgri.ru](mailto:mamedovra@mgri.ru)  
тел.: +7 (977) 600-93-90  
SPIN: 1694-6435  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

**Rustam A. Mamedov** — postgraduate student of the Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [mamedovra@mgri.ru](mailto:mamedovra@mgri.ru)  
tel.: +7 (977) 600-93-90.  
SPIN: 1694-6435  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8365-7993>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИНЕРАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ САН-ФЕРНАНДО. КУБА

Д. ДЕ ЛА НУЭС КОЛОН<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Geology and Paleontology. (IGP). Cuba geological service  
Via Blanca and Railroad Line. San Miguel del Padrón, Havana, Cuba

### АННОТАЦИЯ

Из колчеданных месторождений в мире добывают 10—15% меди, цинка, свинца, значительное количество серебра, золота, кадмия, селена, олова, висмута и бария. В районе Центральной Кубы расположены колчеданные месторождения меди и цинка, содержащие попутные свинец, золото и серебро. Они локализованы в осадочно-вулканогенных породах свиты Лос-Пасос нижнего мела, которые считаются древнейшими проявлениями магматизма в островной дуге Карибского моря. Эти месторождения включают массивные сульфидные руды и относятся к вулканогенно-осадочным (VMS), распространенным в вулканогенных отложениях в Больших Антильских островах. Месторождение Сан-Фернандо является наиболее важным промышленным объектом. Оно сложено стратиформными залежами массивных, брекчиевых и вкрапленных сульфидных руд и халькопирит-пиритовыми штокверками, локализованными в покровах и туфах риолитов и дацитов. Линзовидные рудные тела залегают на трех уровнях и кулисообразно перекрываются. В предлагаемой статье показана вертикальная и латеральная минералого-геохимическая зональность месторождения Сан-Фернандо. Для ее выявления использованы ICP MS анализы 1075 рядовых геохимических проб, документация керна 65 разведочных скважин и рудной микроскопии 146 аншлифов. Фактические данные получены во время проведения современных (2009—2012 гг.) геологоразведочных работ с авторским участием. Главные рудные тела месторождения имеют чечевицеобразную форму. По рудоносным уровням по рудным шлифам оценена относительная распространенность халькопирита, сфалерита, галенита, пирита и пирротина, которая сопоставлена с концентрациями Cu, Zn, Pb, Cd, Au и Ag. Анализ фактических материалов проведен в географо-информационной среде QGIS. Установлено распространение медных и цинково-медных руд на верхнем уровне месторождения и пиритовых руд на нижнем. Установленные геохимические закономерности в целом подтверждаются по распространенности главных рудных минералов халькопирита и сфалерита. Относительно независимое распределение золота и серебра в контурах концентраций Cu и Zn указывает на возможно наложенные процессы концентрации благородных металлов. В пределах наиболее продуктивных северо-восточного и юго-западного флангов месторождения минералого-химический анализ позволил выделить наибольшие концентрации полезных компонентов на двух глубинных уровнях: 60—85 и 125—160 м.

**Ключевые слова:** колчеданное месторождение Сан-Фернандо (Куба), геологическое строение, оруденение, сульфидные руды

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

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

**Для цитирования:** Де Ла Нуэс Колон Д. Вертикальная минеральная зональность колчеданного месторождения Сан-Фернандо. Куба. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):30—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-30-38>

## VERTICAL MINERAL ZONALITY OF THE SAN FERNANDO VOLCANOGENIC MASSIVE SULPHIDE DEPOSIT, CUBA

DEYSY DE LA NUEZ COLON<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> *Institute of Geology and Paleontology (IGP). Cuba geological service.  
Via Blanca and Railroad Line, San Miguel del Padrón, Havana, Cuba*

### ABSTRACT

From ten to fifteen percent of the global supply of copper, zinc and lead, as well as a significant amount of silver, gold, cadmium, selenium, tin, bismuth and barium are mined from massive sulphide deposits. Massive sulphide deposits of copper and zinc containing minor lead, gold and silver are located in the region of Central Cuba. These deposits are localised in sedimentary-volcanogenic rocks of the Lower Cretaceous Los Pasos Formation, which are considered the oldest manifestations of magmatism in the island arc of the Caribbean Sea. These deposits include massive sulphide ores and are referred to as volcanogenic massive sulphides (VMS), common among the volcanic deposits of the Greater Antilles. The San Fernando deposit is the most important industrial site featuring stratiform deposits of massive, breccia and disseminated sulphide ores and chalcopyrite-pyrite stockworks localised in the covers and tuffs of rhyolites and dacites. Lenticular ore bodies lie on three levels with an en-echelon overlapping. This article set out to indicate the vertical and lateral mineralogical-geochemical zonality of the San Fernando deposit using 1075 ICP MS analyses of ordinary geochemical samples, a core documentation of 65 exploratory wells and ore microscopy of 146 polished sections. Data for the study was obtained during 2009—2012 exploration work. The main ore bodies of the deposit are lenticular. The relative abundance of chalcopyrite, sphalerite, galena, pyrite, and pyrrhotite was estimated across ore-bearing levels using ore polished sections, which was compared with Cu, Zn, Pb, Cd, Au, and Ag concentrations. An analysis of the data was carried using the QGIS geographic information system. The distribution of copper and zinc-copper ores at the upper level, as well as pyrite ores at the lower level of the deposit, was established. The established geochemical regularities were generally confirmed by the prevalence of the main ore minerals — chalcopyrite and sphalerite. The relatively independent distribution of gold and silver in the Cu and Zn concentration contours indicates possible superimposed processes of noble metal concentration. According to the conducted mineralogical and chemical analysis, the highest concentrations of useful components were determined at two depth levels of 60—85 and 125—160 m within the limits of the most productive north-eastern and south-western flanks of the deposit.

**Keywords:** San Fernando volcanogenic massive sulphide deposit (Cuba), geological structure, mineralisation, sulphide ores

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

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

**For citation:** De La Nuez Colon D. Vertical mineral zonality of the San Fernando volcanogenic massive sulphide deposit, Cuba. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):30—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-30-38>

Месторождение медно-цинковых колчедан-ных руд Сан-Фернандо ранее считалось гидротер-мально-метасоматическим [2, 8]. По современным представлениям оно относится к вулканоген-но-осадочным месторождениям (VMS) [1, 5]. Та-кие объекты широко распространены и включа-ют минерализацию меди, цинка, золота и серебра. Они формировались в разнообразных геологиче-

ских эпохах и различаются по типу рудной мине-рализации, составу вмещающих пород и особен-ностям вулканизма, с которым связаны [4, 11].

Месторождение расположено в 13 км к севе-ро-западу от города Маникарагуа в Центральной Кубе. Этот объект периодически эксплуатировал-ся различными испанскими, английскими, северо-американскими и кубинскими компаниями с момента



его открытия в 1827 году до окончательного закрытия в 1961 году. Общий объем добычи рудника оценивается от 100 000 до 200 000 тонн руды при среднем содержании 3,4% Cu и 6% Zn, извлеченных из подземного рудника глубиной 123 м [1].

В период 2009—2012 гг. на месторождении проведены геологоразведочные работы с использованием бурения, в результате которых его площадь была расширена. В этой связи актуальным становится выяснение закономерностей локализации богатых руд и рудной вертикальной зональности месторождения. Этому посвящена представленная работа.

#### Фактический материал и методы исследования

В основу работы положены материалы недавних геологоразведочных работ, проведенных на месторождении Сан-Фернандо, в которых автор принимал непосредственное участие, изучая коренные обнажения и проводя лабораторные исследования. Изучен керн 65 скважин, описано 146 аншлифов и проведен анализ элементного состава руд по 1075 пробам [3]. Анализы выполнены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP MS). Подготовка проб и большая часть анализов выполнена в Центральной лаборатории Хосе И. дель Коррала на Кубе.

Минералогические и геохимические пробы привязаны по площади и глубине. В каждом аншлифе определено содержание халькопирита, сфалерита, пирита и пирротина. Учтено присутствие более 5% того или иного минерала. По процентному содержанию этих минералов и концентрациям Cu, Zn, Pb, Cd, Au и Ag составлена база данных. Она использована в геоинформационном проекте, созданном в программном комплексе Quantum GIS (QGIS 3.9).

Для построения карт изоконцентраций элементов при интерполяции использован метод обратного взвешенных расстояний OBP (IDW). По нему значения оцениваются посредством усреднения значений по точкам рядом с каждой обрабатываемой ячейкой. Чем ближе точка находится к центру ячейки, тем больше влияния или информационного веса она имеет в процессе усреднения.

#### Геологическое строение месторождения Сан-Фернандо

Рудоносная зона Сан-Фернандо находится в нижней части свиты Лос-Пасос, которая отнесена к готеривскому ярусу мела. Свита сложена в нижней части туфобрекчиями и лапиллиевыми туфами риолитов, сменяющимися вверх по разрезу

кремнистыми породами, туфами андезитодацитов и риолитадацитов. Верхняя часть свиты Лос-Пасос представлена порфировыми риолитами, туфами риолитов и андезитобазальтов, андезитами, риолитовыми лавобрекчиями и базальтовыми покровами. Она с несогласием перекрыта базальтами и андезитами с силлами габбро свиты Матагуа ( $K_1—K_2$ ) [5, 6, 7, 9, 10, 12].

Перекрывающие вулканические покровы Матагуа имеют запад-северо-западное простирание с азимутом  $110^\circ$  и север-северо-восточное падение с углами от  $45^\circ$  до  $75^\circ$ . Рудоносная толща интродуцирована крутопадающими послерудными дайками и субвулканическими телами диоритов. В интрузивных породах оруденения нет.

Рудные тела сопровождаются широкими ореолами метасоматической хлоритизации и пиритизации. Присутствуют локальные зоны кварц-серцитовых с пиритом метасоматитов. Во всей рудовмещающей вулканогенной толще встречаются пластовые тела баритовой минерализации.

По большей части согласные с туфами и риолитами рудные тела залегают полого и нарушены северо-западными и северо-восточными крутопадающими разломами. Их пострудный возраст устанавливается по смещениям линзовидных сульфидных рудных тел с массивной и слоистой текстурой руд, а также резким контактам рудного штокверка и слабо измененных риодацитов [1, 12].

#### Вещественный состав руд

Линзовидные и штокверковые рудные тела сложены сульфидными рудами с массивными, слоистыми, брекчиевыми, вкрапленными и прожилковыми текстурами. Широко распространены пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, тетраэдрит, теннантит, борнит, марказит и арсенопирит. В виде мелких прожилков и вкраплений отмечают самородное золото, электрум, аргентит и гессит. Минерализация благородных металлов слагает прожилковую зону (stringer zone).

На месторождении распространены три типа руд: цинково-медные, медные и пиритовые [2, 3, 8]. Преобладают цинково-медные руды, преимущественно встречающиеся в туфах и лавобрекчиях. В них минимальное содержание цинка 0,7%, достигая 41,20%. Вторым компонентом является медь, содержание которой в рудах от 0,5 до 13,50%. В западном направлении густо вкрапленные, пятнистые и прожилковые цинково-медные руды сменяются редко вкраплениями. Структуры руд: порфировая, гипидиоморфно-зернистая, аллотриоморфно-зернистая,

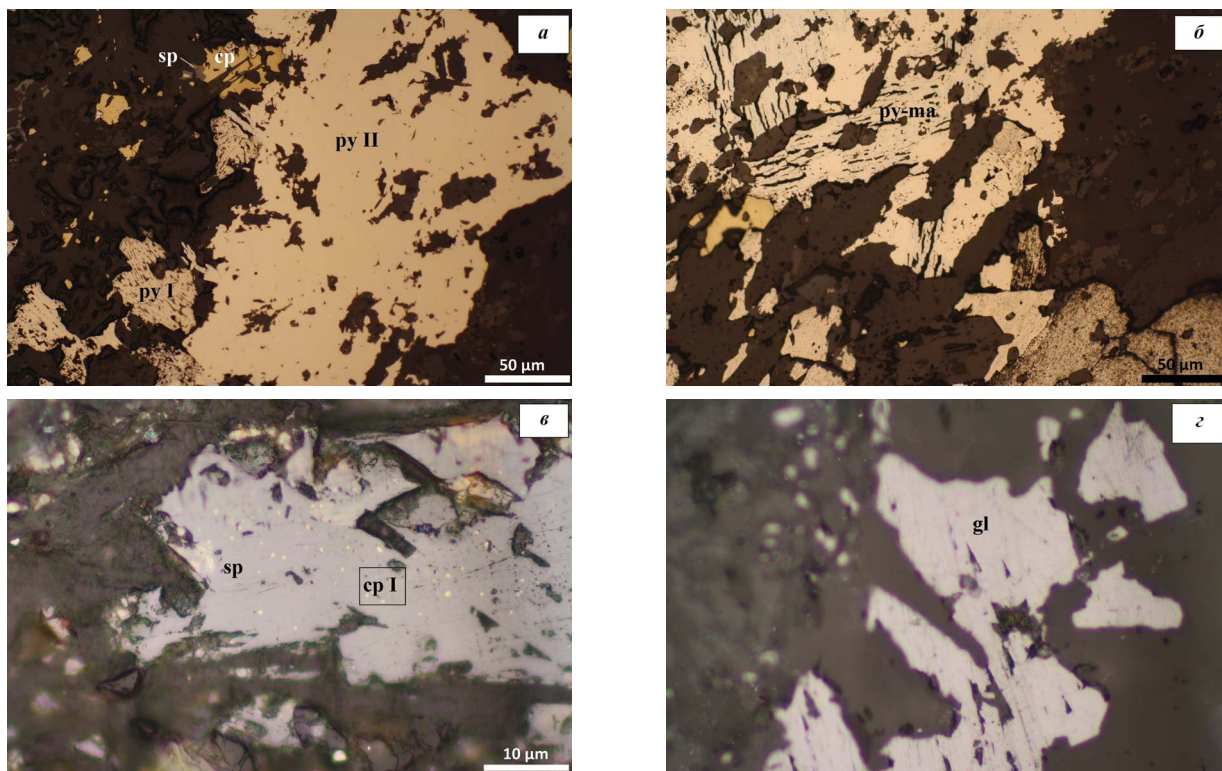
коррозионная и замещения. В таких рудах наиболее распространены сфалерит, халькопирит и пирит, редко встречаются галенит, тетраэдрит, арсенипирит, пирротин и борнит. Жильные минералы: кварц, серицит и хлорит.

Медные руды локализованы в порфировых андезитоацитах. Минимальное содержание меди 3%, достигая 14,4%. Характерными минералами являются халькопирит и пирит, реже тетраэдрит и сфалерит. Жильные минералы также представлены кварцем, серицитом и хлоритом. Характерными текстурами являются массивные, густо вкрапленные и пятнистые. Структурны аллотриоморфно-зернистая, коррозионная и цементная.

Пиритовые руды сосредоточены в нижних горизонтах месторождения. Пирит является компонентом руд с содержаниями от 2 до 80%, реже появляются марказит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит и галенит. Содержание Zn <0,5% и Cu 0,5% низкие. Преобладающими текстурами являются вкраплен-

ная и прожилковая. Структуры идиоморфно-зернистые и аллотриоморфно-зернистые.

Пирит представлен различными морфологическими разновидностями в связи с большей или меньшей степенью раскристаллизации. В рудах характерны идиоморфные кристаллы, иногда таблитчатые. В некоторых случаях наблюдается колломорфный пирит-мельниковит в халькопирите. Пирротин и марказит слагают неправильные выделения и ассоциируют с пиритом. Халькопирит слагает аллотриоморфно-зернистую структуру и встречается в виде эмульсионных выделений в сфалерите. Сфалерит (марматит) цементирует пирит, контактирует с тетраэдритом и халькопиритом. Тетраэдрит находится в сростании с халькопиритом и сфалеритом; иногда он включен в последний. Галенит присутствует в виде аллотриоморфных зерен. Ковеллин замещает пирит, сфалерит и борнит. Гессит находится в небольших включениях в халькопирите и пирите.



**Рис. 1.** Типичные структуры и минеральные ассоциации колчеданных руд месторождения Сан-Фернандо. а — разновидности пирита с большей или меньшей степенью кристаллизации; б — таблитчатые и колломорфные выделения пирит-марказита; в — сфалерит с включениями халькопирита; г — аллотриоморфно-зернистая структура галенита; py — пирит; cp — халькопирит; py-ma — пирит-марказит; sp — сфалерит; gl — галенит

**Fig. 1.** Typical textures and mineral associations of pyrite ores from the San Fernando deposit: а — pyrite varieties with a greater or lesser degree of crystallization; б — tabular and collomorphic secretions of pyrite-marcasite; в — sphalerite with inclusions of chalcopyrite; г — allotriomorphic-grained structure of galena. Abbr.: py: pyrite; cp: chalcopyrite; py-ma: pyrite-marcasite; sp: sphalerite; gl: galena

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

Золото, электрум и аргентит слагают мелкие включения и микропрожилки в пирите и халькопирите.

Типичные структуры руд и минеральные ассоциации показаны на микрофото (рис. 1).

На месторождении Сан-Фернандо установлены три стадии гидротермального рудообразования и гипергенная минерализация (рис. 2).

### Закономерности распределению рудной минерализации

Основные запасы руд месторождения сосредоточены на трех уровнях, на которых расположены линзовидные кулисообразно залегающие залежи. На верхних уровнях преобладают цинково-медные руды, на нижнем — медные (рис. 3).

Для определения позиции минерализованных зон в разрезе составлены колонки по каждой разведочной скважине. По этим данным построен приведенный выше продольный профиль, построенный по простиранию рудных тел, пересекающий месторождение с юго-запада на северо-восток.

Руды Сан-Фернандо соответствуют базальтоидным субмаринным колчеданным месторождениям,

для которых типоморфными являются концентрации, Pb, Zn, Cu, Cd, Ag и Au [2]. В данном случае для анализа использованы аналитические материалы по Cu, Zn, Ag и Au, которые представляют наибольший экономический интерес.

По каждой скважине составлено распределение рудных и попутных компонентов и рудных минералов, определены средние значения по рудоносной зоне. Для выделения рудно-геохимических аномалий учитывались содержания, превышающие концентрации  $Cu \geq 0,5\%$ ;  $Zn \geq 0,5\%$ ;  $Ag \geq 1 \text{ ppm}$ ;  $Au \geq 0,5 \text{ ppm}$ .

Согласно указанной методике интерполяции по средним значениям построены карты изоконцентраций для каждого элемента (рис. 4).

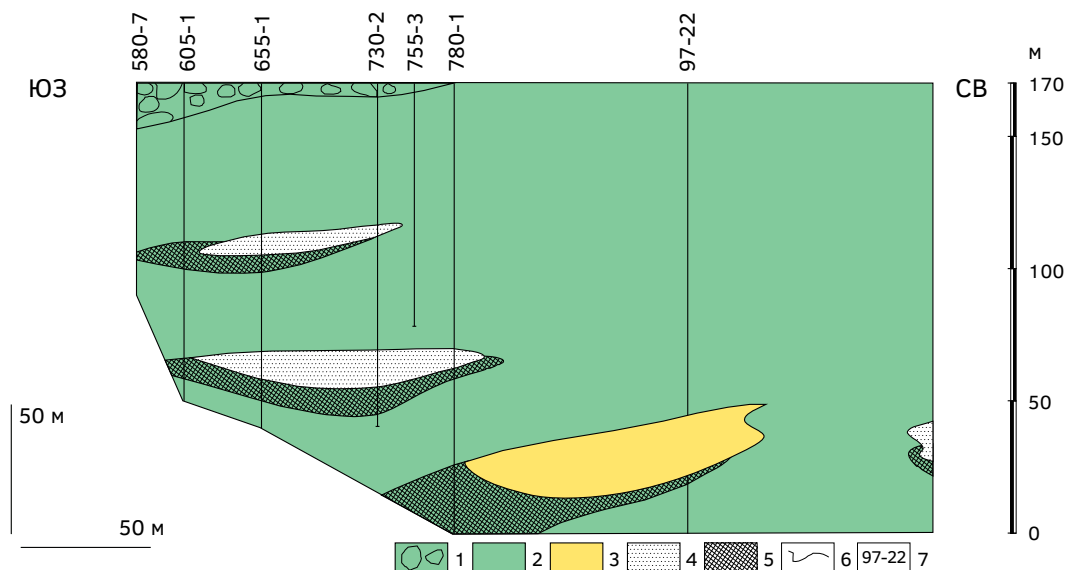
Основные скопления полезных компонентов сосредоточены на северо-востоке и, в меньшей мере, на юго-западе площади. Видна конформность распределения Cu и отчасти Zn, также частично Zn, Ag, Au, и относительно независимое распределение Au и Ag. По серебру и золоту совпадений больше. Возможно, это предопределено наложенными на сульфидные руды процессами благороднометалльной минерализации.

| Рудные минералы          | Стадии гидротермального этапа       |                                                |                                     | Этап выветривания              |
|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
|                          | I                                   | II                                             | III                                 |                                |
| Пирит                    | _____                               | _____                                          | -----                               |                                |
| Маркацит                 |                                     | _____                                          |                                     |                                |
| Тетраэдрит               |                                     | _____                                          |                                     |                                |
| Сфалерит                 |                                     |                                                | _____                               |                                |
| Галенит                  |                                     |                                                | _____                               |                                |
| Халькопирит              |                                     | _____                                          | _____                               |                                |
| Борнит                   |                                     |                                                | _____                               |                                |
| Пирротин                 |                                     | _____                                          |                                     |                                |
| Арсенопирит              |                                     | _____                                          |                                     |                                |
| Электрум                 |                                     |                                                | _____                               |                                |
| Гесит                    |                                     |                                                | _____                               |                                |
| Ковеллин                 |                                     |                                                |                                     | _____                          |
| Гетит                    |                                     |                                                |                                     | _____                          |
| Лимонит                  |                                     |                                                |                                     | _____                          |
| Текстуры и структуры руд | Вкрапленная, массивная, прожилковая | Вкрапленная, массивная, прожилковая, пятнистая | Вкрапленная, массивная, прожилковая | Рыхлая, прожилковая, каркасная |

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

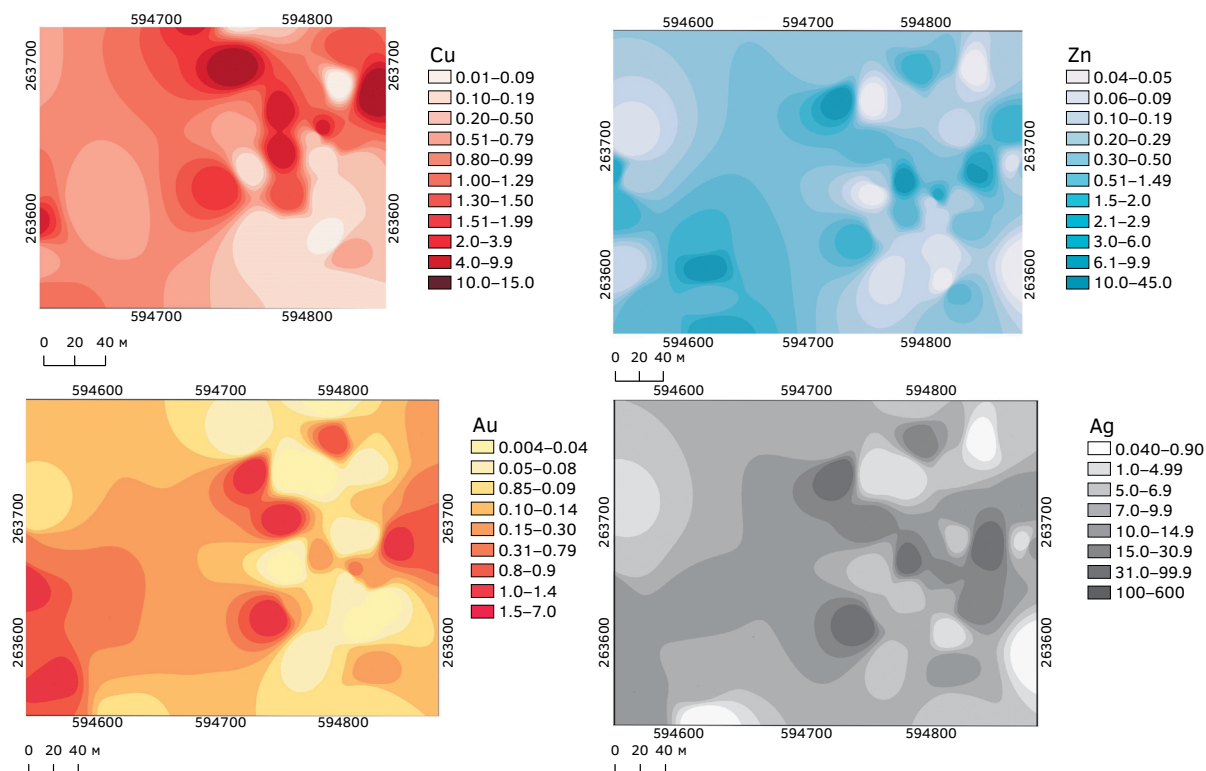
**Рис. 2.** Схема последовательности минералообразования месторождения Сан-Фернандо. 1 — главные минералы; 2 — сопутствующие минералы; 3 — редкие минералы

**Fig. 2.** The sequence of mineral formation of the San Fernando deposit. 1 — main minerals; 2 — related minerals; 3 — rare minerals



**Рис. 3.** Продольный разрез месторождения Сан-Фернандо. 1 — железная шляпа; 2 — вулканогенные породы свиты Лос-Пасос; 3 — медные руды; 4 — цинково-медные руды; 5 — пиритовые руды; 6 — контуры рудных тел; 7 — разведочные скважины

**Fig. 3.** Longitudinal section of the San Fernando deposit. 1 — iron hat; 2 — volcanic rocks of the Los Pasos Formation; 3 — copper ore; 4 — zinc-copper ore; 5 — pyrite ore; 6 — contours of ore bodies; 7 — exploratory wells



**Рис. 4.** Карты изоконцентраций Cu, Zn, Au и Ag по средним значениям на весь рудоносный интервал месторождения Сан-Фернандо

**Fig. 4.** Maps of isoconcentrations of Cu, Zn, Au and Ag according average values for the entire ore-bearing interval of the San Fernando deposit



Установленные геохимические закономерности в целом подтверждаются по распространённости главных рудных минералов халькопирита и сфалерита (рис. 5).

Судя по представленной карте, самые высокие концентрации халькопирита и сфалерита, во-первых, по большей части совмещаются в плане. Во-вторых, они сосредоточены, как и по геохимическим данным, на северо-востоке и юго-западе территории.

Важно отметить, что как по геохимическим данным, так и рудной микроскопии выделились два интервала глубин концентрации руд: 60—85 и 125—160 м.

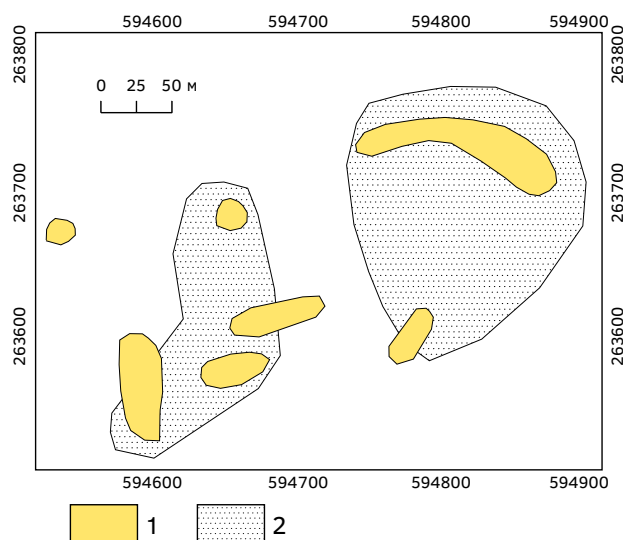
### Выводы

Проведенный анализ вещественного состава колчеданных руд наиболее крупного в Центральной Кубе месторождения Сан-Фернандо, распространённости в пределах рудовмещающей вулканогенной тощи концентраций главных и попутных компонентов и главных рудных сульфидных минералов позволяет сделать следующие выводы.

Во-первых, известные на месторождении медные, цинково-медные и пиритовые типы руд имеют схожие минеральный состав, текстуры и структуры, но отличаются количественными параметрами рудных минералов и элементного состава.

Во-вторых, установлена вертикальная минерало-геохимическая зональность, выражающаяся в преимущественном распространении внизу пиритовых руд, выше медных и вверху цинково-медных.

В-третьих, в пределах рудовмещающей пачки туфов и лавобрекчий риолитов выделено три линзовидные рудные залежи, в основании каждой из которых распространены пиритовые руды.



**Рис. 5** Схема распределения скоплений халькопирита (1) и сфалерита (2) на месторождении Сан-Фернандо

**Fig. 5.** Distribution of chalcopyrite accumulations (1) and sphalerite (2) in the San Fernando deposit.

В-четвертых, по составленным в ГИС-среде картам изоконцентраций рудных элементов и соотношению халькопирита и сфалерита в пределах изученной площади размером 3 км<sup>2</sup> выявлены основные скопления Cu, Zn, Au и Ag, расположенные на ее юго-западе и северо-востоке.

В-пятых, относительно независимое распределение золота и серебра в контурах концентраций Cu и Zn указывает на возможно наложенные процессы концентрации благородных металлов.

В-шестых, установленные места скоплений полезных компонентов в плане и по глубине следует учесть при продолжении геологоразведочных работ на месторождении.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гальардо Эупиерье Э., Родригес Г. и др. Геологическое обобщение и металлогенический прогноз свита Лос-Пасос. 2002. 148 с. (на Кубе, неопубликованный).
2. Гаспар О.К. Микроскопия и петрология руд применительно к генезу, разведке и минералургии массивных сульфидов пласта и месторождений Невес-Корво // Исследования, заметки и труды. 1996. № 38. С. 3—195.
3. Де ла Нуэс Колон Д., Санта Крус Пачеко М., Агирре Гильот Г., Толедо С. и др. Атлас металлических руд Кубы // Институт геологии и палеонтологии. Гавана, Куба. 2015. С. 20—22. ISBN 978-959-7117-64-3.
4. Дергачев А.Л. Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли: Автореф. Дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: МГУ, 2010. 58 с.
5. Диас Де Вильяльвиля Л., Санта Крус Пачеко М. и др. Изучение меловых магматических последовательностей Центральной Кубы и их связь с золотой минерализацией (Cu, Zn, Pb, Au и Ag) // Кубинская система классификации горных пород. 2014. С. 64—118. ISBN: 978-959-7117-209. CNDIG.IGP / SGC.
6. Итурральде-Винент (ред.). Сборник геологии Кубы и Карибского бассейна / 2-е изд. DVD-ROM. Гавана, Куба: Редакция CITMATEL, 2012.

7. Кэслэр С.Э. и др. Эпоха Камагуэйского золотосеребряного округа, Куба: тектоническая эволюция и сохранение эпипермальной минерализации в вулканических дугах // Экономическая геология. 2004. Т. 99 (5). С. 869. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.99.5.869>
8. Лаверов Н.П., Бугельский Ю.Ю., Васкес О., Григорьев И.И. и др. Рудные месторождения Кубы. М.: Наука, 1985. 245 с.
9. Рохас-Аграмонтэ Я., Крёнэр А., Гарсиа-Каско А., Сомин М., Итурральде-Винент М., Маттинсон Х. М. и др. Время и эволюция мелового островного дугового магматизма на Центральной Кубе: значение для истории дуговых систем на северо-западе Карибского бассейна // Журнал геологии. 2011. Т. 119, № 3. С. 619—640. <https://doi.org/10.1086/662033>
10. Станэк К.П., Марэсч В.Б., Пиндэй Х.Л. Геотектоническая история северо-западной ветви Карибской дуги: выводы из структурных и геохронологических данных Кубы // Лондон: Геологическое общество. Специальные публикации. 2009. Т. 328, № 1. С. 361—398.
11. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых: Учебник для высшей школы. М.: Академический Проект, 2004. 512 с. ISBN 5-8291-0656-6.
12. Торро Л., Проэнса Х.А., Мэльгарэхо Х.К., Альфонсо П., Фаррэ Дэ Пабло Х., Коломер Х.М. и др. Характеристика минералогии, геохимии и изотопов серы в нижнемеловых меловых отложениях Серо-де-Кросс-Маймон (Доминиканская Республика), Сан-Фернандо и Антонио (Куба): формирование при инициации субдукции протокарибской литосферы в пределах переднего края // Обзоры руды. 2016. № 72. С. 794—817.
13. [https://www.academia.edu/32613557/5\\_Torr%C3%B3\\_et\\_al\\_2016\\_OGR\\_VMS\\_DR\\_and\\_Cuba.pdf](https://www.academia.edu/32613557/5_Torr%C3%B3_et_al_2016_OGR_VMS_DR_and_Cuba.pdf)

## REFERENCES

1. Gallardo Eupierre E., Rodriguez G.I., et al. *Geological generalization and metallogenic forecast is the Los Pasos formation. Final report*. 2002, 148 p. (In Cuba, unpublished).
2. Gaspar O.C. Microscopy and petrology of ores applied to the genese, exploration and mineralurgy of the massive sulphides of the reservoir and Neves-Corvo deposits. *Studies, Notes and Works*, 1996, no. 38, pp. 3—195.
3. De la Nuez Colon D., Santa Cruz Pacheco M., Aguirre Guillot G., Toledo C., et al. *Atlas of metallic ores of Cuba*. Havana, Cuba, Institute of Geology and Paleontology, 2015, pp. 20—22. ISBN 978-959-71117-64-3.
4. Dergachev A.L. *The evolution of volcanogenic pyrite formation in the history of the Earth: Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences*. M., Moscow State University, 2010, 58 p. (In Russian).
5. Diaz de Villalvilla L., Santa Cruz Pacheco M., et al. The study of the Cretaceous magmatic sequences of Central Cuba and its relationship with the gold mineralization (Cu, Zn, Pb, Au and Ag). *Cuban rock classification system*, 2014, pp. 64—118. CD-ROM ISBN: 978-959-71117-209. CNDIG.IGP /SGC.
6. Iturralde-Vinent (editor). *Compendium of Geology of Cuba and the Caribbean* // Second edition. DVD-ROM. Havana, Cuba, Editorial CITMATEL, 2012.
7. Kesler S.E. et al. Age of the Camaguey Gold-Silver District, Cuba: Tectonic Evolution and Preservation of Epithermal Mineralization in Volcanic Arcs. *Economic Geology*, 2004, vol. 99, no. 5, p. 869. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.99.5.869>
8. Laverov N.P., Buguelsky Y.Y., Vazquez O., Grigorieva I.I., et al. *Ore deposits of Cuba*. Moscow, Science, 1985, 245 p. (In Russian).
9. Rojas-Agramonte Y., Kröner A., García-Casco A., Somin M., Iturralde-Vinent M., Mattinson J. M., et al. Timing and Evolution of Cretaceous Island Arc Magmatism in Central Cuba: Implications for the History of Arc Systems in the Northwestern Caribbean. *The Journal of Geology*, 2011, vol. 119, no. 6, pp. 619—640.
10. Stanek K.P., Maresch W.V. and Pindell J.L. The geotectonic story of the northwestern branch of the Caribbean Arc: implications from structural and geochronological data of Cuba. *Geological Society, London, Special Publications*, 2009, vol. 328, no. 1, pp. 361—398.
11. Starostin V.I., Ignatov P.A. *Geology of minerals. Textbook for high school*. Academic Project, 2004. 512 p. ISBN 5-8291-0656-6. (In Russian).
12. Torró L., Proenza J.A., Melgarejo J.C., Alfonso P., Farré de Pablo J., Colomer J.M., et al. Mineralogy, geochemistry and sulfur isotope characterization of Cerro de Cross maim?n (Dominican Republic), San Fernando and Antonio (Cuba) lower J cretaceous VMS deposits: Formation during subduction initiation of the proto-Caribbean lithosphere within a fore-arc. *Ore Geology Reviews*, 2016, no. 72, pp. 794—817.
13. [https://www.academia.edu/32613557/5\\_Torr%C3%B3\\_et\\_al\\_2016\\_OGR\\_VMS\\_DR\\_and\\_Cuba.pdf](https://www.academia.edu/32613557/5_Torr%C3%B3_et_al_2016_OGR_VMS_DR_and_Cuba.pdf)

**ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS**

Де Ла Нуэс Колон Д. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

De La Nuez Colon D. developed the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR**

**Де Ла Нуэс Колон Дэйси** — стажер кафедры геологии месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». Исследователь Геологического института Кубы. 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
Via Blanca and Railroad Line. San Miguel del Padrón. Havana. Cuba  
e-mail: [deysydelanuez2015@gmail.com](mailto:deysydelanuez2015@gmail.com)  
тел.: +7 (985) 647-63-68  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7003-2556>

**Deysy De La Nuez Colon** — intern at the Department of Geology of Mineral Deposits Department of Mineral Deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
Researcher, Institute of Geology and Paleontology. (IGP). Cuba Geological Service  
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia  
Via Blanca and Railroad Line. San Miguel del Padrón. Havana. Cuba  
e-mail: [deysydelanuez2015@gmail.com](mailto:deysydelanuez2015@gmail.com)  
tel.: +7 (985) 647-63-68  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7003-2556>

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-39-45>

УДК 622.631:624.121



# АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ СЕРИЙНОГО ВЗРЫВАНИЯ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

**К.С. МАЛЬСКИЙ\*, Ю.А. БОРОВКОВ**

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

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы, связанные с исследованиями по изменению прочностных свойств массива горных пород при взрывании серии скважинных зарядов взрывчатых веществ при выемке запасов месторождений в карьерном пространстве. В анализе методик исследования изменения прочностных свойств массива горных пород при определении параметров скважинных зарядов в ряду не учитывались зоны снижения прочности горного массива за контуром карьера, которые образуются в результате многоциклических взрывных нагрузок. При квазистатическом моделировании одиночного взрыва, приводящего к разрушению горных пород, был выявлен характер прорастания радиальных трещин в горной породе от действия ударной волны, продуктов детонации и концентрации напряжений в окрестностях вершин трещин. При этом прорастание трещин в граните от действия взрыва происходит в течение 15 мс, а в известняке — 20—25 мс в зависимости от физико-механических свойств горных пород, степени их трещиноватости и применения специального типа забойки. Принцип действия запирающей забойки основан на отражении ударных волн от внутреннего воронкообразного профиля, вследствие чего происходит частичное торможение продуктов детонации. Удержание забойки в скважине осуществляется за счет ее распираания продуктами детонации. Из проанализированных исследований, проведенных в лабораторных условиях, выявлено, что после однократного взрывного нагружения прочность образцов известняков и магнетитовой руды снижается, соответственно, на 38,6 и 40,8% от первоначальной статической прочности на сжатие, а после многократного воздействия ещё в среднем на 5—10%, а также определено, что размеры зоны пониженной прочности в окружающем массиве зависят от высоты уступа карьера и применяемых энергетических характеристик взрывчатых веществ.

