

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

2023

Том 65, № 4  
Vol. 65, #4

PROCEEDINGS OF HIGHER  
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
GEOLOGY AND EXPLORATION

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

4

# ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
**ГЕОЛОГИЯ**  
И РАЗВЕДКА  
Научно-методический журнал

**Том 65, № 4**  
**2023**

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

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

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS  
**GEOLOGY**  
AND  
EXPLORATION  
Scientific methodological journal

**Vol. 65, No. 4**  
**2023**

The journal has been published since 1958  
Frequency: Bimonthly



**ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ**

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

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

**Главный редактор**

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

**Заместители главного редактора**

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

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

**Члены редакционной коллегии**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Иностранные члены редакционной коллегии**

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

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

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

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

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

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

# GEOLOGY AND EXPLORATION

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

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

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

## Редакционный совет

### Председатель редакционного совета

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

### Члены редакционного совета

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

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

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

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

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

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

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| История издания журнала                                  | Издается с января 1958 г.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Периодичность                                            | 6 раз в год                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Префикс DOI                                              | <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) 255-15-10, доб. 2289<br><a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a><br>E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a> |
| Тираж                                                    | 100 экз.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Дата выхода в свет                                       | 28.09.2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Типография                                               | Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Копирайт                                                 | © Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Стоимость одного выпуска                                 | Свободная цена                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Условия распространения материалов                       | Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Индексация                                               | РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat.<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. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

### Editor-in-Chief

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

### Deputy Editors-in-Chief

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

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

### Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Foreign members of the Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Editorial Council

### Chairman of the Editorial Council

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

### Members of the Editorial Council

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

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

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

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

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

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

|                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Founded                             | The journal has been published since January, 1958                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Frequency                           | 6 times per year                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| DOI Prefix                          | <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) 255-15-10, ext. 2289<br><a href="https://www.geology-mgri.ru">https://www.geology-mgri.ru</a><br>E-mail: <a href="mailto:journal-geology@mgri.ru">journal-geology@mgri.ru</a>                                                                                                |
| Circulation                         | 100 copies                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Publication date                    | 28.09.2023                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Printing House                      | "Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Copyright                           | © Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Price                               | Flexible                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Distribution                        | The content is distributed under the Creative Common License CC BY                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Indexation                          | Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory.<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

### ВОПРОСЫ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

---

- 8 МГРИ БЫЛ И ОСТАЕТСЯ КУЗНИЦЕЙ ПОДГОТОВКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАДРОВ**  
*Ю.П. ПАНОВ*

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

- 15 ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ФЫОКТХАНЬ —  
ФЫОКШОН, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ**  
*Т. ЧАН ВАН, П.А. ИГНАТОВ, Т. МАЙ ЧОНГ, Х. НГУЕН ЗУИ*

### ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

---

- 27 ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ МЕТОДИКИ ПРИ БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ  
В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ**  
*А.Д. КАРИНСКИЙ, А.А. ИВАНОВ, И.А. ЗУДЕНКОВ, А.А. МАТЮШЕНКО, П.В. НОВИКОВ*
- 37 КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ**  
*В.М. БОНДАРЕНКО, Л. ШАВЬЕР*

### ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

---

- 46 ГАГАТЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕЙ ЮРЫ КРЫМА (г. СУДАК): УГЛЕПЕТРОГРАФИЯ,  
ПАЛЕОБОТАНИКА, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ**  
*И.Е. СТУКАЛОВА, Т.А. САДЧИКОВА, С.В. НАУГОЛЬНЫХ, А.Л. ЧЕПАЛЫГА*
- 66 ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ  
ИНТЕРПРЕТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА**  
*А.К. ШАТЫРОВ*
- 81 ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРИЗ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «N»**  
*Т.Т. МАЖРЕНОВА*

### ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

---

- 89 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН С ПОЗИЦИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ**  
*А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ*

## GEOLOGIC AND PROSPECTING EDUCATION ISSUES

- 8 SERGO ORDZHONIKIDZE RUSSIAN STATE UNIVERSITY FOR GEOLOGICAL PROSPECTING IS THE TALENT FOUNDRY FOR THE GEOLOGICAL SECTOR**  
*YURI P. PANOV*

## GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 15 TYPIFICATION OF GOLD OCCURENCES IN THE PHUOC THANH — PHUOC SON AREA, CENTRAL VIETNAM**  
*TIEN TRAN VAN, PETR A. IGNATOV, TU MAI TRONG, HUNG NGUYEN DUY*

## GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 27 SUBSTANTIATION FOR A NEW NON-CONTACT MEASUREMENT TECHNIQUE IN ELECTRICAL RESISTANCE SURVEYS**  
*ALEXANDR D. KARINSKIY, ANDREY A. IVANOV, IVAN A. ZUDENKOV, ANNA A. MATYUSHENKO, PETR V. NOVIKOV*
- 37 CLASSIFICATION OF PHYSICO-GEOLOGICAL MODELS**  
*VLADIMIR M. BONDARENKO, L. SHAVIER*

## GEOLOGY AND PROSPECTING FOR HYDROCARBON RESERVES

- 46 GAGATES IN CRIMEAN MIDDLE JURASSIC SEDIMENTS (SUDAK): COAL PETROGRAPHY, PALEOBOTANY, FORMATION CONDITIONS**  
*IRINA E. STUKALOVA, TAMARA A. SADCHIKOVA, SERGEY V. NAUGOLNYKH, ANDREY L. CHEPALLYGA*
- 66 FORECAST OF OIL AND GAS RESERVOIRS OF THE SEA OF OKHOTSK BASED ON INTERPRETATION PROCESSING OF SEISMIC MATERIAL**  
*ANAR K. SHATYROV*
- 81 FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF HARD TO RECOVERY RESERVES OF THE ACHIMOVSKAYA SITE OF THE “N” DEPOSIT**  
*TOMILA T. MAZHRENOVA*

## HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 89 DEFINITION OF WEAKENED ZONES FROM THE STANDPOINT OF ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY**  
*ALEXANDR S. GUSELTSEV*



## МГРИ БЫЛ И ОСТАЕТСЯ КУЗНИЦЕЙ ПОДГОТОВКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАДРОВ.

Ю.П. ПАНОВ

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

**Для цитирования:** Панов Ю.П. МГРИ был и остается кузницей подготов-  
ки геологических кадров. *Известия высших учебных заведений. Гео-  
логия и разведка.* 2023;65(4):8—14. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-8-14>

Статья поступила в редакцию 29.08.2023  
Принята к публикации 26.09.2023  
Опубликована 28.09.2023

## SERGO ORDZHONIKIDZE RUSSIAN STATE UNIVERSITY FOR GEOLOGICAL PROSPECTING IS THE TALENT FOUNDRY FOR THE GEOLOGICAL SECTOR

YURI P. PANOV

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

**For citation:** Panov Yu.P. Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospe-  
cting is the talent foundry for the geological sector. *Proceedings of higher educational establish-  
ments. Geology and Exploration.* 2023;65(4):8—14. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-8-14>

*Manuscript received 29 August 2023*  
*Accepted 26 September 2023*  
*Published 28 September 2023*

На протяжении стапятилетней истории  
РГГРУ имени Серго Орджоникидзе как веду-  
щий инженерный вуз страны вносит вклад  
в обеспечение технологического суверени-  
тета и технического лидерства России.

Ордена Трудового Красного Знамени феде-  
ральное государственное бюджетное образо-  
вательное учреждение высшего образования

«Российский государственный геологоразведоч-  
ный университет имени Серго Орджоникидзе»  
(МГРИ) берет свое начало с геолого-разведочного



факультета **Московской горной академии (МГА)**, созданной на основании Декрета Совнаркома и протокола № 191 от 4 сентября 1918 г. и определенной в ведение Народного комиссариата по просвещению Российской республики.

Студентов в академии начали обучать на трех отделениях: геолого-разведочном, горно-рудничном и металлургическом. В 1929 г. в связи с растущей потребностью промышленности в инженерных кадрах, необходимых для индустриализации страны, в МГА были созданы дополнительно три новых факультета: нефтяной, торфяной и факультет цветных металлов.

В 1930 г. во исполнение постановления правительственной Комиссии от 15.04.1930 г. «О реформе высшего и среднего образования» было принято решение о реорганизации МГА. В соответствии с приказом по Высшему совету народного хозяйства (ВСНХ) СССР от 17 апреля 1930 г. за № 1238 МГА была расформирована. На базе ее факультетов было организовано шесть высших технических учебных заведений — институтов: **Московский геолого-разведочный институт** (на базе геолого-разведочного факультета МГА и почвенно-геологического отделения МГУ), Горный институт, Институт черной металлургии, Институт цветных металлов и золота, Нефтяной и Торфяной институты.

За 11 лет существования МГА было подготовлено около 500 специалистов: горных инженеров и горных инженеров-геологов. Это была внушительная цифра для страны, если иметь в виду, что в 1912 г. во всей Российской империи насчитывалось только 565 специалистов в области геологии, а горных инженеров-геологоразведчиков было всего лишь 250. Многие преподаватели МГА и специалисты, ее окончившие, после расформирования академии успешно работали в МГРИ.

Для размещения МГРИ было выделено здание Московского государственного университета (МГУ) по адресу: ул. Моховая, дом 11. В этом здании находились: Геологический институт; Институт минералогии, петрографии и рудных месторождений; Минералогический музей; Геолого-палеонтологический музей имени А.П. и М.В. Павловых. Институты и музеи также были переданы МГРИ.

До передачи указанных подразделений МГУ в распоряжение МГРИ приказом № 243 от 22.04.1930 г. по Главному геолого-разведочному управлению (ГГРУ) ВСНХ было образовано **Московское высшее геолого-разведочное училище**, директором которого назначили И.Ф. Щербаченко. Одновременно с формированием руководства

в МВГРУ по направлениям от различных организаций и других институтов зачислялись студенты.

В июле 1930 г. на базе училища был образован **Московский геолого-разведочный учебный комбинат (МГРУК)**, в состав которого входили директорат и пять секторов:

- сектор высшего образования — **Московский геологоразведочный институт (МГРИ)**;
- сектор среднего образования — Московский геолого-разведочный техникум (с 2012 г. Старооскольский филиал МГРИ-РГГРУ) и Московский буровой техникум;
- сектор подготовки во втузы и техникумы — рабфак и подготовительные курсы;
- научно-исследовательский сектор, в который входил Научно-исследовательский институт;
- сектор заочного обучения.

В 1931—1932 гг. продолжались мероприятия по структуризации деятельности МГРИ и участию института в работе Главного геолого-разведочного управления ВСНХ СССР. Заочный сектор МГРУК наделялся полномочиями по руководству всей сетью высшего образования в системе ГГРУ ВСНХ.

В начале 1932 г. Главное геолого-разведочное управление и МГРИ, входившие в состав ГГРУ, были переведены в ведение Наркомата тяжелой промышленности (НКТП) СССР, который возглавлял Г.К. (Серго) Орджоникидзе.

Орджоникидзе был сильнейшим организатором, выражаясь современным языком, он был эффективным кризис-менеджером. Его называли командармом тяжелой индустрии. Огромна заслуга Орджоникидзе в становлении и развитии минерально-сырьевой базы страны. Он прекрасно понимал, что развитие тяжелой промышленности страны невозможно без геолого-разведочных работ, открытия и разработки новых месторождений полезных ископаемых.

Велика заслуга Серго Орджоникидзе и в сохранении Московского геолого-разведочного института, за что по ходатайству преподавателей и студентов МГРИ на основании постановления Президиума ВЦИК и Совета народных комиссаров от 20.02.1932 г. вышел приказ № 179 от 23.03.32 г. по НКТП СССР, согласно которому **Московскому геологоразведочному институту было присвоено имя Серго Орджоникидзе**.

В 1934 г. учебный комбинат был расформирован, а входившие в его состав сектора, в том числе Московский геолого-разведочный институт, стали самостоятельными организациями.

С 1932 по 1937 г. МГРИ находился в подчинении Главного управления учебных заведений

Наркомата тяжелой промышленности СССР, а с 1938 по 1946 г. — в ведении Всесоюзного комитета по делам высшей школы и Комитета по делам геологии при СНК СССР.

22 июня 1941 года началась Великая Отечественная война. Начало войны застало многих студентов и преподавателей МГРИ в различных уголках нашей страны. Несмотря на это, уже 29 июня 1941 года в Красную армию ушла первая группа добровольцев эмгэришников. Многие преподаватели, сотрудники и студенты МГРИ вступали в ряды народного ополчения. Так, после митинга в институте 3 июля 1941 г. 28 преподавателей и сотрудников и 57 студентов института добровольцами вступили в ряды 8-й Краснопресненской стрелковой дивизии народного ополчения.

14 октября 1941 г. началось формирование подразделений для обороны Москвы на ближних подступах. На этот призыв горячо откликнулись студенты, преподаватели и сотрудники МГРИ. В тот же день на пункт формирования Краснопресненского коммунистического батальона в школу № 89 Тестовского поселка прибыли 175 добровольцев из числа студентов и преподавателей института. В героической битве за Москву участвовала большая часть студентов МГРИ. Они были стойкими, смелыми бойцами 3-й, 5-й и 8-й дивизий народного ополчения. В боях за Родину участвовали: летчик В. Зайцев, политрук А. Нагорный, десантник В. Гребенников, военный геолог И. Комаров, саперы Н. Экзарьян и В. Чернов, ротный автоматчик Ш. Багдасаров и др. В сражениях Великой Отечественной войны участвовали более 500 студентов, преподавателей и сотрудников МГРИ; при общей численности коллектива института 1500 человек 95 из них отдали жизнь в боях за Родину.

Значителен вклад студентов, преподавателей и сотрудников МГРИ в оборону Москвы. Уже 28 июня 1941 г. по просьбе райкома комсомола 40 парней — студентов института были направлены на строительство оборонительных сооружений в Смоленскую область, а для оказания консультаций московским организациям по геологии, в связи со строительством оборонительных сооружений, при МГРИ был создан консультационный пункт, в состав которого входили: профессора Г.Н. Каменский, Ф.П. Саваренский и Г.В. Богомолов, доцент Н.Н. Биндеман, ассистенты Ф.В. Котлов и А.Л. Рубинштейн.

Студенты и преподаватели МГРИ проектировали и строили оборонительные сооружения, трудились в рядах военно-рекогносцировочных отрядов, отрядов противовоздушной обороны,

военно-геологических отрядов (ВГО), воевали в рядах действующей Красной армии и участвовали в партизанском движении. В условиях оборонительных боев ВГО давали сведения о рельефе, типе грунтов, глубине залегания подземных вод и их источниках, местных строительных материалах и др. Для обеспечения наступательных операций составлялись карты проходимости, подготавливались развернутые инженерно-геологические характеристики отдельных плацдармов, особенно в районах водных преград и долговременных оборонительных сооружений, и др.

Самоотверженный труд советских геологов, не прекращавших полевые работы во время Великой Отечественной войны, позволил стране добиться полного самообеспечения почти всеми видами минерального сырья, что, в конечном счете, сыграло решающую роль в гигантской битве Советского Союза и его союзников с фашистской Германией, овладевшей к 1941 г. материальными ресурсами практически всех стран континентальной Европы.

В октябре 1941 г., в труднейшие дни для нашей Родины, когда основная часть студентов и преподавателей ушла добровольно в ряды Красной армии, МГРИ по решению Правительства был эвакуирован в город Семипалатинск. Оставшиеся в Москве преподаватели и студенты (Московский филиал) были переданы в ведение геологического факультета МГУ. В 1943 г. институт был возвращен из Семипалатинска в Москву, и уже в 1943/44 учебном году в нем возобновились занятия.

К 105-летней годовщине образования МГРИ бывшими сотрудниками — ветеранами института Ю.И. Блох и В.И. Скопцовой подготовлен и университетом издан материал по истории развития института «Довоенные директора МГРИ».

Огромный вклад выпускников МГРИ в послевоенное восстановление и развитие страны, повышение ее обороноспособности за счет открытия в МГРИ нового направления подготовки специалистов в области разведки и разработки месторождений радиоактивных руд. Особо необходимо отметить положительные результаты очередной реорганизации МГРИ, проведенной в 1963 г., когда в соответствии с приказом министра высшего и среднего специального образования РСФСР № 354 от 23 мая 1963 г. было объявлено об объединении кафедр в МГРИ: кафедру палеонтологии объединили с кафедрой исторической геологии и назвали эту кафедру — «Кафедра исторической геологии»; кафедру экономики

и организации геолого-разведочных работ объединили с кафедрой методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и предписали именовать эту кафедру — «Кафедра методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и экономики геолого-разведочных работ».

В результате реорганизации в состав МГРИ вошла оставшаяся от перевода в Красноярск часть Московского института цветных металлов и золота им. М.И. Калинина (МИЦМиЗ) (приказ № 469 от 18.07.1963 г. по Министерству высшего и среднего образования РСФСР). В МГРИ пришел ряд преподавателей, которые в последующем принесли институту известность и значимость: М.И. Агошков, М.Ф. Стрелкин, В.Н. Котляр, А.Б. Каждан, В.И. Киселев, Д.И. Щеголев, С.М. Шорохов, Г.Н. Попов, В.Е. Бойцов, Н.И. Егоров, Т.М. Кайкова, Л.З. Бобровников, Н.Н. Соловьев, К.М. Мельникова, Д.П. Лобанов, С.В. Потемкин, В.А. Симаков и др.

Объединение двух геологических школ, МГРИ и МИЦМиЗ (1963 г.), позволило значительно расширить подготовку специалистов в области разведки месторождений редких и радиоактивных металлов, а включение в состав МГРИ горняков — специалистов по разработке цветных, редких и радиоактивных руд обеспечило полный цикл подготовки выпускников вуза — от разведки до разработки месторождений полезных ископаемых. Существенное увеличение количества кафедр горного профиля и начавшаяся подготовка горных инженеров-разработчиков позволили расширить направления работы института. Сохранив первоначальное название, институт приобрел более широкий горно-геологический спектр деятельности в минерально-сырьевом комплексе страны.

Значительный вклад в выявление закономерностей размещения руд черных, цветных, редких и радиоактивных металлов внесли коллективы преподавателей и сотрудников под руководством профессоров Е.Е. Захарова, В.Н. Котляра, В.Е. Бойцова, Т.М. Кайковой, В.М. Григорьева, М.П. Исаенко, И.Ф. Григорьева, П.В. Калинина, Д.А. Минеева, Н.И. Егорова, Б.М. Роненсона, С.А. Юшко, И.Ф. Трусовой, В.И. Чернова, И.И. Вишневской, С.В. Тихомирова.

Профессора В.В. Аристов, Д.А. Зенков, А.Б. Каждан, Н.Н. Соловьев и их сотрудники занимались проблемами методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Большую роль в области совершенствования техники и технологии разведочного бурения сыграли работы профессоров Б.И. Воздвиженского,

Н.И. Куличихина, Д.Н. Башкатова, В.С. Владиславлева, С.А. Волкова, А.Г. Калинина, Б.М. Ребрика.

Профессора М.И. Агошков, В.В. Алексеев, Г.К. Бондарик, С.А. Брылов, А.О. Верчеба, Л.Г. Грабчак, Е.А. Козловский, Н.В. Тихонов, В.К. Шехурдин и ныне здравствующие В.М. Григорьев, Д.П. Лобанов, О.С. Брюховецкий, А.А. Верчеба, В.П. Дробаденко, П.А. Игнатов, А.М. Лимитовский, В.И. Нестомряев, А.М. Портнов, А.В. Туров, А.Г. Секисов, В.Н. Экзарьян, Л.А. Ярг, В.П. Яшин и многие другие внесли существенный вклад в разработку фундаментальных проблем геологии, техники и технологии, механизации и автоматизации процессов горно-геологического производства.

В трудах профессоров Г.Н. Попова, С.В. Потемкина, В.А. Симакова, С.М. Шорохова, Б.П. Юматова разрабатывались вопросы добычи руд цветных, редких и благородных металлов.

К началу 1969 г. среди выпускников МГРИ было девять Героев Социалистического Труда, пятнадцать лауреатов Ленинской премии и 120 лауреатов Государственной премии.

К 50-летию коллектив МГРИ добился значительных успехов в подготовке горных инженеров и в проведении научно-исследовательских работ в помощь производству, за что **12 мая 1969 г. постановлением Президиума Верховного Совета СССР был награжден орденом Трудового Красного Знамени.**

Ректором института в период с 1964 по 1988 год работал выдающийся организатор и замечательный человек, участник ВОВ Дмитрий Петрович Лобанов (в этом году он отметил свой 99-й день рождения), который в контакте с известными советскими государственными деятелями: Петром Яковлевичем Антроповым (окончил МГРИ в 1932 г.) — министром геологии и охраны недр (1953—1962 гг.), Ефимом Павловичем Славским (окончил МИЦМиЗ в 1933 г.) — министром (председателем Госкомитета) среднего машиностроения СССР (1957—1986 гг.), Петром Фадеевичем Ломако (окончил МИЦМиЗ в 1932 г.) — министром цветной металлургии СССР (1957—1986 гг.) и Евгением Александровичем Козловским (окончил МГРИ в 1953 г.) — министром геологии СССР (1975—1989 гг.) и при их активном содействии организовывал и направлял развитие МГРИ, формировал материально-техническую базу института.

Отмечая достижения МГРИ, следует отметить, что за 105-летний период работы коллективом университета подготовлено более 40 000 специалистов — геологов, минералогов, палеонтологов,

гидрогеологов, специалистов по инженерной геологии, геофизиков, горных инженеров и экономистов; более 2000 кандидатов и 450 докторов наук для минерально-сырьевого комплекса страны и более 2000 специалистов с высшим образованием для 95 зарубежных стран, в том числе свыше 400 кандидатов и 17 докторов наук, внесших значительный вклад в развитие геолого-разведочной и горной отраслей промышленности России и зарубежных стран.