**Ключевые слова:** карьер, взрывчатое вещество, массив, горные породы, скважинный заряд, прочность породы

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

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

**Для цитирования:** Мальский К.С., Боровков Ю.А. Анализ результатов исследований по снижению прочности горных пород от серийного взрывания скважинных зарядов взрывчатых веществ. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):39—45.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-39-45>

\* Автор, ответственный за переписку



## ANALYSIS OF THE RESULTS OF INVESTIGATIONS AIMED AT REDUCING THE ROCK STRENGTH IN SERIAL EXPLOSIONS OF BOREHOLE EXPLOSIVE CHARGES

KIRILL S. Malskiy\*, YURIY A. Borovkov

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

### ABSTRACT

This article discusses issues involved with changes in the strength properties of rock mass during serial explosions of borehole explosive charges while performing mining operations in quarries. During the analysis of the research methods for changing the strength properties of rock mass, the zones of decrease in rock mass strength beyond the quarry contour, which are formed as a result of multicyclic explosive loads, were not taken into account while determining the parameters of borehole charges in a row.

In a quasistatic simulation of a single explosion leading to rock destruction, the nature of the propagation of radial cracks in the rock resulting from the pressure of the shock wave, detonation products, and stress concentration in the vicinity of the crack tips was revealed. Moreover, the growth of cracks in granite due the explosion occurs within 15 ms, and in limestone within 20—25 ms, depending on the physicomaterial properties of rocks, their degree of fracturing, and the use of a special type of tamping. The operating principle of the locking tamping is based on the reflection of shock waves from the internal funnel-shaped profile, as a result of which a partial detonation of the detonation products occurs. Tamping retention in the borehole is maintained due to its expansion by detonation products.

From the analysed studies conducted in laboratory conditions, the strength of ore limestone and magnetite samples after a single explosive loading was found to decrease by 38.6 and 40.8% of the initial static compressive strength, respectively, and after repeated exposure, on average, 5–10%. The dimensions of the zone of reduced strength in the surrounding massif was found to be dependent on the height of the quarry ledge and the energy characteristics of applied explosives.

**Keywords:** quarry, explosive, massif, rocks, borehole charge, rock strength

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

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

**For citation:** Malskiy K.S., Borovkov Yu.A. Analysis of the results of investigations aimed at reducing the rock strength in serial explosions of borehole explosive charges. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):39—45. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-39-45>

\* Corresponding author

Комплексное освоение месторождений предусматривает выемку запасов рудных залежей, не входящих в предельный контур карьера подземным способом. Для совместного ведения горных работ в карьере и при выемке прибортовых запасов подземным способом характерно изменение напряженно-деформированного состояния как на уступах карьера, так и в прибортовом массиве горных пород.

Ведение подземных работ вблизи бортов карьера дополнительно усложняется из-за нару-

шенности его горно-геологических характеристик и горнотехнических свойств за период эксплуатации месторождения. В новых горно-геологических условиях сложившиеся поля напряжений находятся под воздействием внешних нагрузок, образовавшихся в результате развития сети подземных горных выработок, и геодинамических нагрузок, возникающих в первую очередь при ведении буровзрывных и транспортно-погрузочных работ как в карьере, так и в подземных горных выработках.

В этих условиях необходимо создавать новые подходы к технологии ведения горных работ, используя результаты прогнозных расчетов по зависимостям, позволяющим определить нагрузки на горные выработки, расположенные в прибортовом массиве карьера, и оценивать степень их устойчивости.

В качестве исходных данных для получения этих зависимостей используют данные, полученные в результате экспериментальных исследований степени воздействия многоциклических взрывных нагрузок на горные выработки в промышленных условиях. Представляет интерес изыскание способов регулирования энергоемкости процесса разрушения породы взрывом за счет изменения ее свойств.

Однако это изыскание не нашло большого применения на карьерах России и стран СНГ с учетом того факта, что происходит снижение прочности горного массива от многоциклических воздействий массовых взрывов на карьере. Следует отметить, что при определении параметров скважинных зарядов в ряду не учитывались зоны снижения прочности горного массива за контуром карьера, которые образуются в результате многоциклических взрывных нагрузок. Учет эффекта снижения прочности массива необходим для корректировки параметров и паспортов взрывных работ и заслуживает внимания, так как вскрывает неиспользованные резервы повышения эффекта действия взрывной энергии.

С этой целью необходимо изучение изменения прочностных свойств горных пород в условиях

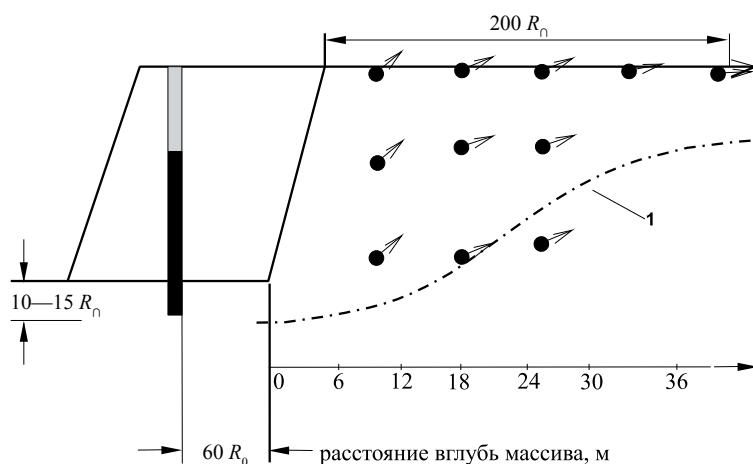
циклического нагружения, особенно при дальнейшей выемке прибортовых запасов карьера, обычно разрабатываемых после приведения борта карьера в предельное состояние.

Приведем некоторый анализ исследований по снижению прочности горных пород при воздействии взрывных волн.

Как было установлено в работе [6], при производстве массовых взрывов на карьерах осуществляется не только дробление пород на отдельные части, но и изменение их прочностных свойств. Так, лабораторные опыты на образцах горных пород и руд показали, что после однократного взрывного воздействия прочность образцов известняка и магнетитовой руды составляла соответственно 38,6 и 40,8% от первоначальной статической прочности на сжатие [5].

Исследования, проведенные на гранитных карьерах треста «Запорожнерудпром», выявили, что взрывные нагрузки приводят к увеличению их пористости и снижению прочности пород [1].

В работе [1] также рассматривалась возможность использования направленного воздействия энергии взрыва на массив горных пород, и было установлено, что за счет выбора соответствующего направления взрывания и изменения интенсивности взрывного воздействия происходит изменение микроструктуры руды в виде развития трещиноватости, а следовательно, и изменения ее прочностных характеристик, а уровень снижения прочности образцов кварцита составлял 23—57% от первоначальной статической прочности.



**Рис. 1.** Схема распространения трещин в глубину массива (стрелки показывают направление смещений),  $R_0$  — радиус заряда

**Fig. 1.** A scheme of crack propagation deep into the rock massive (arrows indicate displacement directions),  $R_0$  — explosive charge radius

В работе [3] исследования проводились в условиях магнетитовых кварцитов Криворожья, так же было выявлено, что: предварительное нагружение, повторяемое многократно, даже при небольших затратах энергии по сравнению с энергией дробления способствует прорастанию трещин в массиве, что ведет к улучшению качества взрывного дробления основными зарядами ВВ.

В работах [1, 3, 8] показано, что, в отличие от механического воздействия, разрушение породы при циклическом взрывном нагружении происходит за счет действия напряжений, которые превышают предел статической прочности породы на одноосное сжатие, что влечет за собой снижение прочности породы, которое проявляется непосредственно при первых же циклах нагружения.

Воздействие массового взрыва на горные породы, как уже отмечалось, приводит к снижению прочности пород в глубине массива.

В работе [4] установлено, что аналогичные разрушения четко прослеживаются на поверхности уступа карьера за линией последнего ряда скважин. Протяженность распространения трещин на поверхности уступа достигает 25—30 м, что составляет  $(170 \div 200) \bar{r}$  ( $\bar{r}$  — приведенное расстояние от заряда), а в глубину — двух третей высоты уступа (рис. 1). Было установлено, что интенсивность разрушения зависит, главным образом, от свойств массива (степени трещиноватости и ориентировки трещин, сил сцепления и коэффициента внутреннего трения между отдельностями), числа и количества одновременно взрывающихся скважинных зарядов, расстояния до точки наблюдения, числа ступеней замедления, схемы взрывания, интервалов замедления и конструкции зарядов.

Представляют интерес приведенные данные по взрыву на выброс на Алтын-Топканском месторождении, когда мощность одного заряда составляла 10000 т в тротиловом эквиваленте [4]. Данные электрозондирования воронки взрыва показали, что мас-

сив нарушен трещинами в радиусе около 100 м под зарядом. Последующая отработка месторождения показала, что воздействие взрыва отрицательно сказалось на показателях буровзрывных работ. Производительность станков ударно-канатного бурения из-за обрушения стенок скважин сократилась в 2—3 раза, а степень дробления горной массы значительно ухудшилась по сравнению с другими месторождениями, обрабатываемыми аналогичные породы. Вместимость нижней части скважин составляла около 70 кг/м (для аммонита № 6ЖВ и диаметра скважины 200 мм), в то время как в нетронутым массиве емкость скважин, пробуренных долотом такого же диаметра, составляет около 40 кг/м, т.е. почти вдвое меньше.

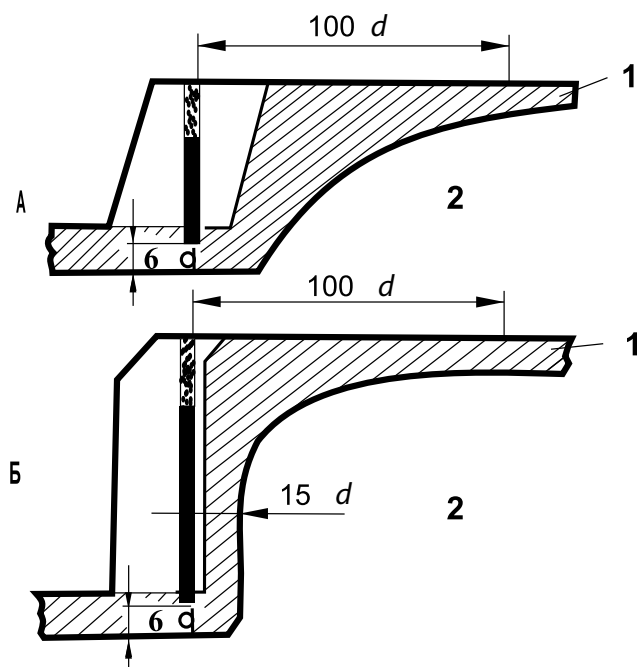
Автор в работе [2] отмечает, что примерно аналогичные по размерам зоны трещинообразования наблюдаются и при подземных ядерных взрывах. Так, при подземном ядерном взрыве заряда «Гном» мощностью 3000 т в тротиловом эквиваленте, проведенном в США в штате Нью-Мексико в пласте каменной соли на глубине 360 м, радиус распространения радиальных трещин составил 70—75 м. Меньшая величина радиуса трещинообразования при этом ядерном взрыве может быть объяснена монолитностью каменной соли и тем, что ядерный взрыв происходил в условиях камуфлетного взрывания.

Исследованиями, проведенными в работе [2], были определены размеры зон нарушения в двух направлениях. Установлено, что радиус распространения нарушений по кровле уступа находится в пределах  $100 d$  ( $d$  — диаметр заряда), глубина нарушения под заряд вдоль оси равна  $(7 \div 10) d$ . Другими исследованиями, проведенными на карьерах Норильского комбината, были получены аналогичные размеры зон нарушений (табл. 1).

В работе [2] установлено, что размеры зон нарушения зависят от высоты уступа. На рисунке 2 видно, что на низких уступах зона нарушения распространяется ниже подошвы уступа,

Таблица 1. Размеры зон нарушений  
Table 1. Dimensions of violation zones

| Горные породы | Диаметр заряда, мм | Перебур, м | Глубина нарушения под заряд |                    | Радиус распространения по кровле уступа |                    |
|---------------|--------------------|------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------------------|--------------------|
|               |                    |            | м                           | в диаметрах заряда | м                                       | в диаметрах заряда |
| Оливиновые    | 245                | 4,0—4,5    | 1,5—2,0                     | 6—8                | 20—25                                   | 80—100             |
| Габбро        | 155                | 3,0        | 1,0—2,0                     | 7—14               | 15                                      | 100                |
| Диабазы       | 100                | 3,0        | 0,5—1,0                     | 5—10               | —                                       | —                  |



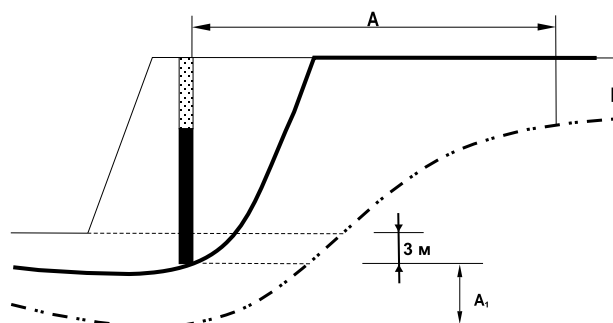
**Рис. 2.** Зона нарушения массива при производстве взрывов: А — низкий уступ; Б — высокий уступ; 1 — нарушенный массив; 2 — целик

**Fig. 2.** The zone of rock massive disturbance during explosions: A — low bench; Б — high bench; 1 — disturbed rock massive; 2 — pillar

а на высоких уступах поверхность забоя будет нарушена на большую глубину.

По данным различных авторов данные по размерам зон снижения прочности горных пород в глубине массива приведены на рисунке 3 и в таблице 2.

При квазистатическом моделировании одиночного взрыва, приведенного в работе [2, 7, 9] и приводящего к разрушению горных пород, был выявлен характер прорастания радиальных тре-



**Рис. 3.** Характер и границы ослабления пород в глубине массива

**Fig. 3.** Character and boundaries of rock weakening in the depth of the massive

щин в горной породе от давления ударной волны, продуктов детонации и концентрации напряжений в окрестностях вершин трещин. Причем прорастание трещин в граните от действия взрыва происходит в течение 15 мс, а в известняке — 20—25 мс в зависимости от физико-механических свойств горных пород, степени их трещиноватости и применения специального типа забойки.

Запирающее устройство забойки представляет собой полиэтиленовую трубку с инертным наполнителем и расположенной внутри трубки воронкой, верхняя часть которой заполняется инертным материалом из мелкодисперсной фракции (песок, буровая мелочь), а остальная верхняя часть скважины заполняется традиционным забоечным материалом (породной мелочью) до поверхности.

Принцип действия запирающей забойки основан на отражении ударных волн от внутреннего воронкообразного профиля, вследствие чего происходит частичное торможение продуктов детонации. Коническая часть служит для снижения давления от продуктов детонации на верхнюю часть забойки из породной мелочи. Удержание

**Таблица 2.** Размеры зон снижения прочности горных пород

**Table 2.** The size of the zones of reduction of rock strength

| Авторы             | Размеры зон остаточных деформаций (м) в зависимости от диаметра скважин, мм |                |       |                |                          |                |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|----------------|--------------------------|----------------|
|                    | зона микротрещин                                                            |                |       |                | верхний разрушенный слой |                |
|                    | 230                                                                         |                | 105   |                | 230                      | 105            |
|                    | A                                                                           | A <sub>1</sub> | A     | A <sub>1</sub> | h                        | h <sub>1</sub> |
| А.Н. Ханукаев      | —                                                                           | —              | 10—12 | 2,5            | —                        | —              |
| В.К. Рубцов        | 23                                                                          | 5—7            | 10,5  | —              | 6                        | —              |
| Г.В. Кузнецов      | 22—25                                                                       | 5—6            | 10    | 2,5            | 5                        | 2,5            |
| М.Е. Певзнер и др. | —                                                                           | —              | —     | —              | 6—7                      | 3,5—4,0        |
| П.С. Миронов       | 30—50                                                                       | —              | —     | —              | 5—6                      | —              |



забойки в скважине осуществляется за счет ее распыления продуктами детонации.

При качественном запылении газообразных продуктов взрыва в скважине возможно увеличение сетки скважин на величину среднего размера естественного блока в массиве относительно сетки скважин, рассчитанной с учетом только волновой стадии.

Таким образом, применение запирающей забойки специальной конструкции позволит увеличить время истечения продуктов детонации из скважины по сравнению с традиционной песчаной забойкой и сетку скважин на величину среднего размера естественного блока в массиве относительно сетки скважин, рассчитанной с учетом действия только волн напряжений в массиве, а также снизить фактический расход ВВ и объем бурения.

Главным недостатком предложенной конструкции с запирающим устройством являются дополнительные трудозатраты на изготовление запирающего устройства из полиэтиленовых труб, что вызывает значительные трудности при проведении массового взрыва.

Следовательно, из анализа проводимых исследований по снижению прочности горных пород взрыванием серий скважинных зарядов взрывчатых веществ можно сделать вывод, что при этом образуются зоны пониженной прочности в окружающем массиве в зависимости от высоты уступа карьера и применяемых энергетических характеристик взрывчатых веществ, а разрушения просматриваются на поверхности уступа карьера за линией последнего ряда скважин.

Протяженность распространения трещин на поверхности уступа может достигать более 25—30 м, что составляет примерно  $(170 \div 200) \bar{r}$  ( $\bar{r}$  — приведенное расстояние от заряда), а по глубине — двух третей высоты уступа. Анализируя проведенные исследования в лабораторных условиях, нужно отметить также, что после однократного взрывного нагружения прочность образцов, например известняков и магнетитовой руды, снижается, соответственно, на 38,6 и 40,8% от первоначальной статической прочности на сжатие, а после многократного воздействия еще в среднем на 5—10%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Г.В., Улыбин В.П. Изменение величины сейсмического воздействия взрывов на карьере в зависимости от различных факторов // В сб. «Взрывное дело». М.: Недра, 1992. № 71/28. С. 174—180.
2. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. Ч. 1. Разрушение горных пород взрывом. М.: Горная книга, 2007. 636 с.
3. Мец Ю.С. Дробление горных пород взрывом // В сб. «Взрывное дело». М.: Недра, 1984. № 86/43. С. 81—89.
4. Морозов В.Н. Инженерно-геологические исследования и прогнозная оценка трещиноватости пород рудных месторождений: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2006. 163 с.
5. Орленко Л.П. Физика взрыва и удара. М.: Физматлит, 2006. 304 с.
6. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., исправл. В 2 т. М.: Физматлит, 2004. 488 с.
7. Юровских А.В. Разработка модели разрушения горных пород на квазистатической стадии действия взрыва: Автореф. ... канд. техн. наук. СПб., 2003. 20 с.
8. Jide Muili Akande, Abiodun Ismail Lawal. Optimization of Blasting Parameters Using Regression Models in Ratcon and NSCE Granite Quarries, Ibadan, Oyo State, Nigeria: Geomaterials, 2013. 03:01. P. 28—37.
9. Lusk Braden & Silva Jhon. (Energy Distribution in the Blast Fragmentation Process. Chapter in Green Energy and Technology // In book: Energy Efficiency in the Minerals Industry, 2018. P. 11—30. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54199-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54199-0_2).

## REFERENCES

1. Kuznetsov G.V., Ulibin V.P. *Change in the magnitude of the seismic effect of explosions at a quarry depending on various factors. In the collection: Blasting*. Moscow, Nedra, 1992, no. 71/28, pp. 174—180. (In Russian).
2. Kutuzov B.N. *Blasting Methods*. P. 1. *Rock destruction*. Moscow, Gornaya Kniga, 2007, 636 p. (in Russian).
3. Mets Y.S. *Rock crushing*. In the collection: *Blasting*. Moscow, Nedra, 1984, no. 86/43, pp. 81—89. (In Russian).
4. Morozov V.N. *Engineering-geological studies and predictive evaluation of fracturing of ore deposits*. Cand. sci. diss. St. Petersburg, 2006, 163 p. (In Russian).
5. Orlenko L.P. *Explosion and Impact Physics*. Moscow, Fizmatlit, 2006, 304 p. (in Russian).
6. *Explosion physics* / Ed. L.P. Orlenko. 3rd edition, corrected. 2 v. Moscow, Fizmatlit, 2004, 488 p. (In Russian).
7. Yurovskikh A.V. *Development of a model of rock destruction at the quasistatic stage of the explosion*: Abstract of the Cand. technical sci. diss. St. Petersburg, 2003, 20 p. (In Russian).
8. Akande J.M., Lawal A.I. *Optimization of Blasting Pa-*

rameters Using Regression Models in Ratcon and NSCE Granite Quarries, Ibadan, Oyo State, Nigeria. *Geomaterials*, 2013, no. 03:01, pp. 28—37.

9. Lusk B., Silva J. (2018). *Energy Distribution in the Blast*

*Fragmentation Process. Chapter in Green Energy and Technology*. In book: *Energy Efficiency in the Minerals Industry*, pp. 11—30. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54199-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54199-0_2)

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Мальский К.С. — внес основной вклад в разработку концепции статьи (70%), подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Боровков Ю. А. — внес вклад в разработку концепции статьи (30%).

Malskiy K.S. — developed the article concept (70%), prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Borovkov Yu.A. — developed the article concept (30%).

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Мальский Кирилл Сергеевич\*** — кандидат технических наук, декан факультета геологии и геофизики нефти и газа Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [sabbat@mail.ru](mailto:sabbat@mail.ru)  
тел.: +7 (925) 150-19-88  
SPIN: 5466-5425  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-8280>

**Kirill S. Malskiy\*** — Cand. Sci. (Tech.), Dean, Faculty of Oil and Gas Geology and Geophysics, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [sabbat@mail.ru](mailto:sabbat@mail.ru)  
tel.: +7 (925) 150-19-88  
SPIN: 5466-5425  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6073-8280>

**Боровков Юрий Александрович** — доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Орджоникидзе  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
SPIN: 5810-5657  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0314-067X>

**Yuriy A. Borovkov** — Dr. Sci. (Tech.), Prof., Department of Geotechnological Methods and Physical Processes of Mining, Faculty of Engineering, Prospecting and Mining, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklay str., Moscow 117997, Russia  
SPIN: 5810-5657  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0314-067X>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## КРУПНОЕ ЗОЛОТО И САМОРОДКИ ПРИАМУРЬЯ

В.А. СТЕПАНОВ

*Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН  
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия*

### АННОТАЦИЯ

Рассмотрены формы выделения, размеры и состав самородного золота рудных месторождений и россыпей Приамурской провинции. Провинции отвечает зона позднемезозойской коллизии геоблоков юго-восточного обрамления Сибирского кратона, Амурского композитного массива и Монголо-Охотской складчатой системы. Коллизия сопровождалась интрузивной и вулканической деятельностью. С ней генетически связано формирование золотого оруденения, наложенного на блоковую матрицу. Дальнейшие эрозионные процессы привели к образованию многочисленных россыпей. В провинции выделено восемь металлогенических зон, в которых расположено 80 рудно-россыпных узлов. В них находится около 1500 россыпей и 45 золото-рудных месторождений. Установлено, что в россыпях Приамурья преобладает золото мелких и средних классов крупности, реже крупное. Встречаются самородки весом от первых грамм до нескольких килограмм. Форма выделений золота в россыпях разнообразная: от преобладающей плоской, лепешковидной, комковатой и проволочковидной до кристаллической, в том числе дендритовидной. Иногда наблюдаются кристаллы и сростки золотин с кварцем. Нередко золотины покрыты пленкой гидроксидов железа. По составу россыпное золото Приамурья относится к умеренно высокопробному (800—899‰) и высокопробному (900—1000‰). Реже встречается низкопробное золото (799—700‰) и электрум. Наиболее крупное золото и самородки находятся в россыпях центральной части Приамурской провинции. Показано, что основной россыпеобразующей формацией является золотокварцевая. В месторождениях этой формации выделены фронтальная, средняя и прикорневая части рудной колонны. Установлено увеличение пробы золота и крупности его выделений во фронтальной части рудной колонны. Предполагается, что большинство встреченных в россыпях самородков располагалось в верхней части рудных месторождений. Об этом свидетельствует и большое количество самородков в террасовых россыпях по отношению к русловым. В богатом крупным золотом и самородками Унья-Бомском рудно-россыпном узле самородное золото в россыпях и рудах обладает высокой пробой и значительной концентрацией примеси ртути, достигающей первых процентов.

**Ключевые слова:** самородное золото, самородок, россыпь, месторождение, проба золота

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

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

**Для цитирования:** Степанов В.А. Крупное золото и самородки Приамурья. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):46—53.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-46-53>

## COARSE GOLD AND NUGGETS IN THE AMUR REGION

VITALIY A. STEPANOV

*Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
30, Northeast Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002, Russia*

### ABSTRACT

This paper investigates the aggregation forms, sizes and composition of native gold present in the ore deposits and placers of the Amur province. The province corresponds to the zone of the Late

Mesozoic collision of geoblocks of the South-Eastern framing of the Siberian craton, Amur composite massif and Mongol-Okhotsk folded system. The collision was accompanied by an intrusive and volcanic activity, as well as by the formation of gold mineralisation superimposed on block matrices. Further erosion processes led to the formation of numerous placers. Eight metallogenic zones with 80 ore-placer nodes have been identified in the province, which contain about 1,500 placers and 45 gold deposits. It has been established that the placers in the Cis-Amur region contain gold of mostly small- and medium-size classes. Coarse gold appears less frequently, with the discovered nuggets weighing from first grams to several kilograms. The form of the gold deposits in the placers is diverse — from predominantly flat, pancake-like, lumpy and wire-shaped to crystalline, including dendritic. The crystals and intergrowths of gold with quartz are occasionally observed. Gold is frequently covered with a film of iron hydroxides. In terms of composition, the placer gold in the Cis-Amur region belongs to that of moderately high-grade (800—899‰) and high-grade (900—1000‰). Low-grade gold (799—700‰) and electrum are less common. The coarsest gold and nuggets are found in placers in the central part of the Amur province. It is shown that the gold-quartz formation is the main placer formation. The frontal, middle and basal parts of the ore column are distinguished in the deposits of this formation. An increase in the gold grade and size of its aggregates in the frontal part of the ore column has been established. Most of the nuggets found in placers are assumed to be located in the upper part of ore deposits. This is evidenced by a large number of nuggets in terrace placers as compared to the channel ones. In the Unya-Bomsky ore-placer cluster rich in coarse gold and nuggets, native gold in placers and ores has a high grade and a significant concentration of trace mercury, reaching the level of first percent.

**Keywords:** native gold, nugget, placer, deposit, gold grade

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

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

**For citation:** Stepanov V.A. Coarse gold and nuggets in the Amur Region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):46—53. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-46-53>

В мае 1858 г. между Россией и Китаем был заключен Айгунский договор, согласно которому левобережье р. Амур от р. Аргунь до устья Амура отошло к России. Осенью того же года поисковой партией под руководством Н.П. Аносова в верховьях р. Купури был поднят самородок золота весом в один золотник (4,2 г), ставший первым признаком наличия богатых россыпей. Золото в россыпях Приамурья в основном мелких и средних классов крупности, но в ряде рудно-россыпных узлов находится преимущественно крупное золото, нередко самородки. Крупность россыпного золота имеет большое значение для технологии отработки россыпей. Кроме того, самородки золота часто имеют значительно большую товарную стоимость, чем содержащееся в них золото. Этим определяется актуальность рассмотренного в статье вопроса о происхождении крупного золота и самородков.

#### Сведения по металлогении золота Приамурской провинции

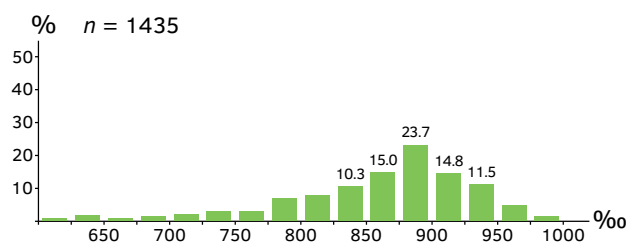
Под Приамурской провинцией понимается крупная геологическая структура площадью около

400 тыс. кв. км, протянувшаяся в юго-восточном направлении на расстояние около 900 км вдоль хребтов Тукурингра и Джагды на левобережье среднего течения р. Амур. Эта структура представляет собой зону позднемезозойской коллизии геоблоков юго-восточного обрамления Сибирского кратона, Амурского композитного массива и Монголо-Охотской складчатой системы. Коллизия сопровождалась интрузивной и вулканической деятельностью. С ней генетически связано формирование золотого оруденения, наложенного на блоковую матрицу. Дальнейшие эрозионные процессы привели к образованию многочисленных россыпей. В провинции выделено восемь металлогенических зон, в которых расположено 80 рудно-россыпных узлов. В них находится около 1500 россыпей и 45 золоторудных месторождений. Из них добыто начиная с 1867 г. более 1 тыс. т золота при примерно пятикратном преобладании россыпного над рудным [13].

#### Самородное золото россыпей

В россыпях Приамурья преобладает золото мелких и средних классов крупности, реже крупное.





**Рис. 1.** Гистограмма пробы россыпного золота Приамурья

**Fig. 1.** Histogram of placer gold grade from the Amur region

Встречаются самородки весом от первых грамм до нескольких килограмм. Форма выделений золота в россыпях разнообразная: от преобладающей плоской, лепешковидной, комковатой и проволочковидной до кристаллической, в том числе дендритовидной. Иногда наблюдаются сростки кристаллов. Часто находятся сростки золотинок с кварцем. Иногда золотины покрыты пленкой гидроксидов железа. По составу россыпное золото Приамурья, судя по гистограмме (рис. 1), относится к умеренно высокопробному (800—899‰) и высокопробному (900—1000‰). Реже встречается низкопробное золото (799—700‰) и электрум. В окатанных золотилах повсеместно наблюдается высокопробная

оболочка мощностью в десятки микрон. Происхождение ее объясняется электрохимической коррозией золотинок в россыпях [14].

Основной примесью самородного золота россыпей Приамурья служит серебро, количество которого определяет пробу золота. В значительных меньших количествах содержатся примеси других элементов. По данным Г.И. Неронского, типоморфными примесями для россыпного золота Приамурья являются железо, медь и ртуть. Другие элементы-примеси фиксируются непостоянно [5]. Наиболее существенна примесь ртути, среднее содержание которой в золоте не опускается ниже десятков и первых сотен г/т. Максимальная примесь ртути в золоте отмечается в Унья-Бомском рудно-россыпном узле, достигающая первых процентов [12].

#### Самородное золото рудных месторождений

Очевидно, что россыпи образовались за счет разрушения и эрозии верхней части рудных месторождений. Известные месторождения относятся к следующим золоторудным формациям: золотокварцевой, золотосульфидно-кварцевой, золотосульфидной, золотосеребряной, золотополиметаллической и золотомедно-молибден-порфировой (табл. 1).

**Таблица 1.** Золоторудные формации и крупность месторождений Приамурской золотоносной провинции  
**Table 1.** Gold-ore formations and the scales of the deposits in the Amur gold-bearing province

| №№<br>пп | Формации                        | Мелкие<br>(≤10 т)                                                                                                                                                                                                | Средние<br>(10—100 т)     | Крупные<br>(>100 т)     |
|----------|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1        | Золотокварцевая                 | Ледяное, Скалистое, Одолго, Успенское, Золотая Гора, Иннокентьевское, Сагур, Тарнах, Харгинское, Афанасьевское, Ингагли, Буровое, Жильное, Лысогорское, Петровско-Еленинское, Кербинское, Токоланское, Унгличкан | Кварцитовое, Токур, Албын |                         |
| 2        | Золотосульфидно-кварцевая       | Александра, Верхнемынское, Ворошиловское, Колчеданный Утес, Снежинка, Ясное                                                                                                                                      | Бамское, Кировское        | Пионер                  |
| 3        | Золотосеребряная                | Буринда, Желтунак, Базовое, Иличи Унахинские, Прогнозное                                                                                                                                                         | Покровское                |                         |
| 4        | Золотосульфидная                | Осеннее                                                                                                                                                                                                          | Нони, Маломыр             |                         |
| 5        | Золотополиметаллическая         | Чагоянское, Моготинское                                                                                                                                                                                          | Березитовое               |                         |
| 6        | Золотомедно-молибден-порфировая |                                                                                                                                                                                                                  |                           | Икан, Восточное Двойное |

Наиболее распространены месторождения золотокварцевой (21 месторождение), золотосульфидно-кварцевой (9 месторождений) и золото-серебряной (7 месторождений) формаций. Реже встречаются месторождения золотосульфидной (3 месторождения), золотополиметаллической (3 месторождения) и золотомедно-молибден-порфировой (2 месторождения) формаций.

Гранулометрический состав рудного золота неодинаков. На месторождениях золотокварцевой формации преобладает золото размером от 0,5 до 1 мм (19,5—55,9%). На долю золота крупнее 2 мм в среднем приходится 6,5%, хотя на Харгинском месторождении оно составляет 36,5% [5]. Размер зерен золота в месторождениях других формаций значительно ниже. Например, на Кировском золотосульфидно-кварцевом месторождении на долю золота мельче 0,1 мм приходится от 20 до 60%, наряду с ним нередко встречается и видимое золото, размеры которого достигают нескольких миллиметров. В рудах Покровского месторождения золотосеребряной формации преобладает тонкое и мелкое золото от микронных размеров до 0,1—0,3 мм [6]. На месторождениях золотосульфидной формации (Маломыр, Нони) наблюдается мелкое и тонкое золото. Размеры его составляют десятые и сотые доли миллиметра, очень редко до 1 мм. В рудах Березитового месторождения золотополиметаллической формации 80% свободного золота приходится на фракцию 0,45—0,5 мм. Крупнее 0,5 мм встречаются лишь отдельные редкие зерна. Размеры золотин в рудах месторождений золото-медно-молибден-порфировой формации (Икан, Восточное Двойное) преимущественно 1—5 мкм, редко встречаются золотины, размером до 0,05—0,15 мм [7].

Обзор гранулометрического состава рудного золота показывает, что наиболее крупное золото встречается в месторождениях золотокварцевой формации. Учитывая превалирование месторождений и проявлений этой формации в Приамурской провинции, а также частые сростки россыпного золота с кварцем, можно предположить, что крупное золото и самородки поступали в россыпи главным образом за счет разрушения оруденения золотокварцевой формации.

Рассмотрим подробнее состав рудного золота месторождений золотокварцевой формации. Средняя проба золота меняется от 726‰ (месторождение Токур) до 965‰ (Золотая Гора). Самородное золото большинства месторождений имеет среднюю пробу выше 850‰. Из примесей рудного золота после серебра наиболее значимой являет-

ся ртуть. Содержание ее меняется от 3—800 г/т в высокопробном до 0,1—3,0% в золоте средней и низкой пробы (табл. 2).

На ряде золотокварцевых месторождений Приамурья (Иннокентьевское, Харга, Сагур, Золотая Гора и др.) были проведены анализы пробы золота, разделенного по крупности на отдельные фракции. Установлено, что с увеличением крупности золотин возрастает их проба. Самая высокая проба золота (928,6‰) была установлена для небольшого самородка весом 2 г из жилы Третьей Афанасьевского месторождения [3]. В рудах месторождения Харга находится крупное высокопробное (880—900‰) золото со значительной примесью ртути (до 2,81%). Размеры частиц золота на этом месторождении увеличиваются от ранних стадий минерализации к поздним [10].

Подобная зависимость пробы золотин от их крупности известна на месторождениях золотокварцевой формации Центрально-Колымской и других провинций Дальнего Востока [11, 15]. Наиболее крупное и высокопробное золото установлено во фронтальной части рудной колонны, более мелкое и низкой пробы — в центральной, а самое мелкое и низкопробное до электрума — в прикорневой. Большинство самородков Центральной Колымы и Верхоянья так же, как и в Приамурье, находилось в россыпях [1]. Причем, как правило, в россыпях с крупным и высокопробным золотом. Эти россыпи расположены в рудно-россыпных узлах с рудными месторождениями фронтальной части рудной колонны.

Закономерность приуроченности крупного золота и самородков к верхним частям месторождений известна и в других золотоносных провинциях России [2]. По данным Н.В. Петровской, самородки преимущественно наблюдаются в месторождениях золотокварцевой формации Урала, Енисейского края, Центрального Алдана и характерны для верхних частей рудных столбов [8]. Самородки золота чаще встречаются в россыпях, чем в коренных месторождениях, что объясняется эрозией верхних, насыщенных самородками частей золоторудных месторождений. Эта закономерность наблюдается и в Австралии [16]. Например, наиболее крупный самородок «Плита Холтермана» был найден в делювиальных отложениях оврага самородков над золотокварцевым месторождением Хилл Энд Западной Австралии. Золотосодержащие малосульфидные кварцевые жилы месторождения расположены параллельно напластованию в слабо метаморфизованных песчано-сланцевых турбидитах силура [18, 19].

**Таблица 2.** Состав золота месторождений золотокварцевой формации  
**Table 2.** Composition of gold from the gold-quartz formation deposits

| №<br>пп | Название<br>месторождений | Количество<br>анализов | Проба золота в ‰<br>(средняя) | Элементы-примеси (в г/т)                                                |
|---------|---------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Золотая Гора              | 15                     | 927—997 (965)                 | Cu — 740, Fe — 150, Sb — 6, Hg — 3,<br>Mn — 1                           |
| 2       | Буровое                   | 4                      | 929—987, редко 714            | Zn — 1000, Pb — 200, Sb — 100                                           |
| 3       | Скалистое                 | 12                     | 952—962                       | Cu, Pb, Mo                                                              |
| 4       | Петровско-Еленинское      | 13                     | 941—959 (951)                 |                                                                         |
| 5       | Одолго                    | 8                      | 940—950                       |                                                                         |
| 6       | Жильное                   | 17                     | 933—954 (943)                 |                                                                         |
| 7       | Лысогорское               | 4                      | 930                           |                                                                         |
| 8       | Ледяное                   | 9                      | 909—937                       |                                                                         |
| 9       | Афанасьевское             | 4                      | 889—922 (907)                 | Hg — 800, Fe — 250, Cu — 360, Sb — 26,<br>Te — 190, As — 95             |
| 10      | Харгинское                | 9                      | 850—910, редко<br>610—636     | Hg — 3083, Pb — 310, Te — 200, As — 164,<br>Cu — 131, Sb — 47, Pt — 1,2 |
| 11      | Албын                     | 210                    | 760—912<br>(880—895)          | Hg до 2,81%, Cu до 0,051%, Sb доли %, Pb,<br>Zn сотые и десятые доли %  |
| 12      | Иннокентьевское           | 16                     | 785                           |                                                                         |
| 13      | Кварцитовое               | 28                     | 700—870 (778)                 | Hg до 3%, Cu до 2%, As до 1%                                            |
| 14      | Унгличкан                 | 5                      | 663—803 (770)                 | Hg — 1000, Sb — 170, Pb — 76, Cu — 20,<br>As — 12                       |
| 15      | Сагур                     | 7                      | 721—775 (754)                 | Hg — 1110, Te — 800, As — 189, Pb — 55,<br>Cu — 25, Pt — 15             |
| 16      | Ингагли                   | 3                      | 715—750 (733)                 |                                                                         |
| 17      | Токур                     | 29                     | 673—803 (726)                 | Hg — 1503, Te — 474, Pb — 390, As — 320,<br>Sb — 30, Pt — 22            |

### Крупное золото и самородки в россыпях Приамурья

Наиболее крупное золото и значительное количество самородков наблюдается Унья-Бомском рудно-россыпном узле, а самое крупное скопление самородков — в Ясенском рудно-россыпном узле.

В россыпи руч. Каракатица, притока р. Гарь-2 Ясенского рудно-россыпного узла было поднято 665 самородков золота весом от 10 до 6990 г, общим весом 79 кг [9]. Большая часть самородков представляла собой брекчии, состоящие из обломков жильного кварца, сцементированных крупными выделениями самородного золота (рис. 2). Проба самородков составляет 992‰, примесь серебра — 0,61%, мышьяка — 0,02% [4]. Очевидно, что самородки золота в сростках с кварцем представляли собой в коренном залегании единое золотокварцевое гнездо, сопоставимое с самым крупным в мире самородком «Плита Холтермана»

(Австралия), масса которого вместе с кварцем составляла 235,5 кг, золота — 83,2 кг.

Наиболее крупное золото и большое количество самородков обнаружено при эксплуатации россыпей Унья-Бомского рудно-россыпного узла Джагды-Селемджинской металлогенической зоны провинции [5, 12, 9]. Площадь узла сложена терригенными, так называемыми черносланцевыми позднепалеозойскими и мезозойскими толщами, слабо метаморфизованными в фации зеленых сланцев. Магматические образования практически отсутствуют. Всего из россыпей добыто более 30 т учтенного золота. В россыпях самородное золото однотипное, преимущественно крупное. Встречаются самородки весом от 1—10 до 730 г.

В россыпи руч. Джескогон значительную долю золота составляли самородки весом 20—50 г (рис. 3). В пойменных россыпях самородки встречались гораздо реже, чем в террасовых [9]. Это свидетельствует о том,

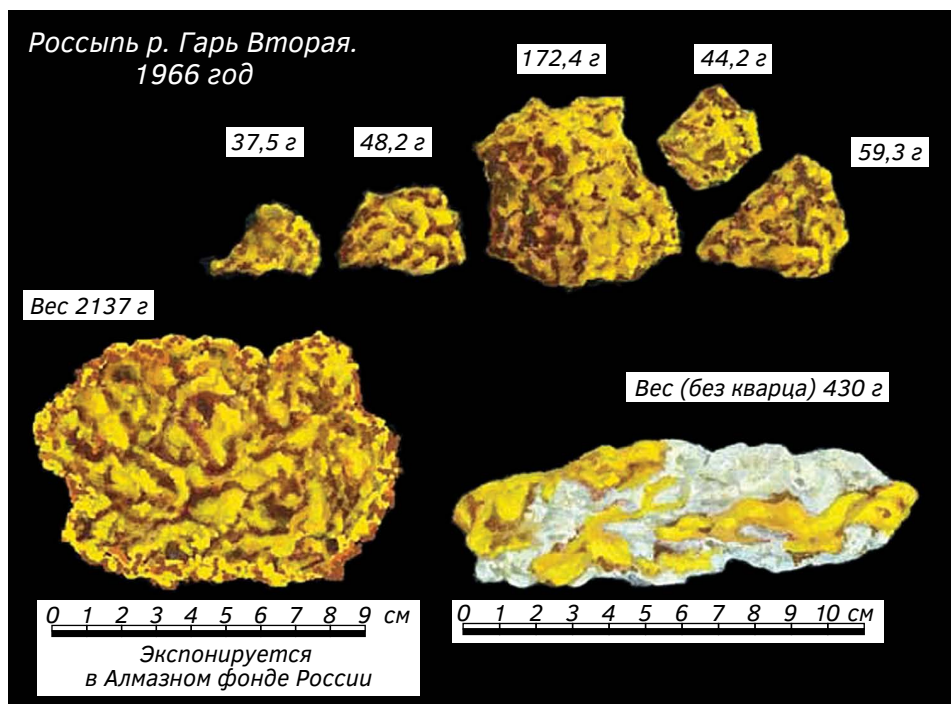


Рис. 2. Самородки золота из россыпи р. Гарь-2 [9]  
Fig. 2. Gold nuggets from the Gar-2 river placer [9]

что самородками была обогащена самая верхняя часть размываемых проявлений золота. Нередко наблюдались сростки россыпных золотинок и самородков с кварцем. Проба золота высокая — 875—900‰. В россыпном золоте и самородках отмечается значительная примесь ртути (до 3,8%). При анализе среза золотинок на рентгеноспектральном микроанализаторе JXA-5A установлено, что высокие содержания ртути сосредоточены в центральной части золотинок, а в высокопробной оболочке концентрация ее уменьшается до десятых долей процента. Анализ среза самородка весом 5 г, найденного нами в русле р. Уньи, показал, что проба золота в центральной части составляет 850‰, а в краевой — 967‰. Содержание ртути в центре самородка — 2,52%, в высокопробной оболочке — 0,4% [4]. Высокие содержания ртути в россыпном золоте отмечаются нередко. Например, в крупнейшем в мире палеороссыпном месторождении Витватерсранд примесь ртути в золоте меняется от 1,2 до 5,9% [17].

Высокие содержания ртути наблюдаются на золотокварцевом рудопоявлении Счастливого Унья-Бомского рудно-россыпного узла. Оно представлено золотоносными кварцевыми жилами и жильными зонами. Количество рудных минералов, среди которых преобладают шеелит, арсенопирит,

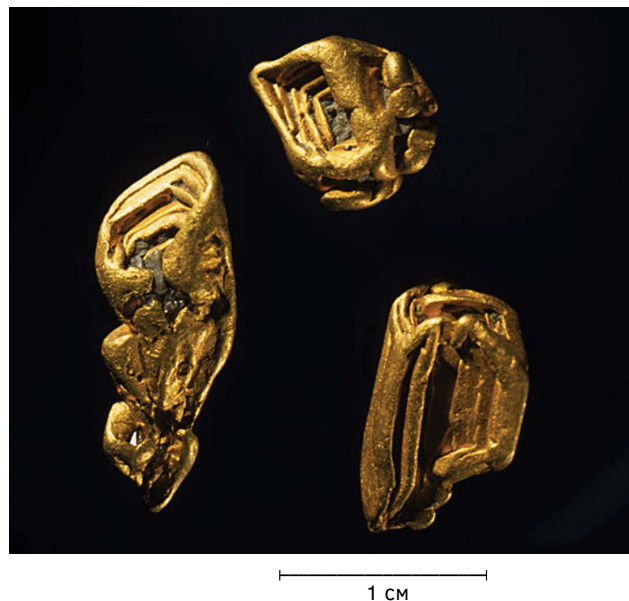


Рис. 3. Самородки ртутистого золота с включениями кварца из россыпи руч. Джескогон Унья-Бомского узла (Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва, <http://www.fmm.ru>)

Fig. 3. Nuggets of mercurous gold with quartz inclusions from the Dzheskogon stream placer of Unya-Bomsky node (RAS Fersman Mineralogical Museum, Moscow, <http://www.fmm.ru>)



галенит, самородное золото, не более 1—5%. Золото комковидное, жилковидно-пластинчатое, кристаллическое, друзовидное, проволоковидное. Проба его 880—900‰, главная особенность — значительная примесь ртути (первые проценты). Исследование состава золота на рентгеноспектральных приборах «Камебакс» и JXA-5A показало, что ртуть с содержанием 1,72—9,37% равномерно распределена по плоскости среза зерен золота. По краю зерен располагается кайма толщиной в 10—15 мкм, обогащенная ртутью. Равномерное повышенное содержание ртути в самородном золоте свидетельствует о значительной концентрации этого элемента в золоторудных гидротермальных растворах и одновременном отложении из них золота, серебра и ртути. К концу рудоотложения концентрация ртути в гидротермах, очевидно, возросла, что привело к формированию высокортутной каймы рудного золота.

#### Заключение

В результате исследования установлено, что крупное самородное золото и самородки Приамурья образовались за счет разрушения оруденения золотокварцевой формации. Наиболее крупное золото и самородки находятся в россыпях центральной части Приамурской провинции. Они образовались за счет разрушения верхней фронтальной части золотокварцевых месторождений. В богатом крупным золотом и самородками Унья-Бомском рудно-россыпном узле самородное золото в россыпях и проявлениях рудного золота обладает высокой пробой и значительной концентрацией примеси ртути, достигающей первых процентов. Преобладание самородков в россыпях золота объясняется размывом верхней части рудных месторождений и проявлений, содержащих крупное золото и самородки. Об этом свидетельствует и большое количество самородков в террасовых россыпях по отношению к русловым.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альшевский А.В. Крупнейшие колымские самородки золота // Золотодобыча. 2010. № 144. С. 17—20.
2. Золоторудные месторождения России / Под ред. М.М. Константинова. М.: Акварель. 2010. 349 с.
3. Моисеенко В.Г. Метаморфизм золота месторождений Приамурья. Хабаровск: Хабаровское книжное изд-во, 1965. 120 с.
4. Моисеенко В.Г., Карнаух Ю.А., Краснов Г.Ф. К вопросу о генезисе самородков золота месторождения Гарь-II // Вопросы золотоносности Дальнего Востока. Благовещенск: ДВНЦ, 1971. С. 132—136.
5. Неронский Г.И. Типоморфизм золота месторождений Приамурья. Благовещенск: АмурНЦ, 1998. 320 с.
6. Остапенко Н.С., Нерода О.Н., Сафронов П.П. Геологические условия, факторы формирования и особенности руд Покровского золотосеребряного месторождения (Приамурье) // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 5. С. 19—34.
7. Пересторонин А.Е. Боргуликанская золотомедная рудно-магматическая система в Приамурской золотоносной провинции // Руды и металлы. 2016. № 1. С. 63—77.
8. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 347 с.
9. Родионов В.Н. Амурские самородки золота. Зейская типография, 2010. 42 с.
10. Серебрянская Т.С. Особенности золота и метасоматитов Харгинского рудного поля // Разведка и охрана недр. 2010. № 8. С. 9—14.
11. Степанов В.А. Зональность золотокварцевого оруденения Центральной Колымы. Владивосток: Дальнаука, 2001. 70 с.
12. Степанов В.А. Унья-Бомский рудно-россыпной узел Приамурской золотоносной провинции // Известия вузов. Геол. и разв. 2014. № 6. С. 26—31.
13. Степанов В.А. Самородное золото Приамурской провинции // Записки РМО. 2018. Ч. CXLVIII. № 1. С. 25—37.
14. Fisher M.S. The origin and composition of alluvial gold // Bull. Inst. Miner. Met. 1935. Vol. 2. no. 9. 46 p.
15. Goriachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia // Ore geology Reviews. 2014. Vol. 59. P. 123—151.
16. Hough R.M., Butt C.R.M., Reddy S.M., Verrall M. Gold nuggets: supergene or hypogene? // Australian Journal of Earth Sciences. 2007. Vol. 54. no. 7. P. 959—964.
17. Oberthur T., Saager R. Silver and mercury in gold particles from Proterozoic Winwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implication // Econ. Geol. 1986. Vol. 81. no. 1. P. 20—31.
18. Seccombe P.K., Lu J., Andrew A.S., Gulson B.L. Nature and evolution of metamorphic fluids associated with turbidite-hosted gold deposits: Hill End, NSW, Australia // Mineral. Magaz. 1993. Vol. 57. no. 388. P. 423—436.
19. Seccombe P.K., Lu J. Timing of mineralization and source of fluids in a slate-belt auriferous vein system, Hill End goldfield, NSW, Australia // Lithos. 1996. no. 38. P. 147—165.

## REFERENCES

1. Alshevsky A.V. *The Largest Kolyma Gold Nuggets. Gold Mining*, 2010, no. 144, pp. 17—20. (In Russian).
2. *Gold deposits of Russia* / Ed. M.M. Konstantinova. Moscow, Akvarel'. 2010, 349 p. (In Russian).
3. Moiseenko V.G. *Metamorphism of gold deposits of the Amur region*. Khabarovsk: Khabarovsk book publishing house, 1965, 120 p. (In Russian).
4. Moiseenko V.G., Karnauh Yu.A., Krasnov G.F. *To the question of the genesis of gold nuggets from the Gar-II deposit // Issues of gold-bearing capacity of the Far East*. Blagoveshchensk: DVNC, 1971, pp. 132—136. (In Russian).
5. Neronsky G.I. *Typomorphism of gold deposits of the Amur region*. Blagoveshchensk: AmurNC, 1998, 320 p. (In Russian).
6. Ostapenko N.S., Neroda O.N., Safronov P.P. Geological conditions, factors of formation and features of ores of the Pokrovsky gold-silver deposit (Amur region). *Pacific Geology*. 2013, vol. 32, no. 5, pp. 19—34. (In Russian).
7. Perestoronin A.E. Borgulikanskaya gold-copper ore-magmatic system in the Amur gold-bearing province. *Ores and metals*, 2013, no. 1, pp. 63—77. (In Russian).
8. Petrovskaya N.V. *Native gold*. Moscow, Nauka. 1973. 347 p. (In Russian).
9. Rodionov V.N. *Amur gold nuggets*. Zeya: Zeya printing house, 2010, 42 p. (in Russ.).
10. Serebryanskaya T.S. Features of gold and metasomatites of the Kharga ore field. *Exploration and protection of mineral resources*, 2010, no. 8, pp. 9—14. (In Russian).
11. Stepanov V.A. *Zonality of gold quartz mineralization of the Central Kolyma*. Vladivostok: Dal'nauka. 2001, 70 p. (In Russian).
12. Stepanov V.A. Unya-Bomsky ore-placer knot of the Amur gold-bearing province. *News of universities. Geology and exploration*, 2014, no. 6, pp. 26—31. (In Russian).
13. Stepanov V.A. Native gold of the Amur province. *Notes of the RMS*, 2018. CH. CXLVIII, no. 1, pp. 25—37. (In Russian).
14. Fisher M.S. The origin and composition of alluvial gold. *Bull Inst. Miner. Met.*, 1935, vol. 2, no. 9. 46 p.
15. Goriachev N.A., Pirajno F. Gold deposits and gold metallogeny of Far East Russia. *Ore geology Reviews*, 2014, vol. 59, pp. 123—151.
16. Hough R.M., Butt C.R.M., Reddy S.M., Verrall M. Gold nuggets: supergene or hypogene? *Australian Journal of Earth Sciences*, 2007, vol. 54, no. 7, pp. 959—964.
17. Oberthur T., Saager R. Silver and mercury in gold particles from Proterozoic Winwatersrand placer deposits of South Africa: metallogenic and geochemical implication. *Econ. Geol.*, 1986, vol. 81, no. 1, pp. 20—31.
18. Seccombe P.K., Lu J., Andrew A.S., Gulson B.L. Nature and evolution of metamorphic fluids associated with turbidite-hosted gold deposits: Hill End, NSW, Australia. *Mineral. Magazin*, 1993, vol. 57, no. 388, pp. 423—436.
19. Seccombe P.K., Lu J., Timing of mineralization and source of fluids in a slate-belt auriferous vein system, Hill End goldfield, NSW, Australia. *Lithos*, 1996, no. 38, pp. 147—165.

## ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Stepanov V.A. — 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 AUTHOR

**Степанов Виталий Алексеевич** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН  
30, Северо-Восточное шоссе, г. Петропавловск-Камчатский 683002, Россия  
e-mail: [vitstepanov@yandex.ru](mailto:vitstepanov@yandex.ru)  
тел.: +7 (985) 440-29-64  
SPIN: 6764-5920  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>

**Vitaliy A. Stepanov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences  
30, Northeast Highway, Petropavlovsk-Kamchatsky 683002, Russia  
e-mail: [vitstepanov@yandex.ru](mailto:vitstepanov@yandex.ru)  
tel.: +7 (985) 440-29-64  
SPIN: 6764-5920  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7028-3662>



## АСИНХРОННОСТЬ РАЗВИТИЯ РИФОВ И РИФОСТРОЯЩЕЙ БИОТЫ. ПАЛЕОЗОЙ

В.Г. КУЗНЕЦОВ

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина  
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия*

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

### АННОТАЦИЯ

Проведен анализ развития рифов — мощных морфологически выраженных карбонатных массивов, созданных в результате жизнедеятельности каркасных организмов. Установлены крупные этапы рифообразования — раннекембрийский, ордовикский, силурийско-девонский, поздневизейско-серпуховский и пермский, верхние границы которых в целом определяются моментами массовых вымираний.

Главными рифостроителями раннего кембрия были археоциаты и эпифитоны. Рифы ордовика создавали губки, строматопороидеи, табуляты и мшанки. Строителями рифов самого длительного силурийско-девонского периода были строматопороидеи, табуляты, ругозы и в меньшей степени мшанки. Для рифов верхнего визе-серпухова каркасообразующими служили мшанки и кораллы. Набор строителей пермских рифов существенно изменился, это были губки, в меньшей степени мшанки при резком снижении доли кораллов.

Показано отсутствие строгого соответствия прекращения рифостроения и моментов вымирания, когда потенциальные рифостроители еще существовали, но вне рифового биоценоза. Аналогично, начало формирования рифов как геологических тел происходит несколько позже, чем появляются соответствующие каркасообразующие организмы. По-видимому, организмам разных групп нужно определенное время для создания дееспособного биоценоза, который образует рифовую экосистему, что и обуславливает формирование рифов. Эта экосистема оказывается устойчивой при относительно постоянных внешних условиях. При изменении последних, что в итоге и приводит к массовым вымираниям, этот биоценоз деградирует раньше, чем исчезают составляющие его организмы, и формирование рифов прекращается раньше вымирания организмов.

**Ключевые слова:** рифы, рифовая экосистема, массовые вымирания, палеозой

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

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

**Для цитирования:** Кузнецов В.Г. Асинхронность развития рифов и рифостроящей биоты. Палеозой. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):54—62.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62>

# ASYNCHRONOUS DEVELOPMENT OF REEFS AND REEF-BUILDING BIOTA. PALEOZOIC

VITALY G. KUZNETSOV

*National University of Oil and Gas*

*65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia*

*Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences*

*3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia*

## ABSTRACT

This work analyses the development of reefs, which represent thick morphologically expressed carbonate massifs created by the activity of frame-forming organisms. Major stages in the development of reefs include the periods of Early Cambrian, Ordovician, Silurian-Devonian, Late Viséan-Serpukhovian and Permian, the upper boundaries of which are generally determined by mass extinction events.

The main reef builders during the Early Cambrian were archaeocyatha and epiphytaceans, while Ordovician reefs were created by sponges, stromatoporoids, tabulata and bryozoans. Stromatoporoid, tabulata, rugose and, to a lesser extent, bryozoans were the reef builders during the longest Silurian-Devonian period. Bryozoans and corals served as the frame-forming organisms for Upper Viséan-Serpukhovian reefs. However, during the Permian, reefs were built primarily by sponges and, to a lesser extent, by bryozoans and corals.

It is shown that there is no strict correspondence between the termination of reef formation and the beginning of extinction events. During extinction periods, potential reef builders did exist, although beyond the reef biocoenosis structure. Similarly, the beginning of reef formation occurs somewhat later than the appearance of the corresponding frame-forming organisms. Apparently, it takes time for organisms to develop such a biocoenosis that could trigger the formation of reef ecosystems. Reef ecosystems are stable under relatively constant external conditions, changes in which cause first the degradation of the biocoenosis and then the extinction of its constituent organisms. Therefore, the process of reef formation is terminated before the actual extinction of organisms.

**Keywords:** reefs, reef ecosystem, mass extinctions, Paleozoic

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

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

**For citation:** Kuznetsov V.G. Asynchronous development of reefs and reef-building biota. Paleozoic. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):54—62. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-54-62>

## Постановка задачи и объект исследования

В сферу интересов европейской науки рифы вошли в эпоху великих географических путешествий и открытий и более осознано и целеустремленно — с конца XVIII века, когда во время второй экспедиции Дж. Кука был открыт Большой Барьерный риф Австралии, а участник этой экспедиции немецкий натуралист Рейнгольд Форстер установил, что эти рифы созданы кораллами, и возникло представление о коралловых и, в более общем виде, органогенных рифах. Уже в начале XIX века были выявлены древние ископаемые рифы. В первой половине XX века стало ясно, что органогенные сооружения достаточно разнообразны, были введены

понятия «биостром» и «биогерм», а во второй его половине — «органогенная постройка» (organic buildup). Последний термин, по остроумному замечанию академика О.С. Вялова, оказался «безалкогольным», то есть крайне широким и неопределенным. Были предприняты попытки создать некоторую иерархию: первый уровень — органогенная постройка, которая включала биостромы и биогермы, и второй, более высокий — собственно рифы. При этом в определение кроме механизма образования — за счет жизнедеятельности организмов — включался и второй показатель — морфология постройки: пластовая в случае биострома и холмовидная в случае биогермов и рифов.



В свою очередь, холмовидные образования начали подразделяться по наборам строящих их организмов. Так, В. Кисслинг и Э. Флюгель [20] подразделили подобные сооружения на три типа:

1 — истинные рифы (true reefs), где рифо-строящие организмы образуют твердый каркас. В определенной степени этот термин соответствует экологическим рифам Данэма [17];

2 — рифовые холмы (reef mounds), где скелетные организмы обильны, но нет очевидных доказательств, что они создают твердый каркас. Значительную роль в образовании последнего играют микробиально-водорослевые сообщества. Н. Джеймс и П. Бурко выделяют подобные образования под названием скелетные холмы [19]. По-видимому, этот тип является наиболее распространенным, так как во всех крупных массивах собственно каркасные организмы и созданные ими тела составляют часть, и нередко не самую значительную, всего сооружения;

3 — иловые холмы (mud mounds), где скелетные организмы если присутствуют, то имеют очень небольшое значение в создании постройки; в этой связи основные породы этих образований — пелитоморфные и микрозернистые известняки с редкими остатками скелетной фауны.

Обзор основных терминов, относящихся к обсуждаемой тематике, был проведен в специально подготовленном словаре-справочнике, где риф определен как «сложное геологическое образование, возникшее в результате жизнедеятельности колониальных или нарастающих организмов, живших вблизи поверхности воды и обладающих волноустойчивым потенциалом и представляющее собой карбонатный массив, сложенный, по крайней мере частично, остатками организмов и продуктами их разрушения, возвышающийся в период своего формирования над дном окружающего моря и образующий волнолом. Поскольку скорость роста рифа превышает скорость накопления окружающих осадков, его мощность больше мощности синхронных отложений» [14].

По сути дела, это определение включает два первых типа построек В. Кисслинга и Э. Флюгеля. В аналогичном значении понятие «иловый холм» используется и в настоящей работе.

Мировая литература по рифам, их биоте, составу, строению, распространению в пространстве и времени огромна. В 1992 г. Э. Флюгель и Э. Флюгел-Калер составили библиографию по фанерозойским рифам, которая заняла более 100 журнальных страниц формата А4 и включала более

5000 наименований [17]; количество публикаций по проблеме с тех пор существенно возросло, причем как в нашей стране, так и за рубежом были изданы монографии и специальные тематические сборники [3, 12, 13, 22, 23 и др.] и многие сотни статей. Другими словами, материал по ископаемым рифам огромен, и создавать еще какие-либо обзоры по распределению рифов по площади и в стратиграфическом разрезе, равно как и подробно характеризовать рифы разных возрастов и регионов, в целом нет никакой необходимости, поэтому в данной работе приведен лишь краткий обзор и краткая характеристика рифов палеозоя.

Для решения поставленной задачи требуется очень дробная стратиграфия и точная корреляция узких стратиграфических подразделений, в том числе между весьма удаленными друг от друга регионами, что по ряду причин удается далеко не всегда, но в целом общую картину выявить более или менее достоверно, с теми или иными затруднениями, все же возможно, что и составило содержание настоящей работы.

#### Распределение рифов в разрезе палеозоя

В палеозойской истории установлено пять крупных циклов рифообразования: раннекембрийский, ордовикский, самый продолжительный и самый значительный по количеству регионов их распространения и мощности отдельных сооружений, силурийско-франский, поздневизейско-серпуховский и пермский, верхние границы которых определяются моментами массовых вымираний на границах ранний-средний кембрий, ордовик-силур, фран-фамен, серпухов-башкир и пермь-триас (рис.).

Характеристика рифов соответствующих этапов и их биоты дана в серии предыдущих публикаций [2—9 и др.], поэтому здесь не рассматривается, а обсуждаются более конкретные вопросы соотношения собственно рифообразования как такового и рифостроящей биоты.

Кембрийский цикл рифообразования был относительно кратким в палеозойской истории Земли — рифы развивались в течение 18—19 млн лет.

Рифы этого цикла развиты в Алтай-Саянской складчатой области, в Монголии, Канаде, Австралии и на Сибирской платформе, где они, по-видимому, наиболее изучены. Каркасообразующими организмами были археоциаты; аналогичные функции, возможно хотя бы частично, выполняли кустистые эпифитоны. Основным объемом карбонатного материала поставляли водоросли и микробиальные сообщества.

| Сис-тема        | Отдел        | Ярус          | Абс. возраст, млн лет | Рифы | Иловые холмы | Биотические кризисы (Алексеев, 1989) |
|-----------------|--------------|---------------|-----------------------|------|--------------|--------------------------------------|
| Пермская        | Лопинский    | Чансинский    | 298,9                 |      |              |                                      |
|                 |              | Вучапинский   |                       |      |              |                                      |
|                 | Гваделупский | Кептенский    |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Вордский      |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Родский       |                       |      |              |                                      |
|                 | Приуральский | Кунгурский    |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Артинский     |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Сакмарский    |                       |      |              |                                      |
| Каменноугольная | Верхний      | Ассельский    | 358,9                 |      |              |                                      |
|                 |              | Гжельский     |                       |      |              |                                      |
|                 | Средний      | Касимовский   |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Московский    |                       |      |              |                                      |
|                 | Нижний       | Башкирский    |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Сerpуховский  |                       |      |              |                                      |
| Девонская       | Верхний      | Визейский     | 419,2                 |      |              |                                      |
|                 |              | Турнейский    |                       |      |              |                                      |
|                 | Средний      | Фаменский     |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Франский      |                       |      |              |                                      |
|                 | Нижний       | Живетский     |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Эйфельский    |                       |      |              |                                      |
| Силурийская     | Верхний      | Эмский        | 443,4                 |      |              |                                      |
|                 |              | Празжский     |                       |      |              |                                      |
|                 | Средний      | Лохковский    |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Пржидольский  |                       |      |              |                                      |
|                 | Нижний       | Лудловский    |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Лудфордский   |                       |      |              |                                      |
| Ордовикская     | Верхний      | Горстийский   | 485,4                 |      |              |                                      |
|                 |              | Хирнантский   |                       |      |              |                                      |
|                 | Средний      | Катийский     |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Сандбийский   |                       |      |              |                                      |
|                 | Нижний       | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
| Кембрийская     | Верхний      | Дарривильский | 541,0                 |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 | Средний      | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 | Нижний       | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |
|                 |              | Дарривильский |                       |      |              |                                      |

Рис. Схема цикличности рифообразования палеозоя

Fig. Scheme of cyclicity of Paleozoic reef formation

Дробная стратиграфия отдельных ярусов нижнего кембрия, которая, как отмечено выше, нужна для целей настоящего исследования, практически отсутствует, однако некоторые примеры рифов Сибирской платформы, где установлены самые древние рифы, позволяют предполагать, что собственно рифы начинают формироваться не с самого начала кембрия — в основании осинского горизонта вначале отлагаются слоистые карбонатные отложения, в том числе и с археоциатами, и лишь затем начинают формироваться собственно рифовые сооружения.