Наши выпускники участвовали и участвуют в разведке и разработке всего комплекса полезных ископаемых. Особая роль принадлежит нашим выпускникам в разведке урановых месторождений. Практически все виды этих месторождений открыты выпускниками МГА — МГРИ, как и многие другие месторождения редкоземельных металлов. Всего первооткрывателями 52 месторождений полезных ископаемых являются 46 выпускников МГРИ (список уточняется).

Среди первооткрывателей минералов выпускники МГРИ заслуженно занимают одно из ведущих мест, ими открыто около 250 новых минералов, среди которых есть минерал **мгриит**, названный в честь МГРИ.

Из числа студентов МГА — МГРИ — РГГРУ вышли: 56 академиков и членов-корреспондентов российских академий, 32 заслуженных деятеля науки и техники, 12 заслуженных работников высшей школы, 5 человек являются авторами научных открытий мирового уровня, 11 выпускников института удостоены звания Героя Социалистического Труда: П.Я. Антропов, У.Ф. Ахмедсафин, М.К. Бупежанов, И.К. Жаксыбаев, Р.В. Нифонтов, С.С. Панчев, А.А. Петров, Г.А. Селятицкий, С.А. Смирнов, А.В. Пейве, В.И. Смирнов; 15 воспитанников института стали лауреатами Ленинской премии: П.Я. Антропов, И.И. Белов, М.И. Калганов, Н.И. Гемоданов, Е.А. Козловский, И.С. Комаров, В.И. Китаев, В.Н. Котляр, А.В. Пейве, Б.В. Половинкин, А.Н. Тугаринов, Н.П. Чунарев, Н.Ф. Шармин, Г.Ф. Яковлев, В.И. Смирнов; более 160 питомцев института отмечены Государственными премиями СССР за крупные научные исследования, открытие месторождений, выдающиеся монографические работы и учебники, среди них: М.И. Агошков, В.В. Бродовой, В.И. Борщ-Компаниец, И.К. Гавич, Н.И. Куличихин, Л.Л. Ляхов, М.В. Муратов, Н.Н. Николаев, В.В. Сборовский, В.А. Симakov, Н.С. Шатский, В.М. Швеи, Ю.В. Якубовский, Е.А. Козловский и др.; преподавателями и сотрудниками института получено свыше 1290 авторских свидетельств на изобретения, 3 диплома на открытия, ряд

изобретений запатентованы в США, Канаде, Франции, Швеции, Сирии, Индии и Пакистане.

Следует отметить и уникальные достижения ученых и преподавателей университета. В частности, наши выпускники выполнили задание военно-промышленного комплекса, в соответствии с которым необходимо было решить задачу отбора и доставки на Землю образца лунного грунта. Руководил созданием буровой установки для отбора лунного грунта выпускник МГРИ 1953 г. В.Г. Кардыш. 20 сентября 1970 г. станция «Луна-16» совершила мягкую посадку в районе Моря Изобилия, а 21 сентября 1970 г. возвращаемый модуль стартовал с Луны, неся пробу лунного грунта. Была еще и «Луна-20» в феврале 1972 г.

На фоне первых успехов в освоении космического пространства в 1960—1962 гг. Академией наук СССР, Министерством геологии и Государственным комитетом по топливной промышленности при Госплане СССР была согласована и утверждена первая программа по изучению недр Земли и сверхглубокому бурению. В уникальном проекте принимали участие и выпускники МГРИ. В реализации данной программы по бурению Кольской сверхглубокой скважины (12 620 м), которая началась в 1970 г., участвовали выпускники факультета техники разведки и разработки, а председателем Научного совета по проблеме глубинного изучения Земли и сверхглубокого бурения в 1974 г. был назначен в то время заместитель министра, а затем министр геологии СССР Е.А. Козловский, выпускник МГРИ 1953 г.

В настоящее время коллектив МГРИ имеет прекрасную материальную базу, специализированные лаборатории, компьютерные классы и отремонтированные аудитории, оборудованные интерактивными панелями и досками с лазерными проекторами, имеет необходимое программное обеспечение и современную оргтехнику. Университет укомплектован профессиональным педагогическим составом и имеет все возможности для подготовки высококвалифицированных специалистов для промышленно-хозяйственного комплекса России. Для занятий студентов создана хорошая интерактивная среда дистанционного получения специальной информации, организованы зоны отдыха и места для занятий спортом.

В МГРИ и его Старо-Оскольском филиале в Белгородской области обучается около 5 тыс. человек на очной, очно-заочной и заочной формах обучения, ведется подготовка по 31 образовательной программе бакалавриата, 36 образовательным



программам специалитета, 15 образовательным программам магистратуры и 16 специальностям среднего профессионального образования, широкому спектру программ дополнительного образования. В Старо-Оскольском филиале обучается более 1500 студентов по образовательным программам СПО, бакалавриата и специалитета. В целом за последние 5 лет в вузе прошли обучение более 18 тысяч студентов.

Развивается подготовка кадров высшей квалификации, с 2022 года набор в аспирантуру проводится в рамках федеральных государственных требований, постоянно увеличивается конкурс в аспирантуру.

В МГРИ обучаются студенты из 43 стран, за пять лет дипломы получили более 2,5 тыс. иностранных студентов, которые успешно работают в 86 странах мира и в российских представительствах зарубежных компаний.

МГРИ ведет активную международную деятельность по развитию научного потенциала отрасли. При поддержке Минобрнауки РФ набирает обороты сотрудничество со странами Африки. В этом году состоялся международный форум «Россия — Африка: образовательное, научное и технологическое сотрудничество в сфере недропользования», который собрал участников более чем из 20 африканских стран. Руководство и сотрудники МГРИ совместно с зарубежными партнерами из университета Зимбабве разработали и представили концепцию создания центра исследования минерального сырья.

Специалистами университета ведется работа в области не только научно-технического, но и образовательного международного взаимодействия: в рамках межуниверситетского сотрудничества с африканскими странами проводятся лекции, мастер-классы и семинары экспертов отрасли, есть договоренность о разработке совместных образовательных программ, запуске программы двух дипломов, программ обмена опытом для преподавателей и студентов.

Стратегической целью вуза является создание современной системы непрерывной подготовки специалистов с формированием научных и практических компетенций по инновационным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса России, конкурентоспособной на внешних рынках; создание на базе Университета общероссийского ресурсного центра геологической и природоохранной деятельности в интересах отраслевого и территориального развития страны.

Для достижения стратегической цели необходимо следующее.

1. Занятие ведущих позиций среди российских высших учебных заведений в сфере подготовки специалистов по инновационным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

2. Завоевание лидерства в сегменте научной деятельности, включая цифровую трансформацию, экологизацию и внедрение аддитивных технологий и беспилотных систем в сфере природопользования в Российской Федерации.

3. Повышение мирового имиджа и закрепление лидирующих позиций в части подготовки иностранных профильных специалистов по минерально-сырьевому комплексу дружественных стран.

Наиболее вероятной видится реализация базового сценария, нацеленного на формирование численного состава обучающихся в объеме 18,5 тысячи человек к 2032 году, повышение среднего балла поступающих на 15%.

Достижение этих показателей возможно только при трансформации университета в межотраслевой центр, соответствующий задачам, стоящим перед наукой и образованием в формате шестого технологического уклада. Мероприятия для достижения отмеченных показателей заложены в Программе развития университета на 2023—2032 годы и будут реализовываться по следующим основным направлениям:

- преобразование МГРИ в университетский научно-технологический геоэкологический кластер, где университет должен стать базовым вузом геологической отрасли, национальным лидером ключевых профессиональных компетенций в сети образовательных, научных и производственных партнеров, инициатором мультипроектов для развития прорывных инновационных, в том числе цифровых, аддитивных и беспилотных технологий в области геологии, экологии и экономики;
- организация взаимодействия университета с научными, образовательными организациями и бизнесом с целью формирования портфеля конкурентоспособных образовательных программ всех уровней, привлекательных для студентов и важных для обеспечения современной науки и практики;
- сохранение узнаваемого бренда и устойчивого имиджа МГРИ на основе обеспечения высокого уровня научных исследований и востребованных образовательных программ, позволяющих осуществлять подготовку высококвалифицированных специалистов в кампусе с комфортными инфраструктурными

условиями для научно-производственной и образовательной деятельности в МГРИ;

- формирование профессионально-образовательной среды, отвечающей задачам инновационного развития отрасли и смежных направлений за счет развития системы непрерывного геологического образования, синхронизированного с текущими и перспективными потребностями недропользователей;

- обеспечение нового качества подготовки выпускников на основе развития научной и профессиональной составляющей учебного процесса, позволяющего обеспечивать развитие отрасли за счет роста уровня инновационных компетенций выпускников;

- диверсификация научно-образовательной системы вуза, обеспечивающей рост конкурентоспособности выпускников на рынке труда и создание потенциала их профессиональной мобильности.

Отличительным признаком выделяемых стратегических приоритетов является внедрение инноваций шестого технологического уклада в науку и образование.

Основные особенности модели сегодняшнего развития МГРИ заключаются в приоритете **инженерного образования в России**, показавшего свою состоятельность и целостность, как основы достижения технологического лидерства.

Таким образом, МГРИ будет сохранять свою отраслевую направленность и расширять накопленные за 105 лет динамичного развития компетенции для обеспечения лидерства России в мире, основываясь на цивилизационном подходе, приращении национальных богатств и человеческого капитала.

Университет достойно встречает юбилей и строит планы на будущее!

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

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





<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-15-26>  
УДК 552.12



## ТИПИЗАЦИЯ ЗОЛОТОРУДНЫХ ПРОЯВЛЕНИЙ В РАЙОНЕ ФЬОКТХАНЬ — ФЬОКШОН, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ВЬЕТНАМ

Т. ЧАН ВАН<sup>1,2,\*</sup>, П.А. ИГНАТОВ<sup>1</sup>, Т. МАЙ ЧОНГ<sup>2</sup>, Х. НГУЕН ЗУИ<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> Главное управление геологии и полезных ископаемых Вьетнама  
6, Фам Нгу Лао ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

<sup>3</sup> Ханойский университет горного дела и геологии  
18, ул. Виен, Дык Тханг, г. Ханой 100000, Вьетнам

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Обоснование целесообразности типизации золоторудных проявлений в районе Фьюктхань — Фьюкшон, Центральный Вьетнам.

**Цель.** Классификация и оценка перспектив золотого оруденения в районе Фьюктхань — Фьюкшон, центрального Вьетнама.

**Материалы и методы.** Использованы данные геологического картирования и разведки 20 месторождений и рудопоявлений рудных полей Фьюкшон и Фьюктхань, собранные в период 2001—2019 гг.

**Результаты.** Установлено, что в пределах Фьюктхань — Фьюкшон распространены месторождения и рудопоявления золото-сульфидно-кварцевой и малосульфидной золото-кварцевой формаций позднемезозойского возраста. Они отличаются по запасам, морфологии рудных тел, золото-серебряным отношениям и пробности золота.

**Заключение.** Полученные результаты следует использовать при прогнозировании наиболее крупных золотых месторождений в Центральном Вьетнаме.

**Ключевые слова:** Фьюктхань — Фьюкшон, Центральный Вьетнам, месторождение, рудопоявление, рудная формация, золото

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

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

**Для цитирования:** Чан Ван Т., Игнатов П.А., Май Чонг Т., Нгуен Зуи Х. Типизация золоторудных проявлений в районе Фьюктхань — Фьюкшон, Центральный Вьетнам. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):15—26.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-15-26>

Статья поступила в редакцию 16.06.2023

Принята к публикации 06.09.2023

Опубликована 28.09.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## TYPIFICATION OF GOLD OCCURENCES IN THE PHUOC THANH — PHUOC SON AREA, CENTRAL VIETNAM

TIEN TRAN VAN<sup>1,2,\*</sup>, PETR A. IGNATOV<sup>1</sup>, TU MAI TRONG<sup>2</sup>, HUNG NGUYEN DUY<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> General Administration of Geology and Mineral Resources of Vietnam  
6, Pham Ngu Lao str., Ha Noi 100000, Viet Nam

<sup>3</sup> Hanoi University of mining and geology  
18, Vien str., Ha Noi 100000, Viet Nam

### ABSTRACT

**Background.** Substantiation for the expediency of typification of gold occurrences in the Phuoc Thanh–Phuoc Son area, Central Vietnam.

**Aim.** To classify and evaluate the prospects of gold mineralization in the Phuoc Thanh–Phuoc Son area, Central Vietnam.

**Materials and methods.** The data of geological mapping and exploration of 20 deposits and ore occurrences in the Phuoc Son and Phuoc Thanh ore fields, collected in the 2001–2019 period, were analyzed.

**Results.** The deposits and ore occurrences of gold-sulfide-quartz and low-sulfide gold-quartz formations of the Late Mesozoic age were established to be common within the Phuoc Thanh–Phuoc Son area. These deposits differ in terms of reserves, ore body morphology, gold-silver ratio, and gold fineness.

**Conclusion.** The results obtained can be used when forecasting the largest gold deposits in Central Vietnam.

**Keywords:** Phuoc Thanh–Phuoc Son; Central Vietnam; ore deposit; ore occurrence; ore formation; gold

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

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

**For citation:** Tran Van Tien, Ignatov P.A, Mai Trong Tu, Nguyen Duy Hung. Typification of gold occurrences in the Phuoc Thanh–Phuoc Son area, Central Vietnam. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):15–26. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-15-26>

*Manuscript received 16 June 2023*

*Accepted 06 September 2023*

*Published 28 September 2023*

\* Corresponding author

### Введение

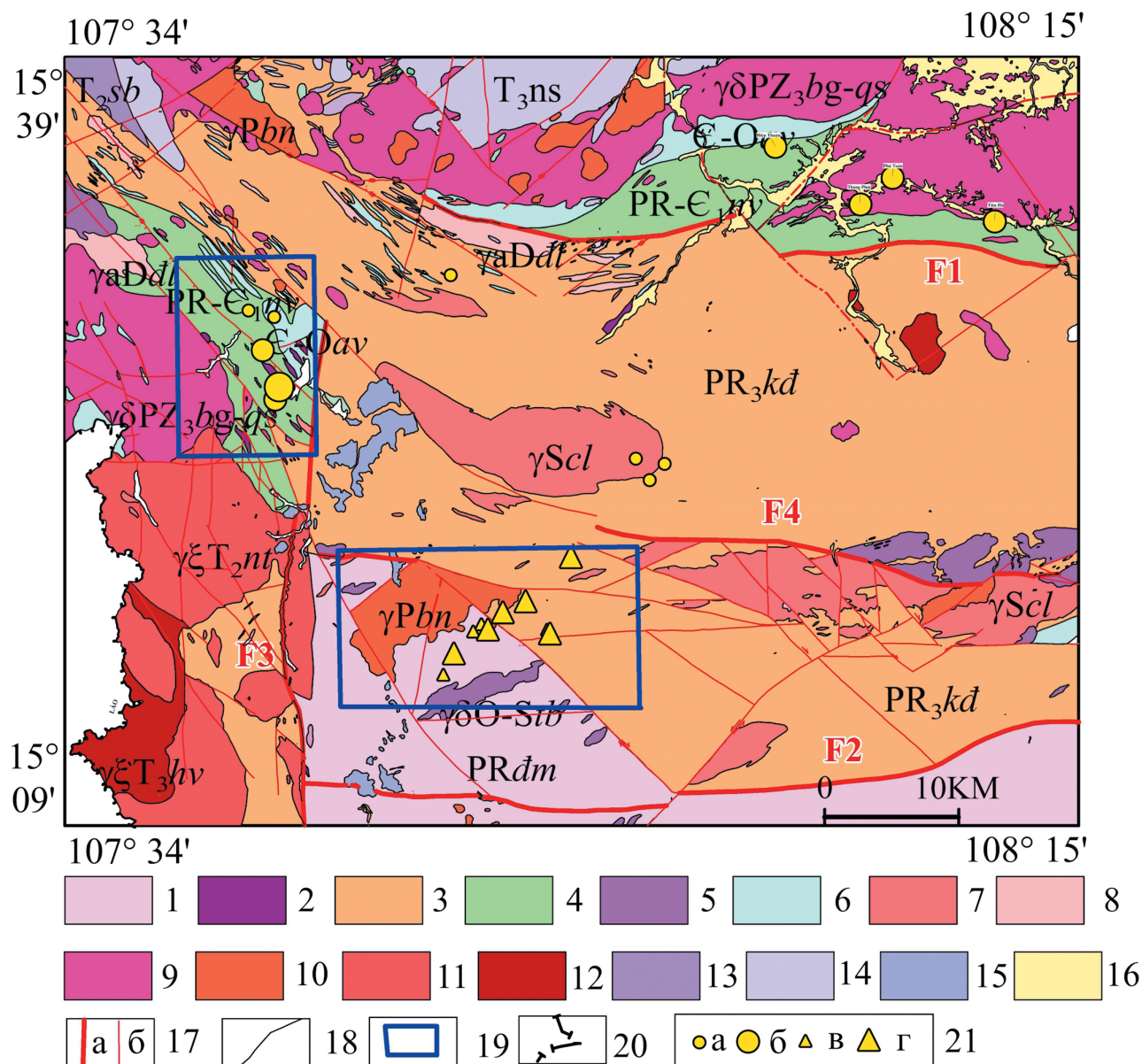
Район Фьюктхань — Фьюкшон расположен в провинции Куангнам и имеет площадь 600 км<sup>2</sup>. Здесь имеются геологические карты масштаба 1:50 000, составленные в 1991, 1997, 2004 годах (BD 281; BD 194: BD 242) [2–4]. В последние годы район Фьюктхань — Фьюкшон занимает первое место во Вьетнаме по добыче золота. В эксплуатации в настоящее время находятся три рудных месторождения, запасы которых ограничены. Поэтому встает задача увеличения запасов известных

и поиска новых месторождений наиболее продуктивных золоторудных формаций.

### Геологическое положение золоторудных полей

Район находится в региональной зоне геологической структуры Хамдык, где сосредоточены месторождения золота [1, 10, 11]. Они распределены в различных геологических формациях, возраст которых колеблется от протерозойского до позднего пермского периода (рис. 1). Рудное поле Фьюктхань расположено на юге района, Фьюкшон — на северо-западе.





**Рис. 1.** Геологическая карта центральной части района Куангнам — Куангнай. Масштаб 1:200 000 (по Нгуен Суан Бао (1995)). 1 — толща Дакми (PRđm); 2 — комплекс Хуепдук (σPZ1hđ); 3 — толща Хамдук (PR3kđ); 4 — толща Нуйву (PR-Є1nv); 5 — комплекс Чабонг (O-Stb); 6 — толща Авыонг (Є-O1av); 7 — комплекс Чулай; 8 — комплекс Дайлок (Ddl); 9 — комплекс Бенжанг — Куешон (PZ3bg-qs); 10 — Бана (γPbn); 11 — Нгокпенгток (δT2nt); 12 — Хайван (γT3hv); 13 — Шонгбунг (T2sb); 14 — Нонгшон (T3ns); 15 — Дайнга (βN2đn); 16 — четвертичные отложения q; 17 — разломы (а) — главные; (б) — второстепенные; 18 — геологические границы; 19 — контуры золоторудных полей Фьюкшон и Фьюктхань; 20 — границы страны; 21 — золоторудные месторождения рудного поля Фьюкшон и другие с запасами а < 1 т и б > 1 т; рудного поля Фьюктхань с запасами < 1 т и б > 1 т

**Fig. 1.** Geological map of the central part of Quang Nam — Quang Ngai. Scale 1:200 000 (according to Nguyen Xuan Bao (1995)). 1 — Dakmi Unit (PRđm); 2 — Hiep Duc Complex (σPZ1hđ); 3 — Kham Duc Unit (PR3kđ); 4 — Nui Vu Unit (PR-Є1nv); 5 — Tra Bong Complex (O-Stb); 6 — A Vuong Unit (Є-O1av); 7 — Chu Lai Complex, 8 — Dai Loc Complex (Ddl); 9 — Ben Giang — Que Son Complex (PZ3bg-qs); 10 — Ba Na (γPbn); 11 — Ngoc Peng Toc (δT2nt); 12 — Hai Van (γT3hv); 13 — Song Bung (T2sb); 14 — Nong Son (T3ns); 15 — Dai Nga (βN2đn); 16 — Q; 17 — faults (a) — main; (b) — secondary; 18 — geological boundaries; 19 — contours of the Phuoc Son and Phuoc Thanh gold ore fields; 20 — borders of the country; 21 — gold deposits of the Phuoc Son ore field and others with reserves a < 1 t and b > 1 t; Phuoc Thanh ore field with reserves < 1 t and b > 1 t

Протерозойская толща Дакми, расположенная на юге исследуемого района, состоит из кварц-биотитовых и биотит-плагиогнейсовых сланцев, высокоглиноземистых сланцев, есть немного амфиболового гнейса и диопсидового сланца. Пачки толщи простираются на северо-восток, падают под углами 10—35° на юго-восток и северо-запад, за исключением зон контактного метаморфизма. Мощность толщи колеблется от 1000 до 1300 м, а степень мигматитизации уменьшается от периферии к центру распространения толщи.

Протерозойская толща Хамдык представлена в районе выходами вдоль широты с наибольшей концентрацией в центральной части. Она состоит из кварц-биотитовых сланцев, биотит-амфиболовых и биотитовых гнейсов, двуслюдяных сланцев, иногда с тонкими линзами амфиболита. Толща подвергалась гранитизации, что привело к развитию мигматитных полей. Мощность толщи варьирует от 1000 до 1500 м. Ее метаморфическая зональность крайне сложна и полиморфна, варьируя от филлитов до эпидот-амфиболитов и мигматитов.

Протерозойско-кембрийская толща Нуйву представлена двумя узкими полосами, расположенными на северо-востоке и северо-западе района. Она относится к метаморфическому массиву Дакса. Основными компонентами толщи являются различные виды сланцев, включая плагиоклаз-амфиболовые, плагиоклаз-эпидотовые, кварц-биотитовые, кварц-полевошпат-биотитовые и кремнистые. Мощность толщи составляет примерно от 1200 до 1300 м.