После первого фанерозойского вымирания на границе тойонского и амгинского ярусов рифообразование прекратилось, возникали постройки только микробиально-водорослевые, а возможные каркасообразователи в виде губок развивались вне рифового биоценоза.

Средний, поздний кембрий, ранний и начало среднего ордовика — тремадокский и аренигский века общей стратиграфической шкалы, тремадокский, флосский, дапинский и начало дарривилльского веков международной шкалы — это время отсутствия рифов, становление которых относится лишь во второй половине дарривилльского века (лландоверийского общей шкалы). Важно отметить, что каркасные организмы — потенциальные рифостроители появились в геологической истории раньше — строматопороидей и кораллы в тремадоке и раннем арениге, мшанки в конце раннего — начале среднего ордовика [12, 24 и др.].

Другими словами, рифовый биоценоз, который и привел к формированию морфологически выраженных «истинных рифов», сложился позднее возникновения собственно составляющих его организмов.

Основное ордовикское рифообразование с некоторыми колебаниями его интенсивности продолжалось порядка 24—25 млн лет и происходило в дарривилском, сандбийском и катийском веках, и в ограниченных масштабах в начале хирнантского века, хотя каркасные возможно рифостроящие организмы еще существовали [5].

После мощного, но в целом кратковременного и не столь катастрофического, как следующее фран-фаменское, вымирания на границе ордовик-силур начался третий, самый длительный — порядка 69 млн лет силурийско-девонский цикл рифообразования, который закончился до конца девона — на границе франа и фамена. Он также является периодом и самого масштабного рифообразования как по числу областей развития рифов, так и по мощностям и разнообразию

построек. Этот цикл состоит из двух этапов с относительным сокращением формирования рифов в начале девона — лохковском и пражском веках, что, однако, не повлияло принципиально на состав основных рифостроителей, которыми, как и ранее, были строматопороидеи, кораллы, главным образом табуляты, и мшанки. Закончился этот цикл на стратиграфической границе относительно низкого уровня — франского и фаменского веков.

Распространены рифы силурийско-франского этапа в пределах Восточно-Европейской (Русской) платформы и Урала, Северо-Американской платформы и Кордильер, в Казахстане, Алтай-Саянской и Верхояно-Колымской областях, на Чукотке, в Монголии, Китае и Австралии, то есть практически по всему земному шару [3, 4, 7—9, 12, 23 и др.].

Ряд небольших построек, часто даже не соответствующих принятому в настоящей работе понятию рифа, описан в начале силура — в нижнем руддании, в частности в бассейне Мичиган [15, 16], однако дальнейшего развития они не получили и силурийское собственно рифообразование началось лишь в конце лландовери, а массовое с венлока, возможно, скорее, даже не с самого его начала.

Основными организмами-каркасообразователями силурийско-девонского этапа были кораллы, главным образом табуляты, строматопороидеи, мшанки. Как и всегда в рифах, обильны водоросли и микробиальные сообщества как важные поставщики материала и его цементации.

Что касается окончания рифостроения, то на ряде конкретных примеров востока Русской платформы, Западно-Канадского бассейна, Австралии, Китая и горно-складчатых областей (Гарц, Германия) показано, что собственно рифы исчезли ниже границы фран-фамен, до события Кельвассер, которое завершило вымирание, когда потенциальные рифостроители еще существовали, но вне рифового биоценоза [4—9].

После массового вымирания на границе фран-фамена каркасное рифостроение в рассматриваемом в данной работе смысле практически прекратилось, шло формирование иловых холмов в их «классическом» выражении, в частности в виде уолсортских фаций. В ряде случаев в них встречаются остатки и каркасных рифостроителей, например в фаменских сооружениях Печорской синеклизы в виде разрозненных строматопороидей, но каркасообразующего значения они не имели. Временной интервал подобного развития иловых холмов: фамен — средний визе.

С позднего визе каркасное рифостроение возобновилось, и оно охватило серпуховский век. Это был самый короткий в палеозое цикл рифообразования, который продолжался порядка 16 млн лет.

Рифам этого цикла посвящена специальная статья [6], поэтому можно ограничиться очень кратким описанием этих образований. В пределах Евразии они известны в Западной Европе в Великобритании, Бельгии и Франции, в Донбассе, на западных и восточных склонах Урала, в Прикаспийской впадине по ее западному обрамлению и непосредственно во впадине в виде крупных массивов Тенгиз, Карачаганак и др., в Восточном Казахстане, на северо-востоке в Алазейской складчатой области и Сихотэ-Алине. Рифы этого возраста описаны на востоке Канады и США, в Австралии. Каркасными строителями были мшанки и кораллы (преимущественно табуляты), но везде в значительных, а иногда и преобладающих (Злоказовские рифы Западного Урала) присутствовали микробияльно-водорослевые компоненты.

Не самое значительное по масштабу вымирание организмов на границе серпухов-башкир определило, однако, длительное — в течение среднего и позднего карбона, прекращение рифообразования, хотя потенциальные рифостроители в виде кораллов, мшанок и строматопорат еще существовали. Следует, однако, отметить, что количество последних было существенно ограничено, равно как и кораллов, разнообразие которых, по данным А.С. Алексеева [1], на этом рубеже сократилось на 80%.

К сожалению, не удалось найти разрезы с очень дробными и детальными подразделениями, поэтому не установлено, прекратилось ли рифообразование точно на рубеже вымирания на границе серпухов-башкир, или оно завершилось несколько раньше, как это установлено в конце ордовика и конце франа. Что касается начала рифообразования, то оно, как отмечено выше, произошло значительно позднее франско-фаменского вымирания.

Новый, последний цикл палеозойского рифообразования датируется пермским периодом и продолжался, видимо, 45—47 млн лет.

Нижне- и среднепермские образования широко развиты на Русской платформе, в Прикаспийской впадине, на Урале, на Северо-Американском континенте, в пределах Северной и Центральной Европы, средне-верхнепермские на Кавказе, Памире, в Иране, Пакистане, Китае, где они, по-видимому, наиболее подробно изучены.

Состав пермских рифостроителей существенно отличается от такового предыдущих этапов. Практически потеряли свое значение кораллы, в ранней перми относительно сохранили эти функции мшанки, но основная роль перешла к губкам, разнообразие таксонов которых, особенно в поздней перми, существенно расширилось. Для целей настоящей работы очень важные сведения предоставляют рифы Южного Китая, где показано, что собственно рифы ни в одном случае не достигают границы перми и триаса, разрезы самого конца перми над рифами завершаются карбонатными слоистыми отложениями с тем же набором организмов, что и рифовые образования [11, 21].

### Соотношение рифообразования и развития рифостроящих организмов

Приведенный краткий обзор временного развития рифов и рифостроящих организмов показывает отсутствие строгого соответствия между ними.

Оставляя пока кембрийский цикл, следует отметить, что после появления рифостроящей биоты необходимо определенное время, чтобы эти организмы сформировали определенный биоценоз, определенную экосистему, которая уже и создает рифовые постройки. Это отчетливо видно на примере ордовика, когда соответствующие организмы возникли в раннем и начале среднего ордовика, а рифы появились лишь в конце среднего ордовика. Неизмеримо более длительное время оказалось необходимым для начала поздневизейско-серпуховского и пермского циклов рифогенеза. Не исключено, что в этих случаях существовали какие-то иные, дополнительные причины столь длительной задержки начала формирования соответствующих рифов.

Несоответствие временного появления рифостроителей и создаваемых ими рифов отмечены и в случае пермского цикла. Мшанки, одна из важнейших групп, участвовавших в создании рифов, особенно в ранней и средней перми, существовали в карбоне, тубифиты — одни из важных и специфических строителей рифов последнего палеозойского цикла появились еще в позднем карбоне, но настоящее массовое рифостроение началось лишь с начала перми.

Не очень ясна ситуация с началом кембрийского рифообразования. С одной стороны, поскольку рифостроящими каркасообразователями являются только археоциаты, рифы могли формироваться сразу с начала кембрия. С другой не исключено, что становление специфической рифовой экосистемы археоцат и микробияльно-



водорослевых сообществ, включая эпифитоны, ренальцисы и другие подобные формы, могло сложиться с некоторым запаздыванием, и тогда реализуется ранее предложенный вариант — появление сначала биостромов и биогермов, и лишь затем, с тем или иным запаздыванием, — началось собственно рифообразование [2].

Касаясь вопроса о соотношении времени прекращения рифообразования и границ массовых вымираний, можно констатировать, что также отмечается временное несоответствие прекращения развития рифов и создающих (строющих) их организмов — оно начинается раньше границы биотических кризисов и массовых вымираний, что было отмечено ранее [7—10].

Дело, видимо, в том, что рифовая экосистема в климаксовой стадии максимального развития в определенной степени замкнута сама на себя и устойчива при стабильных внешних условиях. При изменении последних она как единая система в трофических и медиотопических отношениях становится неустойчивой, деградирует и распадается, хотя отдельные, составляющие

ее таксоны еще существуют. Границы вымираний, «событий», таких как отмеченное выше событие Кельвассер, — это завершающий момент массовых вымираний, вызванных изменениями внешней среды. Подобное обстоятельство фиксируется на границах ордовика и силура, франа-фамена, перми и триаса [5, 7—10].

Менее ясна, как и раньше, ситуация с окончанием кембрийского рифообразования. Не исключено, что очень ограниченный в систематическом отношении биоценоз, где скелетными являлись лишь археоциаты, обусловил прекращение рифостроения одновременно с исчезновением последних.

Таким образом, рифостроящие каркасообразующие организмы появляются в геологической истории раньше, чем начинается образование самих рифов — требуется определенное время для формирования рифового биоценоза, собственной рифовой экосистемы. При изменении внешних условий, которые в итоге приводят к массовым вымираниям, эта рифовая экосистема деградирует и распадается раньше, чем наступит максимум вымирания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.С. Типизация фанерозойских событий массового вымирания организмов // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2000. № 5. С. 6—14.
2. Кузнецов В.Г. Кембрийское рифообразование в пределах России // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1998. Т. 6. № 6. С. 82—91.
3. Кузнецов В.Г. Палеозойское рифообразование на территории России и смежных стран. М.: ГЕОС, 2000, 228 с.
4. Кузнецов В.Г. Эволюция карбонатакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.
5. Кузнецов В.Г. Рифы позднего ордовика и биологический кризис на границе ордовик-силур // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2018. Т. 26. № 3. С. 24—30. <https://doi.org/10.1134/S0869593818030085>
6. Кузнецов В.Г., Антошкина А.И. Поздневизейскосерпуховский этап палеозойского рифообразования // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 13. № 4. С. 61—77.
7. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Рифовые образования Западно-Канадского бассейна и их нефтегазоносность // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 3. С. 257—273. <https://doi.org/10.7868/S0024497X18030047>
8. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Девонское рифообразование в обрамлении Прикаспийской впадины // Литология и полезные ископаемые. 2018. № 5. С. 432—443. <https://doi.org/10.1134/S0024497X18050063>
9. Кузнецов В.Г. Журавлева Л.М. Рифообразование в эпохи вымираний: граница франа-фамена и девона-карбона // Доклады АН. 2018. Т. 481. № 4. С. 410—413.
10. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М. Геологические и биологические причины прекращения рифообразования, палеозой // Литология и полезные ископаемые. 1919. № 2. С. 119—129.
11. Кузнецов В.Г., Журавлева Л.М., Лю Шицы. Верхнепермские рифы Южного Китая — последние рифы палеозоя // Литосфера. 2019. Т. 19. № 3. С. 386—392.
12. Рифогенные постройки в палеозое России. М.: Наука, 1997. 167 с.
13. Рифогенные формации и рифы в эволюции биосферы. М.: ПИН, 2011. 228 с.
14. Современные и ископаемые рифы. Термины и определения. Справочник. М.: Недра, 1990. 184 с.
15. Copper P. Evolution, Radiations, and Extinction in Proterozoic to Mid-Paleozoic reefs // The History and Sedimentology of Ancient reef Systems. New York: Kluwer, 2001. P. 89—119.
16. Copper P. Silurian and Devonian reefs: million years of global greenhouse between two Ice ages // SEPM Sp. Publ. 2002. No 72. P. 18—238.
17. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to deposition texture // Classification of Carbonate rocks. AAPG. Memorr. 1. 19612. P. 108—121.
18. Fluegel E., Fluegel-Kahler E. Phanerozoic reef evolution: Basic Questions and Data Base // Facies. 1992. Vol. 26. P. 167—278.

19. James N.P., Bourque P.A. Reef and mounds // *Facies Models: Response to Sea Level Change: Geological association of Canada*. 1992. P. 323—347.
20. Kiessling W., Fluegel E. Paleoreefs — a database on Phanerozoic Reefs // *SEPM Sp. Publ.* 2002. No 72. P. 77—92.
21. Kuznetsov V.G. Reef Construction in the Second Half of the Permian and Biotic Crisis at the Permian-Triassic Boundary // *Stratigraphy and Geological Correlation*. 2008. Vol. 26. No 7. P. 743—758.
22. Phanerozoic Reef Patterns / W. Kissling, E. Fluegel, J. Golonka, eds. *SEPM Sp. Publ.* 2002. No 72.
23. The History and Sedimentology of Ancient reef Systems / ed. G.D. Stanley. Kluwer. New York, 2001. 458 p.
24. Webby B. Pattern of Ordovician Reef Developments // *SEPM Sp. Publ.* No 72. P. 129—179.

## REFERENCES

1. Alekseev A.S. Typification of Phanerozoic events of mass extinction of organisms. *Vestnik MGU. Seriya 4. Geologiya — Moscow University Geology Bulletin*, 2000, no. 4, pp. 6—14. (In Russian).
2. Kuznetsov V.G. Cambrian reef formation within Russia. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 1998, no. 6, pp. 82—91. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G. *Paleozoic reef formation in Russia and adjacent countries*. Moscow, Geos, 2000, 228 p.
4. Kuznetsov V.G. *Evolution of the carbonate formation in the Earth's history*. Moscow, Geos, 2003, 262 p. (In Russian).
5. Kuznetsov V.G. Late Ordovician reefs and the biological crisis at the Ordovician-Silurian Boundary. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 2018, vol. 26, no. 3, pp. 24—30. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S0869593818030085>
6. Kuznetsov V.G., Antoshkina A.I. The late Visean-Serpukhovian stage in Paleozoic reef formation. *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya [Stratigraphy and Geological Correlation]*, 2005, vol. 13, no. 4, pp. 61—77. (In Russian).
7. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Reef Formations in the West Canada Basin and Their Oil and Gas Potential. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 2018, no. 3, pp. 257—273. (In Russian). <https://doi.org/10.7868/S0024497X18030047>
8. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Devonian Reef Formation in the Caspian Basin Framing. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 2018, vol. 53, no. 5, pp. 432—443. (In Russian). <https://doi.org/10.1134/S0024497X18050063>
9. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Reef Formation during Mass Extinction Events: Frasnian—Famennian and Devonian—Carboniferous Boundaries. *Doklady AN [Doklady Earth Sciences]*, 2018, vol. 481, no. 4, pp. 410—413. (In Russian).
10. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M. Geological and Biological Reasons for the Cessation of Reef Formation: Evidence from the Paleozoic. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and Mineral Resources]*, 1919, no. 2, pp. 119—129. (In Russian).
11. Kuznetsov V.G., Zhuravleva L.M., Lyu Shitsy. The Upper Permian reefs of South China are last reefs of the Paleozoic. *Litosfera [Lithosphere]*, 2019, vol. 19, no. 3, pp. 386—392. (In Russian).
12. *Reef construction in the Paleozoic of Russia*. Moscow, Nauka, 1997, 167 p. (In Russian).
13. *Reef formations and reefs in the evolution of the biosphere*. Moscow, PIN, 2011, 228 p. (In Russian).
14. *Modern and fossil reefs. Terms and definitions*. Handbook. Moscow, Nedra, 1990, 184 p. (In Russian).
15. Copper P. *Evolution, Radiations, and Extinction in Proterozoic to Mid-Paleozoic reefs* // In: The History and Sedimentology of Ancient reef Systems. New York, Kluwer, 2001, pp. 89—119.
16. Copper P. Silurian and Devonian reefs: million years of global greenhouse between two Ice ages. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72, pp. 18—238.
17. Dunham R.J. Classification of carbonate rocks according to deposition texture // In: Classification of Carbonate rocks. *AAPG. Memoir*, 1961, vol. 2, pp. 108—121.
18. Fluegel E., Fluegel-Kahler E. Phanerozoic reef evolution: Basic Questions and Data Base. *Facies*, 1992, vol. 26, pp. 167—278.
19. James N.P., Bourque P.A. Reef and mounds // *Facies Models: Response to Sea Level Change: Geological association of Canada*, 1992, pp. 323—347.
20. Kiessling W., Fluegel E. Paleoreefs — a database on Phanerozoic Reefs. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72. P. 77—92.
21. Kuznetsov V.G. Reef Construction in the Second Half of the Permian and Biotic Crisis at the Permian-Triassic Boundary. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 2008. Vol. 26, no. 7, pp. 743—758.
22. Phanerozoic Reef Patterns / W. Kissling, E. Fluegel, J. Golonka, eds. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72.
23. *The History and Sedimentology of Ancient reef Systems* / ed. G.D. Stanley. New York, Kluwer, 2001, 458 p.
24. Webby B. Pattern of Ordovician Reef Developments. *SEPM Sp. Publ.*, 2002, no. 72, pp. 129—179.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Кузнецов Виталий Германович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина  
65, Ленинский проспект, г. Москва 119991, Россия  
Главный научный сотрудник Института проблем нефти и газа РАН  
3, ул. Губкина, г. Москва, 119333, Россия  
e-mail: [vgkuz@yandex.ru](mailto:vgkuz@yandex.ru)  
тел.: +7 (495) 330-39-42  
SPIN: 9477-8454  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

**Vitaliy G. Kuznetsov** — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., National University of Oil and Gas  
65, Leninsky ave., Moscow 119991, Russia  
Chief researcher of Oil and Gas Research Insnitute, Russian Academy of Sciences  
3, Gubkin str., Moscow 119333, Russia  
e-mail: [vgkuz@yandex.ru](mailto:vgkuz@yandex.ru)  
tel.: +7 (495) 330-39-42  
SPIN: 9477-8454  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4425-0119>

## ЭОЛОВЫЕ ПЕСКИ СЕВЕРНОЙ АФРИКИ И ЮГО-ЗАПАДА АРАВИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ОАЭ)

Е.В. РАХИМОВА<sup>1,\*</sup>, А.К. НАРАВАС<sup>1</sup>, Е.О. ДЕРНОВА<sup>2</sup>, А.Ш. МАХМУД<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН)  
13, стр. 2, Уланский переулок, г. Москва 101000, Россия

<sup>3</sup> Университет Файюма  
Аль-Файюм 63514, Египет

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Большинство пустынь мира образовалось в пределах древнеаллювиальных речных, дельтовых и озерных долин, побережий. Материал, переносимый ветром на многие сотни и тысячи километров, примешивается к осадкам разных генетических типов, поэтому распознавание эоловой обстановки затруднено, что также связано со схожестью физической сущности ветрового и водного переноса осадка.

**Цель исследования.** Авторы, используя инновационные методы исследований, ставили перед собой несколько целей: дать качественную структурную характеристику песков; выявить и охарактеризовать факторы, способствующие образованию и сохранению железистой пленки на зернах; установить генезис перевеваемых отложений, а также связь с материнскими породами.

**Материалы и методы.** Авторами были отобраны и изучены современные эоловые отложения трех пустынь: Руб-эль-Хали (Объединенные Арабские Эмираты), Нубийская (Египет) и Большой Западный Эрг (Алжир). При исследованиях использовался гранулометрический анализ, позволяющий характеризовать трехмерное тело тремя параметрами (длиной, шириной, толщиной); рентгеноструктурный анализ с регистрацией дифрактограмм на дифрактометре ARL X'tra (Швейцария); также пробы изучались под биноклем в отраженном свете и в электронном микроскопе.

**Результаты.** В результате исследований был получен минеральный состав, построены графики зависимости (гистограммы) распределения размеров зерен кварца как самого распространенного минерала песков по размерам и частотам встречаемости, проанализирована форма и характер поверхности зерен.

**Заключение.** По результатам исследований были сделаны выводы о причинах матовости зерен, что она может зависеть от наличия кальцитовая пленки на зернах, а не только от микротрещиноватости как наиболее распространенного признака ветрового переноса; о факторах, способствующих формированию и сохранению железистой пленки (пустынный загар); об условиях формирования эоловых песков, установлен генезис перевеваемых отложений.

**Ключевые слова:** пустыни, эоловые отложения, гранулометрический анализ, кварц, кальцитовая пленка, оксиды железа

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

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

**Для цитирования:** Рахимова Е.В., Наравас А.К., Дернова Е.О., Махмуд А.Ш. Эоловые пески Северной Африки и юго-запада Аравийского полуострова (ОАЭ). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):63—74. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-63-74>

\* Автор, ответственный за переписку



## AEOLIAN SANDS IN NORTH AFRICA AND THE SOUTHWEST OF THE ARABIAN PENINSULA

ELENA V. RAKHIMOVA<sup>1,\*</sup>, ANTON K. NARAVAS<sup>1</sup>, ELENA O. DERNOVA<sup>2</sup>, ABDELHALIM S. MAHMOUD<sup>1,3</sup>

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

<sup>2</sup> Sergeev institute of environmental geoscience RAN (IEG RAS)  
13/2, Ulansky lane, Moscow 101000, Russia

<sup>3</sup> Department, Faculty of Science, Fayoum University  
Fayoum City 63514, Egypt

### ABSTRACT

**Background.** The majority of the world's deserts were formed within the valleys and coasts of ancient alluvial rivers and lakes. The material carried across many hundreds and thousands of kilometres by the wind was mixing with sediments of various genetic types. In addition, due to the similar physical nature of the wind and water transport of sediments, the recognition of the aeolian environment can be problematic.

**Aim.** Using innovative research approaches, to provide a qualitative structural description of sands; to identify and characterize factors contributing to the formation and preservation of a ferruginous film on grains; to establish the genesis of the transferred sediments, as well as the relationship with the parent rocks.

**Materials and methods.** Samples for analysis were collected from aeolian deposits in three deserts: Rub al Khali (United Arab Emirates), Nubian desert (Egypt) and Grand Erg Oriental (Algeria). Particle size analysis was used to characterize samples in terms of three parameters (length, width, thickness). X-ray diffraction analysis was carried out using an ARL X'tra diffractometer (Switzerland). The collected samples were also studied using a binocular microscope in reflected light and a scanning electron microscope.

**Results.** The mineral composition of the sands under study was examined. The graphs (histograms) of the size distribution of quartz grains (being the most common sand mineral in terms of size and frequency of occurrence) were plotted. The shape and nature of the grain surface were analysed.

**Conclusion.** The frosting on aeolian sand grains can result not only from micro-cracking as the most common sign of wind transfer, but also from the presence of a calcite film on grains. Factors contributing to the formation and preservation of a ferruginous film (desert varnish) were identified. The conditions for the formation of aeolian sands, as well as the genesis of such sand sediments, were established.

**Keywords:** deserts, eolian deposits, particle size analysis, quartz, calcite film, iron oxides

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

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

**For citation:** Rakhimova E.V., Naravas A.K., Dernova E.O., Mahmoud A.S. Aeolian sands in North Africa and the Southwest of the Arabian Peninsula. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):63—74. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-63-74>

\* Corresponding author

### Фактический материал

В качестве объекта исследований рассматриваются золотые пески Сахары: Нубийской пустыни (Египет), Большой Западный Эрг (Алжир) и пустыни Руб-эль-Хали (ОАЭ) (рис. 1). Образцы были отобраны авторами, за исключением образца из пустыни Большой Западный Эрг, который любезно предоставил А.В. Сурков.

### Методики исследований

При изучении песков использовался гранулометрический анализ, являющийся частью грануломинералогического анализа, разработанного А.В. Сурковым [6].

Гранулометрический анализ заключается в выделении из породы песчаной компоненты (0,05—2,5 мм) с последующим измерением номинеральных фракций минералов. Необходимая навеска для проведения анализа составляет 50—70 г. Измерения проводятся по трем осям: ось А — длина зерна, ось В — ширина зерна, ось С — толщина зерна в отраженном свете под бинокляром. Точность измерений — до  $\pm 0,01$  мм. Необходимо все измерения вести при одном и том же увеличении и соблюдать правило:  $A \geq B \geq C$ . По результатам измерений строятся гистограммы распределения минералов по размерам и частотам встречаемости.

Каждый генетический тип отложений характеризуется определенным спектром размеров и типом гистограммы [3]. Спектр размеров — это

диапазон значений размеров обломочных частиц от минимального до максимального по соответствующей оси. Он может быть непрерывным в интервале спектра и прерывистым (размер перерыва больше 0,02 мм). Ширина спектра размеров и интервалы непрерывности характеризуют степень сортировки обломочных частиц.

В отличие от общепринятой методики гранулометрического анализа предлагаемая методика позволяет: 1 — трехмерное тело (зерно, минерал) характеризовать тремя параметрами (длина, ширина, толщина частицы), а не одним (средний диаметр частиц), как при проведении стандартного гранулометрического анализа; 2 — анализировать ассоциацию минералов, их дифференциацию по размерам и плотности, что при стандартном минералогическом анализе сделать невозможно, так как каждый минеральный вид изучается в отдельности.

При рентгеноструктурном анализе регистрация дифрактограмм осуществлялась на дифрактометре ARL X'tra (Швейцария). Образец для исследования измельчался в агатовой ступке, затем добавлялся этиловый спирт. Полученная масса наносилась на кремниевую подложку.

Для качественного фазового анализа использовалась база данных ICDD PDF-2. Анализ проводился в ручном режиме и/или с использованием ПО Oxford Crystallographica. Качественный рентгенофазовый анализ по методу Ритвельда проводился с использованием ПО Siroquant Sietronics Pty Ltd.

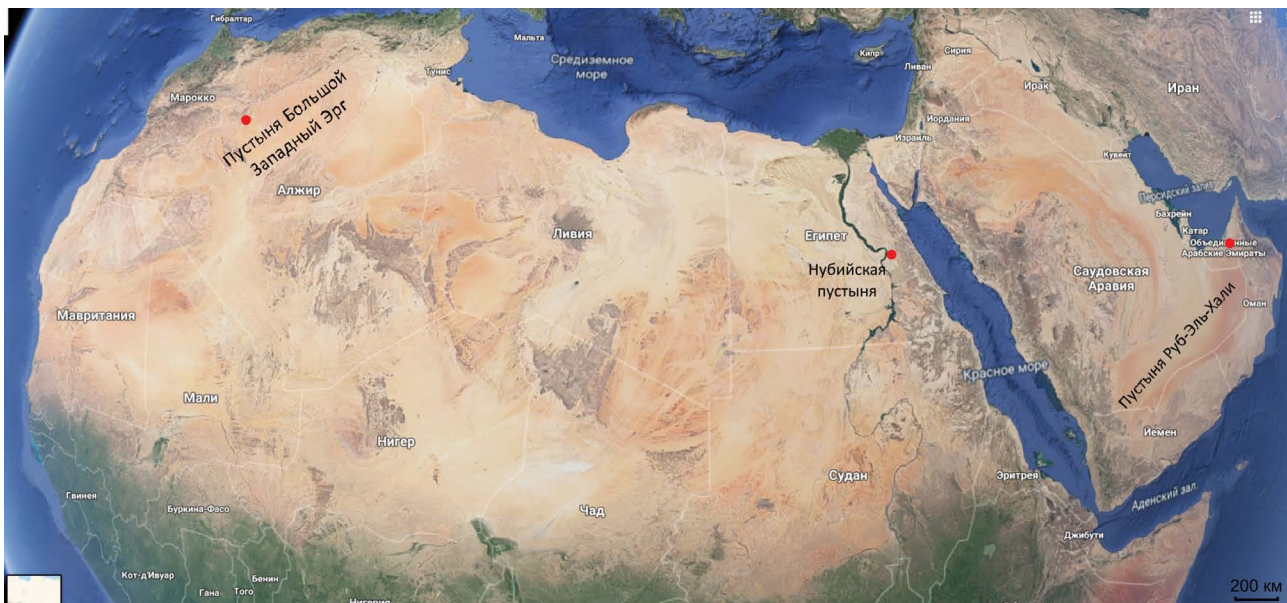


Рис. 1. Обзорная схема

Fig. 1. Overview scheme

### Результаты исследований

*Пустыня Руб-эль-Хали.* Песчаная пустыня Руб-эль-Хали — одна из крупнейших равнинных песчаных пустынь мира площадью свыше 650 000 км<sup>2</sup> [1, 2]. Осадки в этой пустыне могут не выпадать более пяти лет, в среднем менее 35 мм в год, температура летом до +52 °С, а зимой выше +30 °С.

Пустыня занимает обширную синеклизу Руб-эль-Хали на юге Аравийского полуострова между Среднеаравийским плато и поясом краевых гор на юге Аравии и горной цепью Эль-Асир. Максимальная высота 500 м над уровнем моря, к востоку постепенно снижается до 100 м и переходит в обширные приморские солончаки. Дюны песка могут достигать высоты 250 м.

Песчаные отложения пустыни перекрывают коренные эоценовые и меловые породы, часто сочетаются с участками галечниковых отложений (регами) [1]. Важным элементом рельефа являются сухие русла (вади), в которых формируется, как правило, подрусловой водоток, имеющий большое значение для водоснабжения.

Проба песков отобрана на территории Дубай (ОАЭ), в 50 км от Персидского залива. Пески темно-бежевого цвета. По результатам рентгенофазового анализа пески (рис. 2а) состоят из кварца (43,1%), кальцита (42,3%), альбита (7,8%), анортита (2,2%), доломита (1,9%), ортоклаза (1,7%), биотита (0,7%), анкерита (0,4%), единичных амфиболов. Кальцит, доломит и анкерит являются гипергенными. Магнитная фракция составляет 1%, электромагнитная — 1%, немагнитная — 98%. При визуальном изучении в магнитной и электромагнитной фракциях устанавливается магнетит, ильменит и лейкоксен (по ильмениту).

Кварц желтого (разные оттенки) и рыжего цветов, преимущественно с матовой поверхностью, реже бесцветный прозрачный с блестящей и матовой поверхностью. Размер зерен до 0,6—0,7 мм, максимум 0,8 мм. По степени окатанности кварц имеет совершенно окатанную и окатанную, редко угловато-окатанную форму, неокатанную, что характерно для зерен размером меньше 0,05 мм. Форма выделения преимущественно уплощенная, сферическая, реже неправильно изометричная.

Разнообразие оттенков красного цвета связано с пленками окиси железа на поверхности многих зерен. Это явление известно как пустынный загар. При микроскопическом изучении в отраженном свете (рис. 2б) видно, что неровности в поверхности зерен заполнены окислами железа, что хо-

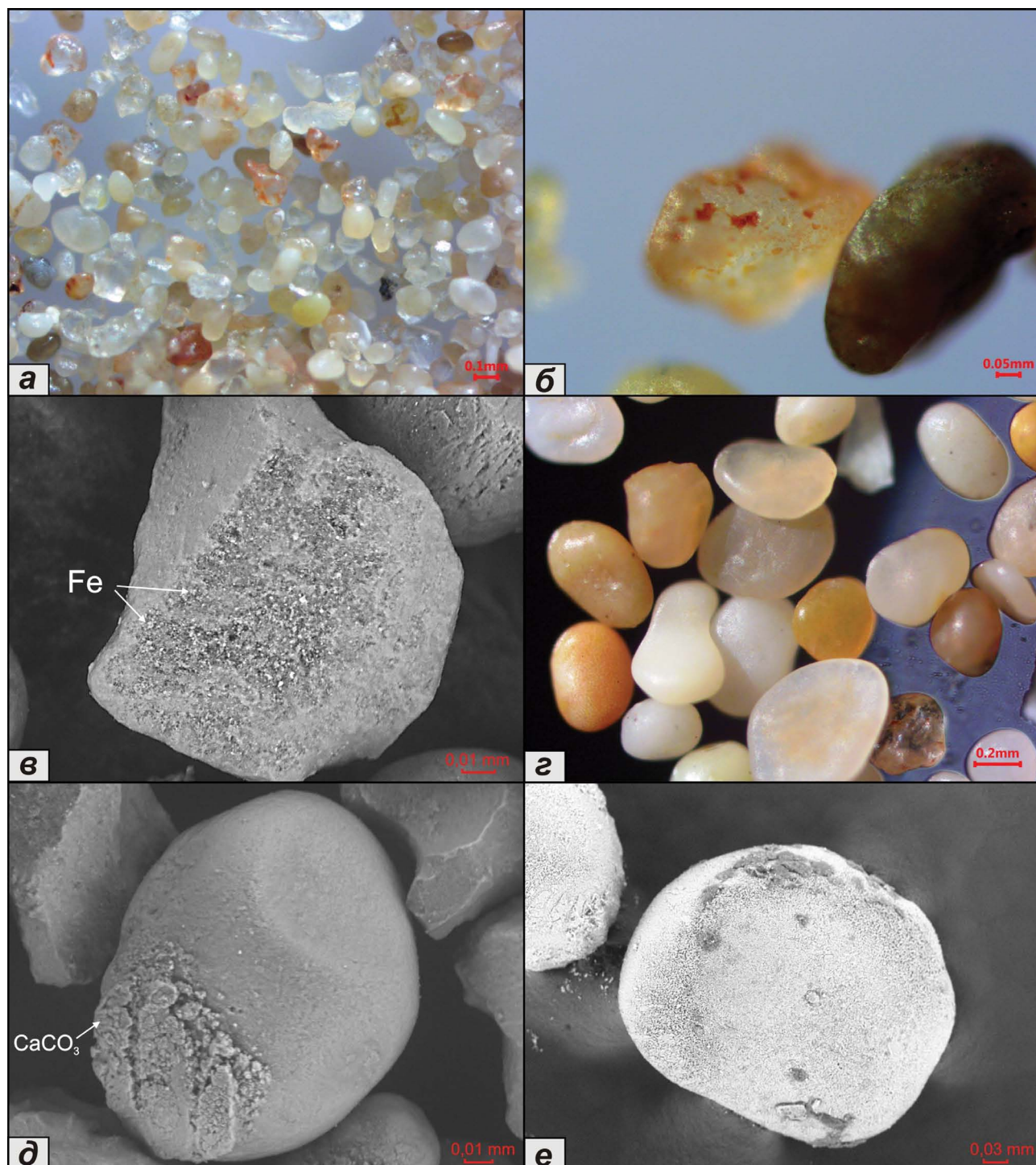
рошо заметно на прозрачных разностях. На снимках, выполненных под электронным микроскопом (рис. 2в), видно, что часть пустот на поверхности заполнены окислами железа (светлые яркие точки), а часть остается пустыми. Также встречаются зерна, которые полностью покрыты железистой пленкой. Пустынный загар характерен для обломков размером больше 0,1 мм.

Интенсивность и сохранение пустынного загара изучали в разные годы советские [1, 5] и зарубежные исследователи [8—12]. Покраснение сопровождается старением первично осажденного оксида железа, т.е. переход лимонита, гетита в гематит. Наличие неустойчивых железосодержащих минералов в перевеваемых отложениях, которые при взаимодействии с водой (роса, дожди и т.п.) разлагаются и освобождают железо, осаждаемое в виде лимонита на поверхности зерен или отдельных агрегатов, способствует покраснению. В аридных зонах мало органического вещества, и его не хватает для редукции окислов железа. Лимонит будет лучше сохраняться в углублениях на поверхности зерен, где защищен от истирания, поэтому более красными будут зерна мелкие, так как они медленнее окатываются, чем крупные, а значит, лучше сохраняют первичную поверхность. Также на скорость покраснения влияет наличие воды, способствующее химическому гидролизу железосодержащих минералов; формированию глинистой пленки на зернах за счет смачиваемости поверхности с последующим прилипанием глинистого материала. На все процессы требуется время, которое также является важным фактором, влияющим на покраснение.

Отличительной особенностью песков этой пробы является большое содержание кальцита. Почти все зерна размером 0,25—0,80 мм имеют матовую поверхность и хорошо окатанны (рис. 2г). При рассмотрении поверхности на ультрауровне, после притравливания образцов соляной кислотой, выяснилось, что многие зерна одеты в кальцитовую «рубашку» (пленку) (рис. 2д). После удаления кальцита оказалось, что часть зерен также покрыта железистой пленкой (рис. 2е).

Содержание кальцита более 10% и засоление карбонатом кальция, гипсом, является характернейшим признаком аридных терригенных отложений [5]. Возникает в зоне, отвечающей обычно зоне капиллярного поднятия грунтовых вод. Под влиянием инсоляции и высокой температуры вода с поверхности водного зеркала постоянно испаряется, что ведет к осолонению вод с последующей садкой из них минералов. Возможно,





**Рис. 2.** Песок пустыни Руб-эль-Хали: а — зерна кварца; окислы железа (светлое), выполняющие неровности в поверхности зерна кварца; б — под бинокулярным микроскопом; в — под электронным микроскопом; г — кварц с матовой поверхностью зерен; д — кристаллы кальцита на поверхности зерна кварца (после притравливания соляной кислотой); е — железистая пленка (светлое) на зерне кварца

**Fig. 2.** Sand of Rub al Khali: а — quartz grains with iron oxides (light) exhibiting irregularities in the surface of the quartz grain; б — under a binocular microscope; в — under an electron microscope; г — quartz with a matte grain surface; д — calcite crystals on the surface of quartz grains (after etching with hydrochloric acid); е — ferrous film (light) on quartz grain



это является и результатом деятельности кальцие-микробов.

При применении гранулометрического анализа было измерено 152 зерна кварца (456 измерений), построены графики (гистограммы) зависимости распределения размеров частиц от частоты встречаемости (рис. 3а). Спектр размеров по оси А — 0,12—0,80 мм, по оси В — 0,07—0,61 мм, по оси С — 0,05—0,41 мм. Спектр размеров прерывистый в правой части гистограмм по осям А и В, по оси С непрерывный, с единственным отскоком. Максимумы частот встречаемости в интервалах непрерывности наиболее выражены по оси С, по другим видно обособление нескольких интервалов; максимумы достаточно близко расположены друг к другу. Такое распределение внутри спектров характерно для аллювиальных отложений. Сближенное расположение максимумов частот встречаемости свидетельствует о совершенной сортировке зерен. По оси С спектр размеров совпадает с интервалом непрерывности, частоты встречаемости распределяются закономерно — плавно возрастая и убывая, что характерно для золотых отложений. Таким образом, анализ гистограмм, формы зерен позволяет сделать вывод о том, что эти золотые отложения первоначально были сформированы русловыми потоками и впоследствии перевеяны.

*Нубийская пустыня.* Пустыня расположена в северо-восточной части Северной Африки между средним течением Нила и Красным морем [1]. Атмосферные осадки редки и только в зимний период в виде кратковременных ливней, образующих мощные селевые потоки. Температура в летнее время днем +50 °С, а ночью +30 °С. В зимнее время температура от +35 °С днем до 0 °С ночью. Характерны сильные ветры, в основном северо-западного направления.

Пустыня расположена на Нубийско-Аравийском щите, ступенчато понижающемся с востока на запад от 350 до 100 м, с многочисленными горами и массивами. На востоке обнажаются древние кристаллические породы верхнего протерозоя, в основном формации Митик (кварц-мусковит-гранатовые гнейсы, амфиболиты и т.п.) и сохранившиеся местами континентальные меловые отложения (нубийские песчаники); на западе перекрыты дюнными грядами. Встречаются участки каменистых и песчано-галечных гамад (каменистые пустыни). Плато густо расчленено вади (сухие русла), отходящими системно субширотно от водораздельного хребта, разграничивающего Красноморский и Нильский водосборные бассейны, выполненные

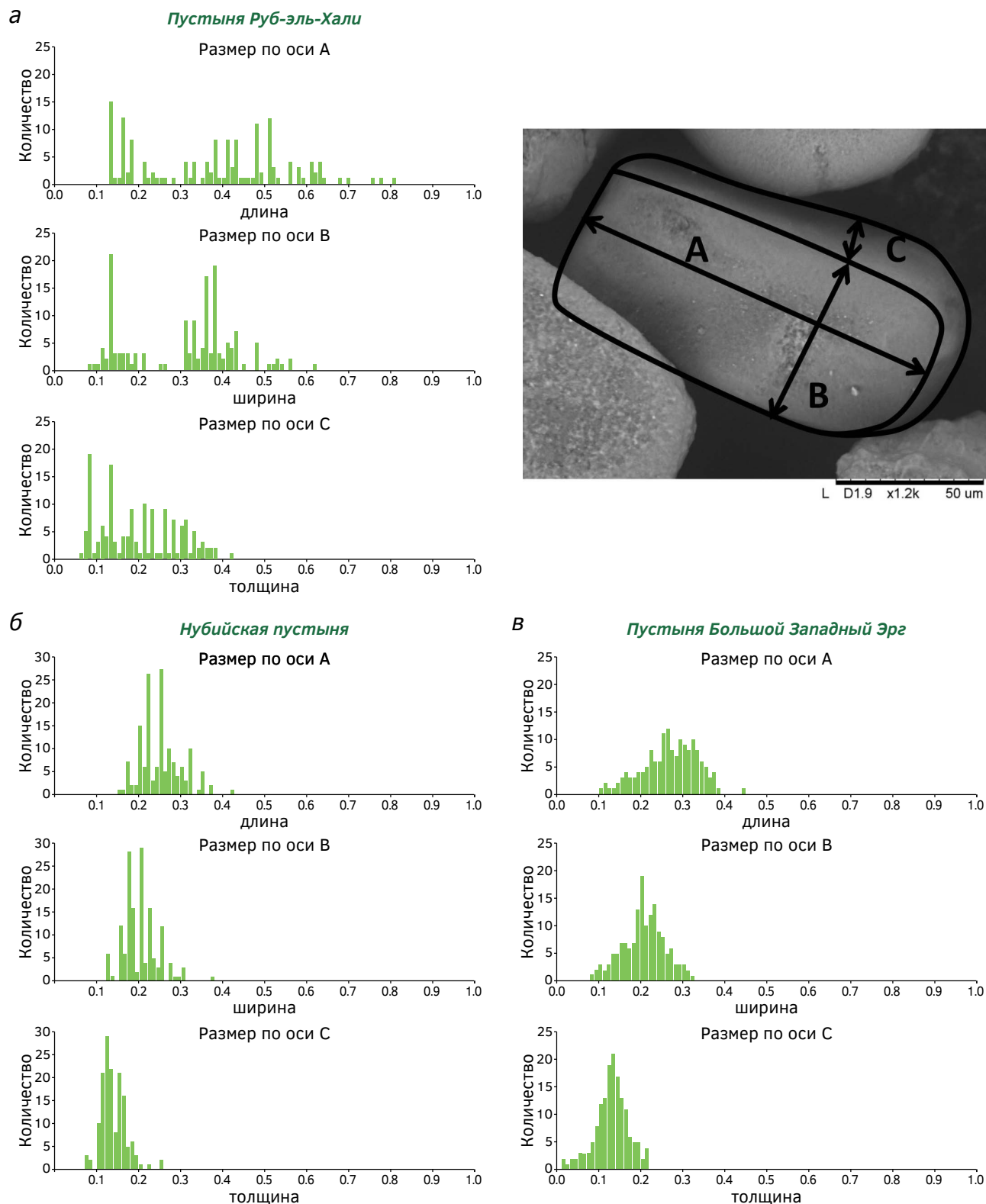
неоген-четвертичными обломочными отложениями и четвертичными золотыми песками.

Песок для пробы был отобран в центральной части вади, в 130 км от Красного моря и в 20 км от долины р. Нил. Макроскопически пески грязно-розового цвета. По результатам рентгенофазового анализа пески (рис. 4а, б) состоят из кварца (55,3%), альбита (25,2%), санидина (5,0%), ортоклаза (4,6%), анортита (2,8%), кальцита (4,1%), биотита (1,1%), хлорита (0,9%), каолинита (0,9%), единичных амфиболов, гранатов. Кальцит является гипергенным, встречается в виде пластинок. Каолинит аллохтонный компонент, унаследован от коренных пород. Магнитная фракция составляет 1,5%, электромагнитная — 1,5%, немагнитная — 97%. В магнитной и электромагнитной фракциях устанавливаются магнетит, ильменит и лейкоксен, развивающийся по ильмениту (рис. 4в). Ильменит и лейкоксен имеют окатанную форму. Для магнетита характерны дипирамидальные кристаллы.

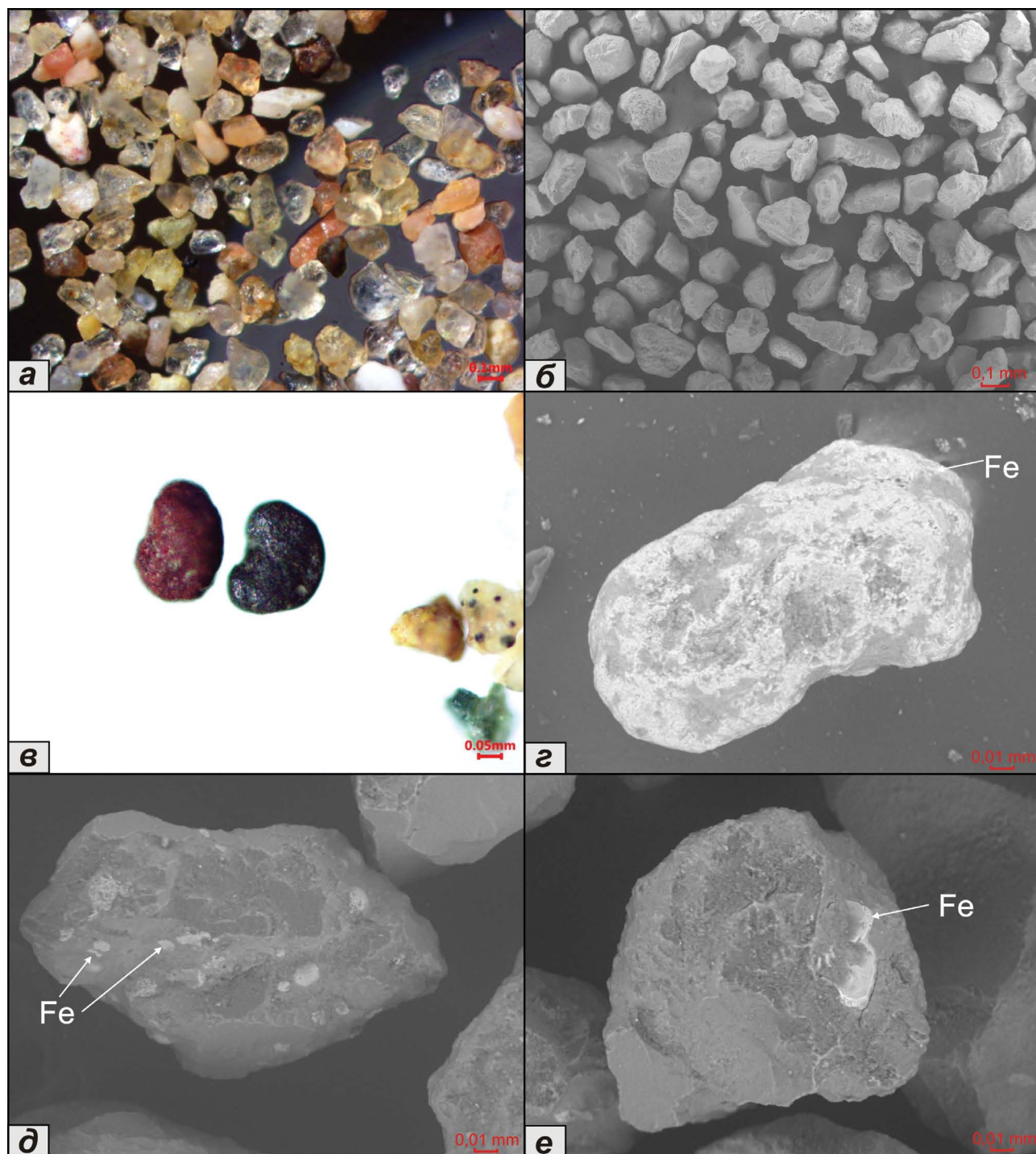
Кварц преимущественно светло-желтый, бесцветный, прозрачный, блестящий, редко матовый. Размер зерен до 0,30 мм, максимум до 0,42 мм. По степени окатанности зерна кварца преимущественно угловато-окатанные, неокатанные, реже окатанные. Форма выделения преимущественно уплощенная, треугольная, неправильно изометричная, овальная, реже изометричная.

Окись железа в этих песках встречается в следующих разновидностях: в виде железистых пленок (рис. 4г); неравномерных скоплений окиси железа со сфероагрегатным строением в пустотах на поверхности зерен (рис. 4д), в связи с чем они становятся пятнистыми; в виде пластинок, сложенных окислами железа, выполняющими трещины в зернах кварца. Часть углублений остается не заполненными.

При применении гранулометрического анализа было измерено 150 зерен кварца (450 измерений), построены графики (гистограммы) зависимости распределения размеров частиц от частоты встречаемости (рис. 3б). Спектр размеров по оси А — 0,15—0,42 мм, по оси В — 0,12—0,37 мм, по оси С — 0,07—0,25 мм. Спектр размеров непрерывен, совпадает с интервалом непрерывности, но наблюдаются единичные отскоки по всем трем осям. Частоты встречаемости сближены, распределяются закономерно — плавно возрастая и убывая, что связано с сортировкой материала по аэродинамическим характеристикам. Отскоки и характер распределения в правой части гистограммы характерны для русловых отложений, однако



**Рис. 3.** Гистограммы распределения зерен кварца: а — в пустыне Руб-эль-Хали; б — в Нубийской пустыне; в — в пустыне Большой Западный Эрг  
**Fig. 3.** Histograms of the distribution of quartz grains: а — in the Rub al Khali desert; б — in the Nubian desert; в — in the Great Western Erg desert



**Рис. 4.** Песок Нубийской пустыни: а — немагнитная фракция под биноклем; б — немагнитная фракция под электронным микроскопом; в — ильменит (справа) и лейкоксен (слева) по ильмениту; г — железистая пленка (светлое) на поверхности зерна кварца; д — окислы железа со сфероагрегатным строением, выполняющие неровности на поверхности зерна кварца; е — окислы железа в виде пластинки, выполняющие трещину в зерне кварца

**Fig. 4.** Sand from the Nubian desert: а — non-magnetic fraction under binoculars; б — non-magnetic fraction under electron microscope; в — ilmenite (right) and leucoxene (left) according to ilmenite; г — ferrous film (light) on the surface of the quartz grain; д — iron oxides with a spherulitic aggregate structure, exhibiting irregularities on the surface of the quartz grain; е — iron oxides in the form of a plate, filling cracks in the quartz grain

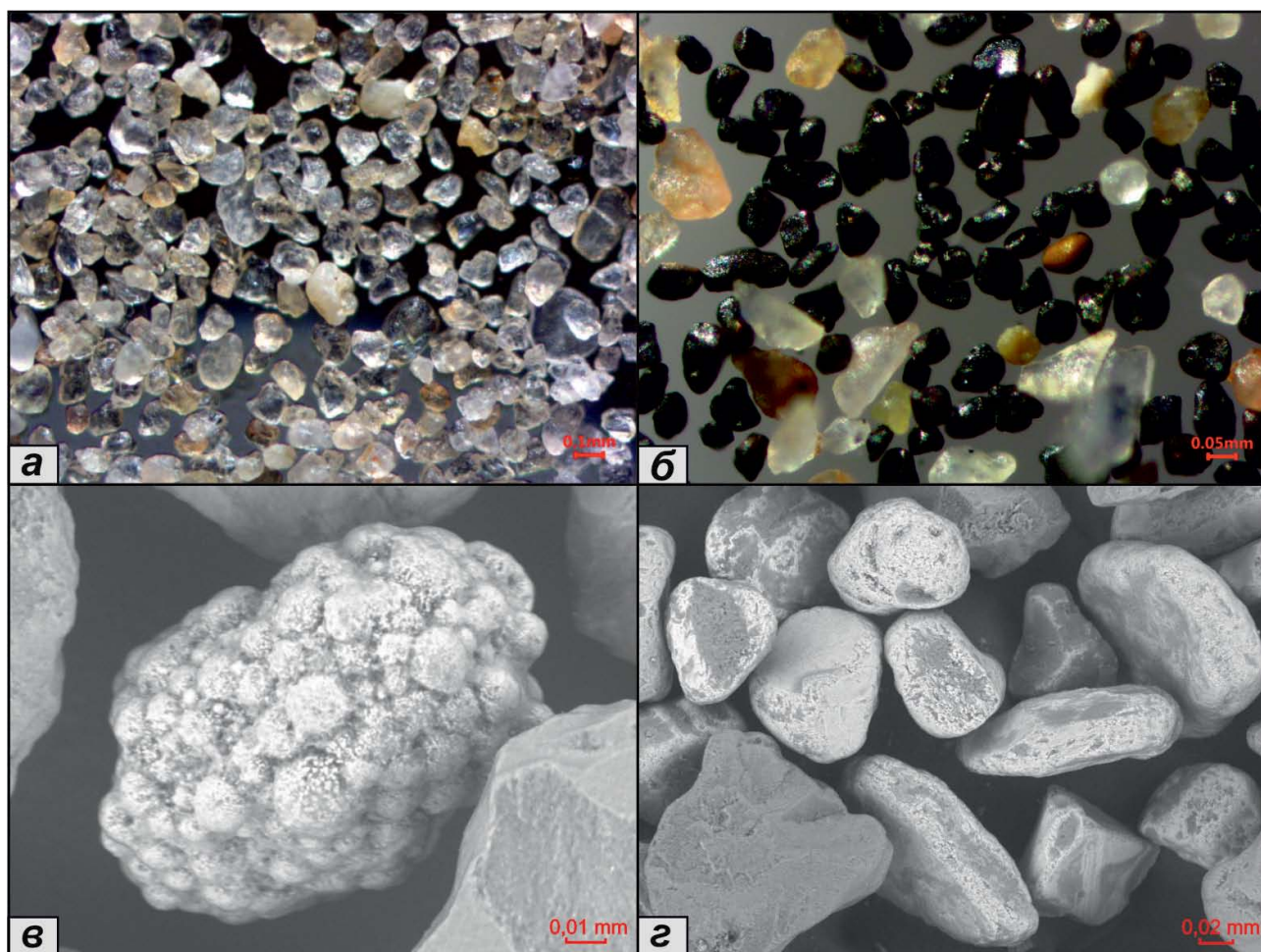


в целом характер распределения свидетельствует о формировании ветровой деятельностью. Материнскими породами являются нубийские песчаники, залегающие в непосредственной близости, которые являются древними эоловыми отложениями [1], что подтверждается нашими измерениями. Анализ построенной гистограммы распределения зерен кварца, форма зерен позволяют сделать вывод о том, что это эоловые отложения, но с накладываемой изредка русловой деятельностью.

*Пустыня Большой Западный Эрг.* К северу от нагорья Ахаггара до горного массива Атлас, на северо-западе Алжирской Сахары расположена песчаная пустыня (эрги) Большой Западный Эрг, которая на юге через плато Тадемаит граничит с пустыней Большой Восточный Эрг, самой большой песчаной поверхностью в мире. Пески Большого Западного Эрга, или Гурара, об-

разованы за счет разрушения галечной пустыни (реги) Саура, существовавшей в начале четвертичного периода [1, 7]. Цепи дюн имеют дугообразное расположение и показывают направление господствующих ветров.

Образцы песков были отобраны в районе г. Бешар с поверхности бархана в 385 км от Средиземного моря. Макроскопически бежевого цвета. По результатам рентгенофазового анализа пески (рис. 5) состоят из кварца (79,1%), альбита (9,2%), гипса (5,2%), кальцита (3,4%), иллита (1,8%), рутила (0,7%), анкерита (0,6%). Гипс, кальцит и анкерит являются гипергенными. Кальцит встречается в виде пластиночек. Магнитная фракция составляет 0,5%, электромагнитная — 0,5%, немагнитная — 99%. В магнитной и электромагнитной фракциях устанавливаются ильменит и лейкоксен (по ильмениту) (рис. 5б), единичный магнетит.



**Рис. 5.** Песок пустыни Большой Западный Эрг: а — немагнитная фракция; б — ильменит; в — лимонит со сфероагрегатным строением; г — железистая пленка на поверхности зерен (светлое)

**Fig. 5.** Sand from the Great Western Erg desert: а — non-magnetic fraction; б — ilmenite; в — limonite with spherulitic aggregate structure; г — ferrous film on the grain surface (light)



Ильменит и лейкоксен преимущественно полуокатанной и окатанной формы.

Кварц преимущественно светло-желтый, прозрачный, бесцветный, блестящий, редко матовый. Размер зерен меньше 0,25 мм, единичные до 0,4 мм. По степени окатанности кварц преимущественно полуокатанной, угловато-окатанной, реже окатанной формы. Форма выделения уплощенная, треугольная, изометричная, реже овальная.

В песке встречается лимонит со сфероагрегатным строением (рис. 5в), у которого неровности на поверхности заполняются карбонатными или сульфатными минералами. Преимущественно окислы железа встречаются в виде пленок (рис. 5г, светлое) на поверхности зерен, реже заполняя пустоты.

При применении гранулометрического анализа было измерено 156 зерен кварца (468 измерений), построены графики (гистограммы) зависимости распределения размеров частиц от частоты встречаемости (рис. 3в). Спектр размеров по оси А — 0,1—0,44 мм, по оси В — 0,08—0,32 мм, по оси С — 0,01—0,21 мм. Спектр размеров непрерывен. Частоты встречаемости сближены, распределяются закономерно — плавно возрастая и убывая, что связано с сортировкой материала по аэродинамическим характеристикам. Анализ построенной гистограммы распределения зерен кварца, их форма позволяют сделать вывод о том, что песок в данной пробе характеризует ветровую деятельность.

### Выводы

Изученные образцы показывают, что эоловые пески разных пустынь различаются по цвету, по степени окатанности и форме зерен, при этом обладают и схожестью некоторыми параметрами.

Цвет в изученных образцах зависит от двух факторов: 1 — от количества окислов железа; 2 — от количества полевых шпатов красных оттенков. Чем больше этих компонентов, тем интенсивнее и темнее окраска.

Эоловые пески, сформированные исключительно за счет ветровой деятельности, преимущественно состоят из угловато-окатанных, неокатанных, в меньшей степени полуокатанных и окатанных

зерен. Хорошо окатанные зерна имеют унаследованный характер.

Во всех образцах зерна кварца преимущественно блестящие, за исключением пустыни Руб-эль-Хали, где преобладают матовые зерна. Матовость в изученном образце, как показали исследования, связана с наличием кальцитовых пленок на поверхности зерен (рис. 2г, д), а не с микротрещиноватостью зерен как общепринятым признаком ветровой деятельности.

Пустынный загар присутствует во всех образцах. Он представляет собой заполнение неровностей на поверхности зерен окислами железа, такими как лимонит, гетит и гематит.

Наличие пустынного загара зависит от количества неустойчивых железосодержащих минералов и свободных окислов железа в перевеваемых отложениях, типа и количества глинистых минералов, количества воды, размера и формы зерен, времени транспортировки.

Большинство пустынь мира образовалось в пределах древнеаллювиальных речных, дельтовых и озерных долин [1, 4]. Диагностика генетических типов образцов песка с помощью методики гранулометрического анализа показала, что условия формирования различны и не всегда можно установить связь с материнской породой. Распределение зерен кварца в песках пустыни Большой Западный Эрг характерно для ветровых отложений, без возможности установления генезиса пород, которые перевеваются. В образце из пустыни Руб-эль-Хали распределение зерен позволяет это сделать, так как сохранилась связь с подстилающими древними аллювиальными отложениями, что хорошо видно на гистограмме, хотя оба образца (из Большого Западного Эрга и Руб-эль-Хали) взяты с вершины бархана. Образец из Нубийской пустыни был взят из центральной части вадии — сухого русла реки, в бортах долины которой обнажаются древние эоловые отложения. Распределение зерен кварца в современных отложениях совпадает по характеру с распределением в древних перевеваемых эоловых породах, что подтверждает связь с материнской породой, но и в то же время видно наложение деятельности временных водных потоков.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев А.Г., Дроздов Н.Н., Зонн И.С., Фрейкин З.Г. Пустыни. М.: Мысль, 1986. С. 383.
2. Рахимова Е.В., Наравас А.К., Дернова Е.О., Махмуд А.Ш. Особенности кварца эоловых песков Северной Африки и ОАЭ // Тезисы докладов 14-й Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». Т. 1. М., 2019. С. 156—159.

3. Самыкина Е.В. Методика диагностики генетических типов отложений по данным грануло-минералогического анализа // Материалы докладов VII международной конференции «Новые идеи в науках о земле». Т. 1. М., 2005. С. 215.
4. Селли Р.Ч. Древние обстановки осадконакопления. Пер. с англ. М.: Недра, 1989. 294 с.
5. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. III. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 550.
6. Сурков А.В. Новое в изучении песчано-алевритовой компоненты россыпей и осадочных пород (Альтернативная методика). М.: Издатель Е. Разумова, 2000. С. 286.
7. Чичагов В.П. Голоценовая история Большого Восточного Эрга. Северная Африка // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2008. № 68. С. 82—88.
8. Glennie K.W. Desert Sediments: Ancient and Modern. Geological Society Special Publication. 1987. No 35. P. 1—4.
9. Huberg J.F., Mertz K.A. Eolian dune field of Late Triassic age, Fundy Basin, Nova Scotia // Geology. 1980. Vol. 8. № 11. P. 516—519.
10. Nichols G. Sedimentology and stratigraphy. 2nd ed. A John Wiley&Sons, Ltd., Publication, 2009. P. 419.
11. Turner P. Continental Red Beds. Developments in Sedimentology. No 29. Elsevier, Amsterdam, 1980. P. 562.
12. Walker T.R. Red Color in Dune Sand // In the book: A study of global sand seas / Editor Edwin D. McKee // Geological survey professional paper 1052. U. S. Govt. Print. Off., Washington, 1979. P. 61—81.

## REFERENCES

1. Babaev A.G., Drozdov N.N., Zonn I.S., Freikin Z.G. Deserts, Nature of the World. Moscow, Mysl, 1986, 383 p. (In Russian).
2. Rakhimova E.V., Naravas A. K., Dernova E.O., Mahmoud A.Sh. Features of quartz eolian sands of North Africa and the UAE // Abstracts. The 14th International Scientific and Practical Conference "New Ideas in Earth Sciences", vol. 1. Moscow, 2019, pp. 156—159. (In Russian).
3. Samykina E.V. Diagnostic methods for genetic types of sediments according to the granulo-mineralogical analysis. *Proceedings of the VII International Conference "New Ideas in Earth Sciences"*, vol. 1. Moscow, 2005, 215 p. (In Russian).
4. Selley C.R. *Ancient sedimentary environments*. Moscow, Nedra, 1989, 294. p. (In Russian).
5. Strakhov N.M. *Fundamentals of the Theory of Lithogenesis*. Moscow, Akad. Nauk of the USSR, 1962, 550 p. (In Russian).
6. Surkov A.V. *New in the study of the sand-silty component of placers and sedimentary rocks (Alternative method)*. Moscow, Publisher E. Razumova, 2000, 286 p. (In Russian).
7. Chichagov V.P. Holocene history of the Great Eastern Erg. North Africa. *Bulletin of the Commission for the study of the Quaternary period*, 2008, no. 68, pp. 82—88. (In Russian).
8. Glennie K.W. Desert Sediments: Ancient and Modern. *Geological Society Special Publication*, 1987, no. 35, pp. 1—4.
9. Huberg J.F., Mertz K.A. Eolian dune field of Late Triassic age, Fundy Basin, Nova Scotia. *Geology*, 1980, vol. 8, no. 11, pp. 516—519.
10. Nichols G. *Sedimentology and stratigraphy*. 2nd ed. A John Wiley&Sons, Ltd., Publication, 2009, 419 p.
11. Turner P. Continental Red Beds. *Developments in Sedimentology*. No 29. Elsevier, Amsterdam, 1980, 562 p.
12. Walker T.R. *Red Color in Dune Sand* // In the book: A study of global sand seas / Editor Edwin D. McKee. Geological survey professional paper 1052. U. S. Govt. Print. Off., Washington, 1979, pp. 61—81.

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рахимова Е.В. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, провела гранулометрический анализ, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Наравас А.К. — инициатор статьи, внес вклад в разработку концепции статьи, предоставил материалы для исследований.

Дернова Е.О. — провела рентгеноструктурные исследования, участвовала в подготовке текста статьи.

Махмуд А.Ш. — предоставил материалы для исследований, провел обзор геологической информации.

Rakhimova E.V. — made the main contribution to the development of the concept of the article, conducted a granulometric analysis, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Naravas A.K.— initiator of the article, contributed to the development of the concept of the article, provided materials for research.

Dernova E.O.— conducted x-ray structural studies, participated in the preparation of the text of the article.

Mahmud A.Sh. — provided materials for research, conducted a review of geological information.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Рахимова Елена Вадимовна\*** — старший преподаватель кафедры геологии и разведки месторождений углеводородов ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [rahimovaev@mgri.ru](mailto:rahimovaev@mgri.ru)  
тел.: +7(977)497-31-80  
SPIN: 9858-4461  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-6469>

**Elena V. Rakhimova\*** — sen. lect., Department of Geology and exploration of hydrocarbon deposits, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [rahimovaev@mgri.ru](mailto:rahimovaev@mgri.ru)  
tel.: +7(977)497-31-80  
SPIN: 9858-4461  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9877-6469>

**Наравас Антон Каземирович** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»  
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [naravasak@mgri.ru](mailto:naravasak@mgri.ru)  
тел.: +7 (903) 976-37-98  
SPIN: 6228-4008  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0449-0612>

**Anton K. Naravas** — Ass. Prof., Cand. Sci. (Geol.-Min.), Department of General Geology and geological mapping, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting  
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [naravasak@mgri.ru](mailto:naravasak@mgri.ru)  
tel.: +7 (903) 976-37-98  
SPIN: 6228-4008  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0449-0612>

**Дернова Елена Олеговна** — младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН)  
13, стр. 2, Уланский переулок, г. Москва 101000, Россия  
e-mail: [dernova.eo@gmail.com](mailto:dernova.eo@gmail.com)  
тел.: +7 (985) 810-46-85  
SPIN: 7389-8769  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-3433>

**Elena O. Dernova** — Jun. Researcher at the Geocryology laboratory, Sergeev institute of environmental geoscience of the RAS (IEG RAS)  
13/2, Ulansky lane, Moscow 101000, Russia  
e-mail: [dernova.eo@gmail.com](mailto:dernova.eo@gmail.com)  
tel.: +7 (985) 810-46-85  
SPIN: 7389-8769  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1736-3433>

**Махмуд Абделхалим Шокри** — доктор геологии, кафедра геологии факультета естественных наук Университета Файюма  
Файюм 63514, Египет  
E-mail: [halim.geologist@mail.ru](mailto:halim.geologist@mail.ru)  
[asm07@fayoum.edu.eg](mailto:asm07@fayoum.edu.eg)  
тел.: +2 01117422482  
SPIN: 7838-3724  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-8210>

**Abdelhalim S. Mahmoud** — Dr. Sci. (Geol.), Department, Faculty of Science, Fayoum University  
Fayoum City 63514, Egypt  
e-mail: [halim.geologist@mail.ru](mailto:halim.geologist@mail.ru)  
[asm07@fayoum.edu.eg](mailto:asm07@fayoum.edu.eg)  
tel.: +2 01117422482  
SPIN: 7838-3724  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4777-8210>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



# СОСТАВ И СТРОЕНИЕ НЕПСКОЙ И ТИРСКОЙ СВИТЫ ПРИЛЕНСКО-НЕПСКОЙ СТРУКТУРНО-ФАЦИАЛЬНОЙ ЗОНЫ НЕПСКО-БОТУОБИНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗУЧЕНИЯ КЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА

А.В. ПЛЮСНИН\*, М.И. ГЁКЧЕ

ООО «Иркутская нефтяная компания»  
4, Большой литейный проспект, г. Иркутск 664007, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Детализация строения осадочных формаций территории Сибирской платформы на основе новых литолого-петрографических исследований керна представляется весьма актуальной как в науке, так и в прикладном направлении для создания геологических моделей с целью проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ.