Толща Авьонг простирается с северо-запада на юго-восток. Она состоит из кварц-серицитовых сланцев, кремнистых, кварц-хлорит-серицитовых и известковых сланцев, кварцитов, которые чередуются между собой. Толща смята в складки с осями в южном направлении. Падения пачек под углами 60—70° на юг. Толща Авьонг имеет исходный состав терригенных отложений и метаморфизована в зеленосланцевой фации при средних температурах и давлении. Мощность толщи составляет 1200—1300 м. Возраст толщи считается раннепалеозойским (ранний кембрий — ордовик) [10].

Толща Шонгбунг (T2sb) расположена в центре и западной части исследуемой площади. Породы представлены потоками дацитов, дациториолитов и их туфов, а также кремнистых глин, чередующихся с серовато-фиолетовыми, темно-серыми конгломератами, гравелитами, песчаниками и алевролитами. Мощность ее составляет 700—1300 м.

Толща Нонгшон (T3ns) занимает небольшой ареал на севере изучаемой территории. Породы

часто залегают с углом падения 10—20°. Мощность толщи 500—900 м. В ее состав входят красно-бурые или светло-лиловые песчаники, алевролиты, углистые алевролиты и глины и прослои угля. Возраст толщи Нонгшон считается поздне триасовым [10].

Плиоценовая толща Дайнга (βN2đn) однородная и состоит из базальтовых пачек, выветрившихся до красной почвы. Базальтовые пачки состоят из двупироксеновых и оливин-авгит-плагиоклазовых базальтов и плагиобазальтов. Базальтовые покровы расположены на денудационных поверхностях палеогенового возраста. Основываясь на геологической позиции, толщу отнесли к плиоценовому возрасту. Мощность ее достигает 200 м.

Четвертичные отложения широко развиты на территории района, особенно вдоль морского берега, и занимают почти одну пятую часть от общей площади исследуемого района. Они представлены валунами, галечниками, гравием, дресвой, песками, алевритами, глинами и торфяниками различного происхождения. Мощность отложений достигает 200 м в приморской части.

Интрузивные тела комплекса Хиепдык имеют форму линз, распределены цепочками вдоль разломов Тамки — Хиепдык. Они включают дуниты, гарцбургиты и пироксениты. Породы оталькованы, серпентинизированы и карбонатизированы. В районе наблюдаются зоны перемешивания серпентинитов с обломками метагбро и пироксенита, а также диоритов, кварц-тонолитов и плагиогранитов, сильно деформированных и метаморфизованных. Комплекс относится к раннему палеозою [12].

Гранитоидные образования комплекса Чабонг (O-Stb) прорывают, деформируют и содержат линзы пород толщи Дакми в центре района. На северо-востоке породы комплекса Хамдык имеют тектонические контакты с комплексом Чулай. В комплексе выделяют три фазы. Первая включает мелкие тела габбро, габбро-диоритов и диоритов, проникающих в метаморфические породы толщи Хамдык. Основными компонентами пород 2-й фазы являются тоналиты, биотит-роговообманковые гнейсы, гранодиориты, биотит-роговообманковые плагиогнейсы с интрузивной остаточной структурой. Породы фазы 3 слагают небольшой блок на северной окраине комплекса, состоят из плагиогранито-гнейса и гранито-гнейсов. Изотопный возраст циркона из гранодиоритов (образцы ТВ1, ТВ2, ТВ3) по U-Pb методу оказался  $444,3 \pm 6,1$  млн лет [5].

Гранитоидные интрузивы комплекса Чулай (γScI) включают гранито-гнейсы, плагиограниты,

мигматитовые граниты, слюдяные граниты и пегматиты. Они залегают согласно с метаморфическими породами комплекса Хамдык, их границы с окружающими породами не отчетливые. Породы пронизаны магматическими образованиями и дайками пермского комплекса Бана. Граниты Чулайского комплекса в районе исследования относятся к средне- и высокоалюминиевому типу, высокой щелочности, преобладанию калия над натрием, низкокальциевые, эти характеристики типичны для S-гранитов [11]. Анализ изотопного возраста цирконов по U-Pb методу показал, что возраст комплекса Чулай составляет  $426,7 \pm 5,7$  и  $447,0 \pm 7,0$  млн лет [10, 13].

Граниты Дайлок (Ddl) обнажаются на поверхности в виде небольших в первые сотни квадратных метров блоков, которые частично изменяют и деформируют метаморфические породы комплекса Хамдык в виде мелких складок. Основными компонентами комплекса являются биотитовые гранито-гнейсы, гранодиорито-гнейсы и мигматитовые граниты. По U-Pb методу по циркону определены изотопные возрасты 406—418 млн лет [13, 14].

Комплекс Бенжанг — Куешон ( $\gamma\delta P2-3bq$ ) широко распространен и часто представляет собой штоки или батолиты, распространенные вдоль глубоких разломов на северной и южной окраинах массива Контум. На исследуемой территории комплекс состоит из двух фаз: ранней и жильной.

Комплекс известковой щелочной серии, нормального петрохимического ряда, щелочного типа Na-K. Порода комплекса I-гранитного типа [4]. Комплекс относится к позднему палеозою.

Пермские гранитоидные породы комплекса Бана ( $\gamma Pbn$ ) состоят из двух фаз, из которых первая является основной интрузивной, на которую приходится большая часть массы блока, представляющая собой биотитовый гранит и средне-крупнозернистый слюдяной гранит. Породы 2-й фазы представлены биотитовым гранитом, светлоокрашенным мелкозернистым бислюдяным гранитом, и распределены в основном по окраинам блоков. Породы 2-й фазы прорываются жилами фельзита и сопровождаются интенсивной грейзенизацией. Изотопный возраст циркона из гранита по U-Pb методу оказался  $248,7 \pm 3,2$  млн лет [4]. По составу пород, изотопному возрасту и геологической позиции комплекс Бана относят к пермскому периоду.

Комплекс Нгокпенгток (T2nt) распространен на западе исследуемой зоны, основными компонентами комплекса являются монцодиорит, диорит,

граносиенит и биотитовый гранит, которые прорывают и содержат линзы пород комплекса Хамдык на юго-западе района исследований, а также породы комплекса Бенжанг — Куешон на северо-западе. Его относят к среднему триасу [4].

Комплекс Хайван ( $\gamma T3hv$ ) включает биотитовый меланократовый гранит, биотитовый гранит, порфировидный двухслюдяной гранит. Породы комплекса перенасыщены кремнием, с высоким содержанием алюминия, щелочной серии K-Na, породы S-гранитного типа и гранит-ильменитовой серии [1—3]. Возраст комплекса поздне триасовый [1—3].

#### Характеристики золоторудной минерализации в районе Фьюктхань — Фьюкшон

На сегодняшний день в районе Фьюктхань — Фьюкшон известно 20 коренных месторождений и рудопроявлений золота которые имеют общие и отличительные геологические характеристики, минеральный состав, ресурсы и изученность (табл. 1).

Объединяет золоторудные объекты района геологическое положение, они локализованы преимущественно в метаморфических сланцах протерозоя и по большей части в толще Хамдык; в экзоконтактовых зонах в основном пермских и триасовых гранитоидных массивов; в структурах пересечения региональных взбросов и сдвигов; участках морфологических изменений сдвигов и из сочленения с локальными складчатыми деформациями [1, 4, 6, 11]. Для большинства месторождений характерна жильно-прожилковая форма рудных тел.

Отличительными чертами коренных проявлений золота рудного поля Фьюкшон являются присутствие мелких даек и линз протерозойских серпентинитов, приуроченность оруденения к пачкам углеродистых сланцев и наличие золоторудных минерализованных зон и жил, включая седловидные залежи [6]. Кроме того, следует отметить широкое распространение в рудном поле Фьюктхань более глубоко метаморфизованных и древних по сравнению с комплексом Хамдык пород толщи Дакми. Что указывает на более глубокий эрозионный срез по сравнению с полем Фьюкшон.

В обоих полях наиболее распространены жильно-прожилковые рудные тела, представленные маломощными (сантиметры-дециметры) жилами и их сближенными сериями, разветвлениями, ветвящимися, кулисообразными и сложными прожилками, гнездами, пятнами и вкраплениями кварцевого и сульфидно-кварцевого состава.

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

**Таблица 1.** Некоторые характеристики золоторудных объектов рудных полей Фьюкшон и Фьюктхань  
**Table 1.** Some characteristics of gold ore objects in Phuoc Thanh and Phuoc Son ore fields

| № ПП | Месторождение, рудопоявление | Форма рудных тел   | Среднее содержание Au, г/т | Сумма сульфидов, % | Пробность золота, ‰ | Запасы, кг |
|------|------------------------------|--------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| 1    | 39                           | Жильно-прожилковая | 3,36                       | 10                 | 718                 | 224        |
| 2    | 45                           | Жильно-прожилковая | 2,70                       | 8                  | 777—818             | 110        |
| 3    | БайКуэ                       | Жильно-прожилковая | 6,87                       | 10                 | -                   | 397        |
| 4    | БайМоКой                     | Зона минерализации | 7,10                       | 5                  | -                   | 312        |
| 5    | Ньюкчонг                     | Зона минерализации | 1,60                       | 6                  | -                   | 321        |
| 6    | Вангне                       | Жильно-прожилковая | 1,02                       | 5                  | -                   |            |
| 7    | К7                           | Жильно-прожилковая | 3,00                       | 5                  | -                   | 4500       |
| 8    | БайДат                       | Жилы               | 14,88                      | 25                 | 657—988             | 5906       |
| 9    | БайГо                        | Жилы               | 4,24                       | 10                 | 637—880             | 19 813     |
| 10   | 1А                           | Жильно-прожилковая | 7,90                       | 5                  | 809—825             | 6419       |
| 11   | 2                            | Жильно-прожилковая | 1,50                       | 5                  | 809—825             | 3700       |
| 12   | Фьюклап                      | Прожилковая        | 2,30                       | 3                  | -                   | 332        |
| 13   | Г18                          | Жильно-прожилковая | 2,30                       | 10                 | 696—799             | 436        |
| 14   | 234                          | Жильно-прожилковая | 1,70                       | 7                  |                     | 171        |
| 15   | БайМуой                      | Жильно-прожилковая | 5,20                       | 10                 | 668—753             | 264        |
| 16   | 4                            | Жильно-прожилковая | 8,00                       | 5                  | 809—825             | 2344       |
| 17   | ЧаВан                        | Жильно-прожилковая | 7,40                       | 5                  | 809—825             | 1413       |
| 18   | ЧаЛенг                       | Жильно-прожилковая | 1,30                       | 3                  | 653—776             | 2600       |
| 19   | Южный Фьюктхань              | Жильно-прожилковая | 1,40                       | 3                  | 696—799             | 1080       |
| 20   | 1Б                           | Жильно-прожилковая | 5,70                       | 5                  | 809—840             | 1728       |

Примечание: № 1—9 — рудные объекты поля Фьюкшон, 10—20 — Фьюктхань.

Золото-сульфидно-кварцевые жилы с раздувами и пережимами достигают первых метров мощности и прослежены на десятки-сотни метров (оис. 2). Золотоносные жилы единичные, встречаются короткие линзовидные жилы, иногда в виде двойных форм. Разветвленные жилы встречаются реже.

На двух мелких месторождениях золота в поле Фьюкшон описаны золоторудные минерализованные зоны, в которых вкрапленные золото-сульфидно-кварцевые выделения преобладают над прожилковыми формами. Простираение жильно-прожилковых зон и жил наиболее часто северо-восточное, углы падения 20—40°, реже 60°, иногда 80° до вертикального залегания.

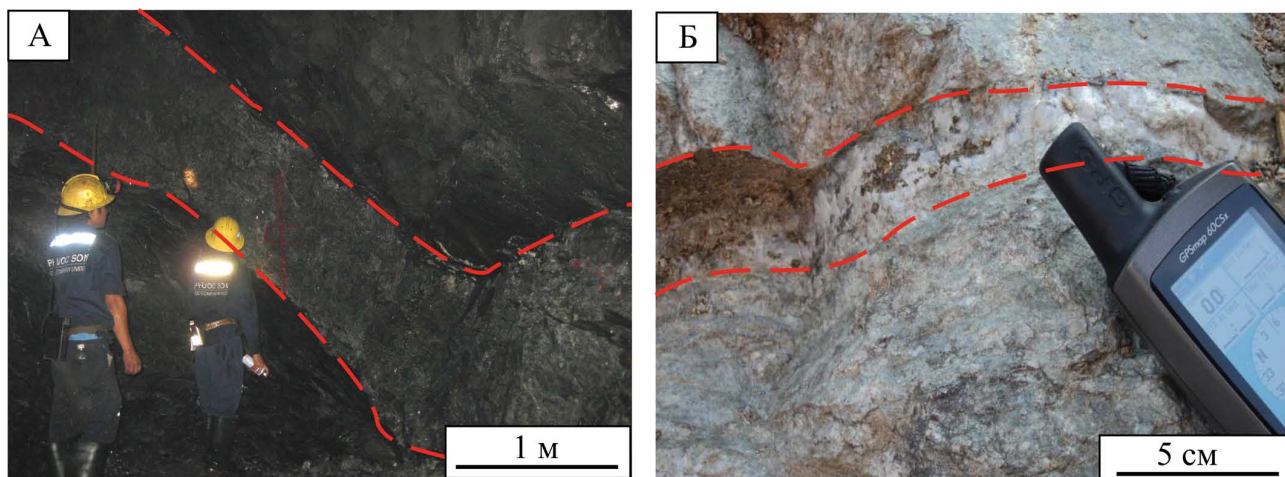
Жильная и жильно-прожилковая минерализация сопровождаются березитами, серицитизацией и пиритизацией реже — хлоритизацией и карбонатизацией вмещающих пород.

Жильные минералы представлены кварцем, полевым шпатом, карбонатом, в меньшей мере

серицитом и хлоритом. Рудные ассоциации включают пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, арсенипирит, пирротин, реже магнетит, ильменит, ковеллин, рутил, графит, золото, электрум [9]. Важно отметить большее распространение пирротина относительно пирита в рудном поле Фьюктхань по сравнению с рудами поля Фьюкшон, где преобладает пирит [1, 5]. Руды имеют характерные прожилковые, сетчатые, вкрапленные и гнездовые текстуры. Структуры руд крупно- и тонкозернистые аллотриоморфнозернистые, часто встречаются округлые формы кварца, структуры редко идиоморфнозернистые и друзовые, брекчиевидные [6]. Следует отметить, близость в наборе, содержаниях и ассоциациях рудных элементов на рассматриваемых месторождениях [1].

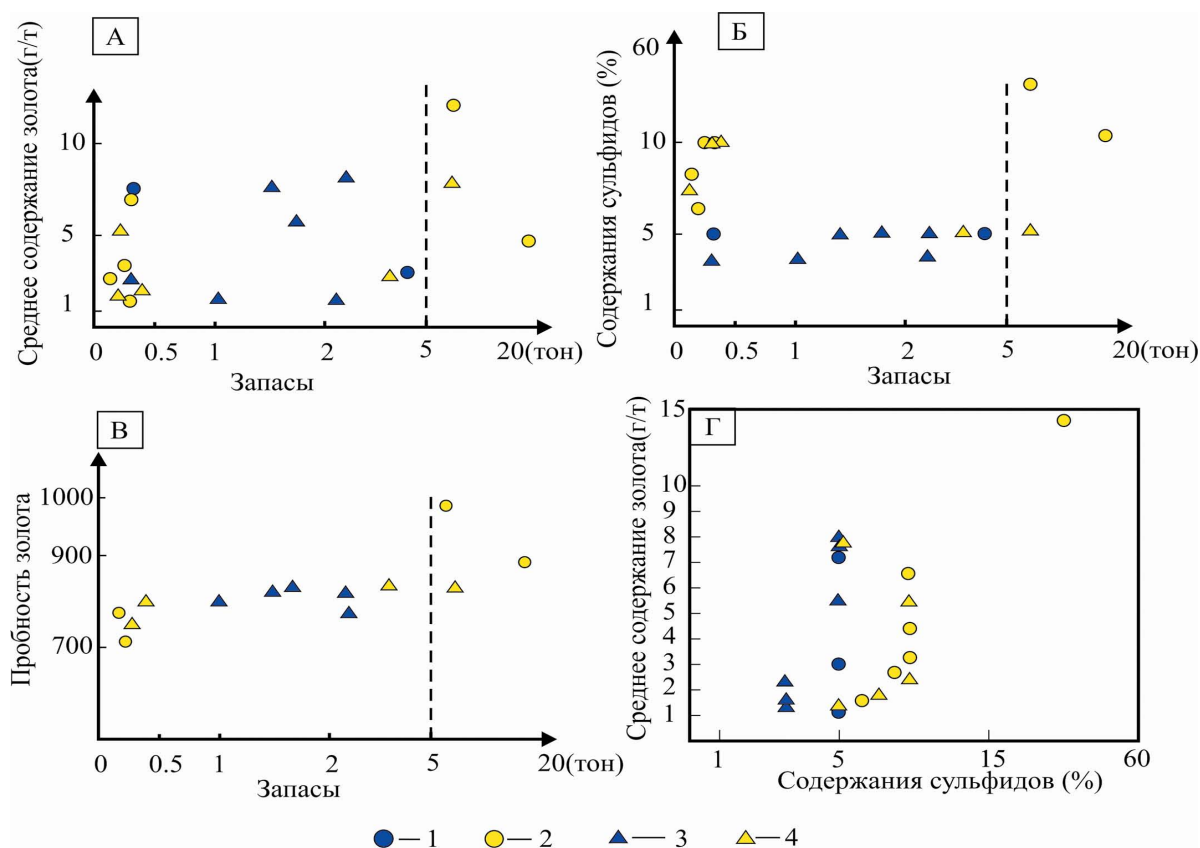
Соотношения между средними содержаниями золота, его пробности и суммы сульфидов с запасами рассматриваемых объектов показывают их сходство и некоторые отличия (рис. 3).





**Рис. 2.** Примеры золото-кварц-сульфидных жил: А — рудника Байдат поля Фьюкшон и фрагмента жильно-прожилковой зоны Б месторождения Г18 поля Фьюктхань

**Fig. 2.** Examples of gold-quartz-sulfide veins A — the Bai Dat mine of the Phuoc Son field and a fragment of the vein — vein zone B of the G18 deposit of the Phuoc Thanh field



**Рис. 3.** Соотношения некоторых параметров руд и запасов на золоторудных объектах рудных полей Фьюкшон и Фьюктхань: А — средних содержаний Au и запасов; Б — сумм сульфидов и запасов; В — средней пробыности золота и запасов; Г — средних содержаний Au и средних сумм сульфидов. 1—2 — Фьюкшон; 3—4 — объекты поля: Фьюктхань, синий цвет — суммы сульфидов <5%; жёлтый — >5%

**Fig. 3.** Ratios of some parameters of ores and reserves at gold ore objects of the Phyokshon and Phyoktkhan ore fields: A — average Au contents and reserves; B — sums of sulfides and reserves; V — average fineness of gold and reserves; Г — average contents of Au and — average sums of sulfides. 1—2 — Phyokshon; 3—4 — objects of the field: Phuoc Thanh, blue color — sums of sulphides <5%; yellow — >5%

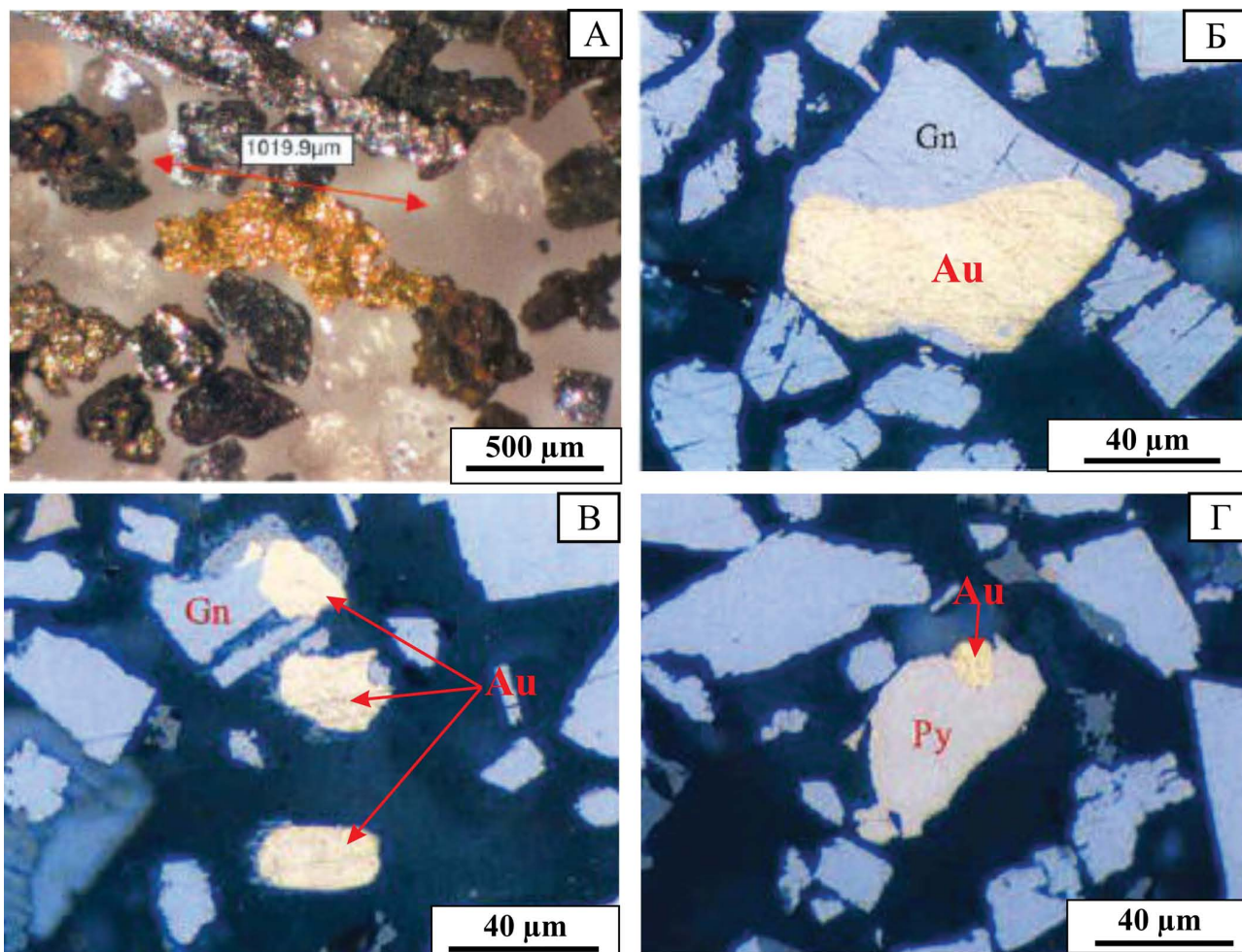
Средние содержания золота в месторождениях и рудопроявлениях колеблются от 1,02 до 14,88 г/т (см. табл. 1). Для поля Фьюкшон характерны объекты с более качественными рудами (Байдат, Байго, Байкуэ и 39). Практически нет связи между средними содержаниями золота в рудах и запасами (рис. 3А). Сумма сульфидов в рудах колеблется от 2 до 25%, что отражает присутствие двух типов руд — золото-кварцевой-малосульфидной (3—5%) и золото-сульфидно-кварцевой (5—50%) рудных формаций по Н.В. Петровской и др. [6].