**Цель** — характеристика и сравнение вещественного состава верхнего венда центральной и южной части Приленско-Непской структурно-фациальной зоны.

**Материалы и методы.** Изучен керновый материал с территории Преображенской, Верхнеченской, Даниловской, Ярактинской и других площадей. В основу написания статьи легли: результаты послойного литологического описания керна 15 скважин с суммарным выходом керна 560 м в интервале непского и тирского горизонтов; петрографический анализ шлифов — 540 штук, определение гранулометрического состава пород методом лазерного светорассеивания — 220 проб, рентгеноструктурный анализ — 540 проб.

**Результаты.** Непская свита представлена следующими литотипами: конгломератами, гравелистами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Разрез южной части структурно-фациальной зоны, в отличие от центральной, характеризуется повышенной глинизацией, что связано с расположением данной зоны в переходных прибрежно-морских обстановках, где происходила разгрузка крупных речных систем, которые выносили песчано-глинистый материал в бассейн. Источником сноса терригенных пород являлись магматические породы кислого состава. Разрез тирского горизонта центральной части снизу вверх представлен переходом от аргиллитов, алевролитов до доломитов. В разрезе южной части: в основании залегают базальные песчаники, вверх по разрезу сменяющиеся глинисто-карбонатными породами.

**Заключение.** Вещественный состав изучаемых отложений отражает особенности осадконакопления в непское и тирское время. Впервые произведено разделение тирской свиты южной части структурно-фациальной зоны на четыре литологические пачки. Формирования базальных песчаных пород в подошве подсвит связаны с этапами тектонической активности, положительными тектоническими движениями, которые инициировали относительно быстрое выветривание и транспортировку с прилегающих возвышенностей терригенного материала в бассейн осадконакопления.

**Ключевые слова:** литология, непская свита, тирская свита, венд, Приленско-Непская структурно-фациальная зона, Непско-Ботубинская антеклиза, Сибирская платформа

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

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

**Для цитирования:** Плюснин А.В., Гёкче М.И. Состав и строение Непской и Тирской свиты Приленско-Непской структурно-фациальной зоны Непско-Ботубинской антеклизы по результатам изучения кернового материала. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2020;63(1):75—89. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-75-89>

\* Автор, ответственный за переписку



## COMPOSITION AND STRUCTURE OF THE NEPSKY AND TIRSKY FORMATION OF THE PRILENSK-NEPSKY STRUCTURAL-FACIES ZONE OF THE NEPA-BOTUOBA ANTECLISE BY THE RESULTS OF CORE MATERIAL STUDIES

ALEXEY V. PLYUSNIN\*, MARYANA I. GYOKCHE

LLC "Irkutsk oil company"  
4, Bolshoy Liteyny avenue, Irkutsk 664007, Russia

### ABSTRACT

**Background.** Clarification of the structure of sedimentary formations located on the Siberian Platform by means of lithological and petrographic core studies has a theoretical and practical significance for the creation of geological models for oil and gas prospecting and exploration works.

**Aim.** To characterize and compare the composition of the upper Vendian of the central and southern parts of the Prilensk-Nepsey structural-facies zone.

**Materials and methods.** Core samples for analysis were obtained from boreholes in the Preobrazhenskaya, Verkhnechenskaya, Danilovskaya, Yarakinskaya and other areas. The article is based on the results of a layered lithological description of the cores from 15 wells with a total core output of 560 m in the interval of the Nepsey and Tirskey formations; the petrographic analysis of 540 thin sections; the determination of grain size distribution of rocks by laser light scattering in 220 samples; and X-ray diffraction analysis of 540 samples.

**Results.** The Nepsey formation is represented by the following lithotypes: conglomerates, gravelites, sandstones, aleurolites and argillites. The section of the southern part of the structural-facies zone, compared to its central part, is characterised by increased claying. This is associated with the location of this zone in transitional coastal-marine environments, where large river systems were discharged carrying sandy-clay material into the basin. The source of the terrigenous rocks was felsic igneous rocks. The section of the Tirskey formation of the central part is represented (from bottom to top) by a transition from argillites and aleurolites to dolomites. In the section of the southern part, basal sandstones lie at the base, alternating upstream with clay-carbonate rocks.

**Conclusion.** The material composition of the studied sediments reflects the specifics of sedimentation during the Nepsey and Tirskey time periods. For the first time, the Tirskey formation of the southern part of the structural-facies zone was divided into four lithological members. The formation of basal sandy rocks at the bottom of the sub-formations is associated with the stages of tectonic activity and positive tectonic movements that initiated relatively rapid weathering and transportation of terrigenous material from adjacent heights to the sedimentation basin.

**Keywords:** lithology, nepa horizon, tira horizon, Vendian, Prilensk-Nepa facial zone, Nepa-Botuobinska anteklise, Siberian platform

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

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

**For citation:** Plyusnin A.V., Gyokche M.I. Composition and structure of the Nepsey and Tirskey formation of the Prilensk-Nepsey structural-facies zone of the Nepa-Botuoba anteklise by the results of core material studies. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):75—89. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-75-89>

\* Corresponding author

Детализация строения осадочных формаций территории Сибирской платформы на основе новых литолого-петрографических исследований керна представляется весьма актуальной как в науке, так и в прикладном направлении для создания геологических моделей с целью проведения поисково-разведочных работ на нефть и газ.

Применяя современные керноотборочные снаряды, возможно непрерывно отбирать керн из интересующих стратиграфических интервалов, что в разы повышает освещенность керном изучаемого разреза. Лабораторные исследования керна с лицензионных участков центра и юга Приленско-Непской структурно-фациальной зоны (СФЗ) Непско-Ботубинской антеклизы (НБА) позволили получить новые данные о вещественном составе, литолого-фациальном и секвенс-стратиграфическом строении верхнего венда [11—13].

Целью работы является характеристика и сравнение вещественного состава верхнего венда центральной и южной части Приленско-Непской структурно-фациальной зоны.

Приленско-Непская СФЗ включает юго-западные и центральные территории Непско-Ботубинской антеклизы. Согласно принятой стратиграфической схеме, в регионе была выделена: непская (непский горизонт), тирская (тирский горизонт) свиты [6, 7, 14] (рис. 1).

### Материал и методы

На начальном этапе был произведен анализ литературы, в которой рассматривалось строение вендских отложений Приленско-Непской СФЗ НБА [2, 4, 6—10, 16, 17].

Основой для работы послужил керновый материал с территории Преображенской, Верхнеченской, Даниловской, Ярактинской и других площадей (рис. 1). В основу написания статьи легли: результаты послойного литологического описания керна 15 скважин с суммарным выходом керна 560 м в интервале непского и тирского горизонтов; петрографический анализ шлифов в количестве 540 штук, определение гранулометрического состава пород методом лазерного светорассеивания в количестве 220 проб, рентгеноструктурный анализ (РСА) — 540 проб.

При работе с керновым материалом и интерпретации результатов лабораторных анализов авторы опирались на труды [1, 3, 5, 15, 18].

### Результаты

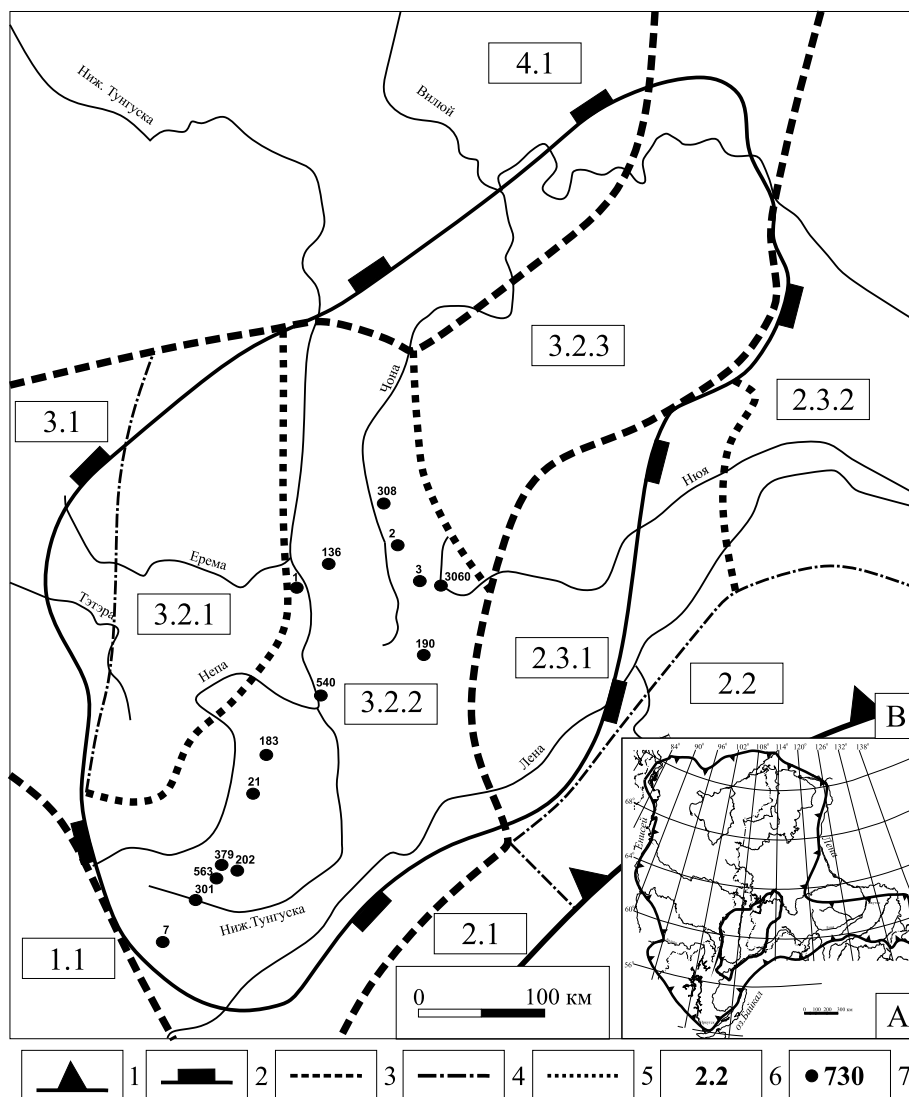
**Непская свита.** Исследования кернового материала с территории Приленско-Непской СФЗ поз-

волили произвести разделение непской свиты на литологические пачки, соответствующие подсвитам. Строение центральной и южной части Приленско-Непской СФЗ существенно не отличаются (рис. 2, 3). Далее авторы приводят детальное описание подсвит.

**Нижненепская подсвита** со стратиграфическим несогласием залегает на породах кристаллического фундамента. Литологически она представлена гравийно-глинисто-песчаными породами. Мощность ее увеличивается с северо-запада на юго-восток в сторону Предпатомского прогиба от первых метров до 110 м [6]. В процентном соотношении от мощности подсвиты в разрезе преобладают песчаники — 60%, алевролиты — 34%, доля гравелитов в разрезе составляет — 4%, конгломератов — 1%. В подошве нижненепской подсвиты отмечаются гравелиты в ассоциации с конгломератами и песчаниками; выше (в средней части) залегают песчаники с прослоями алевролитов, которые переходят в алевролиты. Выделены следующие литотипы.

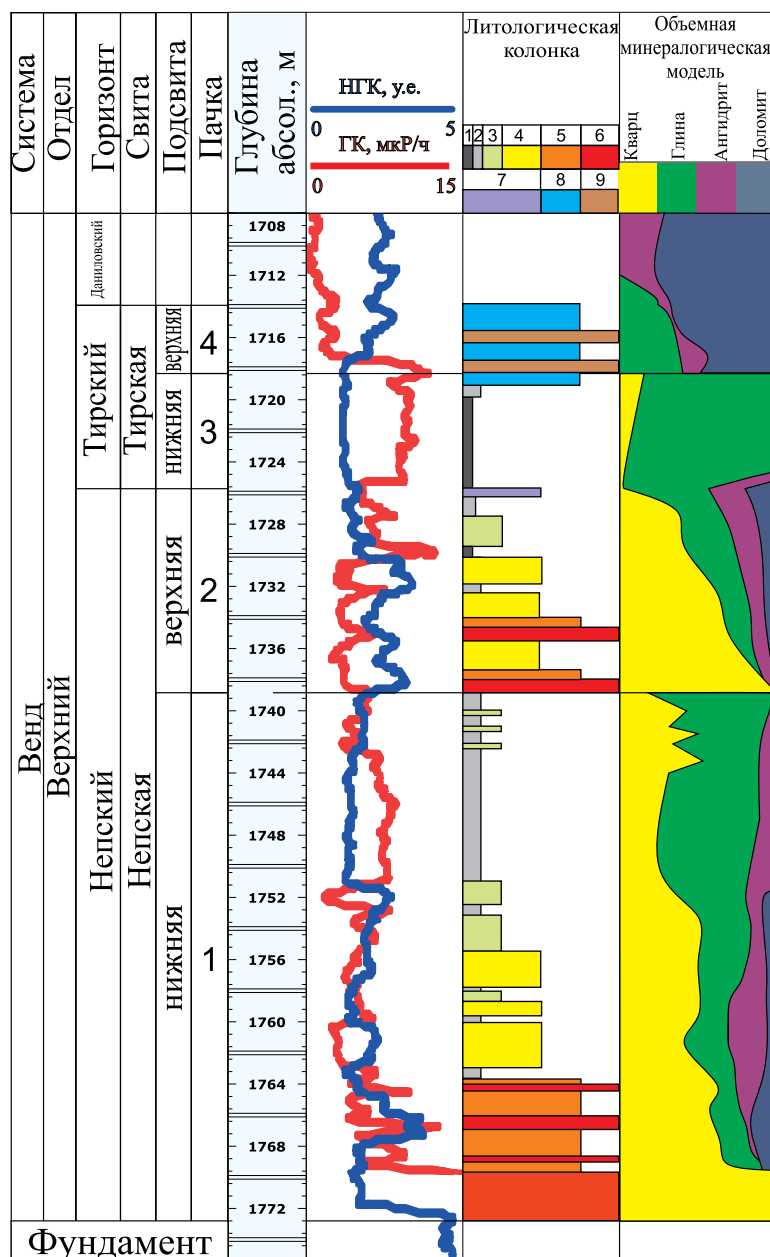
**Конгломераты** серые и темно-серые, мелкогалечные гравийно-песчаные, с глинистым, карбонатным и пиритовым цементом базального типа, слоистость неясная за счет различной ориентировки крупных обломков, плотные. Галечного материала на породу более 25%. Размер галек от 1 до 4 см, преимущественно 1,5—2 см. Гальки угловатой формы, полуокатанные, состав преимущественно кварцевый, находятся в гравийно-песчаном матриксе. Гравийный материал слабо- и неокатанный, песчаный материал полуокатанный. Прослоями (толщиной 3—5 см) отмечаются песчано-гравийные фракции с редкими гальками. Минеральный состав обломочной части: кварц (50—60%), микроклин (10—25%), обломки кислых магматических и метаморфических пород (до 5—15%), присутствуют единичные чешуйки биотита. Акцессорные минералы: единичные зерна рудных минералов, циркона, монацита и рутила. Распространен глинистый цемент порового типа, который составляет 10—15% объема породы. Также отмечается кварцевый регенерационный цемент, распространенный линзами. Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,05 до 0,3 м, а южной части от 0,15 до 0,52 м.

**Гравелиты** коричневатые и темно-серые, разнообломочные: часто средне-мелкообломочные, реже мелкообломочные; с кварцевым, карбонатным, галитовым, сульфатным цементом регенерационного и базально-порового типа;



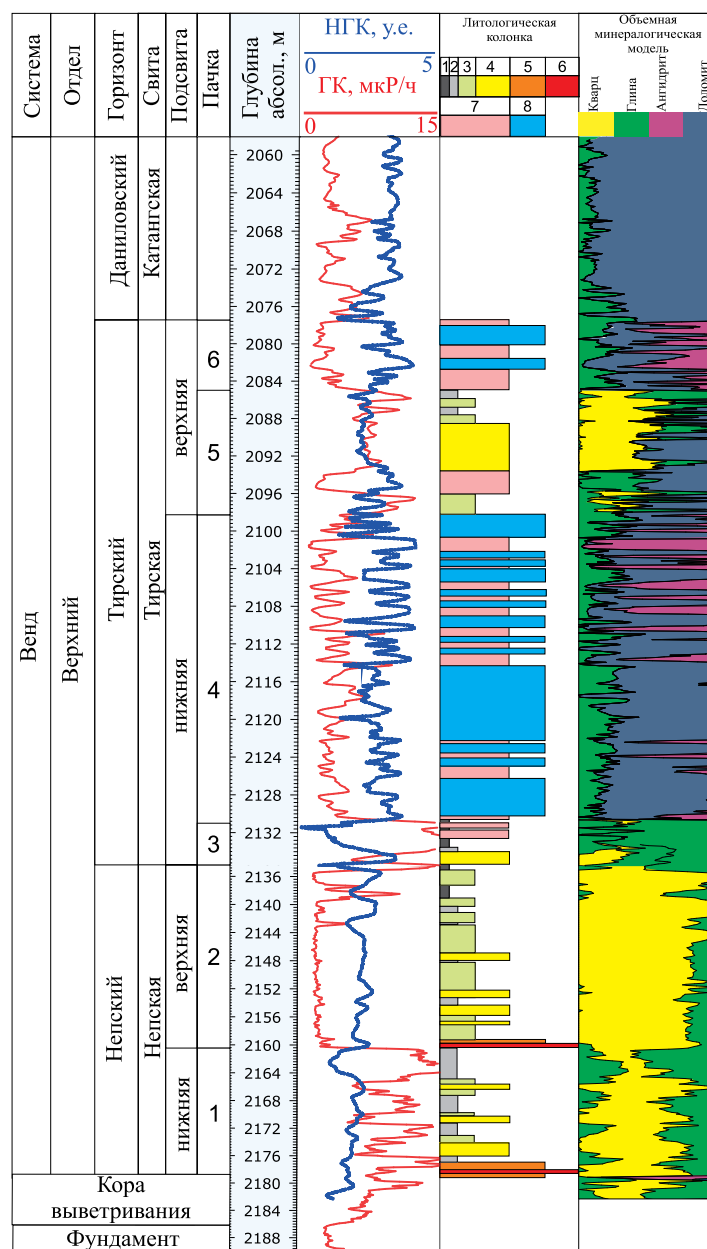
**Рис. 1.** Район исследований (А) и местоположение изученных скважин (Б) на схеме структурно-фациального районирования Сибирской платформы [7]. 1 — границы Сибирской платформы; 2 — границы Непско-Ботуобинской антеклизы; 3 — граница фациальных регионов; 4 — граница фациальных районов; 5 — граница фациальных зон; 6 — индексы фациальных регионов, районов, зон: 1.1 — Ангара-Ленский район Ангарского региона, 2 — Байкало-Патомский регион, 2.1 — Байкальский район, 2.2 — Патомский район, 2.3 — Предпатомский район, 2.3.1 — Нюско-Пеледуйская зона, 2.3.2 — Вилучанская зона, 3 — Катангско-Ботуобинский регион, 3.1 — Катангский район, 3.2 — Непско-Ботуобинский район, 3.2.1 — Газженская зона, 3.2.2 — Приленско-Непская зона, 3.2.3 — Ботуобинская зона, 4.1 — Сюгджерский район Турухано-Сюгджерского региона; 7 — положение изученных скважин: Преображенская площадь скважины 1, 137; Верхнеченская площадь скважины 2; 3; 3060; Северомогдинская-308, Даниловская-540, Средненепская-183, Кийская-21; Ярактинская площадь скважины 202, 379, 563; Верхнетурская 301; Усть-Кутская-7

**Fig. 1.** The research area (A) and the location of the studied wells (B) in the structural-facies zoning scheme of the Siberian platform [7]. 1 — the borders of the Siberian platform; 2 — borders of the Nepa-Botuobinsky antecline; 3 — border of facies regions; 4 — border of facies regions; 5 — border of facies zones; 6 — indices of facies regions, districts, zones: 1.1 — Angara-Lensky region of the Angara region, 2 — Baikalo-Patom region, 2.1 — Baikalsky region, 2.2 — Patom region, 2.3 — Pre-Patom region, 2.3.1 — Nyu-Peleduy zone, 2.3.2 — Vilyuchansky zone, 3 — Katanga-Botuobinsky region, 3.1 — Katanga region, 3.2 — Nepsko-Botuobinsky district, 3.2.1 — Gazhensky zone, 3.2.2 — Prilensko-Nepsky zone, 3.2.3 — Botuobinsky zone, 4.1 — Syugger district of the Turukhan-Syugger region; 7 — position of the studied wells: Preobrazhenskaya well area 1, 137; Verkhnechenskaya well area 2; 3; 3060; Severomogdinskaya-308, Danilovskaya-540, Srednenepskaya-183, Kiyskaya-21; Yarakta well area 202, 379, 563; Verkhnetirskaya 301; Ust-Kutskaya-7



**Рис. 2.** Сводный геолого-геофизический разрез центральной части Приленско-Непской СФЗ, составленный по результатам изучения крена Верхнечонской площади  
Пачки непской свиты: 1 — нижнепепская гравийно-глинисто-песчаная; 2 — верхнепепская гравийно-глинисто-песчаная с единичными прослоями смешанных терригенно-сульфатно-карбонатных пород. Пачки нижнетирской подсвиты: 3 — сульфатно-доломитово-глинистая; 4 — доломитовая. Литологическая колонка: 1 — аргиллиты; 2 — алевролиты; 3 — мелкозернистые песчаники; 4 — среднезернистые песчаники; 5 — крупнозернистые песчаники; 6 — гравелиты и конгломераты; 7 — терригенно-сульфатно-карбонатные породы; 8 — доломиты; 9 — мергель доломитовый.  
**Fig. 2.** The consolidated geological and geophysical section of the central part of the Prilensko-Nepeskaya PPS, compiled from the results of a study of the heel of the Verkhnechenskaya area  
Packs of the Nepa Formation: 1 — Lower Nepal gravel-clay-sand; 2 — Upper Nepal gravel-clay-sand with single interlayers of mixed terrigenous-sulfate-carbonate rocks. Packs of Nizhniy Tyrsky subformation: 3 — sulphate-dolomite-clay; 4 — dolomite. Lithological column: 1 — mudstones; 2 — siltstones; 3 — fine-grained sandstones; 4 — medium-grained sandstones; 5 — coarse-grained gerbils; 6 — gravelites and conglomerates; 7 — terrigenous-sulfate-carbonate rocks; 8 — dolomites; 9 — marl dolomite





**Рис. 3.** Сводный геолого-геофизический разрез южной части Приленско-Непской ЛФЗ, составленный по результатам изучения крена Ярактинской площади

Пачки непской свиты: 1 — нижненепская гравийно-глинисто-песчаная; 2 — верхненепская гравийно-глинисто-песчаная. Пачки нижнетирской подсвиты: 3 — сульфатно-глинисто-песчаная; 4 — сульфатно-глинисто-доломитовая. Пачки верхнетирской подсвиты: 5 — глинисто-песчаная; 6 — глинисто-сульфатно-карбонатная. Литологическая колонка: 1 — аргиллиты; 2 — алевролиты; 3 — мелкозернистые песчаники; 4 — среднезернистые песчаники; 5 — крупнозернистые песчаники; 6 — гравелиты; 7 — сульфатно-глинисто-карбонатные породы; 8 — доломиты.

**Fig. 3.** Consolidated geological and geophysical section of the southern part of the Prilensko-Nepskoye LFZ, compiled from the results of a study of the heel of the Yarakinsky area

Packs of the Nepa Formation: 1 — Lower Nepal gravel-clay-sand; 2 — Upper Nepal gravel-clay-sand. Packs of Nizhnetirskaya substation: 3 — sulphate-clay-sand; 4 — sulfate-clay-dolomite. Packs of Verkhnetirskaya substation: 5 — clay-sandy; 6 — clay-sulfate-carbonate. Lithological column: 1 — mudstones; 2 — siltstones; 3 — fine-grained sandstones; 4 — medium-grained sandstones; 5 — coarse-grained gerbils; 6 — gravelites; 7 — sulfate-clay-carbonate rocks; 8 — dolomites

с песчаным матриксом; плохо сортированные; с примесью глинистого материала; неслоистые, в редких случаях с неясно выраженной субгоризонтальной и крупной косо́й слоистостью; неравномерно пористые. По разрезу наблюдается плавный переход гравелитов в мелкогалечные конгломераты и снова в гравелиты. В подошвенных частях циклитов присутствуют разноориентированные глинистые интракласты размером до 10×7 см.

По данным петрографических исследований, терригенные породы полевошпат-кварцевого состава. Отличительной чертой гравелитов является наличие цемента механического заполнения (матрикс), состоящего из мелкообломочного материала и псаммитовых зерен, заполняющих пространство между гравийными обломками (рис. 4А). По результатам рентгеноструктурного анализа карбонатная составляющая цемента в гравелитах представлена кальцитом (его содержание в цементе изученных скважин составляет 0,4—1%) и доломитом (в среднем доломита содержится 1,3—2%). Более поздний галитовый цемент распределен в порах неравномерно (0,3—10%). Ангидрит в виде примеси в среднем составляет 3%. Данные рентгеноструктурного анализа согласуются с петрографическими данными. Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,2 до 3 м, а южной части от 0,16 до 1,75 м.

*Песчаники* серые и коричневатые-серые, разномелкозернистые, крупно-среднезернистые, мелко-среднезернистые, реже мелкозернистые; неравномерно гравистые; минеральный состав цементирующей части: карбонатный, галитовый, сульфатный и глинистый; тип цемента: регенерационно-поровый; преобладают косая и тонкая слоистости, с многочисленными тонкими волнистыми глинистыми прожилками; в песчаниках присутствуют интракласты алевролита размером до 5×4 см; породы пористые. Среди песчаников отмечаются многочисленные прослои алевролитов, толщиной до 2,3 м.

По результатам петрографического изучения в составе цемента преобладает галит (6—10%), карбонаты (1—9%), сульфаты (1—13%) и глинистый материал (рис. 4В). Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,05 до 2 м, а южной части от 0,2 до 3,5 м.

*Алевролиты* светло-серые, серые, бежевые; зеленовато- и темно-серые; преимущественно мелко-крупнозернистые, песчаные и крупно-мелкозернистые глинистые, участками до перехода в алевро-аргиллиты; цемент глини-

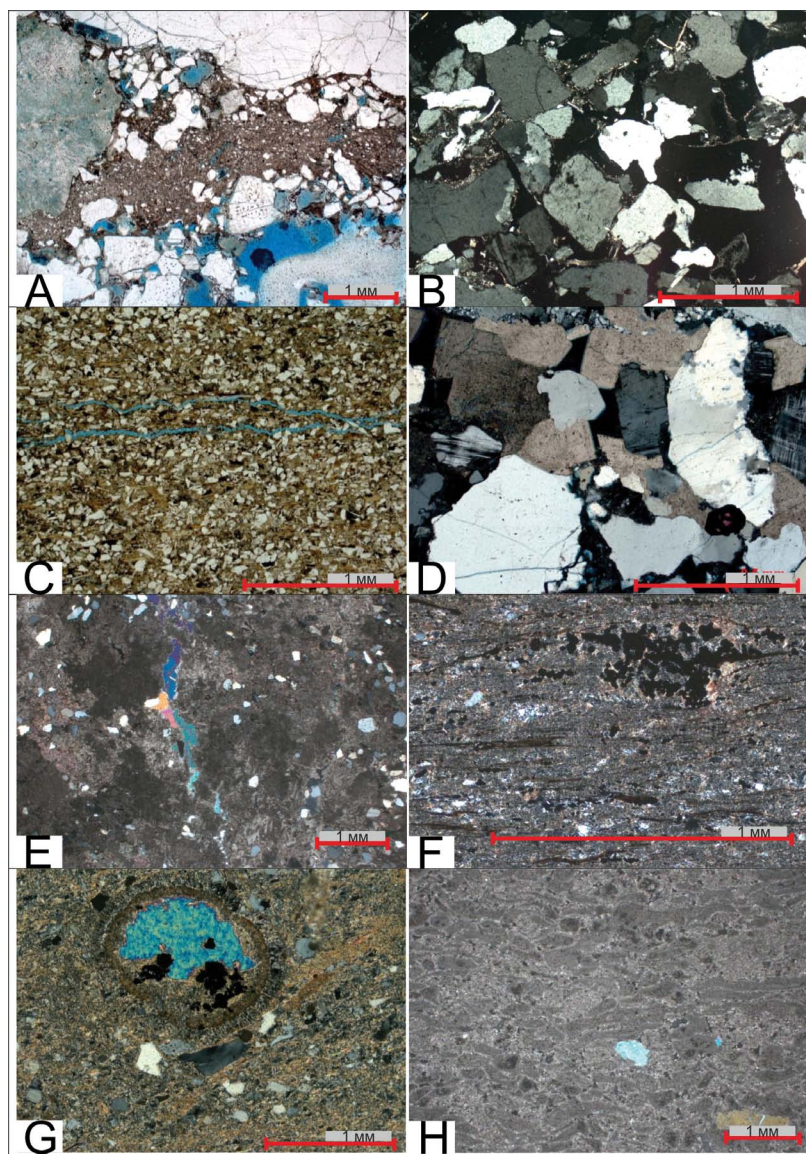
стый и пиритовый базального типа; тонко-мелко-параллельно-субгоризонтально-слоистые, слабоволнисто-слоистые, мелко-линзовидно-слоистые; с редкими тонкими линзами мелко-среднезернистого песчаного материала, часто с мелкой косо́й слоистостью; плотные (рис. 4С). Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,1 до 3 м, а южной части от 0,3 до 5,5 м.

В нижне-непской подсвите центральной части СФЗ выделяется верхне-чонский второй продуктивный горизонт (ВЧ2), а на юге — безыманный продуктивный горизонт. Основными коллекторами являются песчаники и гравелиты. Тип коллектора поровый. Мощность коллектора изменяется от первых до 10 метров. Значение пористости (Кп) в среднем составляет 9%, проницаемости (Кпр) 12 мД.

*Верхне-непская подсвита* со стратиграфическим несогласием залегает на нижне-непской подсвите. Литологически она представлена гравийно-глинисто-песчаными породами с единичными прослоями смешанных терригенно-сульфатно-карбонатных пород. Мощность ее увеличивается с северо-запада на юго-восток в сторону Предпатомского прогиба от первых метров до 80 м [6]. В процентном соотношении от мощности подсвиты в разрезе преобладают песчаники — 60%, алевролиты — 32%, доля гравелитов в разрезе составляет — 4%, аргилиты — 2%, терригенно-сульфатно-карбонатных пород — 2%. Она представлена песчаниками: в нижней половине разреза — разномелкозернистыми неравномерно гравистыми и гравийными, чередующимися с гравелитами, в верхней — мелкозернистыми алевролитистыми до крупнозернистых алевролитов. В кровле подсвиты в центральной части СФЗ располагаются смешанные терригенно-карбонатные породы (рис. 2, 3). Выделены следующие литотипы.

*Песчаники* серые, преимущественно средне-крупнозернистые, реже средне-мелкозернистые и крупно-среднезернистые, неравномерно гравистые, часто гравийные, средне сортированные; с неравномерной карбонатной, галитовой и сульфатной цементацией базально-порового типа; крупно-косослоистые и субгоризонтально-слоистые, пористые.

Содержание галита меняется от 2 до 12% (по данным петрографии). Галит заполняет поры, корродирует обломки, развивается по трещинам в полевошпатовых зернах. Результаты рентгеноструктурного анализа согласуются с петрографическими данными. Сульфатизация неравномерная,



**Рис. 4.** Фото шлифов характерных пород верхнего венда центральной части Приленско-Непеской СФЗ. А — гравелит разнозернистый, песчаный, с редкими гальками аркоз, с кварцево-регенерационным, поровым галитовым, карбонатным и пленочно-поровым глинистым цементом, участками с песчаным матриксом, с глинистыми интракластами; В — песчаник средне-крупнозернистый, слабо гравистый, аркозовый, с кварцево-регенерационным, поровым галитовым и редким пленочным глинистым цементом; С — алевролит крупно-мелкозернистый; D — песчаник с карбонатной цементацией; E — терригенно-карбонатная порода, неравномерно сульфатизированная, плотная; F — аргиллит алевритовый, неравномерно известковистый, неравномерно пиритизированный, слойчатый; G — микрофоссилия в крупно-мелкозернистом глинистом алевролите; H — доломит микрофитолитовый с литокластами, незначительно сульфатизированный и галитизированный, слабопористый. Вид с анализатором: А, В, С, D, G, H. Вид без анализатора: E, F. Увеличение А, E, H —  $\times 25$ ; B, C, D —  $\times 50$ ; F, G —  $\times 100$ . Длина масштабной линейки 1 мм

**Fig. 4.** Photos of thin sections of characteristic rocks of the Upper Vendian of the central part of the Prilensko-Nepeskaya SFZ. A-gravel is variegated, sandy, with rare pebbles of arkose, with quartz-regeneration, pore halite, carbonate and pore-film clay cement, areas with a sand matrix, with clay intraclasts; B-sandstone is medium-coarse-grained, slightly gravelly, arkose, with quartz-regeneration, pore halite and rare film clay cement; C-siltstone is coarse-grained; D-sandstone with carbonate cementation; E-terrigenous-carbonate rock, unevenly sulfated, dense; F-argillite is silty, unevenly calcareous, unevenly pyritized, layered; G-microfossils in coarse-grained clayey siltstone; H-dolomite is microphytolithic with lithoclasts, slightly sulfated and halitized, slightly porous. View with analyzer: A, B, C, D, G, H. View without analyzer: E, F. Increase A, E, H —  $\times 25$ ; B, C, D —  $\times 50$ ; F, G —  $\times 100$ . The length of the scale bar is 1 mm



участками интенсивная, в среднем составляет 5% (согласно PCA). Минералогический состав обломочной части пород: кварц — 54—91%, полевые шпаты — 9—41%, обломки пород (кварциты и кварцевые сланцы) — 1—5%, содержание слюды (преимущественно биотит) единично. Цемент относительно обломков составляет от 13 до 35% (рис. 4D). Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,1 до 2 м, а южной части от 0,5 до 9,1 м.

*Гравелиты* темно-серые, серые; разнообломочные, реже средне-мелкообломочные, неравномерно песчаные; с неравномерной сульфатной, доломитовой, галитовой и слабой глинистой цементацией базально-порового типа; косослоистые, пористые. В верхней части разреза зернистость песчаников уменьшается, количество и мощность глинистых слоев и прослоев увеличивается.

Цемент по составу идентичен вышеописанным песчаникам по процентному соотношению в нем галита, карбонатов, сульфатов и глины. Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,1 до 0,8 м, а южной части от 0,6 до 1,2 м.