Имеется тренд положительной связи суммы сульфидов с запасами месторождений (см. рис. 3Б). Все крупные объекты — это месторождения с высоким содержанием сульфидов. Они локализованы в рудном поле Фьюкшон. На руднике Байдат запасы золота составили

3266 кг, на Байго — 2731 кг. Остальные месторождения мелкие с запасами в сотни кг (см. табл. 1). Надо отметить, что для рудного поля Фьюкшон намечилось две группы месторождений: с мелкими запасами до одной тонны и относительно более крупными с запасами более 5 т.

Соотношение средних содержаний золота и сумм сульфидов в рудах (рис. 3Г) подчеркивает присутствие руд двух вышеуказанных рудных формаций в обоих рудных полях.

Размеры свободного тонкозернистого и дисперсного золота в рассматриваемых месторождениях поля Фьюкшон составляют от 1 до 1020  $\mu\text{m}$  (рис. 4А—В), причем 90% золотин имеет размеры от 7 до 335  $\mu\text{m}$ . Исследования образцов руды Байдат (обр. LR2500724) показали, что от 81 до 90% свободного золота, от 9,7 до 17% золота тонкозернистого — в галените, халькопирите и пирите



**Рис. 4.** Примеры свободного золота на месторождениях рудных полей Фьюкшон и Фьюктхань: А — золото с размерами 1020  $\mu\text{m}$ ; Б—Г — золото тонкозернистого в галените и пирите. Gn — галенит, Au — золото  
**Fig. 4.** Examples of free gold in the deposits of the Phuoc Son and Phuoc Thanh ore fields: А — gold with dimensions of 1020  $\mu\text{m}$ ; Б—Г — fine-grained gold in galena and pyrite. Gn — galena, Au — gold

(рис. 4Б—Г) [1, 10]. Размеры золота на поле Фьюктхань колеблются от 20 до 100  $\mu\text{m}$ .

В рассмотренных месторождениях и рудопроявлениях пробность Au изменяется в широких пределах — от 637 до 988‰, среднее значение составляет 825‰. Существует положительная корреляция между пробностью золота и запасами месторождений (см. рис. 4В). При этом также наметилась две дискретные группы объектов с минимальными и относительно большими запасами, но только для руд с содержаниями сульфидов более 5%. Более высокая пробность золота характерна для месторождений с большими запасами рудного поля Фьюкшон.

Рассматриваемые руды имеют гидротермальное происхождение и сформированы в 4 этапа, из которых два главные для золота [1, 9]. Температуры фазовых переходов газ-жидкость, жидкость-газ в кварце варьируют в широком диапазоне от 161 до 398 °С. Кварц проявлен во многих стадиях с температурой образования от высокой до низкой. Результаты анализа температур фазовых переходов в продуктах кварца ранней стадии находятся в диапазоне 300—380, в среднем 340; в продуктах кварца поздней стадии находятся в диапазоне 161—325, в среднем 225. Это также согласуется с предыдущими результатами исследований [1, 5] в рудных месторождениях Фьюктхань и Фьюкшим, расположенных в той же зоне минерализации, при изучении взаимосвязи между молекулярной долей  $\text{CO}_2$  и температурой фазового перехода, заключающейся в наличии двух стадий образования золотой минерализации: на ранней стадии  $T = 330\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 660\text{—}900\text{ бар}$ , на поздней стадии продукта  $T = 260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 660\text{—}900\text{ бар}$ . Дегазация  $\text{CO}_2$  приводила к резкому снижению активности серы и осаждению золота [1].

Результаты исследования стабильных изотопов сульфидной серы золотых руд района показывают, что значение  $\delta^{34}\text{S}$  находится в узком диапазоне от -2,51 до 3,89‰ [1]. Это значение показывает единый процесс рудообразования в рассматриваемых рудных полях и что сера гидротермальных растворов имела магматическое происхождение.

### Обсуждение результатов

Близость вещественного состава золоторудных объектов и морфологии большинства рудных тел и геолого-структурного положения месторождений и рудопроявлений указывают на единство ру-

дообразующего гидротермального процесса. Руды, вероятно, образовались при высоких и средних температурах с участием магматических флюидов. Формировались руды двух типов: золото-кварцевые с низким содержанием сульфидов (3—5% сульфидов) и золото-сульфидно-кварцевые (5—50% сульфидов) с близкими геохимическими характеристиками.

Ведущее значение в локализации золотого оруденения имеют тектонические разломы взбросового и сдвигового типа. В ряде случаев важную роль играют горизонты углеродистых сланцев и послойные нарушения.

Большая продуктивность золоторудного поля Фьюкшон по сравнению с Фьюктхань коррелируется с наличием крупных золоторудных жил и минерализованных зон, большим распространением золото-кварц-сульфидных руд, рудолокализирующей роли углеродистых сланцев и присутствии тел серпентинитов. Эти факты можно интерпретировать как участие на Фьюкшон более насыщенного сероводородом гидротермального раствора при движении его в более крупных тектонических полостях и более масштабного процесса дегазации. Такие условия должны были быть в относительно верхних этажах древней рудообразующей системы и, соответственно, меньшим эрозийным срезом в этом рудном поле.

Этот вывод косвенно подтверждается преобладанием пирротина в рудах на Фьюктхань, что характерно для глубоких уровней золоторудных объектов [6]. А также распространением в этом рудном поле более древних метаморфических образований по сравнению с рудным полем Фьюкшон.

### Заключение

Поисковый потенциал золоторудных полей Фьюктхань и Фьюкшон в Центральном Вьетнаме связан с прогнозом тектонических ловушек в узлах пересечения и изгиба взбросов и сдвигов, нарушающих метаморфические сланцы протерозоя в зонах экзоконтакта палеозойских и мезозойских гранитов в виде жильно-прожилковых зон и относительно протяженных жил золото-мало-сульфидного и золото-сульфидного состава в ореолах березитов, серицитолитов и карбонатизации. При этом следует оценивать вертикальную зональность оруденения, вероятную смену этих образований по вертикали и наличие благоприятных па-



## ЛИТЕРАТУРА

1. Бинь В.К. и др. Исследование и прогнозирование потенциала золотых полезных ископаемых, скрытых глубоко в золоторудных полях в зоне Тамки-Фьюкшон в центральном регионе. Геологический архив. БиньДинь, 2017. 188 с.
2. Геология и минеральные ресурсы, листы ДакГлей — Хамдык (BD 242). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 50 000). Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Ханой. 1997. 419 с.
3. Геология и минеральные ресурсы, листы Тамкй — Хиепдык (BD 194). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 50 000). Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Ханой, 1991. 721 с.
4. Геология и минеральные ресурсы, листы Чамй — Такпо (BD 281). Карта геологии и минеральных ресурсов Вьетнама (1: 50 000) Главное управление геологии и минералов Вьетнама. Хошимин, 2004. 775 с.
5. Зуонг Л.В. и др. Оценка минералов золота и других минералов, связанных с регионами Чану, Чатуи, Куангнам и Куангнгай. Геологический архив. Ханой, 2001. 210 с.
6. Нарсеев В.А. Промышленная геология золота. М.: Научный мир, 1996. 243 с.
7. Петровская Н.В. Самородное золото. М.: Наука, 1973. 247 с.
8. Чан Ван Т., Игнатов П.А., Май Чонг Т. Закономерности локализации золотой минерализации в районе Фьюкшон, Центральный Вьетнам // Известия вузов. Геология и разведка. 2023. № 1. С. 15—27.
9. Чан В.Т., Игнатов П.А., До М.Ф. Геологическое положение и вещественный состав руд золоторудных месторождений района Куангнам — Куангнгай, Центральный Вьетнам // Разведка и охрана недр. 2022, № 12. С. 19—27.
10. Banks M.J., Murfitt R.H., Quynh N.N., Hai L.V. Gold exploration of the Phuoc Son-Tam Ky Suture, central Vietnam, A case study Proceedings of PacRim Congress, Adelaide, 2004. C. 95—104.
11. Dinh S.Q. Petrographic characteristics and zircon U—Pb geochronology of granitogneiss rocks in the Chu Lai—KhamDuc area (Quang Nam province). Sci Technol Dev J—Nat Sci. 2017. No. 1. C. 258—272.
12. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications, Gondwana Research. 2014. No. 26. C. 144—164.
13. Quyen N.M., Feng Q.L., Zi J.W., Zhao T.Y., Hai T.T., Thanh N.X., Tran M.D., Hung N.Q. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky-Phuoc Son Suture Zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina Block // Gondwana Research. 2019. No. 70. C. 151—170.
14. Trinh L.T., Tran T.H., Nguyen H.H., Bui B.H., Carter A. New results of the study on isotopic age of the granodiorite of Chu Lai Complex in Northeastern Quang Ngai by U — Pb zircon isotope dating method // Journal of Mining Science and Technology — Geology (In Vietnam with English abstract). 2019. No. 60(1). C. 7—14.
15. Jiang W., Yu J., Wang X., Griffin W.L., Pham T., Dinh N., Wang F. Early Paleozoic magmatism in northern Kontum Massif, Central Vietnam: Insights into tectonic evolution of the eastern Indochina Block // LITHOS. 2020. No. 376—377. C. 21. DOI: 10.1016/j.lithos.2020.105750

## REFERENCES

1. Binh V.K. Research and forecasting of the potential of gold minerals hidden deep in gold fields in the Tam Ky — Phuoc Son zone in the central region, Geological Archive. Binh Dinh. 2017. 188 p. (In Viet Nam).
2. Geology and Mineral Resources Sheets Dak Glei- Kham Duc (BD 242), Map of Geology and Mineral Resources of Vietnam (1:50 000). General Administration of Geology and Minerals of Vietnam. Hanoi. 1997. 419 p. (In Viet Nam).
3. Geology and Mineral Resources Tam Ky — Hiep Duc sheets (BD 194), Map of Geology and Mineral Resources of Vietnam (1:50 000). General Administration of Geology and Minerals of Vietnam. Hanoi. 1991. 721 p. (In Viet Nam).
4. Geology and Mineral Resources sheets Tra My — Tac Po (BD 281), Map of Geology and Mineral Resources of Vietnam (1:50 000) General Administration of Geology and Minerals of Vietnam. Ho Chi Minh City. 2004. 775 p. (In Viet Nam).
5. Luong L.V. Evaluation of Gold Minerals and Other Minerals Associated with the Tra Nu, Tra Thuy, Quang Nam, and Quang Ngai Regions, Geological Archive. Hanoi 2001. 210 p.
6. Narseev V.A. Industrial geology of gold. Moscow: Scientific world, 1996. 243 p.
7. Petrovskaya N.V. Native gold. Moscow: Nauka, 1973. 247 p.
8. Tran Van T., Ignatov P.A., Mai Trong T. Patterns of localization of gold mineralization in the Phuoc Son area, Central Vietnam // Izvestiya vuzov. Geology and exploration. 2023, No. 1. P. 15—27.
9. Tran V.T., Ignatov P.A., Do M.P. Geological position and material composition of the ores of gold deposits in the Quang Nam—Quang Ngai region, Central Vietnam // Exploration and protection of mineral resources. 2022, No. 12. P. 19—27.
10. Banks M.J., Murfitt R.H., Quynh N.N., Hai L.V. Gold exploration of the Phuoc Son-Tam Ky Suture, central Vietnam, A case study Proceedings of PacRim Congress, Adelaide, 2004. C. 95—104.



11. Dinh S.Q. Petrographic characteristics and zircon U–Pb geochronology of granitogneiss rocks in the Chu Lai–KhamDuc area (Quang Nam province). *Sci Technol Dev J–Nat Sci*. 2017. No. 1. C. 258–272.
12. Hai Thanh Tran, Khin Zaw, Halpin J.A., Takayuki Manaka, Meffre S., Chun-Kit Lai, Youjin Lee, Hai Van Le, Sang Dinh. The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications, *Gondwana Research*. 2014. No. 26. C. 144–164.
13. Quyen N.M., Feng Q.L., Zi J.W., Zhao T.Y., Hai T.T., Thanh N.X., Tran M.D., Hung N.Q. Cambrian intra-oceanic arc trondhjemite and tonalite in the Tam Ky-Phuoc Son Suture Zone, central Vietnam: Implications for the early Paleozoic assembly of the Indochina Block // *Gondwana Research*. 2019. No. 70. C. 151–170.
14. Trinh L.T., Tran T.H., Nguyen H.H., Bui B.H., Carter A. New results of the study on isotopic age of the granodiorite of Chu Lai Complex in Northeastern Quang Ngai by U — Pb zircon isotope dating method // *Journal of Mining Science and Technology — Geology (In Vietnam with English abstract)*. 2019. No. 60(1). C. 7–14.
15. Jiang W., Yu J., Wang X., Griffin W.L., Pham T., Dinh N., Wang F. Early Paleozoic magmatism in northern Kontum Massif, Central Vietnam: Insights into tectonic evolution of the eastern Indochina Block // *LITHOS*. 2020. No. 376–377. C. 21. DOI: 10.1016/j.lithos.2020.105750

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Чан Ван Т. — внес вклад и подготовил текст статьи, провел сбор, обработку и анализ геолого-геохимических данных и создание графической информации, выполнил перевод на английский язык, подготовил текст статьи, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Май Чонг Т. — внес вклад в разработку, предоставил геологические данные, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Нгуен Зуи Х. — внес вклад в разработку, предоставил геологические данные, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tien Tran Van — contributed to the preparation of the text of the article, the collection, processing and analysis of geological and geochemical data and the creation of graphic information, translated into English, prepared the text of the article, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

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

Tu Mai Trong — contributed to the development of provided geological data, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Hung Nguyen Duy — contributed to the development of provided geological data, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Чан Ван Тиен\*** — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

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

тел.: +7 (926) 671-72-31

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-6337>

**Tien Tran Van\*** — postgraduate student of the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

tel.: +7(926) 671-72-31

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5583-6337>

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

**Игнатов Петр Алексеевич** — профессор, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

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

тел.: +7 (495) 461-37-77

SPIN-код: 7893-1477

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

**Petr A. Ignatov** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

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

SPIN-code: 7893-1477

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

**Май Чонг Ту** — доктор геолого-минералогических наук, заместитель генерального директора Департамента геологии Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнама.

6, Фам Нгу Лао ул., г. Ханой 100000, Вьетнам

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

тел.: +84 93 510 03 59

**Tu Mai Trong** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Deputy General Director of the Department of Geology, General Administration of Geology and Mineral Resources of Vietnam.

6, Pham Ngu Lao St., Hanoi 100000, Vietnam

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

tel.: +84 93 510 03 59

**Нгуен Зуи Хынг** — аспирант кафедры геологии месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

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

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

тел.: +7(977)957 29 68

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

**Hung Nguyen Duy** — postgraduate student of the Department of Geology of Mineral Deposits Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

tel.: +7(977)957 29 68

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4966-6933>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ОБОСНОВАНИЕ НОВОЙ МЕТОДИКИ ПРИ БЕСКОНТАКТНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ

А.Д. КАРИНСКИЙ, А.А. ИВАНОВ\*, И.А. ЗУДЕНКОВ, А.А. МАТЮШЕНКО, П.В. НОВИКОВ

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Методы сопротивлений — это электрическое зондирование и электропрофилеирование с различными установками. Первоначально измерения проводили на постоянном токе, а затем на низкочастотном переменном токе. В случае постоянного тока единственные источники первичного электрического поля в этих методах — заряды токовых электродов  $A, B$ , а измеряемая величина — равное разности потенциалов  $\Delta U_{MN}$  напряжение электрического поля  $E$  в линии  $MN$  с измерительными электродами  $M, N$ . По результатам измерений определяют (удобное для интерпретации результатов измерений) кажущееся удельное электрическое сопротивление  $\rho_k$ . Однако в ряде случаев, например при проведении измерений в районах многолетнемерзлых пород, бывает сложно обеспечить надежное заземление электродов. Поэтому полвека назад были начаты исследования с целью обоснования возможности бесконтактных измерений в методе электропрофилеирования на переменном токе  $I$  в линии  $AB$ . До последнего времени методика бесконтактных измерений и интерпретации получаемых результатов опиралась на приближенные подходы, а не на «строгое» решение прямой задачи электродинамики.

**Цель.** Объективное обоснование методики бесконтактных измерений на основе решения прямой задачи электродинамики.

**Материалы и методы.** Метод исследования — математическое моделирование и анализ полученных результатов.

**Результаты.** Приведены результаты расчетов для модели, соответствующей возможным условиям при бесконтактных измерениях в электроразведке методом сопротивлений. Рассмотрен случай, когда генераторная линия  $AB$  гармонически меняющегося тока  $I$  расположена в воздухе, на высоте  $h$  над однородным проводящим полупространством с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ .

**Заключение.** По сравнению с применяемой сейчас при бесконтактных измерениях методикой более эффективным для нахождения  $\rho_2$  является определение кажущегося удельного электрического сопротивления по меняющейся синфазно с током  $I$  в генераторной линии  $AB$  реактивной составляющей напряжения электрического поля  $E$  в измерительной линии  $MN$ .

**Ключевые слова:** электроразведка, метод сопротивлений, бесконтактные измерения, решение прямой задачи, математическое моделирование

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

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

**Для цитирования:** Каринский А.Д., Иванов А.А., Зуденков И.А., Матюшенко А.А., Новиков П.В. Обоснование новой методики при бесконтактных измерениях в электроразведке методом сопротивлений. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):27—36. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-27-36>

Статья поступила в редакцию 30.05.23

Принята к публикации 22.09.2023

Опубликована 28.09.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## SUBSTANTIATION FOR A NEW NON-CONTACT MEASUREMENT TECHNIQUE IN ELECTRICAL RESISTANCE SURVEYS

ALEXANDR D. KARINSKIY, ANDREY A. IVANOV\*, IVAN A. ZUDENKOV, ANNA A. MATYUSHENKO,  
PETR V. NOVIKOV

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

### ABSTRACT

**Background.** Methods for electrical resistance surveys include those of electrical sounding and electrical profiling with various arrays. Measurements were originally carried out at direct current, although low-frequency alternating current was used later. In the case of direct current, the sole sources of the primary electric field in these methods comprise the charges of the  $A, B$  current electrodes, with the measured value being the electric field voltage  $E$  equal to the potential difference  $\Delta U_{MN}$  in the  $MN$  line with the measuring electrodes  $M, N$ . According to the measurement results, the apparent electrical resistivity is determined, which is convenient for interpreting the measurement results  $\rho_a$ . However, in some cases, e.g., when conducting measurements in permafrost areas, it can be difficult to ensure reliable grounding of the electrodes. Therefore, half a century ago, research was initiated to substantiate the possibility of contactless measurements in the method of electrical profiling with the alternating current  $I$  in the  $AB$  line. Until recently, the technique of non-contact measurements and interpretation of the results obtained has been based on approximate approaches, rather than on a strict solution of the forward problem of electrodynamics.

**Aim.** Objective substantiation of the non-contact measurement technique based on the solution of a forward electrodynamics problem.

**Materials and methods.** The data obtained by mathematical simulation were analyzed.

**Results.** The results of calculations for a model corresponding to the possible conditions for contactless measurements in electrical exploration by the resistance method are presented. A case is considered when a generator line  $AB$  of a harmonically varying current  $I$  is located in the air, at a height  $h$  above a homogeneous conducting half-space with a specific electrical  $\rho_2$ .

**Conclusion.** In comparison with the method currently used for non-contact measurements, it seems more effective to determine the apparent electrical resistivity from the reactive component of the electric field voltage  $E$  in the measuring line  $MN$  that varies in phase with the current  $I$  in the generator line  $AB$ .

**Keywords:** electrical resistance surveys, resistance method, non-contact measurements, forward problem, mathematical simulation

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

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

**For citation:** Karinskiy A.D., Ivanov A.A., Zudenkov I.A., Matyushenko A.A., Novikov P.V. Substantiation for a new non-contact measurement technique in electrical resistance surveys. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):27—36. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-27-36>

*Manuscript received 30 May 2023*

*Accepted 22 September 2023*

*Published 28 September 2023*

\* Corresponding author

В семидесятых годах двадцатого века были начаты исследования с целью обоснования возможности применения бесконтактных измерений в электроразведке методом сопротивлений. Необходимость применения такой модификации

возникает в различных ситуациях. Например, при проведении измерений методами сопротивлений в зонах скальных или многолетнемерзлых пород при наличии снежного покрова либо практически непроводящих искусственных покрытий.



Кроме того, отсутствие необходимости заземления токовых ( $A, B$ ) и измерительных ( $M, N$ ) электродов позволяет многократно ускорить процесс измерений. Некоторые результаты таких исследований были опубликованы, например, в работах [2, 3, 12—16]. Однако теоретическое обоснование проведения бесконтактных измерений и интерпретации получаемых результатов в этих работах основывалось не на «строгом» решении соответствующей прямой задачи электродинамики, а на приближенных подходах. Причина этого, по-видимому, связана с тем, что некоторые трудности у авторов этих работ возникали при получении «строгого» решения соответствующей прямой задачи электродинамики и проведении на основе этого решения математического моделирования.

Очевидно, что проведение бесконтактных измерений в методах сопротивлений возможно лишь при переменном токе  $I$  в питающей линии  $AB$ . В случае постоянного тока  $I$  таким измерениям препятствует явление электростатической индукции. Некоторые результаты математического моделирования для электроразведки методами сопротивлений при переменном токе  $I = I_0 \cos(2\pi ft) = I_0 \cos(\omega t)$  приведены в статье [7]. Здесь  $I_0$  — амплитуда тока,  $f$  — частота,  $t$  — время,  $\omega$  — круговая частота. В этой статье были приведены решение прямой задачи электродинамики и полученные на его основе результаты математического моделирования для случая, когда линия  $AB$  переменного тока лежит на поверхности «двухслойного» проводящего полупространства. Основой для получения решения задачи послужила методика, описанная в книге [5]. Эта же методика была применена нами при получении приведенных ниже результатов математического моделирования. Ранее результаты исследований по этой тематике были представлены на конференциях [8—11]. Был также получен патент [6].

Приведенные ниже результаты численных расчетов получены при частоте  $f = 16$  кГц.

Это та рабочая частота, которая была выбрана для нескольких видов аппаратуры при бесконтактных измерениях в методах сопротивлений.

### Модель и алгоритм

На рисунке 1 показана модель, для которой было получено решение прямой задачи электродинамики и проведены численные расчеты.

Горизонтальная плоскость  $S$  разделяет полупространства  $V_1$  (воздух) и  $V_2$  (приповерхностные горные породы). Генераторная ( $AB$ ) и измерительная ( $MN$ ) линии расположены в верхнем полупространстве на одной прямой, параллельной оси  $X$ , на высоте  $h$  над границей  $S$ . Решение соответствующей прямой задачи электродинамики приведено в электронной версии учебника [1]. При применении комплексной записи напряжение  $E_{MN}$  электрического поля  $E$  в измерительной линии  $MN$  определяет двойной интеграл (формула 1):

$$E_{MN} = \int_{x_M}^{x_N} \int_{x_B}^{x_A} E_x dx_q dx, \quad (1)$$

где  $x_B \leq x_q \leq x_A$ ,  $x_M \leq x \leq x_N$  (см. рис. 1).

Подынтегральная функция в формуле (1) — скалярная компонента  $E_x$  электрического поля  $E$ :

$$E_x = \int_0^\infty \{f_0 J_0[\Lambda \times (x - x_q)] + f_1 J_1[\Lambda \times (x - x_q)]\} d\Lambda, \quad (2)$$

которую определяет несобственный интеграл в смысле главного значения. В выражении (2)  $J_0[\Lambda \times (x - x_q)]$ ,  $J_1[\Lambda \times (x - x_q)]$  — функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядка аргумента  $\Lambda \times (x - x_q)$ , а множители  $f_0$  и  $f_1$  зависят от параметров показанной на рисунке 1 модели, от частоты  $f$  и от переменной интегрирования  $\Lambda$ . Для численного расчета несобственного интеграла в смысле главного значения в правой части формулы (2) мы пользовались преобразованием Эйлера. Применение этого преобразования описано в работе [4].

Приведенные на рисунках 2—4 результаты математического моделирования получены

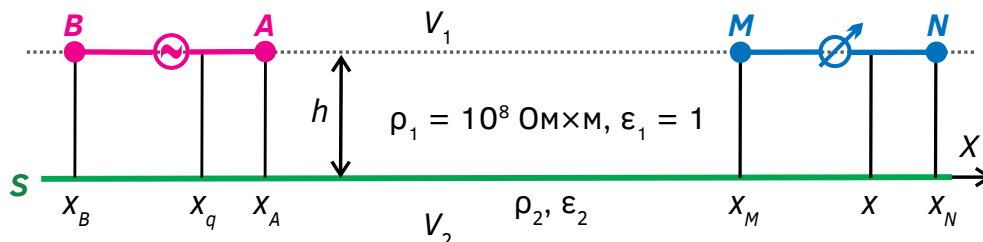


Рис. 1. Модель среды и электроразведочной установки

Fig. 1. Geoelectrical model and electrical array

для предельной дипольной осевой установки ( $AB \rightarrow 0, MN \rightarrow 0$ ). Для такой установки напряжение  $E_{MN}$  пропорционально определяемой выражением (2) компоненте  $E_x$  поля  $\mathbf{E}$  в центре отрезка  $MN$ . Значения кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  для такой установки определены двумя способами. Значения  $\rho_k(E_x)$  для предельной дипольно-осевой установки определены традиционным способом по формуле:  $\rho_k(E_x) = K \times |E_x|/I_0$ , где  $|E_x|$  — амплитуда компоненты  $E_x$ ,  $K = \pi \times x^3$  — коэффициент предельной дипольной осевой установки, расположенной на поверхности проводящего полупространства, а  $x$  — расстояние между центрами генераторного и измерительного диполей. Значения  $\rho_k(|\text{Re } E_x|)$  определены по амплитуде  $|\text{Re } E_x|$  реактивной составляющей  $\text{Re } E_x$  компоненты  $E_x$  меняющейся синфазно либо в противофазе с током  $I$  в генераторном диполе  $AB$ . То есть  $\rho_k(|\text{Re } E_x|) = K \times |\text{Re } E_x|/I_0$ .

Результаты расчетов на рисунках 6 получены для приближающихся к реальным условиям при электроразведочных измерениях конечных расстояний между всеми электродами. Значения кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  на рисунке 6 определены двумя способами. При применяемом в настоящее время при бесконтактных измерениях подходе  $\rho_k(E_{MN}) = K \times |E_{MN}|/I_0$ , где  $|E_{MN}|$  — амплитуда напряжения электрического поля в линии  $MN$ ,

$$K = \frac{2\pi}{1/AM + 1/BN - 1/AN - 1/BM} \text{ — коэффициент}$$

электроразведочной установки. При предлагаемом нами способе кажущееся удельное электрическое сопротивление  $\rho_k(\text{Re } E_{MN}) = K \times |\text{Re } E_{MN}|/I_0$ , где  $|\text{Re } E_{MN}|$  — амплитуда реактивной составляющей напряжения  $E_{MN}$  электрического поля  $\mathbf{E}$  в линии  $MN$ , меняющейся синфазно с током  $I$  в генераторной линии  $AB$ .

### Результаты моделирования

На рисунке 2 представлены зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разнosa  $x$ . При расчетах в полупространстве  $V_2$  была задана диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_2 = 10$ . Хотя легко оценить, что при частоте 16 кГц и значениях  $\rho_2$  менее первых десятков тысяч Ом·м выбор величины  $\epsilon_2$  несущественен, так как при любых, реальных для горных пород значениях  $\epsilon_2$  и при  $\rho_2 < 10\,000$  Ом·м можно пренебречь влиянием на электромагнитное поле токов смещения в нижнем полупространстве.

Результаты моделирования, представленные на рисунке 2, показали, например, что при высоте

$h = 5$  см величина  $\rho_k \approx \rho_2$ , если разнос  $x \approx 15$  м, а при  $h = 10$  см величина  $\rho_k \approx \rho_2$ , если разнос  $x \approx 20$  м. При  $h = 20$  см значения  $\rho_k$  значительно больше  $\rho_2$  при любых разнosaх  $x$ . Если  $x > 25$ —30 м, то значения  $\rho_k$  перестают зависеть от  $h$  (индукционная асимптота).

На рисунке 3 показаны зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разнosa  $x$  при фиксированных высотах  $h = 5$  см (а) и  $h = 10$  см (б) и при трех значениях удельного электрического сопротивления  $\rho_2$ . Из приведенных на этом рисунке результатов моделирования следует, что при частоте  $f = 16$  кГц, указанных выше высотах  $h$  и разнosaх  $x$  порядка 10 и 20 метров величина  $\rho_k \approx \rho_2$  только при высоких значениях  $\rho_2$  (порядка 1000 Ом·м, как на рисунке 3 и выше).

Значения  $\rho_k(|\text{Re } E_x|)$  на рисунке 4 определены по амплитуде  $|\text{Re } E_x|$ , составляющей  $\text{Re } E_x$ , меняющейся синфазно либо в противофазе, с током  $I$  в генераторном диполе  $AB$ . То есть  $\rho_k(|\text{Re } E_x|) = K \times |\text{Re } E_x|/I_0$ . Некоторые особенности графиков на этом рисунке связаны с тем, что функция  $\text{Re } E_x(x)$  не является знакопостоянной. Результаты расчетов, представленные на рисунке 4а, получены при высоте  $h = 5$  см, а на рисунке 4б — при  $h = 10$  см.

При сравнении рисунка 4 с рисунками 2 и 3 видно, что определение по значению  $|\text{Re } E_x|$  кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  при невысоких значениях  $\rho_2$  может иметь безусловные преимущества по сравнению с применяемым сейчас определением  $\rho_k$  по величине  $|E_x|$ . В соответствии с результатами расчетов на рисунке 4 при заданной частоте  $f$  можно

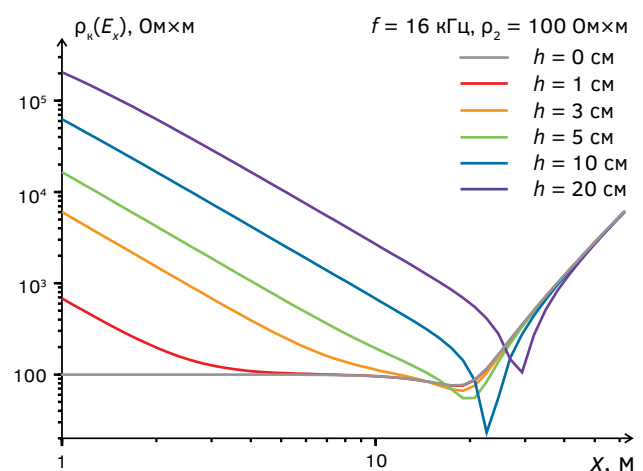


Рис. 2. Зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разнosa  $x$  при нескольких значениях высоты  $h$   
Fig. 2. Dependences of  $\rho_k(E_x)$  on the spacing of  $x$  for several values of height  $h$

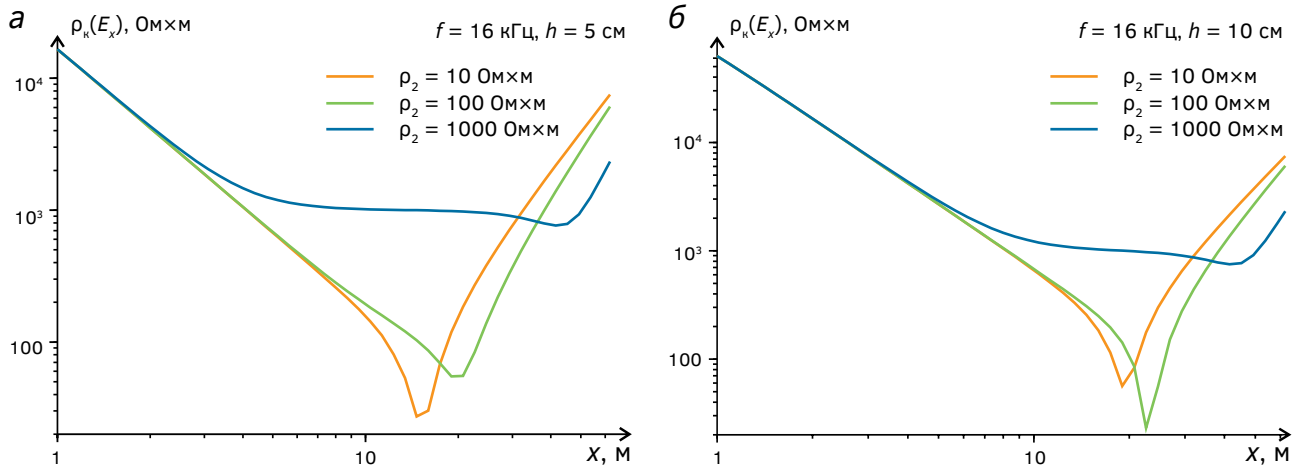


Рис. 3. Зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разнеса  $x$  при нескольких значениях  $\rho_2$   
Fig. 3. Dependences of  $\rho_k(E_x)$  on the spacing of  $x$  for several values of  $\rho_2$

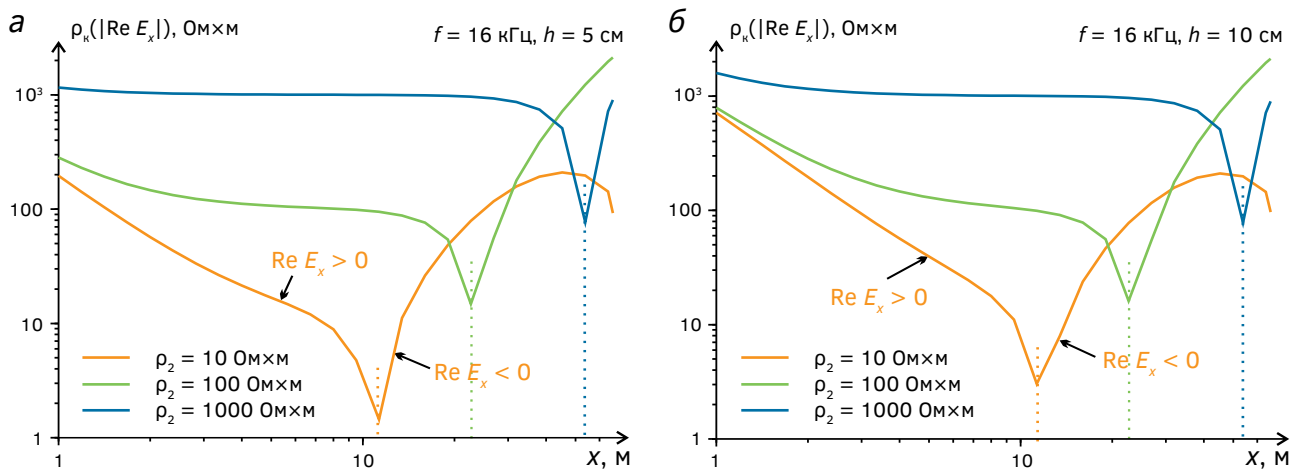


Рис. 4. Зависимости  $\rho_k(\text{Re } E_x)$  от разнеса  $x$  при нескольких значениях  $\rho_2$   
Fig. 4. Dependences of  $\rho_k(\text{Re } E_x)$  on the spacing of  $x$  for several values of  $\rho_2$

выбрать такой разнос  $x$ , чтобы при широких пределах изменения удельного электрического сопротивления  $\rho_2$  значения  $\rho_k(|\text{Re } E_x|)$  были близки к  $\rho_2$ . В пределах изменения  $\rho_2$  от 10 до 1000 Ом·м таким оптимальным является разнос  $x \approx 8\text{—}10$  м.

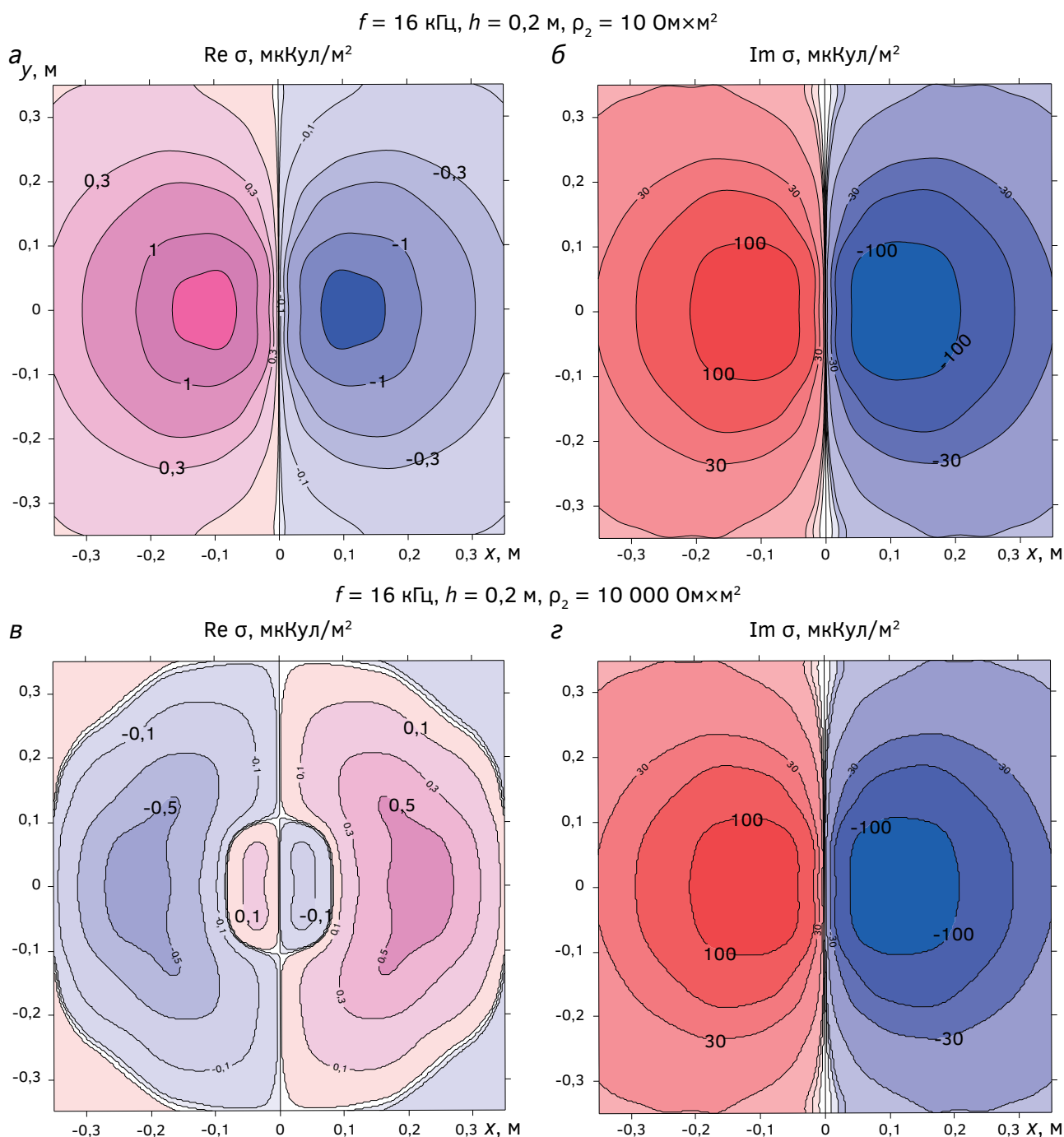
Таким образом, приведенные выше результаты численных расчетов показали, что при наиболее типичных для немерзлых осадочных горных пород удельных электрических сопротивлениях в случае бесконтактных измерений вместо амплитуды напряжения в линии  $MN$  целесообразно измерять реактивную составляющую этого напряжения, меняющуюся синфазно с током  $I$  в линии  $AB$ . Попробуем теперь дать этому физическое истолкование.

Пусть горизонтальный переменный электрический диполь  $AB$  с центром в начале декартовых

координат расположен в воздухе на высоте  $h$  над плоской горизонтальной границей  $S$  однородного проводящего немагнитного полупространства с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ . В этом случае электрическое поле с напряженностью  $\mathbf{E}$  создают следующие четыре возбудителя: 1) электрические заряды на концах отрезка  $AB$ , величины которых не зависят от  $\rho_2$ ; 2) индукционное поле  $\mathbf{E}$ , возбуждаемое первичным магнитным полем отрезка  $AB$  тока  $I$ . Это поле вообще не зависит от параметров среды; 3) индукционное поле  $\mathbf{E}$ , возбуждаемое объемными токами проводимости и токами смещения. В ближней зоне такая составляющая поля переменного электрического диполя не зависит от электрических параметров среды (см. [1]); 4) Кулоново (гальваническое) поле  $\mathbf{E}$ , создаваемое поверхностными

зарядами с поверхностной плотностью  $\sigma$ , индуцированными на границе  $S$ , которое зависит от коэффициента контрастности границы  $S$ , и, следовательно, именно эта составляющая поля  $\mathbf{E}$  зависит от удельного электрического сопротивления  $\rho_2$  проводящего полупространства.

Если ось  $Z$  направлена по нормали к плоскости  $S$ , то поверхностная плотность зарядов  $\sigma = \epsilon_0 \times \Delta E_z$ , где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная, а  $\Delta E_z$  — разрыв на этой плоскости нормальной к  $Sz$  компоненты электрического поля  $\mathbf{E}$ . Сразу отметим, что в случае гармонически меняющегося поля плотность  $\sigma$  имеет две составляющие: реактивную



**Рис. 5.** Распределение плотностей зарядов  $\text{Re } s$  и  $\text{Im } s$  на плоскости  $S$   
**Fig. 5.** Distribution of charge densities  $\text{Re } s$  and  $\text{Im } s$  on the  $S$  plane



Re  $\sigma$ , меняющуюся синфазно либо в противофазе с током  $I$ , и активную Im  $\sigma$ , отличающуюся по фазе от тока  $I$  на  $\pm\pi/2$  радиан. Заряды с этими плотностями — источники, соответственно, реактивной и активной составляющих поля  $\mathbf{E}$ .