*Песчаники* верхней половины разреза коричнево-серые, от крупно-среднезернистых до мелкозернистых алевроитовых в кровле, неравномерно гравистые, тонко-волнистослоистые, часто с глинистыми интракластами, пористые. В цементе рассматриваемых песчаников присутствуют те же минералы, что и в песчаниках нижней части разреза (такие как галит, карбонаты, глинистый материал и сульфаты). Но отмечается низкое процентное содержание сульфатов, а также более высокие значения галита и карбонатов. Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,08 до 0,5 м, а южной части от 0,4 до 4,2 м.

*Алевролиты* зеленовато-серые, мелкозернистые глинистые, с частыми тонкими прослоями и крупными линзами песчаника разномасштабного, преимущественно средне-мелкозернистого; с неравномерной сульфатной и карбонатной цементацией порового типа; тонкослоистые, линзовидно-волнистые; от плотных до неравномерно тонкопористых. Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,1 до 0,7 м, а южной части от 0,2 до 1 м.

*Терригенно-сульфатно-карбонатные породы* темно- и зеленовато-серого цвета, неравномерно сульфатизированные, с разноориентированными интракластами и тонкими слоями

аргиллита изменчивой толщины; породы плотные. Интракласты уплощенной угловатой формы, размером до 3×0,5 см. Сульфатизация представлена в виде включения кристаллов и мелких и крупных желваков розовато-серого ангидрита (рис. 4E). Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,1 до 0,2 м, а южной части от 0,2 до 0,5 м.

*Аргиллиты* темно и зеленовато-серые; с тонкой, параллельной и слабоволнистой слоистостью, участками слабо биотурбированные; плотные. (рис. 4F). Мощность литотипа в центральной части Приленско-Непской СФЗ изменяется от 0,02 до 0,2 м, а южной части от 0,05 до 0,5 м.

В верхне-непской подсвите центральной части СФЗ выделяется верхнечонский первый (ВЧ1) продуктивный горизонт, а на юге ярактинский продуктивный горизонт. Основными коллекторами являются песчаники и гравелиты. Тип коллектора поровый. Мощность коллектора изменяется от первых до 10 м. Значение пористости (Кп) в среднем составляет 8%, проницаемости (Кпр) 3 мД.

Непская свита центральной и южной части Приленско-Непской СФЗ имеет схожее строение и представлена следующими литотипами: конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Рассмотренные терригенные породы относятся к полевошпат-кварцевой, мезомиктово-кварцевой и аркозовой группам по классификации В.Д. Шутова.

Для разрезов южной части СФЗ, в отличие от центральной, характерно уменьшение среднего содержания кварцевых и полевошпатовых обломков, которое компенсируется глинистым материалом. Разрез характеризуется повышенной глинистостью, что связано с расположением данной зоны в переходных прибрежно-морских обстановках, где происходила разгрузка крупных речных систем, которые выносили песчано-глинистый материал в бассейн (рис. 3).

Результаты петрографических исследований терригенных отложений непского горизонта свидетельствуют в пользу того, что одними из основных источников сноса являлись магматические породы кислого состава, обломки которых присутствуют в песчаниках, что также подтверждается элементным составом пород, в которых преобладают  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , присутствуют  $\text{F}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Песчаники и алевролиты имеют полевошпат-кварцевый состав; акцессорные минералы, в основном, представлены цирконом, турмалином, ильменитом, магнетитом, апатитом. Наличие редких обломков эффузивных пород



в шлифах указывает на слабую вулканическую активность. Признаки эпигенетических преобразований, выраженные глинизацией калиевых полевых шпатов, а также регенерация обломочных зерен полевых шпатов и кварца свидетельствуют о том, что терригенные отложения подверглись изменениям в условиях катагенеза.

**Тирская свита.** Строение тирской свиты центральной и южной части Приленско-Непской СФЗ значительно отличается. Это связано с фациальными и палеогеографическими особенностями формирования отложений.

**Центральная часть Приленско-Непской СФЗ.** Разделение тирской свиты на подсвиты затруднено из-за наличия многочисленных субаэральных перерывов [4, 7, 17]. При разделении на подсвиты авторы использовали результаты площадных секвенс-стратиграфических исследований [11, 13].

**Нижнетирская подсвита** со стратиграфическим несогласием залегает на непской свите. Она соответствует объему третьей секвенции, выделенной авторами в разрезе скв. Верхнечонская 3 и прослеженной по площади [11]. Снизу вверх она представлена переходом от аргиллитов до алевролитов глинистых, в кровле до доломитов. Мощность подсвиты изменяется от 10 до 30 м. В процентном соотношении от мощности подсвиты в разрезе преобладают аргиллиты — 69%, доломиты — 18% и алевролиты — 15% (рис. 2). Выделены следующие литотипы.

**Аргиллиты** темно- и зеленовато-серые; тонкими прослоями переходящие в алевролиты глинистые, микрослоистые и микро-линзовидно-слоистые, с деформационными текстурами, плотные, слабо сульфатизированные, неравномерно слабо пиритизированные. Мощность литотипа изменяется от 0,04 до 5 м.

**Алевролиты глинистые** темно-серые и зеленовато-серые, микрослоистые и микро-линзовидно-слоистые, отмечаются деформационные текстуры и слабая биотурбация, плотные, неравномерно слабо пиритизированные (рис. 4G). Мощность литотипа изменяется от 0,4 до 2 м.

**Доломиты** серые и коричневатые-серые, тонкокристаллические; с органогенной микробальной структурой бандстоун, прослоями глинистые со структурой мадстоун, в кровле пачки разнообломочные, брекчированные; отмечается примесь алевро-песчаного материала, тонкие глинистые волнистые прожилки; породы плотные, неравномерно сульфатизированные, крепкие. Глинистый материал распределен в виде неправильных волнистых слоев и обрывков. Сульфатизация

отмечена в виде призматических и таблитчатых кристаллов ангидрита и гипса, реже желвачков ангидрита. Мощность литотипа изменяется от 0,07 до 6,4 м.

**Верхнетирская подсвита** со стратиграфическим несогласием залегает на нижнетирской подсвите. Она соответствует объему четвертной секвенции, выделенной авторами в разрезе скв. Верхнечонская 3 [11]. Представлена доломитами и доломитовыми мергелями. Мощность свиты изменяется от 3 до 40 м. В процентном соотношении от мощности подсвиты в разрезе преобладают доломиты — 87% и доломитовые мергели — 13% (рис. 2). Выделены следующие литотипы.

**Доломиты** серые, разнокристаллические; от глинистых со структурой мадстоун до зернистых пакстоунов и грейнстоунов и органогенных микробальных баундстоунов; прослоями брекчированные, от плотных до кавернозно-пористых, неравномерно сульфатизированные (рис. 4H). Мощность литотипа изменяется от 0,09 до 0,8 м.

**Мергели доломитовые** зеленовато-серые и серые, тонко-микрокристаллические с желваками окремненных микробальных доломитов, неправильно- и тонко-волнисто-слоистые, плотные, неравномерно окремненные, сульфатизированные. Окремнение в виде желваков размером 3×2 см. Сульфатизация в виде многочисленных мелких включений кристаллов ангидрита. Мощность литотипа изменяется от 0,1 до 0,3 м.

В верхнетирской подсвите центральной части СФЗ выделяется ербогачёвский продуктивный горизонт. Основными коллекторами являются доломиты. Тип коллектора кавернозно-поровый. Мощность коллектора изменяется от первых до 10 м. Значение пористости (Кп) в среднем составляет 10%, проницаемости (Кпр) 12 мД.

**Южная часть Приленско-Непской СФЗ.** В строении тирской свиты наблюдается четкое разделение на подсвиты: нижнетирскую и верхнетирскую. Это связано с отсутствием продолжительных перерывов в осадконакоплении и формировании отложений большую часть времени в условиях открытого шельфа.

**Нижнетирская подсвита** со стратиграфическим несогласием перекрывает непскую свиту. Она соответствует объему третьей секвенции, прослеженной по площади Приленско-Непской СФЗ [3]. Мощность подсвиты достигает 50 м. В разрезе выделены две пачки: сульфатно-глинисто-песчаная и сульфатно-глинисто-доломитовая (рис. 3).

**Нижняя сульфатно-глинисто-песчаная пачка.** В процентном соотношении от мощности пачки

в разрезе преобладают песчаники — 40%, аргиллиты — 30%, сульфатно-глинисто-карбонатные породы — 20%, алевролиты — 10%. Выделены следующие литотипы. Мощность пачки изменяется от первых метров до 25 м.

*Аргиллиты* темно-зеленые, микро- и тонкослоистые, с примесью алевроитового и песчаного материала, с редкими мелкими желваками доломита, плотные, послойно неравномерно пиритизированные (рис. 5А). Мощность литотипа изменяется от 0,1 до 5,5 м.

*Алевролиты* зеленовато-серые, серые, разнотекстурированные, преимущественно мелкозернистые, микро- и тонкослойные, с единичными прожилками и линзами тонкозернистого песчаного материала, плотные, неравномерно сульфатизированные, с единичными включениями стяжений пирита. Сульфатизация представлена мелкими и крупными включениями желваков светло-голубого и молочного ангидрита (рис. 5А). Мощность литотипа изменяется от 0,1 до 0,8 м.

*Песчаники* серые, коричневатые-серые, преимущественно средне-мелкозернистые, неясно- и тонкослоистые, с тонкими волнистыми прожилками алевролита, косослоистые; тонкопористые и пористые (рис. 5В).

Цемент, относительно обломков, составляет от 5 до 20%. Минеральный состав цемента: глинистый, сульфатный, карбонатный, пиритовый, битуминозный. Тип цементации: пленочный, поровый, базальный. Мощность литотипа изменяется от 0,5 до 20 м.

Песчаники выделяются в парфёновский продуктивный горизонт. Тип коллектора поровый. Мощность коллектора изменяется от первых до 20 м. Значение пористости ( $K_p$ ) в среднем составляет 11%, проницаемости ( $K_{пр}$ ) 30 мД.

*Сульфатно-глинисто-карбонатные породы* серые, темно-серые, кристаллические, неправильно и желваково-слоистые, с прожилками и линзами глинистого и песчаного материала, плотные. Мощность литотипа изменяется от 0,2 до 0,5 м.

**Сульфатно-глинисто-доломитовая пачка.** В процентном соотношении от мощности пачки в разрезе преобладают доломиты — 55%, смешанные сульфатно-карбонатно-глинистые породы — 35%; ангидриты — 10%. Мощность пачки изменяется от первых метров до 25 м. Выделены следующие литотипы.

*Смешанные сульфатно-карбонатно-глинистые породы* темно-серые, мелкозернистые, массивные, неясно-слоистые, реже тонкослоистые, плотные. Сульфатизация представлена в виде

стяжений и включений неправильной формы ангидрита (рис. 5С). Мощность литотипа изменяется от 0,02 до 1 м.

*Доломиты глинистые* темно-серые, неравномерно алевро-песчаные, сульфатизированные, участками кремнистые, неясно- и волнисто-слистые, плотные, крепкие. По структурам доломиты подразделяются: кристаллические с несохранившейся первичной структурой, сульфатизированные; глинистые со структурой мадстоун; строма-толитовые со структурой баундстоун (рис. 5Д). Мощность литотипа изменяется от 0,08 до 8,5 м.

*Ангидриты* светло-голубовато-серые, яснокристаллические, от мелко- до средне-желваковых, с прожилками глинистого материала, участками доломитистые, плотные. Мощность литотипа изменяется от 0,01 до 0,2 м.

**Верхнетирская подсвита** со стратиграфическим несогласием перекрывает нижнетирскую подсвиту. Она соответствует объему четвертой секвенции, прослеженной по площади Приленско-Непской СФЗ [3]. Мощность подсвиты достигает 40 м. В разрезе выделены две пачки: глинисто-песчаная и глинисто-доломитовая (рис. 3).

**Нижняя глинисто-песчаная пачка.** В процентном соотношении от мощности пачки в разрезе преобладают песчаники — 60%, алевролиты — 30%, сульфатно-глинисто-карбонатные породы — 10%. Мощность пачки изменяется от первых метров до 20 м. Выделены следующие литотипы.

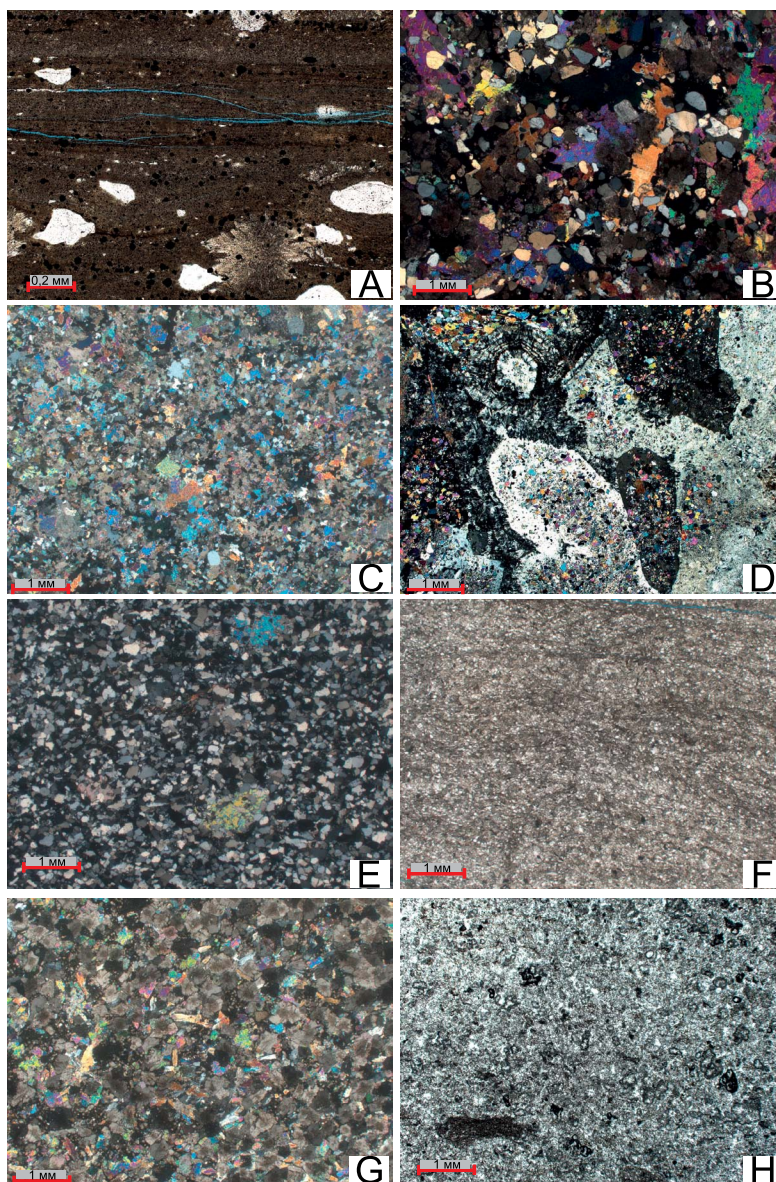
*Песчаники* серые и темно-серые, от алевроитовых до среднезернистых, преимущественно мелкозернистые, с неравномерным пятнистым доломитовым и сульфатным цементом, кварцевые с примесью слюдистого материала, тонко- и косослоистые, реже с оползневой текстурой, с тонкими глинистыми прожилками, от тонкопористых до пористых, крепкие (рис. 5Е).

Цемент, относительно обломков, составляет от 15 до 30%. Минеральный состав цемента: глинистый, сульфатный и карбонатный. Тип цементации: пленочный, поровый. Мощность литотипа изменяется от 0,9 до 6 м.

Песчаники выделяются в верхнетирский продуктивный горизонт. Тип коллектора поровый. Мощность коллектора изменяется от первых до 6 м. Значение пористости ( $K_p$ ) в среднем составляет 14%, проницаемости ( $K_{пр}$ ) 3 мД.

*Алевролиты глинистые* темно-серые, мелкозернистые; неравномерно песчаные, неясно-, волнисто- и тонкослоистые; с единичными мелкими стяжениями ангидрита, плотные (рис. 5Ф). Мощность литотипа изменяется от 0,1 до 2,5 м.





**Рис. 5.** Фото шлифов характерных пород тирской свиты Приленско-Непской СФЗ. А — аргиллит с примесью песчаного материала, со стяжениями сульфатов; В — песчаник средне-мелкозернистый, кварцевый, с равномерным сульфатно-карбонатным базально-поровым и равномерным глинистым базально-поровым типами цемента; С — смешанная сульфатно-карбонатная порода с терригенной примесью; D — доломит микрокристаллический, неравномерно окремненный, сульфатизированный; E — песчаник мелкозернистый, с равномерным глинистым порово-пленочным и неравномерным сульфатным поровым типами цемента; F — алевролит песчанистый с равномерным карбонатно-глинистым базально-поровым типом цемента; G — доломит разнокристаллический сильно сульфатизированный; H — доломит разнокристаллический с реликтовой микробиальной структурой баундстоун. Вид с анализатором: B, C, D, G. Вид без анализатора: A, F, H. Увеличение —  $\times 25$ . Длина масштабной линейки A — 0,2 мм, B—H — 1 мм

**Fig. 5.** Photos of thin sections of typical rocks of the Tyr Formation of the Prilensko-Nepsky SFZ. A — argillite with an admixture of sandy material, with coagulation of sulfates; B — sandstone is medium-fine-grained, quartz, with uniform sulfate-carbonate basal-pore and uniform clay basal-pore types of cement; C — mixed sulfate-carbonate rock with terrigenous admixture; D — microcrystalline dolomite, unevenly silicified, sulfated; E — sandstone is fine-grained, with uniform clay pore-film and uneven sulfate pore types of cement; F — sandy siltstone with a uniform carbonate-clay basal-pore type of cement; G — dolomite highly crystalline highly sulfated; H — dolomite is heterocrystalline with a relict microbial structure of the Boundstone. View with analyzer: B, C, D, G. View without analyzer: A, F, H.  $\times 25$  magnification. The length of the scale bar A is 0.2 mm, B-H is 1 mm

*Смещенные карбонатно-сульфатно-глинистые породы* от темно- до светло-серых, кристаллические, неправильно- и желваково-слоистые, плотные. Мощность литотипа изменяется от 0,05 до 1,5 м.

**Глинисто-сульфатно-карбонатная пачка.** В процентном соотношении от мощности пачки в разрезе преобладают глинисто-сульфатно-карбонатные породы — 60%, доломиты — 30%, ангидриты — 10%. Мощность пачки изменяется от 10 до 20 м. Выделены следующие литотипы.

*Глинисто-сульфатно-карбонатные породы*, серые, темно-серые, кристаллические, неясно-слоистые, желваково-слоистые, плотные, с включениями стяжений пирита, плотные. Мощность литотипа изменяется от 0,1 до 1 м.

*Доломиты* серые, светло-серые, кристаллические, с несохранившейся первичной структурой, реже с реликтовой микробиальной структурой баундстоун; неясно-, микро- и тонкослоистые, плотные, неравномерно сульфатизированные, крепкие (рис. 5Г, Н). Мощность литотипа изменяется от 0,08 до 0,9 м.

*Ангидриты* светло-серые, яснокристаллические, от мелко до крупно-желваковых, с многочисленными прожилками глинистого материала, участками доломитистые, плотные крепкие. Мощность литотипа изменяется от 0,01 до 0,3 м.

## Выводы

Разрез тирского горизонта Приленско-Непской СФЗ имеет отличия в строении центральной и южной части. В разрезе центральной части СФЗ благодаря ранее проведенным секвенс-стратиграфическим исследованиям было произведено разделение на подсвиты. В целом разрез снизу вверх представлен переходом от аргиллитов, алевролитов до доломитов. В разрезе южной части СФЗ наблюдается четкая закономерность в строении: в основании залегают базальные песчаники,

вверх по разрезу сменяющиеся глинисто-карбонатными породами.

## Заключение

В результате проведенных исследований авторами дано детальное литологическое и минералогическое описание подсвит и пачек непского и тирского горизонтов Приленско-Непской СФЗ. Впервые предложено и обосновано разделение тирской свиты юга СФЗ на четыре литологические пачки снизу вверх: сульфатно-глинисто-песчаную, сульфатно-глинисто-доломитовую, относящиеся к нижнетирской подсвите; глинисто-песчаную и глинисто-сульфатно-карбонатную, относящиеся к верхнетирской подсвите.

Формирование базальных песчаных пород в подошве подсвит, по мнению авторов, приурочено к этапам тектонической активности, положительным тектоническим движениям, которые инициировали относительно быстрое выветривание и транспортировку с прилегающих возвышенностей терригенного материала в бассейн осадконакопления. Выделено пять уровней распространения базальных песчаников, к которым приурочены основные продуктивные горизонты: в подошве нижненепского (ВЧ2, безыманный), верхненепского (ВЧ1, ярактинский); а также в подошве нижнетирского (парфеновский) и верхнетирского (верхнетирский) подгоризонта. Именно к базальным песчаникам в рассматриваемой СФЗ, накопившимся в этап низкого стояния уровня моря, приурочены основные терригенные продуктивные горизонты. Карбонатные коллекторы в верхнетирской подсвите сформировались на этапе высокого стояния уровня моря [11, 13].

В заключение автор выражает благодарность заведующему лабораторией минералогии и петрографии Митрошину О.Ю., петрографам Климовой Е.С. и Мартынюк Е.В., а также начальнику отдела литологических исследований Оленовой К.Ю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гурова Т.Н., Чернова Л.С., Потлова М.М. Литология и условия формирования резервуаров нефти и газа Сибирской платформы. М.: Недра, 1988. 254 с.
2. Котова Л.Н., Подковыров В.Н., Граунов О.В. Литогеохимия тонкозернистых обломочных пород венда Непского свода Сибирской платформы // Литосфера. 2016. Т. 1. С. 74—87.
3. Кузнецов В.Г. Литология — основы общей (теоретической) литологии. М.: Научный мир, 2011. 360 с.
4. Лебедев М.В., Моисеев С.А. Результаты детальной корреляции терригенных отложений венда северо-востока Непско-Ботуобинской антеклизы // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2012. № 8. С. 4—13.
5. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных: Учебное пособие. Екатеринбург: УГГУ, 2005. 289 с.
6. Мельников Н.В. Венд-кембрийский солеродный бассейн Сибирской платформы (Стратиграфия, история развития). Новосибирск: СО РАН, 2009. 148 с.
7. Мельников Н.В., Яшкин М.С., Шишкин Б.Б. и др. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей



- и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Новосибирск: СО РАН «Гео», 2005. 428 с.
8. Постникова О.В., Постников А.В., Коновальцева Е.С., Топорков В.Г., Савченко С.И. Вторичные процессы в породах-коллекторах ярактинского горизонта юго-восточного склона Непско-Ботубинской антеклизы // Литология и полезные ископаемые. 2011. № 5. С. 505—509.
  9. Постникова О.В., Соловьева Л.В., Тихомирова Г.И. Строение аллювиально-пролювиальных природных резервуаров нижнего венда южного склона Непско-Чонского мегасвода (Сибирская платформа) // Нефтяное хозяйство. 2008. № 2. С. 9—15.
  10. Постникова О.В., Соловьева Л.В., Фомичева Л.Н., Пошибаев В.В., Коновальцева Е.С. Природные резервуары рифей-венд-кембрийского осадочного бассейна юга Сибирской платформы. Особенности строения и закономерности размещения // Геология нефти и газа. 2010. № 6. С. 52—62.
  11. Плюснин А.В., Неделько О.В., Вилесов А.П., Черепкова А.А., Максимова Е.Н. Секвенс-стратиграфическая модель непской и тирской свит венда центральной части Непского свода (Непско-Ботубинская антеклизы, Сибирская платформа) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 2. 30 с. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/13\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html) (дата обращения: 01.12.2020).
  12. Плюснин А.В. Модель строения венда северо-восточной части Непско-Ботубинской антеклизы по результатам изучения опорных разрезов и секвенс-стратиграфического моделирования Непского свода и Мирнинского выступа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 3. 39 с. URL: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/30\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/30_2019.html)
  13. Плюснин А.В., Ибрагимов Р.Р., Гекче М.И. История геологического развития юга Непско-Ботубинской антеклизы в непское и тирское время по результатам применения метода секвентной стратиграфии // Нефтяное хозяйство. 2020. № 9. [В печати]
  14. Решения четвертого Межведомственного регионального стратиграфического совещания по уточнению и дополнению стратиграфических схем венда и кембрия внутренних районов Сибирской платформы. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. 64 с.
  15. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2: Учебное пособие. М.: МГУ, 1993. 432 с.
  16. Хоментовский В.В., Кочнев Б.Б. Венд Байкало-Патомского прогиба (Южная Сибирь) // Геология и геофизика. 1999. № 6. С. 807—822.
  17. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботубинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 467 с.
  18. Шутов В.Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 117.

## REFERENCES

1. Gurova T.N., Chernova L.C., Potlova M.M. *Lithology and conditions for the formation of oil and gas reservoirs of the Siberian platform*. Moscow, Nedra, 1988, 254 p. (In Russian).
2. Kotova L.N., Podkovyrov V.N., Graunov O.V. Lithochemistry of fine-grained Vendian clastic rocks of the Nepa dome, Siberian Platform. *Litosfera [Lithosphere]*, 2016, no. 1, pp. 74—87. (In Russian).
3. Kuznetsov V.G. *Lithology. Fundamentals of general (theoretical) lithology*. Moscow, Nauchnyy mir, 2011, 360 p. (In Russian).
4. Lebedev M.V., Moiseev S.A. The results of a detailed correlation of Vendian terrigenous deposits in the northeast of the Nepa-Botuobinsky antecline. *Geology, Geophysics, and Oil and Gas Field Development*. 2012, no. 8, pp. 4—13. (In Russian).
5. Maslov A.V. *Sedimentary rocks: methods of study and interpretation of obtained data: study manual*. Ekaterinburg, UGGU, 2005, 289 p. (In Russian).
6. Mel'nikov N.V. *Vendian-Cambrian salt pool of the Siberian platform (Stratigraphy, history of development)*. Novosibirsk, SB RAS, 2009, 148 p. (In Russian).
7. Mel'nikov N.V., Yakshin M.S., Shishkin B.B. et al. *Stratigraphy of the oil and gas basins of Siberia. Riphean and Vendian of the Siberian platform and its plicate framing*. Novosibirsk, SO RAN "Geo", 2005, 428 p. (In Russian).
8. Postnikova O.V., Postnikov A.V., Konoval'ceva E.S., Toporkov V.G., Savchenko S.I. Secondary processes in the reservoir rocks of the Yarakta horizon of the Nepa-Botuoba antecline southeastern slope. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and natural resources]*, 2011, no. 5, pp. 505—509. (In Russian).
9. Postnikova, O.V., Solov'eva, L.V., Tikhomirova, G.I. Structure of Lower Vendian Alluvial-Proluvial Natural Reservoirs on the Southern Slope of the Nepa-Chona Megadome (Siberian Platform). *Neftyanoe hozyajstvo [Oil industry]*. 2008, no. 2, pp. 9—15. (In Russian).
10. Postnikova O.V., Solov'eva L.V., Fomicheva L.N., Poshibaev V.V., Konoval'ceva E.S. Natural reservoirs of the Riphean-Vendian-Cambrian sedimentary basin of the south of the Siberian platform: structural features and patterns of location. *Geologiya nefi i gaza [Oil and gas Geology]*, 2010, no. 6, pp. 52—62. (In Russian).
11. Plyusnin A.V., Nedelko O.V., Vilesov A.P., Cherepkova A.A., Maksimova E.N. Sequence stratigraphic model of Nepa and Tira Vendian Formations located in the central part of the Nepa Arch (the Nepa-Botuoba antecline, Sibeian Platform). *Neftgazovaya Geologiya. Teoriya I Praktika*, 2019, vol. 14, no. 2, 30 p. (In Russian). Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/13\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/13_2019.html)
12. Plyusnin A.V. Structural model of the Vendian section

- belonging to the north-eastern part of the Nepa-Botuoba Antecline, based on the structural cross-sections and sequence-stratigraphic modeling concerning Nepa Arch and Mirny Ridge areas. *Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika*, 2019, vol. 14, no. 3, 39 p. (In Russian). Available at: [http://www.ngtp.ru/rub/2019/30\\_2019.html](http://www.ngtp.ru/rub/2019/30_2019.html)
13. Plyusnin A.V. Ibragimov R.R. Gyokche M.I. The history of the geological development of the south of the Nepa-Botuobinsky antecline in Nepa and Tyr time according to the results of applying the method of sequential stratigraphy. *Oil Industry*, 2020, no. 9 [In the press]. (In Russian).
  14. *Decisions of the fourth Interdepartmental Regional Stratigraphic Meeting to clarify and supplement the Vendian and Cambrian stratigraphic schemes of the inner regions of the Siberian Platform*. Novosibirsk, CIIGGIMS, 1989, 64 p. (In Russian).
  15. Frolov V.T. *Lithology*. Book 2. Moscow, Moskovskii gosudarstvennyi universitet, 1992, 336 p. (In Russian).
  16. Homentovskiy V.V., Kochnev B.B. The Vendian of the Baikal-Patom Upland, Siberia. *Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics]*, 1999, no. 6, pp. 807—822. (In Russian).
  17. Shemin G.G. *Geology and oil and gas potential of the Vendian and Lower Cambrian in the central regions of the Siberian platform (Nepsko-Botuobinskaya, Baikite anteclines and Katanga saddle)*. Novosibirsk, SB RAS, 2007, 467 p. (In Russian).
  18. Shutov V.D. Classification of sandstones. *Litologiya i poleznye iskopaemye [Lithology and natural resources]*, 1967, no. 5, p. 117. (In Russian).

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Плюснин А.В. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Гёкче М.И. — внесла вклад в геолого-геофизический региональный анализ скважин, выполнила перевод на английский язык, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Plyusnin A.V. — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

Goekce M.I. — contributed to the geological and geophysical regional analysis of wells, completed a translation into English, approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Плюснин Алексей Владимирович\*** — седиментолог, ООО «ИНК»  
4, Большой литейный проспект, г. Иркутск 664007, Россия  
e-mail: [Plyusnin\\_AV@irkutskoil.ru](mailto:Plyusnin_AV@irkutskoil.ru)  
Scopus Author ID: 8596454900  
SPIN: 2692-6140  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

**Alexey V. Plyusnin\*** — sedimentologist, LLC “Irkutsk oil company”  
4, Bolshoy Liteyny ave., Irkutsk 664007, Russia  
e-mail: [Plyusnin\\_AV@irkutskoil.ru](mailto:Plyusnin_AV@irkutskoil.ru)  
Scopus Author ID: 8596454900  
SPIN: 2692-6140  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2386-0287>

**Гёкче Марьяна Игоревна** — геолог, ООО «ИНК»  
4, Большой литейный проспект, г. Иркутск 664007, Россия  
e-mail: [gyokche\\_mi@irkutskoil.ru](mailto:gyokche_mi@irkutskoil.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1848-7163>

**Maryana I. Gyokche** — geologist, LLC “Irkutsk oil company”  
4, Bolshoy Liteyny ave., Irkutsk 664007, Russia  
e-mail: [gyokche\\_mi@irkutskoil.ru](mailto:gyokche_mi@irkutskoil.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1848-7163>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## О ВЛИЯНИИ ПОЧВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Р.Х. МУСИН\*, А.Р. ГАЛИЕВА, Т.Г. КУДБАНОВ, З.Г. КАЛКАМАНОВА, Н.А. КУРЛЯНОВ

*Казанский (Приволжский) федеральный университет  
18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия*

### АННОТАЦИЯ

Верхняя часть разреза Республики Татарстан сложена комплексами полифациальных средне- и верхнепермских, мезозойских и плиоцен-четвертичных отложений. Поверхностные и подземные воды характеризуются здесь широкой вариабельностью состава и минерализации. Эти вариации определяются природными и техногенными факторами. Важнейшим природным фактором является взаимодействие атмосферных осадков и их дериватов с почвами и породами разреза. Для оценки масштаба этого взаимодействия были проанализированы водные вытяжки с основных разновидностей почв на основе дистиллированной и талой снеговой воды. Составы водных вытяжек сопоставлены с составами наименее минерализованных (до 250 мг/л) родниковых вод. Определены компоненты, главным поставщиком которых в верхней части разреза являются почвы. Это органическое вещество, азотные соединения в нитритной и аммонийной форме и, в меньшей степени, железо с марганцем. Показано, что составы грунтовых вод вне зон техногенного воздействия во многом определяются взаимодействием атмосферных осадков с почвенным покровом. Это исходит из того, что водные вытяжки с почвенных образцов имеют преобладающую минерализацию не менее 100 мг/л, а минимальная минерализация родниковых вод обычно составляет 150—200 мг/л. Максимальной минерализующей ролью характеризуются почвы в пределах лесных массивов и луговых участков, минимальной — почвы речных долин; почвы обрабатываемых полей обладают промежуточными показателями состава водных вытяжек. Максимальное количество хорошо растворимых в воде минеральных и органических комплексов отмечается в черноземных и серых лесных почвах, а минимальное их количество — в сероцветных дерново-подзолистых почвах.

**Ключевые слова:** почвенный покров, грунтовые воды, водные вытяжки, выщелачивание, черноземные и дерново-подзолистые почвы

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

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

**Для цитирования:** Мусин Р.Х., Галиева А.Р., Кудбанов Т.Г., Калкаманова З.Г., Курлянов Н.А. О влиянии почв на формирование химического состава грунтовых вод в пределах Республики Татарстан. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2020;63(1):90—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-90-99>

\* Автор, ответственный за переписку

## SOIL INFLUENCE ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUND WATERS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

RUSTAM Kh. MUSIN\*, ALBINA R. GALIEVA, TIMUR G. KUDBANOV,  
ZILYA G. KALKAMANOVA, NIKITA A. KURLYANOV

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

### ABSTRACT

The upper section part of the Republic of Tatarstan comprises complexes of poly-facial Middle and Upper Permian, Mesozoic, and Pliocene-Quaternary sediments. Surface and groundwater here is characterised by wide variations in composition and mineralisation due to natural and technogenic factors. The most important natural factor is the interaction of atmospheric precipitation and its derivatives with the soils and rocks of the section. To assess the scale of this interaction, water extracts from the main soil varieties based on distilled and melt snow water were analysed. The composition of aqueous extracts was compared with that of the least mineralised (up to 250 mg/l) spring water. The compounds delivered to the upper part of the section by soils include organic matter, nitrogen compounds in nitrite and ammonium forms and, to a lesser extent, iron and manganese. It is shown that the composition of groundwater outside zones of technogenic impact is largely determined by the interaction of atmospheric precipitation with the soil cover. This is explained by the fact that water extracts from soil samples have a mineralisation of over 100 mg/l, while the minimum mineralisation of spring water is 150—200 mg/l. Soils within forests and meadows are characterised by the maximum mineralising role. The soils of river valleys and cultivated fields contribute to water mineralisation to a lesser extent. The maximum amount of mineral and organic complexes that are readily soluble in water was found in blacksoils and grey forest soils, while their minimum was determined in grey-coloured sod-podzolic soils.