На рисунке 5 показаны примеры того, как могут быть распределены плотности зарядов Re  $\sigma$  и Im  $\sigma$  на участке плоскости  $S$  при высоте  $h = 20$  см и двух разных значениях  $\rho_2$ . На верхних рисунках (а, б)  $\rho_2 = 10$  Ом·м, а на нижних рисунках (в, г)  $\rho_2 = 10\,000$  Ом·м. Слева, на рисунках а, в, показаны карты Re  $\sigma$ , а справа, на рисунках б, г — карты Im  $\sigma$ .

При сравнении рисунков а, в видим, что распределение на плоскости  $S$  составляющей Re  $\sigma$ , а следовательно, и создаваемое этими зарядами поле Re  $\mathbf{E}$  существенно зависит от величины  $\rho_2$ . Значения Im  $\sigma$  на рисунках б, г по абсолютной величине примерно на два порядка выше абсолютных величин |Re  $\sigma$ |, но карты Im  $\sigma$  на этих рисунках практически одинаковы. То есть интересующий нас (искомый) параметр  $\rho_2$  почти не влияет на плотность Im  $\sigma$  и на создаваемое этими зарядами поле Im  $\mathbf{E}$ , а также на суммарное поле  $\mathbf{E}$ . Удельное электрическое сопротивление  $\rho_2$  влияет на плотность Re  $\sigma$  и, следовательно, на поле Re  $\mathbf{E}$ .

Графики на рисунках 2—4 и карты на рисунке 5 получены при разnose  $AB \rightarrow 0$ . Ниже будут представлены результаты математического моделирования для дипольной осевой установки (ДООУ) для приближающихся к реальным условиям при электроразведочных измерениях конечных расстояниях между всеми электродами.

На рисунке 6 при нескольких значениях  $\rho_2$  представлены зависимости кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  от высоты  $h$  для установки В2А6М2N. То есть расстояния между (точечными) электродами В и А, а также между электродами М и N равны 2 метрам, а расстояние между электродами А и М равно 6 метрам (см. рис. 1). Сплошными линиями показаны зависимости  $\rho_k(E_{MN})$  от  $h$ , где  $E_{MN}$  — амплитуда напряжения поля  $\mathbf{E}$  в линии MN. Видим, что эти значения в той или иной степени позволяют оценить истинное удельное электрическое сопротивление  $\rho_2$  проводящего полупространства только при высотах  $h$ , равных первым единицам сантиметров, особенно при невысоких значениях  $\rho_2$ . При тех пределах изменения  $\rho_2$ , при которых выполнены расчеты, и при высотах  $h$  более 8 сантиметров значения  $\rho_k(E_{MN})$  практически не зависят от  $\rho_2$ .

Штрихпунктирными линиями показаны зависимости  $\rho_k(\text{Re } E_{MN})$  от  $h$ . Из полученных результатов

численных расчетов следует, что даже при высотах  $h$  в десятки сантиметров величины  $\rho_k(\text{Re } E_{MN})$  испытывают значительное влияние  $\rho_2$ .

### Заключение

Очевидно, что определение  $\rho_k$  по реактивной составляющей Re  $E_{MN}$  напряжения  $E_{MN}$  может позволить значительно расширить область применения бесконтактной модификации электроразведки методом сопротивлений.

По рассмотренной в этой работе проблематике дальнейшие исследования, по нашему мнению, следует провести по следующим направлениям:

- 1) Получение в аналитическом виде решения соответствующей прямой задачи электродинамики для модели среды с двумя плоскопараллельными границами. Составление соответствующих такой модели программ для компьютера и проведение численных расчетов;
- 2) Проведение физического моделирования с соблюдением принципов геометрического и электродинамического подобия с измерением реактивной компоненты Re  $E_{MN}$ ;
- 3) Создание габаритного макета аппаратуры позволяющего измерять Re  $E_{MN}$  и проведение измерений с этим макетом.

Полученные авторами результаты математического моделирования могут послужить основой при конструировании серийной аппаратуры для бесконтактных измерений в методе электропрофилирования, обоснования методики измерений и интерпретации результатов измерений.

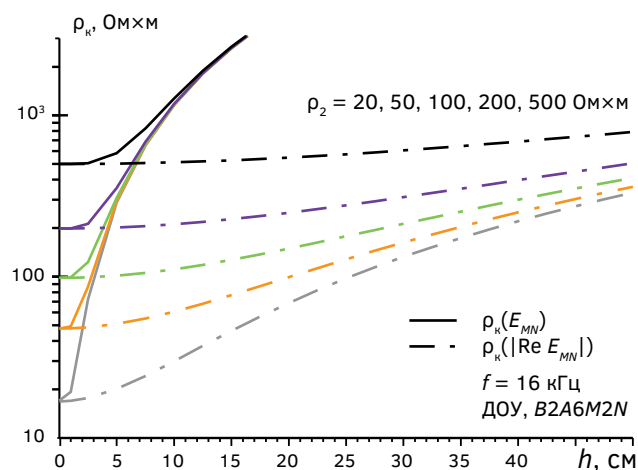


Рис. 6. Зависимости  $\rho_k(E_{MN})$  и  $\rho_k(\text{Re } E_{MN})$  от высоты  $h$  при нескольких значениях  $\rho_2$   
 Fig. 6. Dependencies  $\rho_k(E_{MN})$  and  $\rho_k(\text{Re } E_{MN})$  from the height  $h$  at several values  $\rho_2$

ЛИТЕРАТУРА

1. Альпин Л. М., Даев Д. С., Каринский А. Д. Теория полей, применяемых в разведочной геофизике. Учебник для ВУЗов. Часть IV. М.: МГРИ, 2020. 104 с.
2. Груздев А. И. Сравнение различных методик контактных и бесконтактных измерений в условиях средней полосы России // Инженерные изыскания. 2014. Т. 7. №9/10. С. 32—37.
3. Груздев А. И., Бобачев А. А., Шевнин В. А. Определение области применения бесконтактной технологии метода сопротивлений // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2020. Т. 5. № 5, С. 100—106.
4. Дашевский Ю. А. Применение преобразования Эйлера для расчета стационарных и гармонических электромагнитных полей в горизонтально-слоистых средах. Электромагнитные методы геофизических исследований. / Под ред. Ю. Н. Антонова. Новосибирск, 1982. С. 78—88.
5. Заборовский А. И. Переменные электромагнитные поля в электроразведке. М.: Изд-во МГУ, 1960. 186 с.
6. Иванов А. А., Каринский А. Д. Способ бесконтактной электроразведки. Патент России № 2785037. 16.12.2022. Бюл. № 35.
7. Каринский А. Д., Шевнин В. А. Влияние индукции на результаты ВЭЗ на переменном токе. // Геофизика. 2001. Т. 9. № 5. С. 50—56.
8. Каринский А. Д., Кудина Я. О., Матюшенко А. А. К бесконтактной модификации электроразведки методом сопротивлений // Разведочная геофизика и геоинформатика: мат-лы Всеросс. науч.-практич. конф. М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. С. 28—33.
9. Каринский А. Д., Кудина Я. О., Матюшенко А. А. Бесконтактные измерения в электроразведке методом сопротивлений; опыт математического моделирования // Новые идеи в науках о Земле: мат-лы XV Междунар. науч.-практич. конф. Т. IV. М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2021. С. 298—302.
10. Каринский А. Д., Шевнин В. А., Иванов А. А. Бесконтактные измерения в электроразведке методом сопротивлений; опыт математического моделирования // Мат-лы VIII Всеросс. школы-семинара по электромагнитным зондированиям Земли им. М. Н. Бердичевского и Л. Л. Ваньяна. М.: Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, 2021. С. 279—283.
11. Каринский А. Д., Кудина Я. О., Матюшенко А. А. К обоснованию методики бесконтактных измерений в электроразведке методом сопротивлений // Разведочная геофизика и геоинформатика: мат-лы Всеросс. науч.-практич. конф. М.: Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, 2022. С. 9—12.
12. Нахабцев А. С., Сапожников Б. Г., Яблчанский А. И. Электропрофилирование с незаземленными рабочими линиями. Л.: Недра. 1985. 96 с.
13. Тимофеев В. М., Бяшков Г. П. О некоторых путях повышения эффективности электропрофилирования при инженерно-геокриологической съемке // Тр. ВСЕГИНГЕО. 1976. Т. 1. № 81. С. 28—36.
14. Calvert H. T. Capacitive-coupled resistivity survey of ice-bearing sediments, Mackenzie Delta // SEG technical program expanded abstracts. 2002. V. 1. No. 1. P. 696—698.
15. Grard R., Tabbagh A. A mobile four-electrode array and its application to the electrical survey of planetary grounds at shallow depths // J. Geophys. Res. 1991. V. 96. No. B3. P. 4117—4123.
16. Kuras O., Beamish D., Meldrum P. I., Ogilvi R. D. Fundamentals of the capacitive resistivity technique // Geophysics. 2006. V. 71. No. 3. P. G135—G152.

REFERENCES

1. Alpin L. M., Daev D. S., Karinskiy A. D. Theory of fields used in exploration geophysics. Textbook for universities. Vol. IV. Moscow: MGRI, 2020. 104 p. (In Russian).
2. Gruzdev A. I. Comparison of various methods of contact and non-contact measurements in the conditions of central Russia // Engineering survey. 2014. Vol. 7. No. 9/10. P. 32—37 (In Russian).
3. Gruzdev A. I., Bobachev A. A., Shevnin V. A. Determining the scope of non-contact technology of the resistance method // Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology. 2020. Vol. 5. No. 5. P. 100—106 (In Russian).
4. Dashevskiy Yu. A. Application of the Euler transform to calculate stationary and harmonic electromagnetic fields in horizontally layered media // Electromagnetic methods of geophysical research. / Ed. Yu. N. Antonov. Novosibirsk, 1982. P. 78—88.
5. Zaborovskiy A. I. Заборовский А. И. Variable electromagnetic fields in electrical exploration. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 1960. 186 p. (In Russian).
6. Ivanov A. A., Karinsky A. D. The method of non-contact electrical reconnaissance // Patent of Russia No. 2785037. 12/16/2022. Bull. No. 35.
7. Karinskiy A. D., Shevnin V. A. Influence of induction on the results of VES on alternating current // Geophysics. 2001. V. 9. No. 5. P. 50—56 (In Russian).
8. Karinskiy A. D., Kudina Ya. O., Matyushenko A. A. Toward a non-contact modification of electrical prospecting by the resistance method // Exploration geophysics and geoinformatics. Materials of the All-Russian scientific-practical conference. Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 2021. P. 28—33 (In Russian).

9. Karinskiy A.D., Kudina Ya.O., Matyushenko A.A. Non-contact measurements in electrical prospecting by the method of resistance; experience in mathematical modeling // *New ideas in the Earth sciences: Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference. Volume IV.* Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 2021. P. 298—302 (In Russian).
10. Karinskiy A.D. Shevnin V.A., Ivanov A.A. Non-contact measurements in electrical prospecting by the method of resistance; experience in mathematical modeling // *Materials of the VIII All-Russian school-seminar on electromagnetic sounding of the Earth named after M.N. Berdichevsky and L.L. Vanyan.* Moscow: Institute of Physics of the Earth. O.Yu. Schmidt RAN, 2021. P. 279—283.
11. Karinskiy A.D., Kudina Ya.O., Matyushenko A.A. To substantiate the methodology of contactless measurements in electrical exploration by the method of resistances // *Exploration geophysics and geoinformatics. Materials of the All-Russian scientific-practical conference.* Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 2022. P. 349—352.
12. Nakhbhtsev A.S., Sapozhnikov B.G., Yabluchansky A.I. Electrical profiling with ungrounded working lines. Leningrad: Nedra, 1985. 96 p.
13. Timofeev V.M., Byashkov G.P. On some ways to improve the efficiency of electrical profiling in engineering geocryological surveys // *Tr. VSEGINGEO.* 1976. V. 1. No. 81. P. 28—36.
14. Calvert H.T. Capacitive-coupled resistivity survey of ice-bearing sediments, Mackenzie Delta // *SEG technical program expanded abstracts.* 2002. Vol. 1. No. 1. P. 696—698.
15. Grard R., Tabbagh A. A mobile four-electrode array and its application to the electrical survey of planetary grounds at shallow depths // *J. Geophys. Res.* 1991. V. 96. No. B3. P. 4117—4123.
16. Kuras O., Beamish D., Meldrum P.I., Ogilvi R.D. Fundamentals of the capacitive resistivity technique // *Geophysics.* 2006. Vol. 71. No. 3. P. G135—G152.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Каринский А.Д. — разработка концепции статьи, решение прямой задачи электродинамики, математическое моделирование, подготовка текста статьи, согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Иванов А.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, проводил анализ результатов, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работ.

Зуденков И.А. — анализ литературных источников, оформление статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

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

Alexandr D. Karinskiy — developed the article concept, solving a forward problem of electrodynamics, mathematical modeling, preparation of the text of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Andrey A. Ivanov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, analyzed the results, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Zudenkov — analysis of literary sources, design of the article, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Anna A. Matyushenko — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

Petr V. Novikov — contributed to the development of the article concept, added and edited the text, approved the final version of the article and accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Каринский Александр Дмитриевич** — доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [karinskyad@mgri.ru](mailto:karinskyad@mgri.ru)  
SPIN-код: 1068-6325  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5155-6349>

**Alexandr D. Karinskiy** — Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [karinskyad@mgri.ru](mailto:karinskyad@mgri.ru)  
SPIN-code: 1068-6325  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5155-6349>

**Иванов Андрей Александрович\*** — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [biwolf@mail.ru](mailto:biwolf@mail.ru)  
SPIN-код: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

**Andrey A. Ivanov\*** — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Assoc. Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [biwolf@mail.ru](mailto:biwolf@mail.ru)  
SPIN-code: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5294-8878>

**Зуденков Иван Андреевич** — аспирант кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [ivan.zoudenkov@gmail.com](mailto:ivan.zoudenkov@gmail.com)  
SPIN-код: 9738-5580  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9261-3981>

**Ivan A. Zudenkov** — post-graduate researcher of the Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [ivan.zoudenkov@gmail.com](mailto:ivan.zoudenkov@gmail.com)  
SPIN-code: 9738-5580  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9261-3981>

**Матюшенко Анна Алексеевна** — аспирант кафедры математики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [matiushenkoaa@mgri.ru](mailto:matiushenkoaa@mgri.ru)  
SPIN-код: 3402-3319  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2911-6133>

**Anna A. Matyushenko** — post-graduate researcher of the Department of Mathematics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [matiushenkoaa@mgri.ru](mailto:matiushenkoaa@mgri.ru)  
SPIN-code: 3402-3319  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2911-6133>

**Новиков Петр Вячеславович** — кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [novikovpv@mgri.ru](mailto:novikovpv@mgri.ru)  
SPIN-код: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5119-5813>

**Petr V. Novikov** — Cand. of Sci. (Tech.), Assoc. Prof., Department of Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [novikovpv@mgri.ru](mailto:novikovpv@mgri.ru)  
SPIN-code: 9977-2363  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5119-5813>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author





<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-37-45>  
УДК 553.8



# КЛАССИФИКАЦИЯ ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

В.М. БОНДАРЕНКО\*, Л. ШАВЬЕР

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

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Приведена новая классификация физико-геологических моделей (ФГМ), включающая системные ряды моделей физико-химических индикаторов, геологических объектов и геологических процессов. Модели системных рядов характеризуются физико-математическими и геотектоническими признаками.

**Цель.** Обобщение и систематизация созданных к настоящему времени моделей и введение новых типов моделей, ранее не акцентированных, и на этой основе создание новой классификации ФГМ.

**Материалы и методы.** Использованы научные публикации, в том числе авторские, посвященные описанию различных типов моделей. В качестве метода исследования применен системный анализ опубликованных данных.

**Результаты.** Создана новая классификация ФГМ, включающая системные ряды моделей физико-химических индикаторов, геологического объекта и геологического процесса, характеризующиеся физико-математическими и тектоническими признаками.

**Заключение.** Создана новая классификация ФГМ, обобщающая системные ряды моделей физико-химических индикаторов, различных геолого-физических образов. Представлены системные ряды моделей для алмазоносных кимберлитовых трубок и землетрясения.

**Ключевые слова:** физико-геологическая модель, ФГМ, априорная, апостериорная, динамическая, статическая, петрофизическая, поисковая, разведочная

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

**Финансирование:** исследования проведены в рамках плана аспиранта и учебного плана руководителя без дополнительного финансирования.

**Благодарности:** авторы благодарят ректорат МГРИ и руководство кафедры геофизики за предоставленную возможность проведения указанных исследований.

**Для цитирования:** Бондаренко В.М., Шавьер Л. Классификация физико-геологических моделей. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):37—45.  
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-37-45>

Статья поступила в редакцию 04.04.23

Принята к публикации 08.09.2023

Опубликована 28.09.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## CLASSIFICATION OF PHYSICO-GEOLOGICAL MODELS

VLADIMIR M. BONDARENKO\*, L. SHAVIER

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

### ABSTRACT

**Background.** A new classification of physico-geological models (PhGM) is presented, which includes system series of models of physico-chemical indicators, geological objects, and geological processes. Such system series models are characterized by physical-mathematical and geotectonic features.

**Aim.** Generalization and systematization of existing models and introduction of new model types, which were not previously considered, to propose a new classification of PhGM.

**Materials and methods.** Scientific publications, including those published by the authors, devoted to the description of various types of models. A systematic review of published data was used as a research method.

**Results.** The proposed classification of PhGM includes system series of models of physico-chemical indicators, geological objects, and geological processes characterized by physico-mathematical and tectonic features.

**Conclusion.** A new classification of PhGM is proposed. This classification generalizes the system series of models of physico-chemical indicators and various geological and physical images. System series of models for diamond-bearing kimberlite pipes and earthquakes are presented.

**Keywords:** physico-geological model, PhGM, a priori, a posteriori, dynamic, static, petrophysical, prospecting, exploration

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

**Financial disclosure:** the research was carried out within the framework of the graduate student's plan and the supervisor's curriculum without additional funding.

**Acknowledgments:** the authors thank the Rector of the Russian State Geological Exploration University and the leadership of the Department of Geophysics for the opportunity to conduct these studies.

**For citation:** Bondarenko V.M., Shavier L. Classification of physico-geological models. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):37—45. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-37-45>

*Manuscript received 04 April 2023*

*Accepted 08 September 2023*

*Published 28 September 2023*

\* Corresponding author

Понятие физико-геологической модели (ФГМ) было введено в отечественную геофизику авторами [4, 13], а классификация моделей по физико-математическим параметрам была предложена в [2, 7]. Представления исследователя о реальном геологическом объекте или процессе являются приближенными. Не исключены и ложные представления. Степень приближения к реальности зависит от количества имеющейся информации о предмете исследования, поэтому составленное представление получило название модели или гипотезы, т.е. природа моделируется по доступным

для исследователей результатам измерений или используется полученная другим путем информация о физико-геологических индикаторах геологического объекта или процесса.

В настоящей работе приводится уточненная формулировка понятия физико-геологической модели как субъективного представления одного или группы исследователей о реальном геологическом объекте или процессе, включающего информацию о генезисе, физических и химических свойствах, элементах залегания и морфологии, возрасте, геофизических и геохимических полях

и другое; а для геологического процесса — информацию о причинах возникновения, эволюции, последствиях воздействия на геосферы (литосферу, биосферу).

В ранее созданных классификациях ФГМ различие моделей базировалось на их физико-математических особенностях и не учитывались петрофизические свойства глубинных слоев Земли и стадийность геологоразведочного процесса.

Представленная новая классификация ФГМ дополнительно включает модели глубинных условий, благоприятных для формирования геологического объекта или возникновения геологического процесса, а также модели, учитывающие стадийность геологоразведочного процесса. Детализация представлений о геологическом объекте выражается в виде системного ряда моделей конкретного объекта. В качестве примера приводится системный ряд физико-геологических моделей алмазоносных кимберлитовых трубок Анголы.

ФГМ создают, в частности, для получения представлений о генезисе месторождений, выбора группы (комплекса) геолого-геофизических и других методов, например для решения

прогнозной задачи выделения территорий, на которых могут находиться месторождения полезного ископаемого определенного типа; для решения задач поисков, разведки и эксплуатации месторождений в пределах выделенной перспективной территории.

ФГМ создают также для интерпретации данных измерений геофизических и других полей. Ниже приведена классификация моделей геологического объекта — месторождения. Подобные классификации могут быть составлены и для других геологических объектов, например магматических пород, разрывных нарушений и геологических процессов, например складкообразования, землетрясения, цунами.

### Результаты обобщения и обсуждение

Любая ФГМ геологических объектов и процессов имеет физико-математические признаки. Классификация ФГМ по этим признакам начинается с разделения на две большие группы: апостериорные и априорные модели (рис. 1). Апостериорную (с лат. «после опыта») модель составляют по результатам исследований и измерений параметров



Рис. 1. Усовершенствованная классификация физико-геологических моделей (ФГМ) с системными рядами моделей физико-химических индикаторов пород и геологического объекта — месторождения полезного ископаемого

Fig. 1. Improved classification of physico-geological models (FGM) with system series of models of physico-chemical indicators of rocks and geological object — mineral deposits

изучаемого геологического объекта или процесса, для которого непосредственно создается модель. Априорная (с лат. «до опыта, до эксперимента») модель формируется по литературным данным (научным публикациям и фондовым материалам), полученным на других, близких по геологическим параметрам объектах или процессах. Зачастую составляют смешанные апостериорно-априорные модели.