**Keywords:** soil cover, groundwater, water extracts, leaching, chernozem and sod-podzolic soils

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

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

**For citation:** Musin R.Kh., Galieva A.R., Kudbanov T.G., Kalkamanova Z.G., Kurlyanov N.A. Soil influence on the chemical composition of ground waters in the republic of Tatarstan. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(1):90—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-1-90-99>

\* Corresponding author

Формирование состава и минерализации подземных вод определяется непрерывным протеканием различных гидрогеохимических процессов, контролирующихся разнообразными факторами. В областях достаточного увлажнения оно обычно начинается с взаимодействия атмосферных осадков с почвами. Почвы как особые органо-минеральные образования отличаются наличием комплекса достаточно легко растворимых соединений. Значительная роль почв в формировании состава и минерализации грунтовых вод была выявлена почвоведомы еще в начале XX в. [12]. Впоследствии на почвы как один из факторов формирования состава пресных подземных вод указывали такие

крупные ученые, как В.И. Вернадский [2], Е.В. Посохов [14], С.Л. Шварцев [17]. Несмотря на это, в большинстве случаев нет комплексного анализа и сопоставления составов почвенных растворов и грунтовых вод. Почвоведы обычно ограничиваются рассмотрением первых применительно к проблеме плодородия почв [1, 15]. А гидрогеологи при рассмотрении особенностей химического состава грунтовых вод в первую очередь оперируют составами пород зоны аэрации и грунтового водоносного горизонта, величинами эффективных осадков (иногда и их составом) и скоростей фильтрации, а также глубиной залегания грунтовых вод и антропогенным влиянием [3, 6, 16].



Целью данной статьи является дополнительное подтверждение тесной взаимосвязи состава грунтовых вод с почвенно-растительным покровом на примере Республики Татарстан (РТ), характеризующейся значительной вариабельностью почвенных и геолого-гидрогеологических условий.

### Объекты и методы исследования

Объектами исследования явились особенности состава грунтовых вод (вод первого от поверхности водоносного горизонта) и почвенного слоя в отдельных регионах РТ. Основные использованные методы исследований — метод водных вытяжек и комплексный анализ гидрогеохимической информации.

Республика Татарстан расположена в восточной части Восточно-Европейской платформы, в пределах Волго-Уральского артезианского бассейна по схеме гидрогеологического районирования И. К. Зайцева [7]. Площадь Республики — 68 тыс. км<sup>2</sup>. Ее отличают мощный промышленный потенциал, интенсивная разработка нефтяных месторождений и активный агропромышленный комплекс. Площади угодий: лесных — 17%, сельскохозяйственных — 65%; площадь водной акватории — 6,4% [5].

Верхняя часть геологического разреза РТ сложена комплексами полигенных пермских, морских юрско-меловых и аллювиальных плиоцен-четвертичных отложений. Пермские образования характеризуются максимальным площадным распространением. Они имеют сульфатно-карбонатно-терригенный состав и общую мощность до 400 м, при толщине отдельных прослоев 0,1—20 м. Мезозойские преимущественно глинистые отложения мощностью до 300 м развиты лишь в крайней юго-западной части РТ. Плиоцен-четвертичные песчано-глинистые образования выполняют речные долины, ширина которых может достигать 10—15 км, а глубина вреза 150—220 м [4].

Мощность зоны пресных подземных вод в Татарстане достигает 250—300 м. Эти воды формируют многочисленные междуречные потоки. Их питание осуществляется атмосферными осадками на водораздельных пространствах, а разгрузка происходит в речных долинах. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 1—2 до 40 м. Годовая норма осадков в РТ составляет ~500 мм/год, из них доля эффективных осадков — 12—20%. Общий ресурсный потенциал пресных подземных вод — 5,46 млн м<sup>3</sup>/сут, а величина их разведанных запасов — 2,29 млн м<sup>3</sup>/сут [5]. Наиболее водообильными частями разреза являются плио-

цен-четвертичные отложения, представленные песчаными русловыми фациями, а также прослои пермских песчаников и известняков в прибортовых зонах речных долин.

В Татарстане выделяется более 10 типов почв. При этом в северной части Республики (Предкамский регион) преобладают серые лесные и дерново-подзолистые почвы. В западной (Предволжский регион) и южной (Закамский регион) частях — серые лесные, а также выщелоченные и типичные черноземы [8]. Мощность почвенного покрова изменяется от 0,2—0,3 до 1,0—1,4 м (максимальные значения фиксируются в поле развития черноземов), при преобладающих значениях 0,4 м.

Подземные воды верхней части разреза обладают варьирующими в широких пределах химическим составом и минерализацией. В областях преобладания природных факторов в их формировании минерализация постепенно увеличивается вниз по разрезу и в направлении к зонам разгрузки от 0,15—0,2 до 0,6—1,0 г/л (участками 2—2,5 г/л). При этом химические составы подземных вод изменяются от гидрокарбонатных кальциевых и магниевых до гидрокарбонатных натриевых и сульфатных магниевых-кальциевых (в наименовании типов воды компоненты выстроены в порядке увеличения %-мольных концентраций согласно [11]). Данные гидрогеохимические особенности хорошо объясняются разной длительностью взаимодействия воды с карбонатно-терригенным (участками сульфатно-карбонатно-терригенным) водовмещающим минеральным матриксом. Определяющими гидрогеохимическими процессами здесь являются углекислотное выщелачивание карбонатно-терригенных пород, выщелачивание и растворение гипсов, гидролиз терригенных пород, сорбция и ионный обмен и др., которые с разной интенсивностью протекают в водовмещающих средах различного состава и возраста. При отсутствии или крайне слабом развитии гипсов минерализация вод обычно не превышает 0,7—0,8 г/л, а жесткость (здесь и далее подразумевается общая жесткость) — 7 ммоль/л, при этом качество основного объема подземных вод соответствует питьевому. Это качество иногда нарушается сверхпредельными концентрациями железа и марганца (соответственно, до 1,0 и 0,8 мг/л, реже более) [13, 19].

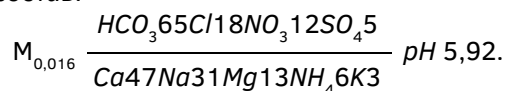
Техногенный фактор в формировании состава подземных вод играет значительную роль на территории населенных пунктов, в пределах крупных промышленных зон, в районах поверхностных

полигонов захоронения различных отходов, а также на площадях крупных нефтяных месторождений, разрабатываемых уже более 50 лет. Минерализация подземных вод здесь может достигать 5—12 г/л, а жесткость 80—135 ммоль/л [9, 18].

В областях преваширования природных факторов в формировании состава пресных подземных вод не отмечается каких-либо существенных гидрогеохимических изменений за последние 50—60 лет. Это может быть связано как со снижением уровня техногенного воздействия на подземную гидросферу, связанного с кризисными явлениями в российской экономике, так и с высокой буферной емкостью зоны аэрации, практически повсеместно характеризующейся довольно значительной карбонатностью и глинистостью [10].

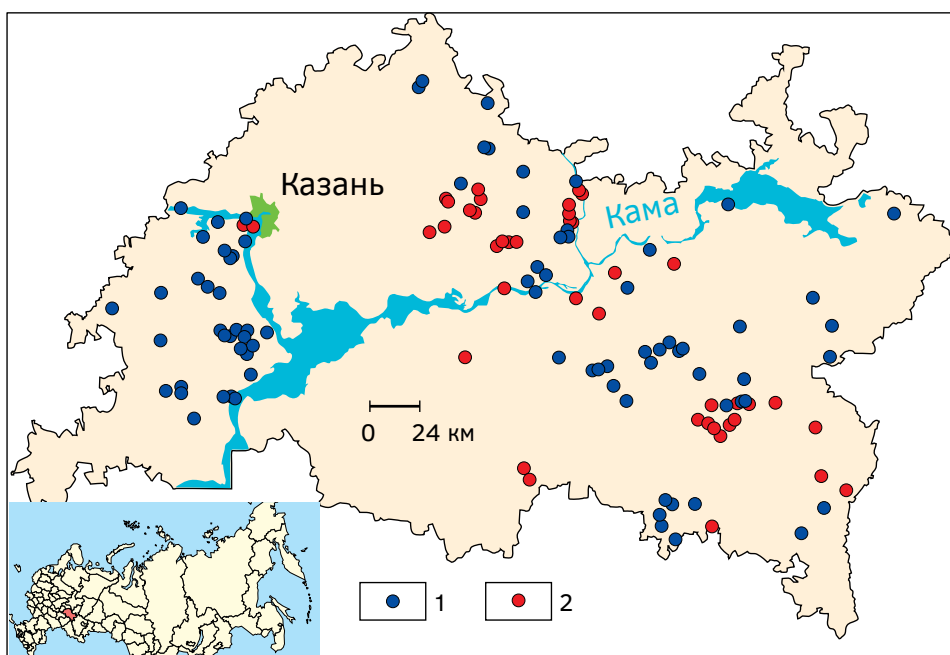
Для определения степени влияния почвенного покрова на состав грунтовых вод нами были проанализированы 46 водных вытяжек с почвенных проб. Данные пробы характеризуют почвы на полную их мощность. Подготовка вытяжек осуществлялась следующим образом — 100 г размельченной породы (фракции менее 1 мм) заливались 1 л воды. Периодически емкости интенсивно встряхивались. Через одни сутки вытяжки фильтровались и подвергались аналитическим исследованиям. При подготовке вытяжек использовались дистиллированная и талая снеговая вода. Талая

вода имела гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав:



В вытяжках определялись pH, электропроводность, мутность, цветность, перманганатная окисляемость, содержания:  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $F^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Li^+$ ; а также концентрации ряда тяжелых металлов: Fe, Mn, Pb, Ni, Cd, Cu, Co, Cr, Zn. Ионный состав анализировался с помощью ионных хроматографов Dionex ICS — 1600, а металлы детектировались на атомно-абсорбционном спектрометре ContrAA700.

Составы водных вытяжек сопоставлялись с составами родников с наименее минерализованной водой (127—250 мг/л, 100 проб). Такие родники расположены вне зон интенсивного техногенного воздействия, преимущественно в верхней части водораздельных склонов. Они имеют нисходящий характер и являются проявлениями субаэральной разгрузки вод первого от поверхности водоносного горизонта. Формирование их состава определяется непродолжительным взаимодействием атмосферных осадков с почвами и разнотипными породами разреза, представленного в основном образованиями уржумского и северодвинского ярусов (рис. 1).



**Рис. 1.** Расположение изученных объектов в пределах Республики Татарстан: 1 — родники с минерализацией воды менее 250 мг/л; 2 — пункты отбора почвенных проб

**Fig. 1.** Location of the studied objects within the Republic of Tatarstan: 1 — springs with water salinity less than 250 mg / l; 2 — soil sampling points

Фактический материал по химическому составу родниковых вод заимствован из отчетов по результатам гидрогеологосъемочных, гидро-геоэкологических и тематического плана работ (отчеты хранятся в геологических фондах г. Казани). По Предволжскому региону это исследования А.В. Солнцева и др., 2002; Е.И. Кочурова и др., 2002; по Предкамскому региону — С.И. Полякова и др., 2006; по Закамскому региону — Р.Х. Мусина и др., 2003.

### Результаты и их обсуждение

Минерализация и составы водных вытяжек с почвенных проб на основе разнотипной воды очень близки (табл. 1). Поэтому в дальнейшем они рассматриваются совместно.

Водные вытяжки почв Закамского (южного) региона РТ в сравнении с таковыми Предкамского (северного) региона характеризуются несколько более высокими значениями таких интегральных показателей состава, как минерализация, жесткость, окисляемость (табл. 2). В первом регионе значительные площади занимают черноземы, а во втором — дерново-подзолистые почвы.

Максимальные значения минерализации, содержания органических веществ и азотных соединений в виде  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_2^-$  обычно отмечаются в вытяжках с почв луговых и лесных участков, их минимумы приходятся на супесчаные серые почвы речных долин, а промежуточные значения

фиксируются в вытяжках почв с обрабатываемых сельскохозяйственных полей (табл. 3).

Маломинерализованные родниковые воды имеют несколько более высокие значения минерализации и жесткости в сравнении с почвенными водными вытяжками (табл. 4). При этом последние обогащены органическим веществом и азотными соединениями (табл. 5), а концентрации большей части остальных компонентов состава находятся на минимальных уровнях, характерных для природных вод, и они различаются не столь существенно (табл. 6).

Повышенные минерализация и жесткость грунтовых вод в сравнении с водными вытяжками связаны с их формированием в условиях более высокой парциальной активности углекислого газа. Если формирование состава вытяжек в лабораторных условиях проходило при атмосферном содержании  $\text{CO}_2$  (300 ppm), то формирование грунтовых вод в пределах РТ проходит при его концентрациях на уровне почвенного и подпочвенного горизонтов 800—120 000 ppm. Эти данные были получены нами в ходе проведения газовой съемки анализатором Escorprobe-5 во многих районах РТ (рис. 2).

По литературным данным содержание углекислого газа на уровне почвенного горизонта может достигать 10—12% (100 000—120 000 ppm), а в отдельных случаях и 15—20% [15]. Следовательно, подземные воды в зоне аэрации и в зоне насыщения должны характеризоваться как более высокими содержаниями гидрокарбонатов, так

**Таблица 1.** Особенности состава почвенных водных вытяжек на основе дистиллированной и талой снеговой воды  
**Table 1.** Features of the composition of soil water extracts based on distilled and melted snow water

| Первичная вода   | Минерализация, мг/л | Жесткость, ммоль/л       | pH                         | Окисляемость, мг О/л      | Преобладающий тип воды   |
|------------------|---------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Дистиллированная | 40—279<br>174 ± 80  | 0,31—2,11<br>1,16 ± 0,46 | 7,40—8,20<br>7,95 ± 0,25   | 6,20—10,50<br>9,43 ± 1,10 | $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ |
| Талая снеговая   | 34—294<br>175 ± 70  | 0,34—3,48<br>1,38 ± 0,79 | 6,20 — 8,10<br>7,50 ± 0,49 | 1,0—11,0<br>7,96 ± 2,56   | $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ |

Примечание. Сравнение проведено по 12 почвенным пробам Закамского региона; в этой и последующих таблицах в числителе приведены предельные значения (минимум-максимум), в знаменателе — среднее и стандартное отклонение.

**Таблица 2.** Сопоставление водных вытяжек почв Предкамского и Закамского регионов Татарстана  
**Table 2.** Comparison of water extracts of soils Predjamski and Zakamskiy region of Tatarstan

| Регион      | Кол-во проб | Минерализация, мг/л | Жесткость, ммоль/л       | pH                       | Окисляемость, мг О/л     | Преобладающий тип воды   |
|-------------|-------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Предкамский | 11          | 37—284<br>119 ± 76  | 0,27—2,41<br>1,15 ± 0,76 | 6,60—7,50<br>7,07 ± 0,30 | 3,52—5,65<br>4,51 ± 0,64 | $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ |
| Закамский   | 29          | 34—294<br>168 ± 74  | 0,31—3,48<br>1,27 ± 0,67 | 5,6—9,05<br>7,53 ± 0,80  | 1,0—11,0<br>8,03 ± 2,49  | $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ |

**Таблица 3.** Вариации состава почвенных водных вытяжек по основным ландшафтным зонам Предкамского и Закамского регионов

**Table 3.** Variations in the composition of water extracts of soils by key landscape zones Predjamski and Zakamskiy region

| Регион      | Ландш. зона | Кол-во проб | Минерализация, мг/л | Жесткость, ммоль/л    | Окисляемость, мг О/л  | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л |
|-------------|-------------|-------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Предкамский | Лес         | 2           | 179—284<br>232 ± 75 | 1,7—2,4<br>2,08 ± 0,5 | 4,9—5,7<br>5,3 ± 0,5  | 0,03—0,04<br>0,03 ± 0,005           | 0,0—4,6<br>2,3 ± 3,25               |
|             | Луг         | 4           | 67—163<br>124 ± 41  | 0,4—1,6<br>1,24 ± 0,6 | 3,5—5,1<br>4,2 ± 0,7  | 0,0—0,5<br>0,13 ± 0,24              | 0,0—3,4<br>1,5 ± 2,22               |
|             | Поле        | 4           | 41—152<br>78 ± 51   | 0,3—1,8<br>0,81 ± 0,7 | 3,9—5,0<br>4,6 ± 0,4  | 0,0—0,01<br>0,003 ± 0,01            | 0,0 — 0,3<br>0,09 ± 0,1             |
|             | Долина      | 1           | 37                  | 0,27                  | 3,89                  | 0,0                                 | 0,03                                |
| Закамский   | Лес         | 5           | 132—264<br>189 ± 52 | 0,8—2,6<br>1,54 ± 0,7 | 1,0—9,2<br>5,5 ± 3,8  | 0,0 — 0,25<br>0,14 ± 0,13           | 0,0—3,4<br>0,8 ± 1,5                |
|             | Луг         | 15          | 104—294<br>187 ± 62 | 0,7—3,5<br>1,48 ± 0,7 | 5,1—10,5<br>8,7 ± 1,6 | 0,0 — 3,97<br>0,66 ± 1,19           | 0,0—15,2<br>2,87 ± 5,3              |
|             | Поле        | 6           | 34—279<br>143 ± 105 | 0,3—1,2<br>0,77 ± 0,4 | 4,1—11,0<br>8,6 ± 2,6 | 0,0—3,47<br>0,98 ± 1,34             | 0,0—9,52<br>2,9 ± 3,89              |
|             | Долина      | 3           | 46—142<br>88 ± 49   | 0,4—1,1<br>0,75 ± 0,4 | 6,3—9,0<br>7,9 ± 1,4  | 0,0—0,26<br>0,09 ± 0,15             | 0,0—0,68<br>0,23 ± 0,4              |

**Таблица 4.** Сопоставление составов водных вытяжек и родниковых вод по минерализации и жесткости

**Table 4.** Comparison of compositions of water extracts and spring waters by mineralization and hardness

| Регион       | Тип воды   | Кол-во проб | Минерализация, мг/л | Жесткость, ммоль/л       | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л |
|--------------|------------|-------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Предволжский | Родниковая | 47          | 155—249<br>219 ± 28 | 2,76—5,36<br>4,16 ± 0,60 | 134—317<br>238 ± 47                  |
|              | Вытяжка    | 6           | 124—229<br>179 ± 48 | 0,8—2,40<br>1,45 ± 0,65  | 37—146<br>76 ± 44                    |
| Предкамский  | Родниковая | 17          | 127—250<br>227 ± 30 | 1,94—7,85<br>4,25 ± 1,2  | 92—281<br>243 ± 48                   |
|              | Вытяжка    | 11          | 37—284<br>119 ± 76  | 0,27—2,41<br>1,15 ± 0,76 | 15—120<br>71 ± 41                    |
| Закамский    | Родниковая | 36          | 180—249<br>222 ± 21 | 3,1—4,75<br>4,1 ± 0,44   | 134—281<br>199 ± 39                  |
|              | Вытяжка    | 29          | 34—294<br>168 ± 74  | 0,31—3,48<br>1,27 ± 0,67 | 12—214<br>116 ± 56                   |

Примечание. Минерализация в вытяжках — расчетная, а в родниковых водах соответствует сухому остатку.

и более высокой углекислотной агрессивностью и выщелачивающей способностью.

Из почв во взаимодействующую с ними дистиллированную и талую снеговую воду часто активно переходят (в мг/л): Fe — до 3,3; Mn — до 0,5 (табл. 7).

### Заключение

Особенности состава и минерализации подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта в природных условиях Татарстана в значительной степени определяются взаимодействием

атмосферных осадков с почвенным покровом. Этот вывод исходит из того, что водные вытяжки с почвенных образцов имеют преобладающую минерализацию не менее 100 мг/л, а минимальная минерализация родниковых вод обычно составляет 150—200 мг/л.

Почвенные водные вытяжки в сравнении с родниковыми водами менее минерализованы (в первую очередь за счет HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>). Это связано как с более длительным во времени становлением компонентного состава родниковых вод, так и с тем, что в природных условиях формирование



**Таблица 5.** Окисляемость и концентрации азотных соединений в водных вытяжках и родниках  
**Table 5.** Permanganate index and concentrations of nitrogen compounds in water extracts and springs

| Регион       | Тип воды   | Кол-во проб | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л | Окисляемость, мг О/л     |
|--------------|------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| Предволжский | Родниковая | 47          | 0,0—1,9<br>0,08 ± 0,38              | 0,0—0,23<br>0,09 ± 0,08             | 0,3—5,2<br>2,4 ± 1,1     |
|              | Вытяжка    | 6           | 0,1—1,02<br>0,55 ± 0,37             | 0,0—1,58<br>0,66 ± 0,63             | 5,3—10,9<br>7,9 ± 3,2    |
| Предкамский  | Родниковая | 17          | 0,0—0,13<br>0,03 ± 0,03             | 0,0—0,46<br>0,15 ± 0,14             | Не определялась          |
|              | Вытяжка    | 11          | 0,0—0,49<br>0,06 ± 0,15             | 0,0—4,6<br>0,45 ± 1,38              | 3,52—5,65<br>4,51 ± 0,64 |
| Закамский    | Родниковая | 36          | 0,0—1,58<br>0,08 ± 0,31             | 0,0—0,2<br>0,03 ± 0,04              | 0,0—8,5<br>2,78 ± 2,22   |
|              | Вытяжка    | 29          | 0,0—3,97<br>0,58 ± 1,06             | 0,0—15,2<br>2,25 ± 4,28             | 1,0—11,0<br>8,03 ± 2,49  |

**Таблица 6.** Сопоставление составов водных вытяжек и родниковых вод по pH, сульфатам и другим компонентам  
**Table 6.** A comparison of the compositions of the water extracts and spring water for pH, sulfate and other components

| Регион       | Тип воды   | pH                       | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л | Cl <sup>-</sup> , мг/л  | (Na+K) <sup>+</sup> , мг/л | SiO <sub>2</sub> , мг/л |
|--------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| Предволжский | Родниковая | 6,5—8,9<br>8,05 ± 0,67   | 0,0—34,1<br>8,1 ± 6,8                | 0,6—22,5<br>4,7 ± 4,3   | 0,5—24,2<br>6,9 ± 6,1      | 1,0—37,3<br>9,4 ± 7,8   |
|              | Вытяжка    | 7,65—7,94<br>7,79 ± 0,11 | 20,6—53,5<br>37,5 ± 12,4             | 3,5—3,6<br>3,55 ± 0     | 1,3—15,6<br>7,2 ± 5,1      | 1,9—24,74<br>9,3 ± 8,9  |
| Предкамский  | Родниковая | 6,86—7,74<br>7,39 ± 0,29 | 2,6—30,9<br>7,8 ± 7,8                | 1,9—14,7<br>8,4 ± 3,6   | 3,0—17,2<br>10,1 ± 3,9     | Не определял            |
|              | Вытяжка    | 6,60—7,50<br>7,07 ± 0,3  | 1,4—13,3<br>4,1 ± 3,7                | 0,8—3,6<br>2,0 ± 1,0    | 2,6—11,2<br>5,0 ± 3,1      | 3,1—8,1<br>4,6 ± 1,7    |
| Закамский    | Родниковая | 7,15—8,70<br>8,10 ± 0,31 | 0—46,1<br>12,5 ± 11,1                | 0,0—63,8<br>13,0 ± 14,2 | 0,0—19,8<br>6,3 ± 5,8      | 0,0—25,21<br>8,5 ± 6,3  |
|              | Вытяжка    | 5,60—9,05<br>7,53 ± 0,80 | 0,7—36,8<br>5,4 ± 6,9                | 0,6—29,2<br>3,4 ± 5,1   | 1,8—35,9<br>9,8 ± 9,6      | 2,0—9,6<br>5,0 ± 2,2    |

Примечание. Сульфаты в вытяжках из почв Предволжского региона определялись гравиметрическим методом, который обычно дает более высокие значения в сравнении с ионно-хроматографическими данными.

**Таблица 7.** Концентрации железа и марганца в вытяжках и родниковых водах  
**Table 7.** Concentrations of iron and manganese in extracts and spring water

| Регион      | Тип воды   | Кол-во проб | Fe, мг/л                     | Mn, мг/л                     |
|-------------|------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| Предкамский | Родниковая | 17          | 0,010—0,350<br>0,080 ± 0,081 | 0,00—0,130<br>0,041 ± 0,040  |
|             | Вытяжка    | 8           | 0,00—3,309<br>0,85 ± 1,21    | 0,004—0,516<br>0,091 ± 0,184 |
| Закамский   | Родниковая | 36          | 0,016—0,691<br>0,076 ± 0,138 | 0,005—0,084<br>0,035 ± 0,018 |
|             | Вытяжка    | 9           | 0,07—2,9<br>1,14 ± 1,12      | 0,005—0,538<br>0,15 ± 0,192  |



Рис. 2. Расположение газогеохимических профилей в пределах Татарстана

Fig. 2. Location of gas-geochemical profiles within Tatarstan

состава подземных вод происходит при более высоком парциальном давлении углекислого газа, что определяет повышенную углекислотную агрессивность вод и их более высокую выщелачивающую способность.

Почвы являются основными поставщиками в подземную гидросферу  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , органического вещества и, в меньшей степени, Fe и Mn. В зоне аэрации и в первом от поверхности водоносном горизонте первые окисляются до  $\text{NO}_3^-$ , а железо с марганцем выпадают в осадок за счет разрушения органоминеральных комплексов, в составе которых скорее всего находятся и мигрируют эти металлы. С этим связаны более высокие содержания нитратов в родниковых водах в сравнении с их концентрацией в вытяжках, а также практически повсеместное развитие в приповерхностной зоне «обоих» горных пород и дендритов гидроокислов марганца. Этот же фактор может вызывать питьевую некондиционность грунтовых вод в районах неглубокого их залегания при мощном почвенном слое.

Максимальной минерализующей ролью характеризуются почвы в пределах лесных мас-

сивов и луговых участков, минимальной — почвы речных долин; почвы обрабатываемых полей характеризуются промежуточным положением. Максимальное количество хорошо растворимых в воде минеральных и органических комплексов отмечается в черноземных и серых лесных почвах, а минимальное их количество — в сероцветных дерново-подзолистых почвах.

Составы вытяжек на основе дистиллированной и маломинерализованной талой снеговой воды очень близки, степени выщелачивания большей части компонентов этими разнотипными водами одинаковы. В связи с этим подготовку водных вытяжек как с почв, так и других минеральных образований можно проводить лишь на основе дистиллированной воды.

Практически равные содержания натрия, калия  $(\text{Na}+\text{K})^+$  и кремнекислоты в водных вытяжках и маломинерализованных родниковых водах свидетельствуют о значительном превышении в приповерхностной части гидрогеологического разреза скорости водообмена над скоростью гидролитических процессов, ответственных за перевод указанных компонентов в растворенную форму.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение. М.: Юрайт, 2014. 527 с.
2. Вернадский В.И. История природных вод. М.: Наука, 2003. 752 с.
3. Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. М.: МГУ, 2007. 448 с.

4. Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника. М.: ГЕОС, 2003. 402 с.
5. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2015 г. Казань, 2016. URL: [http://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_619802.pdf](http://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_619802.pdf) (дата обращения: 15.07.2019).
6. Драйвер Д. Геохимия природных вод. М.: Мир, 1985. 440 с.
7. Зайцев И.К. Гидрогеохимия СССР. Л.: Недра, 1986. 239 с.
8. Латыпов М.К. Номенклатура, таксономия и диагностика основных типов почв РТ. Казань: Казанский государственный университет, 2008. 36 с.
9. Мусин Р.Х. О гидрогеоэкологических особенностях и проблемах нефтяного региона Татарстана // Изв. вузов. Геология и разведка. 2012. № 2. С. 48—53.
10. Мусин Р.Х. Техногенные изменения в гидrolитосфере Республики Татарстан // Недропользование XXI век. 2013. № 5 (42). С. 61—66.
11. Отраслевой стандарт. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.
12. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.
13. Подземные воды Татарии. Казань: Казанский государственный университет, 1987. 189 с.
14. Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1969. 334 с.
15. Почвоведение. В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование. М.: Высшая школа, 1988. 400 с.
16. Самарина В.С. Гидрогеохимия. Л.: Ленинградский университет, 1977. 360 с.
17. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 354 с.
18. Musin R.Kh., Kurlyanov N.A., Kalkamanova Z.G., Korotchenko T.V. Environmental state and buffering properties of underground hydrosphere in waste landfill site of the largest petrochemical companies in Europe. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 33, Issue 1. Art. № 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012019>
19. Musin R.Kh., Korolev E.A., Zotina K.E. Variations and conditions of the composition natural waters in the Central European Russia (on example of the Tatarstan Republic). In 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2017. Vol. 17. Issue 31. P. 777—784. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/31/S15.98>

## REFERENCES

1. Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Pedology*. Moscow, Yurayt, 2014, 527 p. (In Russian).
2. Vernadskiy V.I. *History of natural waters*. Moscow, Nauka, 2003, 752 p. (In Russian).
3. Vsevolozhskiy V.A. *Fundamentals of hydrogeology*. Moscow, MGU, 2007, 448 p. (In Russian).
4. *Geology of Tatarstan: Stratigraphy and tectonics*. Moscow, GEOS Publ., 2003, 402 p. (In Russian).
5. *State report on the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2015*. Kazan, 2016, 505 p. (In Russian). URL: [http://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_619802.pdf](http://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_619802.pdf)
6. Driver J. *Geochemistry of natural waters*. Trans. from English by A.N. Barabanova, G.A. Solomina, Editor S.I. Smirnova. Moscow, Mir, 1985, 440 p. (In Russian).
7. Zaytsev I.K. *Hydrogeochemistry of the USSR*. Leningrad: Nedra, 1986, 239 p. (In Russian).
8. Latypov M.K. *Nomenclature, taxonomy and diagnostics of the main types of soils of Republic of Tatarstan*. Kazan: Kazanskiy Gos. Univ., 2008, 36 p. (In Russian).
9. Musin R.Kh. On hydrogeoecological features and problems of the oil region of Tatarstan. *Proceedings of universities. Geology and exploration*, 2012, no. 2, pp. 48—53. (In Russian).
10. Musin R.Kh. Technogenic changes in the hydrolithosphere of the Republic of Tatarstan. *Nedropol'zovaniye XXI vek [Subsoil use XXI century]*, 2013, no. 5 (42), pp. 61—66. (In Russian).
11. *Industry standard. Underground water. Classification by chemical composition and temperature*. Moscow, VSEGIN GEO, 1986, 12 p. (In Russian).
12. Perel'man A.I. *Geochemistry of natural waters*. Moscow, Nauka, 1982. 154 p. (In Russian).
13. *Groundwater of Tatarstan*. Kazan: Kazanskiy Gos. Univ., 1987, 189 p. (In Russian).
14. Posokhov E.V. *Formation of the chemical composition of groundwater*. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe Publ., 1969, 334 p. (In Russian).
15. *Pedology. Part. 1. Soil and soil formation*. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1988, 400 p. (In Russian).
16. Samarina V.S. *Hydrogeochemistry*. Leningrad: Leningradskiy Gos. Univ., 1977, 360 p. (In Russian).
17. Shvartsev S.L. *Hydrogeochemistry of hypergenesis zone*. Moscow, Nedra, 1998, 354 p. (In Russian).
18. Musin R.Kh., Kurlyanov N.A., Kalkamanova Z.G., Korotchenko T.V. Environmental state and buffering properties of underground hydrosphere in waste landfill site of the largest petrochemical companies in Europe. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2016, vol. 33, no. 1. Art. no. 012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/33/1/012019>
19. Musin R.K., Korolev E.A., Zotina K.E. Variations and conditions of the composition natural waters in the Central European Russia (on example of the Tatarstan Republic). In 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2017, vol. 17, no. 31, pp. 777—784. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/31/S15.98>

## ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Мусин Р.Х. — проведение полевых исследований, разработка концепции статьи, обработка аналитических данных, подготовка текста статьи.

Галиева А.Р. — проведение аналитических исследований.

Кудбанов Т.Г. — проведение аналитических исследований.

Калкаманова З.Г. — сбор данных по химическому составу маломинерализованных родниковых вод Республики Татарстан.

Курлянов Н.А. — проведение полевых исследований, пробоподготовка.

Musin R.Kh. — conducting field research, developing the concept of the article, processing analytical data, preparing the text of the article.

Galieva A.R. — conducting analytical research.

Kudbanov T.G. — conducting analytical research.

Kalkamanova Z.G. — collection of data on the chemical composition of low-mineralized spring waters of the Republic of Tatarstan.

Kurlyanov N.A. — conducting field research, sample preparation.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Мусин Рустам Хадиевич\*** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент Казанского федерального университета

18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия

e-mail: [Rustam.Musin@kpfu.ru](mailto:Rustam.Musin@kpfu.ru)

тел.: +7 (917) 293-40-41

SPIN: 5548-9590

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0257-269X>

**Rustam Kh. Musin\*** — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Ass. Prof., Kazan Federal University

18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

e-mail: [Rustam.Musin@kpfu.ru](mailto:Rustam.Musin@kpfu.ru)

tel.: +7 (917) 293-40-41

SPIN: 5548-9590

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0257-269X>

**Галиева Альбина Руслановна** — аспирант Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета

18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия

e-mail: [abdullina\\_albina94@mail.ru](mailto:abdullina_albina94@mail.ru)

тел.: +7 (904) 762-42-27

**Albina R. Galieva** — postgraduate student of the Institute of Geology and oil and gas technologies of Kazan Federal University

18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

e-mail: [abdullina\\_albina94@mail.ru](mailto:abdullina_albina94@mail.ru)

tel.: +7 (904) 762-42-27

**Кудбанов Тимур Гумарович** — аспирант Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета

18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия

e-mail: [ferrum828@gmail.com](mailto:ferrum828@gmail.com)

тел.: +7 (927) 419-78-92

**Timur G. Kudbanov** — postgraduate student of the Institute of Geology and oil and gas technologies of Kazan Federal University

18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

e-mail: [ferrum828@gmail.com](mailto:ferrum828@gmail.com)

tel.: +7 (927) 41-97-892

**Калкаманова Зилья Гайсовна** — инженер кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета

18, ул. Кремлевская, г. Казань 420008, Россия

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

тел.: +7 (937) 626-05-40

**Zilya G. Kalkamanova** — engineer, Department of General Geology and hydrogeology, Institute of Geology and oil and gas technologies, Kazan Federal University

18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

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

tel.: +7 (937) 626-05-40

**Курлянов Никита Андреевич** — инженер кафедры общей геологии и гидрогеологии Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского федерального университета

18, ул. Кремлевская, г. Казань, 420008, Россия

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

тел.: +7 (987) 299-89-59

SPIN: 1345-2960

**Nikita A. Kurlyanov** — engineer, Department of General Geology and hydrogeology, Institute of Geology and oil and gas technologies, Kazan Federal University

18, Kremlevskaya str., Kazan 420008, Russia

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

tel.: +7 (987) 299-89-59

SPIN: 1345-2960

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author