Динамические модели отображают, например, формирование благоприятных условий в недрах Земли как источника месторождений полезных ископаемых в земной коре или воспроизводят процесс переноса полезного ископаемого из недр Земли в земную кору и образование месторождения.

Состояние геологического процесса или объекта в конкретный момент времени, отражающий этапы геологоразведки, оформляется в виде статических моделей.

По физико-математическим особенностям динамические и статические модели подразделяются на несколько категорий. Так, прогнозные модели, базирующиеся на динамической модели, описывающей процесс формирования благоприятных условий в недрах Земли для образования будущих месторождений, составляют для поисков перспективных территорий и обнаружения на них конкретных месторождений, а статические модели (поисковая, разведочная и эксплуатационная) составляют по сформировавшимся в земной коре геологическим особенностям (месторождение, структура, магматизм и прочее).

Различие между поисковой и разведочной моделями заключается в следующем. В поисковой модели акцентируется внимание на дифференциацию параметров (например, физических свойств) геологического объекта в целом относительно вмещающих пород. В разведочной модели основное внимание уделяется дифференциации отдельных частей геологического объекта относительно друг друга с целью выявления связи блоков пород с содержанием полезного компонента.

Эксплуатационную модель составляют с целью уточнения связи между геолого-физическими особенностями отдельных блоков с содержанием полезного компонента для проектирования способов отработки месторождения. Важной особенностью эксплуатационной модели является приведение обоснованной информации для проектирования мероприятий, обеспечивающих безопасность ведения эксплуатационных работ, например для обоснования методов мониторинга устойчи-

вости потолочины при комбинированной системе отработки месторождения.

Большинство динамических и статических моделей являются безальтернативными, так как величины основных параметров модели получены экспериментально, или наоборот, из-за недостатка информации. Дополнительная информация о геологическом объекте или процессе может превратить безальтернативную модель в альтернативную. К альтернативным моделям относятся также модели, составленные другими исследователями, использующими одну и ту же информацию о геологическом объекте, но выполнившими интерпретацию этой информации по-иному.

В вероятностно-статистических моделях числовая величина индикаторов часто формируется в результате множества измерений. Вследствие природной дисперсии и аппаратных погрешностей распределение числовых значений индикатора может подчиняться нормальному (гауссовскому) или логнормальному изменению [13]. Для нормального распределения наиболее вероятная величина (мода) совпадает со средним значением индикатора (медиана). Для логнормального распределения модальные и медианные значения могут существенно различаться. Например, дисперсия магнитной восприимчивости пород подчиняется логнормальной закономерности, а дисперсия плотности — гауссовскому распределению.

Фиксированная количественная величина индикатора, например среднее арифметическое значение, используется в детерминированных моделях. Обычно в таких моделях приводят комплекс индикаторов различной надежности, поэтому при оценке достоверности модели учитывают различие дисперсий индикаторов.

Степень достоверности (надежности) модели определяется соотношением количества априорной и апостериорной информации, которая была доступна на момент составления модели. Конкретно достоверность модели можно оценить по количественным характеристикам геолого-физических индикаторов, характеризующих модель. Они могут быть модальными (наиболее вероятными), медианными (среднестатистическими), детерминированными (фиксированными с неизвестной вероятностью и статистикой).

Статические модели составляют для определенного момента, чаще всего для настоящего времени.

Детерминированную модель составляют из параметров с фиксированными значениями их величин. В вероятностно-статистических моделях значения величин параметров изменяют,



например, используя максимальные или минимальные, среднеарифметические или вероятностные их значения.

Системный ряд моделей физико-химических (литопетрофизических) индикаторов вещества и пород Земли включает свойства вещества астеносферы, земной коры, месторождения и полезного ископаемого (рис. 2). Важным аспектом этих моделей является взаимозависимость физико-химических свойств. Так, скорость распространения продольных сейсмических волн и плотность заметно зависят от содержания  $\text{SiO}_2$ . Величина вязкости глубинных слоев Земли определяется температурой и давлением. Структурные признаки также влияют на величину физико-химических индикаторов и отражаются в моделях. Так, появление глубинных разломов приводит к снижению температуры плавления и кипения вещества астеносферы за счет декомпрессии. Модели этого системного ряда обладают всеми физико-математическими признаками, указанными выше.

Системный ряд моделей конкретного типа месторождения формально включает элементы классификаций моделей, приведенных на рисунке 1, но по существу содержания моделей является специфическим. Отметим эти различия на примере описания системного ряда моделей алмазоносных кимберлитов трубчат Анголы [3, 5, 6, 8, 9, 11, 14, 16—18] (рис. 3).



Рис. 2. Системный ряд моделей физико-химических индикаторов (литопетрофизических свойств) вещества и пород Земли

Fig. 2. System series of models of physico-chemical indicators (lithopetrophysical properties) of matter and rocks of the Earth

Модель формирования благоприятных условий в мантии Земли для образования месторождения полезного ископаемого на примере алмазоносных кимберлитовых трубок впервые была представлена в работе [15]. Эти благоприятные условия формируются в астеносфере в виде развитого пузырькового кипения, возникающего в результате декомпрессии перегретой астеносферы. Декомпрессия была стимулирована глубинными разломами, появившимися как следствие глобальных деформаций литосферы.

Динамическая модель путей транспортировки вещества астеносферы и образования кимберлитов включает две модели. Первая



Рис. 3. Системный ряд моделей геологического объекта — алмазоносных кимберлитовых трубок взрыва

Fig. 3. System series of models of geological object — diamond-bearing kimberlite

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

из них — формирование всплывающим газовым пузырем вертикального цилиндрического канала от астеносферы до земной поверхности. Вторая — генезис кратерных кимберлитов, являющихся наиболее алмазоносными породами трубки. В поисковой модели акцентируется внимание на дифференциации физико-геологических индикаторов кимберлитового тела в целом относительно вмещающих пород, а в разведочной — на дифференциации физико-химических индикаторов различных литотипов кимберлитов.

Поисковые модели обычно являются статическими, но по мере накопления опыта превращаются в другую поисковую модель. Например, начальная поисковая модель кимберлитовых трубок для Якутской алмазоносной провинции имела основным физическим индикатором повышенную магнитную восприимчивость пород трубок и соответствующие магнитные аномалии. В дальнейшем было установлено, что встречаются немагнитные трубки, а магнитные аномалии трубчатого типа могут создаваться трапповыми останцами основного состава. Последующие исследования показали, что кимберлитовые трубки характеризуются не только магнитными, но и аномалиями гравитационных

и электромагнитных полей, отличающихся от трапповых [1].

В моделях месторождения учитывается фактор времени в виде палеореконокструкций и прогнозов. Например, палеореконокструкция коренного месторождения алмазов характеризует генезис месторождения, а запасы алмазов и темпы эксплуатации — прогноз временного интервала существования месторождения.

Особую роль выполняет модель алмазоносности кимберлитов как ряд альтернативных моделей, ни одна из которых не является достаточно обоснованной, чтобы стать реальной для описания генезиса алмазов в кимберлитовой трубке.

В качестве примера системного ряда моделей геологического процесса приведем модели, описывающие причины формирования очага землетрясения, предвестники, прогноз и последствия [10, 12] (рис. 4).

Формирование условий в недрах Земли для возникновения очага землетрясения может быть обусловлено как природными, так и техногенными процессами. К природным относятся движения континентальных плит, вулканизм, ледниковые и горные обвалы, падение метеоритов,



Рис. 4. Системный ряд моделей геологического процесса — землетрясения (ЗТ)

Fig. 4. A system series of models of the geological process — earthquakes (ZT)

а к техногенным — заполнение водохранилищ, закачка отходов в подземные коллекторы, обвалы пород после отработки месторождений полезных ископаемых и подземные ядерные взрывы.

Динамическая модель очага землетрясения состоит из нескольких временных стадий развития дилатации пород горного массива и возникновения сдвиговых напряжений.

Прогнозная модель содержит информацию о дате и времени землетрясения, географических координатах эпицентра, глубине очага, энергии и силе землетрясения с определенной вероятностью, которая увеличивается по мере приближения времени прогноза к моменту события. Прогнозные модели соответствуют определенным временным интервалам до завершения события и имеют характерные предвестники. Так, долгосрочная прогнозная модель представляет собой карту сейсмически активного региона, которая периодически обновляется, а в оперативной модели объявляют окончательный вывод о дате землетрясения.

Ряд моделей предвестников землетрясения состоит из моделей геологических процессов и геофизических полей, изменяющих свои характеристики в период подготовки очага землетрясения. Так, подготовка землетрясения сопровождается длиннопериодическими колебаниями земной коры, меняется уровень напорных подземных вод.

Модель оценки разрушительных последствий землетрясений состоит из оценки энергии очага землетрясения и силы землетрясения на земной поверхности.

Модель защиты инфраструктуры и жизни людей состоит из двух моделей. Первая: прогноз землетрясения, на основании которого прекращается деятельность инфраструктуры города (отключение электро- и водоснабжения, остановка работы предприятий) и вывод людей в безопасное место. Вторая модель — сейсмостойкое строительство. На практике эти модели дополняют друг друга. В случае неудачного оперативного прогноза для региона потенциального землетрясения понесет громадные экономические потери, а в случае удачного прогноза, но невыполнения мероприятий по прекращению жизнедеятельности региона последствия не будут катастрофическими вследствие реализации второй модели — наличия сейсмостойких сооружений.

### Заключение

Научно-практическая значимость моделей заключается в формировании у исследователя с определенной вероятностью представления, например, о генезисе конкретного типа месторождения для выбора комплекса геологических, геофизических, геохимических и горно-буровых методов для решения задач геолого-разведочных стадий от прогноза до эксплуатации месторождения с максимальной эффективностью в кратчайшие сроки с наименьшими затратами.

Составленный ряд физико-геологических моделей конкретного геологического объекта или процесса интенсифицирует исследование слабообследованных моделей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко В.М., Демидович О.А., Тархов А.Г. Первые результаты комплексного применения геофизических методов для прямых поисков месторождений алмазов в Якутской АССР // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1961. № 2. С. 118—132.
2. Бондаренко В.М., Со Мин Ту. Физико-геологические модели золоторудных и олововольфрамовых месторождений Союза Мьянма // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 3. С. 52—58.
3. Бондаренко В.М., Шавьер Л. де Ж.А. Динамическая модель образования кимберлитовых трубок взрыва. XIV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». М.: Изд-во МГРИ-РГГРУ, 2019, С. 349—352.
4. Вахромеев Г.С. Общие принципы комплексирования геофизических методов при поисках рудных месторождений. Иркутск: Изд. Иркутского политех. ин-та, 1970. С. 119.
5. Загайный А.К., Микоев И.И., Усинов В.Н. и др. Структурно-тектонические и геофизические предпосылки локализации кимберлитов на территории Анголы // Руды и металлы. 2017. № 4. С. 42—49.
6. Зинчук Н.Н. Особенности использования типовых моделей кимберлитовых трубок при поисках алмазов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2011. № 1. С. 133—144.
7. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексирование геофизических методов. М.: ВНИИГеосистем, 2012. 346 с.
8. Первов В.А., Сомов С.В., Коршунов А.В. и др. Кимберлитовая трубка Катока (Республика Ангола): палеовулканологическая модель формирования // Геология рудных месторождений. 2011. Т. 53, № 4. С. 330—345.
9. Портнов А.М. Кимберлиты — мантийные флюидизиты // Природа. 2012. № 12. С. 42—48.
10. Потапов А.Д. Землетрясения — причины и последствия. М.: Высшая школа, 2009. 246 с.

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

11. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д. О структурном контроле кимберлитового магматизма в провинции Луанда-Нортэ (Ангола) // Отечественная геология. 2004. № 6. С. 78—82.
12. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 2003. 312 с.
13. Тархов А.Г., Бондаренко В.М., Никитин А.А. Принципы комплексирования в разведочной геофизике. М.: Недра, 1977. 165 с.
14. Харкив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998. 555 с.
15. Шавьер Л. де Ж.А., Бондаренко В.М. Модель формирования благоприятных условий в мантии Земли для образования коренных месторождений алмазов на территории Анголы. XIV Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле». М.: Изд-во МГРИ-РГГРУ, 2019. С. 495—497.
16. Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G. Tectonic setting of kimberlites. *Lithos*. 2009. 112S. P. 155—165.
17. Le Roux C.L., Steenkamp W.H. Geophysical characteristics of a few Angolan kimberlite Examples. *Proceedings of the GSSA Kimberley Diamond Symposium*. 11—13 Sept. 2014. P. 1—5.
18. Pettit W. Geophysical signatures of some recently discovered large (>40 ha) kimberlite pipes on the Alto Cuilo concession in northeastern Angola. *Lithos*. 2009. 112S. P. 106—115.

### REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Demidovich O.A., Tarkhov A.G. The first results of complex application of geophysical methods for direct prospecting of diamond deposits in Yakut USSR // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 1961. No. 2. P. 118—132 (In Russian).
2. Bondarenko V.M. So Min Tu. Physico-geological models of gold and tin-tungsten deposits of the Union of Myanmar // *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2010. No. 3. P. 52—58 (In Russian).
3. Bondarenko V.M., Xavier L.de J.A. Dynamic model of education kimberlite explosion tubes. XIV International Scientific and Practical Conference “New ideas in Earth Sciences”. Moscow: MGRI-RGGRU Publishing House, 2019. P. 349—352 (In Russian).
4. Vakhromeev G.S. General principles of integration of geophysical methods in the search for ore deposits. Irkutsk, Ed. Irkutsk Polytechnic University. 1970. 119 p. (In Russian).
5. Zagayny A.K., Mikoiev I.I., Usinov V.N., et al. Structural and tectonic and geophysical prerequisites for the localization of kimberlites on the territory of Angola // *Ores and Metals*. 2017. No. 4. P. 42—49 (In Russian).
6. Zinchuk N.N. Features of the use of standard models of kimberlite pipes in the search for diamonds // *Bulletin of VSU. Series: Geology*. 2011. No. 1. P. 133—144 (In Russian).
7. Nikitin A.A., Khmelevskoy V.K. Integration of geophysical methods Moscow: VNIIGeosystem, 2012. 346 p. (In Russian).
8. Pervov V.A., Somov S.V., Korshunov A.V., et al. Kimberlite Cathode Tube (Republic of Angola): paleovolcanological model of formation // *Geology of ore deposits*. 2011. Vol. 53. No. 4. P. 330—345 (In Russian).
9. Portnov A.M. Kimberlites — mantle fluidites // *Nature*. 2012. No. 12. P. 42—48 (In Russian).
10. Potapov A.D. Earthquakes — causes and consequences. Moscow: Higher School, 2009. 246 p. (In Russian).
11. Serokurov Yu.N., Kalmykov V.D. On the structural control of kimberlite magmatism in the province of Luanda Norte (Angola) // *Russian Geology*, 2004, No. 6, P. 78—82 (In Russian).
12. Sobolev G.A. Fundamentals of earthquake prediction. Moscow: Nauka, 2003. 312 p. (In Russian).
13. Tarkhov A.G., Bondarenko V.M., Nikitin A.A. Principles of integration in exploration geophysics. Moscow: Nedra, 1977. 165 p. (In Russian).
14. Harkiv A.D., Zinchuk N.N., Kryuchkov A.I., Indigenous diamond deposits of the world. Moscow: Nedra Publ. House, 1998. 555 p. (In Russian).
15. Xavier L.de Zh.A., Bondarenko V.M. Model of formation of favorable conditions in the Earth's mantle for the formation of indigenous diamond deposits on the territory of Angola. XIV International Scientific and Practical Conference “New ideas in Earth Sciences”. Moscow: MGRI-RGGRU Publ. House, 2019. P. 495—497 (In Russian).
16. Jelsma H., Barnett W., Richards S., Lister G. Tectonic setting of kimberlites. *Lithos* 112S, 2009. P. 155—165.
17. Le Roux C.L., Steenkamp W.H. Geophysical characteristics of a few Angolan kimberlite Examples. *Proceedings of the GSSA Kimberley Diamond Symposium*. 11—13 Sept. 2014. P. 1—5.
18. Pettit W. Geophysical signatures of some recently discovered large (>40 ha) kimberlite pipes on the Alto Cuilo concession in northeastern Angola. *Lithos* 112S, 2009. P. 106—115.



### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Шавьер Л. — присоединилась к подготовке текста статьи, добавив системный ряд моделей геологического объекта, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Vladimir M. Bondarenko — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Lusia Shavier — prepared the illustrations and tables for the paper, interpreted results, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Бондаренко Владимир Михайлович\*** — доктор технических наук, профессор кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

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

тел.: +7 (916) 674-19-77

SPIN-код: 2114-2364

**Vladimir M. Bondarenko\*** — Dr. of Sci. (Technical), Professor of the Department Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

tel.: +7 (916) 674-19-77

SPIN-code: 2114-2364

**Шавьер Лусия** — аспирант кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

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

**Lusia Shavier** — post-graduate researcher of the Department Geophysics of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ГАГАТЫ В ОТЛОЖЕНИЯХ СРЕДНЕЙ ЮРЫ КРЫМА (г. СУДАК): УГЛЕПЕТРОГРАФИЯ, ПАЛЕОБОТАНИКА, УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

И.Е. СТУКАЛОВА<sup>1\*</sup>, Т.А. САДЧИКОВА<sup>1</sup>, С.В. НАУГОЛЬНЫХ<sup>1</sup>, А.Л. ЧЕПАЛЫГА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН  
7, стр. 1, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия

<sup>2</sup> Институт географии РАН  
29, стр. 4, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Изучены угленосные отложения копсельской свиты бат-келловейского яруса средней юры вблизи г. Судака (п-ов Крым). Литолого-минералогический анализ пород, преимущественно песчаников и алевролитов, с раковинным детритом, растительными остатками и линзами углей (гагатов), позволил определить прибрежно-морские и лагунные обстановки осадконакопления. Изученные гагаты представлены структурным витринитом и относятся к гумусовой группе. Вторичные минералы в угольных пластах и вмещающих породах указывают на стадию раннего катагенеза. На основании ботанического анализа установлен состав исходных растений-углеобразователей: это группа хвойных семейства араукариевых.

**Цель работы.** Выявить фациально-климатические и ландшафтные условия образования гагатов копсельской свиты, их состав, структуру, вторичные изменения. Показать, что вещественный состав углей — это древесина голосеменных растений, преимущественно хвойных, а не талломы водорослей.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования являются угленосные отложения средней юры бат-келловейского яруса копсельской свиты, изученные в естественных обнажениях долины р. Копсель в районе г. Судака (Крым). Интерес для исследования представляет присутствие в этих отложениях линз и прослоев бурого угля — гагата. Гагаты изучены макроскопически (формы и условия залегания в разрезе) и микроскопически (углепетрографическими методами): в двусторонне-полированных шлифах в поляризационном микроскопе, а также в сканирующем микроскопе Vega3 Tescan. Выполнен микроанализ химических элементов на приставке к микроскопу ULTM Max (ГИН). Проведены палеоботанические исследования углефицированных растительных остатков. Структура, текстура и минеральный состав пород исследованы в шлифах в микроскопе; минералогический анализ проведен с использованием рентгеновского дифрактометра D8 Advace (валовый состав в порошковой дифрактограмме и состав глин во фракции <0,001 мм) и сканирующего микроскопа Vega3 Tescan (ГИН).

**Результаты.** На основе комплексных исследований нового уникального местонахождения гагатовых углей в копсельской свите средней юры (бат-келловейский ярус) в долине р. Копсель уточнен и дополнен палеоботанический состав растений-углеобразователей (с преобладанием хвойных типа араукариевых), реконструированы климатические и палеоландшафтные условия формирования этих углей на северной окраине Тетиса. Литолого-минералогические особенности пород, преимущественно песчаников и алевролитов, с раковинным детритом, растительными остатками и линзами углей (гагатов), позволяют определить фациальные обстановки осадконакопления как прибрежно-морские и лагунные, с фрагментами авандельтовых и пролювиальных, оползневых отложений. Установленные вторичные изменения вмещающих пород и собственно углей дают возможность судить о стадии раннего катагенеза, которому была подвержена толща на следующих этапах геологической истории.

**Заключение.** Торфонакопление и последующее углеобразование происходило, вероятно, в мелководных лагунах. Тип торфонакопления паралический, парагенетически связан с изученным комплексом осадков. Постседиментационные преобразования пород соответствуют раннему катагенезу; установлены по наличию вторичного кальцита (по трещинам породы

и в виде конкреционных образований), обилию аутигенного гипса, и повсеместного замещения фрамбоидов пирита железистоокисными минералами. Пропластки гагатов также изменены: в тех местах, где органическое вещество пропитано карбонатными растворами, угольное вещество подвергается тепловому воздействию, становится оптически непрозрачным.

**Ключевые слова:** Крым, Судак, средняя юра, копсельская свита, литология, палеоботаника, гагаты, катагенез, араукариевые.

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

**Финансирование:** работа выполнена в рамках темы Госзадания ГИН РАН и Госзадания ИГ РАН.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность сотрудникам ГИН РАН: Н.В. Горьковой, Т.Д. Зеленовой, Н.А. Ключевой и Т.В. Хвост за помощь в аналитических исследованиях и оформлении работы.

**Для цитирования:** Стукалова И.Е., Садчикова Т.А., Наугольных С.В., Чепалыга А.Л. Гагаты в отложениях средней юры Крыма (г. Судак): углепетрография, палеоботаника, условия образования. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):46—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-46-65>

Статья поступила в редакцию 14.06.23

Принята к публикации 03.07.2023

Опубликована 28.09.2023

\* Автор, ответственный за переписку

## GAGATES IN CRIMEAN MIDDLE JURASSIC SEDIMENTS (SUDAK): COAL PETROGRAPHY, PALEOBOTANY, FORMATION CONDITIONS

IRINA E. STUKALOVA<sup>1,\*</sup>, TAMARA A. SADCHIKOVA<sup>1</sup>, SERGEY V. NAUGOLNYKH<sup>1</sup>, ANDREY L. CHEPALYGA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological Institute of the Russian Academy of Sciences  
7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences  
29/4, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

### ABSTRACT

**Background.** The coal-bearing deposits of the Kopsel formation of the Bathonian-Callovian age of the Middle Jurassic near the city of Sudak (Crimea) are studied. The conducted lithological and mineralogical analysis of rocks, mainly sandstones and siltstones, with shell detritus, plant residues and coal lenses (gagates), made it possible to determine the coastal-marine and lagoon sedimentation conditions. The studied gagates are represented by structural vitrinite and belong to the humus group. Secondary minerals in coal seams and host rocks indicate the stage of early catagenesis. The botanical analysis revealed the coal-forming plants, belonging to a group of conifers of the araucaria family.

**Aim.** To identify the facies-climatic and landscape conditions for the formation of gagates of the Kopsel formation, along with their composition, structure, and secondary changes. To demonstrate that the material composition of coals is the wood of gymnosperms, mainly conifers, rather than algal thalli.

**Materials and methods.** The natural outcrops of the coal-bearing deposits of the Middle Jurassic of the Bathonian-Callovian stage of the Kopsel formation in the valley of the Kopsel River near the city of Sudak (Crimea) were studied. The lenses and interlayers of brown coal — gagate — present in these deposits were of particular interest. Gagete samples were studied both macroscopically (forms and occurrence conditions in the section) and microscopically (by coal petrography methods). To this end, double-sided polished sections were examined using a polarizing microscope and a Vega3 Tescan scanning microscope. The microanalysis of chemical elements was performed using an ULTM Max (GIN) microscope attachment. Paleobotanical studies of carbonified plant

residues were carried out. The structure, texture and mineral composition of the rocks were studied in thin sections using a microscope. A mineralogical analysis was carried out using a D8 Advace X-ray diffractometer (gross composition in a powder diffractogram and composition of clays in a fraction of <0.001 mm) and a Vega3 Tescan (GIN) scanning microscope.

**Results.** The comprehensive studies conducted in the new, unique location of coals in the Kopsel Formation of the Middle Jurassic (Bathonian-Callovian stage) in the valley of the Kopsel River determined the paleobotanical composition of coal-forming plants (with the predominance of conifers of the Araucariaceae type), the climatic and paleolandscape conditions for the formation of these coals on the northern outskirts of Tethys. The lithological and mineralogical features of rocks, mainly sandstones and siltstones, with shell detritus, plant residues and lenses of coals (gagates), make it possible to determine the facies conditions of sedimentation as coastal-marine and lagoonal, with fragments of avandelta and proluvial, landslide deposits. The established secondary changes in the host rocks and the coals indicate the stage of early catagenesis, to which the stratum was subjected at the next stages of geological history.

**Conclusion.** Peat accumulation and subsequent coal formation most likely occurred in shallow lagoons. The type of peat accumulation is paralytic, paragenetically related to the studied sediments. Post-sedimentation transformations of the rocks correspond to early catagenesis. These transformations were established by the presence of secondary calcite (by rock cracks and in the form of nodule formations), the abundance of authigenic gypsum, and the widespread replacement of pyrite framboids with iron oxide minerals. The interlayers of gagates have also undergone changes. In those places where organic matter is impregnated with carbonate solutions, the coal substance is exposed to heat, thus becoming optically opaque.

**Keywords:** Crimea, Sudak, Middle Jurassic, Kopsel formation, lithology, paleobotany, jets, catagenesis, araucaria

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

**Financial disclosure:** research was carried out on the subject of the State Assignment of the GIN RAS and the State Assignment of the IG RAS.

**Acknowledgments.** The authors express their gratitude to the staff of the GIN RAS: N.V. Gorkova, T.D. Zelenova, N.A. Klyueva and T.V. Khvost for their help in analytical research and design of the work.

**For citation:** Stukalova I.E., Sadchikova T.A., Naugolnykh S.V., Chepalyga A.L. Gagates in Crimean Middle Jurassic sediments (Sudak): coal petrography, paleobotany, formation conditions. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):46—65. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-46-65>

*Manuscript received 14 June 2023*

*Accepted 03 July 2023*

*Published 28 September 2023*

\* Corresponding author

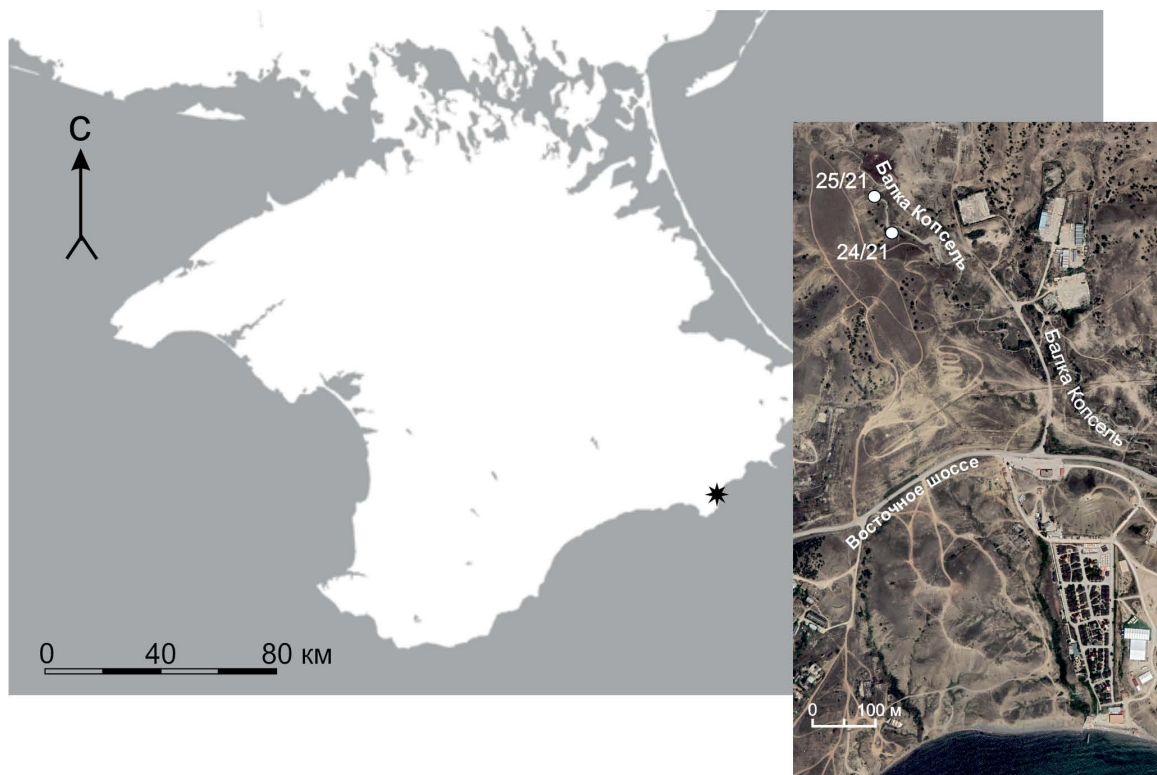
## Введение

При изучении разрезов копсельской свиты бат-келловейского яруса в районе г. Судак (рис. 1) большой интерес представляют обнаруженные в песчано-глинистых терригенных осадках средней юры линзы и прослои гагатов. В Крыму известны проявления гагатов на разных стратиграфических уровнях: в бешуйской и карадагской свитах [3—5]. Бурые угли, в частности гагаты, выходы которых отмечены на Южном берегу Крыма, имеют практическое значение. На протяжении

длительного времени они служили, главным образом, в качестве топлива. В последнее время их стали использовать как поделочный камень для изготовления местных сувениров.

В задачи исследования входило выявить фациально-климатические и ландшафтные условия образования гагатов копсельской свиты, их состав, структуру, вторичные изменения. Основная цель работы — показать, что вещественный состав углей — это древесина голосеменных растений, преимущественно хвойных, а не талломы





**Рис. 1.** Схема расположения района работ на Ю-В берегу Крыма (район г. Судак, долина Копсель)

**Fig. 1.** The layout of the area of work on the south-east coast of the Crimea (the area of the city of Sudak, the valley of Kopsel)

водорослей, что установлено углепетрографическими и палеоботаническими методами.

#### Объект и методы исследования

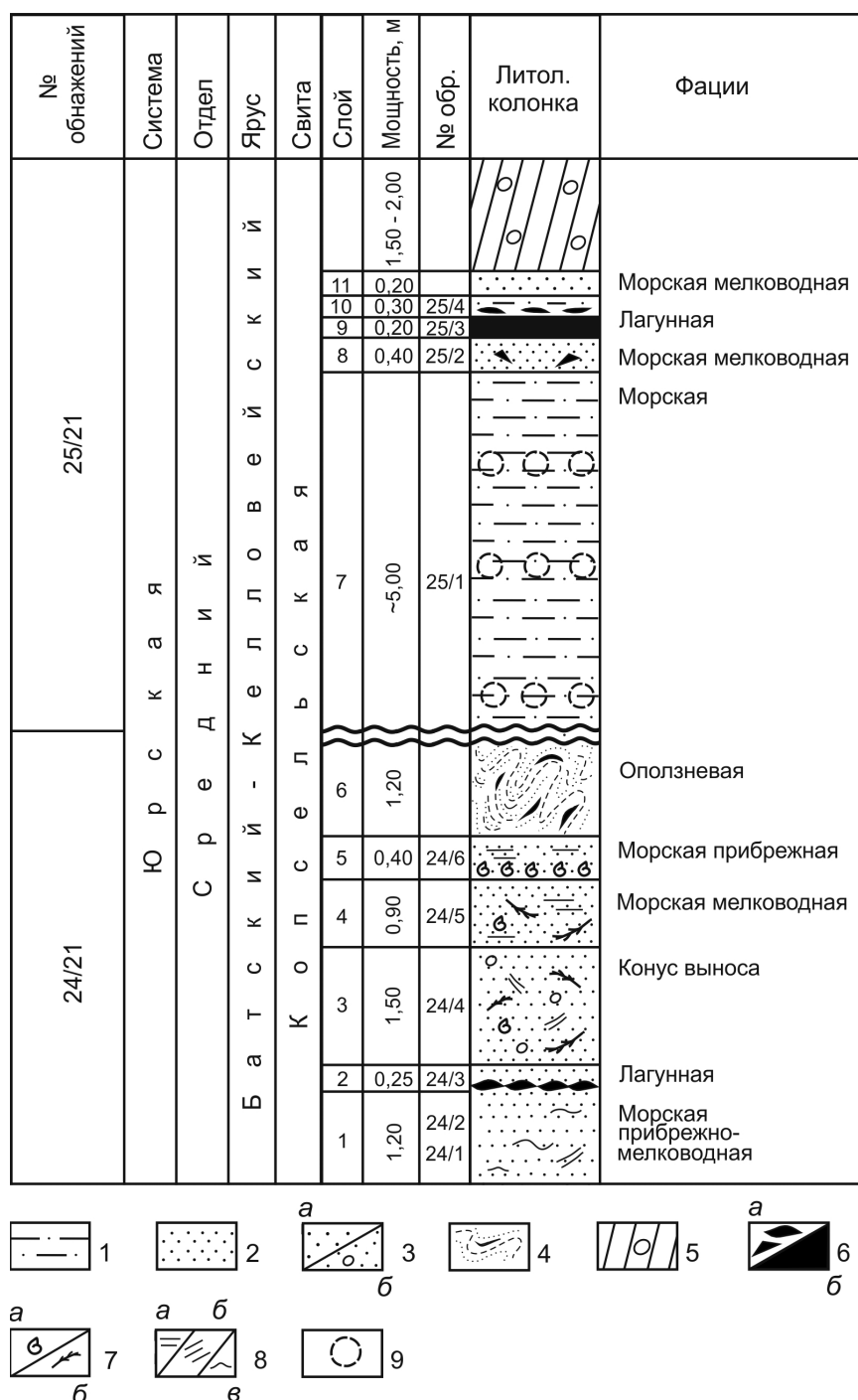
Объектом исследования являются угленосные отложения средней юры (бат-келловейский ярус, копсельская свита), изученные в естественных обнажениях долины р. Копсель (балки Копсель) в районе г. Судак [13]. Угленосные отложения в районе г. Судак отмечались и ранее, в частности первое упоминание о находке угля встречается в работе [11]. Позже другие исследователи (Н.И. Андрусов, А.А. Борисяк, М.А. Михельсон, А.С. Моисеев, В.А. Обручев и др.) отмечали в разных районах п-ва Крым наличие ископаемых углей в отложениях средней юры [3, 9]. Подробное описание гагатов и находки их на территории Крымского полуострова представлены в книге [20]. Но изучение их распространения, формы залегания, состава и условий образования часто было проведено фрагментарно, без использования современных аналитических методов. Наиболее изученным является Бешуйское месторождение гагатов в Бахчисарайском районе, где в течение длительного времени осуществлялась

добыча этих углей в качестве топлива для местных нужд [3].

В ходе полевых работ в сентябре 2021 г. были описаны два обнажения (24/21 и 25/21) копсельской свиты средней юры, расположенные в 1 км выше устья р. Копсель и берега Черного моря. В сводном разрезе вскрывается терригенный комплекс, представленный чередованием слоев разнозернистых песчаников и алевролитов с линзовидными пропластками углей.

Обнажение 24/21 расположено в правом борту балки приблизительно в 1,0 км от устья ( $44^{\circ}50'35.7''$  N,  $35^{\circ}0'45.5''$  E). Обнажение 25/21 находится выше по течению в левом борту ( $44^{\circ}50'38.5''$  N,  $35^{\circ}0'44.2''$  E) (рис. 1).

Строение разрезов детально изучено в естественных обнажениях (рис. 2); описаны породы, отобраны образцы для лабораторных исследований. Далее породы были подробно изучены комплексом литолого-минералогических, углепетрографических и палеоботанических методов. Структура, текстура и минеральный состав исследованы в шлифах в микроскопе; минералогический анализ проведен с использованием рентгеновского дифрактометра D8 Advace (валовый состав



**Рис. 2.** Литологическая колонка разреза копсельской свиты средней юры в долине Копсель.

1 — алевролиты; 2 — песчаники мелкозернистые; 3 — песчаники: а — среднезернистые, б — разнотернистые с галькой; 4 — песчаники перемятые с «зеркалами скольжения»; 5 — осыпь; 6 — гагаты: а — линзовидные, обломочные, б — массивные пластовые; 7 — включения: а — раковинный детрит, б — фрагменты растительной ткани; 8 — слоистость: а — горизонтальная, б — косая, в — волнистая; 9 — конкреции карбонатов

**Fig. 2.** Lithological column of the section of the Kopsel Formation of the Middle Jurassic in the Kopsel Valley.

1 — siltstones; 2 — fine-grained sandstones; 3 — sandstones: a — medium-grained, b — heterogeneous with pebbles; 4 — crumpled sandstones with “sliding mirrors”; 5 — scree; 6 — jets: a — lenticular and clastic, b — massive coal seam; 7 — inclusions: a — shell detritus, b — fragments of plant tissue; 8 — layering: a — horizontal, b — oblique, c — wavy; 9 — carbonate nodules .

в порошковой дифрактограмме и состав глин во фракции  $<0,001$  мм) и сканирующего микроскопа Vega3 Tescan (ГИН).

Гагаты изучены макроскопически (формы и условия залегания в разрезе) и микроскопически (углепетрографическими методами): в двухсторонне-полированных шлифах, изготовленных по методике [21], в поляризационном микроскопе, а также в сканирующем микроскопе Vega3 Tescan. Выполнен микроанализ химических элементов на приставке к микроскопу UTM Max (ГИН).

Проведены палеоботанические исследования углефицированных растительных остатков. Исследование в электронном сканирующем микроскопе фрагментов ископаемой древесины позволило изучить ее анатомическое строение.

#### Литологическая характеристика и фации

**Полевые наблюдения.** В ходе полевых работ в сентябре 2021 г. были описаны два обнажения копсельской свиты средней юры, относимой к батскому-келловейскому ярусам [10]. Это обнажения 24/21 и 25/21, стратиграфически надстраивающие одно другим. В целом в разрезе наблюдается терригенный комплекс, представленный чередованием слоев разнозернистых песчаников, алевролитов (последние — с многочисленными конкреционными образованиями) и оползневых отложений с линзовидными пропластками и линзами углей. Преимущественно это гагаты в виде отдельных пластов (20—30 см мощностью), а также, возможно, линз, так как по простирацию самый мощный прослой гагата (обнажение 25/21) прослеживается частично на протяжении 2—3 м и далее обнажение задерновано.

**Обнажение 24/21.** Видимая часть разреза представлена переслаиванием мелко- и среднезернистых песчаников, с беспорядочной разнонаправленной слоистостью (текстуры наподобие конуса выноса), часто ожелезненных, с горизонтами конкреций и линзовидными прослоями гагатов, часто изогнутой формы. Общая мощность видимой части разреза составляет около 5,5 м, угол падения слоев  $45^\circ$ .

Снизу вверх в разрезе обнажаются следующие слои.

1. Песчаник мелко- и среднезернистый, буровато-серого цвета, выветрелый, с неясной косоволнистой слоистостью, с трещинами, заполненными кальцитом. Видимая мощность 1,2 м.

2. Песчаник мелкозернистый, буровато-серого цвета, с ожелезнением и карбонатизацией,

с прослоями линз (0,15 см толщиной) гагатов и витринитовых углей. Мощность 0,25 м.

3. Песчаник разнозернистый, буровато-серой окраски, косослоистый, с включениями мелкой гальки, линз углей, фрагментами обугленной растительной ткани, раковинным детритом. Мощность 1,5 м.

4. Песчаник мелкозернистый, серого цвета, горизонтально слоистый, с обугленными растительными остатками и раковинным детритом. Мощность 0,9 м.

5. Песчаник мелко- и среднезернистый, серого цвета, в нижней части буровато-серый, горизонтально-слоистый, с раковинным детритом. Мощность 0,4 м.

6. Песчаники разнозернистые, бурые, ожелезненные, с беспорядочной разнонаправленной слоистостью, будинированные, с оползневыми текстурами типа «зеркала скольжения», с крупными линзами углей. Мощность 1,2 м.

В средней части обнажения выделяется слой гагата 15,0 см мощности, линзовидный, быстро выклинивающийся, без видимой слоистости. Угльное тело разбито многочисленными трещинами, вертикальными и наклонными, трещины заполнены кальцитом. Из этих прослоев отобраны образцы для палеоботанических исследований (рис. 3, ф. 1—3).

**Обнажение 25/21.** Большая часть разреза (около 5,0 м мощности) представлена алевролитами, в верхней части — переслаиванием мелкозернистых песчаников и алевролитов с линзами и прослоями гагатов.

Как уже было указано выше, обнажение 25/21 надстраивает верхнюю видимую часть обнажения 24/21:

7. Алевролит темно-серого цвета, плотный, горизонтально-слоистый, с закономерно расположенными горизонтами карбонатных конкреций. Мощность около 5,0 м (рис. 3, ф. 4).

8. Песчаник мелкозернистый, серого цвета, горизонтально-слоистый, с обилием углистых частиц, раковинным детритом, обрывками растительных тканей. Мощность 0,4 м.

9. Слой гагатов, массивных, черного цвета, с многочисленными трещинами, заполненными кальцитом. Мощность 0,2 м.

10. Переслаивание алевролитов и гагатов, представленных изогнутыми и линзовидными пропластками от 0,5 до 2,5 см толщиной. Мощность 0,3 м.

11. Песчаник мелкозернистый, серого цвета. Видимая мощность около 0,2 м, выше перекрыт осыпью.

В верхней части обнажения выделяется собственно прослой гагата (слой 9) черного цвета, массивного, но разбитого многочисленными трещинами: вертикальными более крупными и мелкими разнонаправленными. Крупные вертикальные трещины залечены кальцитом и сидеритом. Прослой линзовидный, мощность 20,0 см. Слой гагатов прослеживается по простиранию на 1,5 м и выклинивается. Возможно, расщепляется на более тонкие пропластки (рис. 3, ф. 5).

Уголь (гагат) макроскопически черного цвета, с раковистым изломом и неровным ступенчатым изломом, на свежем сколе — блеск смоляной, массивный, без видимой слоистости, крепкий, утяжеленный за счет значительной минерализации кальцитом. Органогенное вещество разбито трещинами во взаимно перпендикулярных направлениях, от крупных 2×3 см до мелких 0,5×0,5 см. Трещины заполнены кальцитом.

Видимые трещины размером до 0,2–0,5 см, также заполнены карбонатным материалом, преимущественно — кальцитом. Есть более тонкие трещины, тоже заполненные кальцитом. И есть микротрещины, пронизывающие все органическое вещество, видимые только в сканирующем микроскопе при больших увеличениях (нанотрещины), они не проявляются в оптическом микроскопе. Иногда в трещинах отмечаются белые примазки гипса (немного).

На поверхности кровли прослоя наблюдаются следы ожелезнения в виде бурого налета, иногда это видно и на сколе — на поверхности отдельности. Подошва пласта представлена в основном глинистым материалом, цементирующим угольное вещество.

Надугольный слой представлен несколькими прослоями гагата изменяющейся мощности, чередующихся с прослоями алевролитов. Эти изогнутые и линзовидные пропластки гагата небольшой мощности являются спутниками основного пласта. Общая мощность слоя 30,0 см (рис. 3, ф. 6).

**Литологическое описание, состав и фации осадков.** Строение изученного разреза копсельской свиты показано на рисунке 2. Суммарная мощность видимой части разреза составляет немногим более 11–12 м.

В нижней части обнажения 24/21 (слой 1) установлены песчаники среднезернистые, темно-серые, с буроватым оттенком за счет слабого ожелезнения, с неясно выраженной косоволнистой слоистостью, вертикальной трещиноватостью (трещины шириной до 1,0 см и более, в отдельных случаях «залечены» кальцитом или волокнистыми

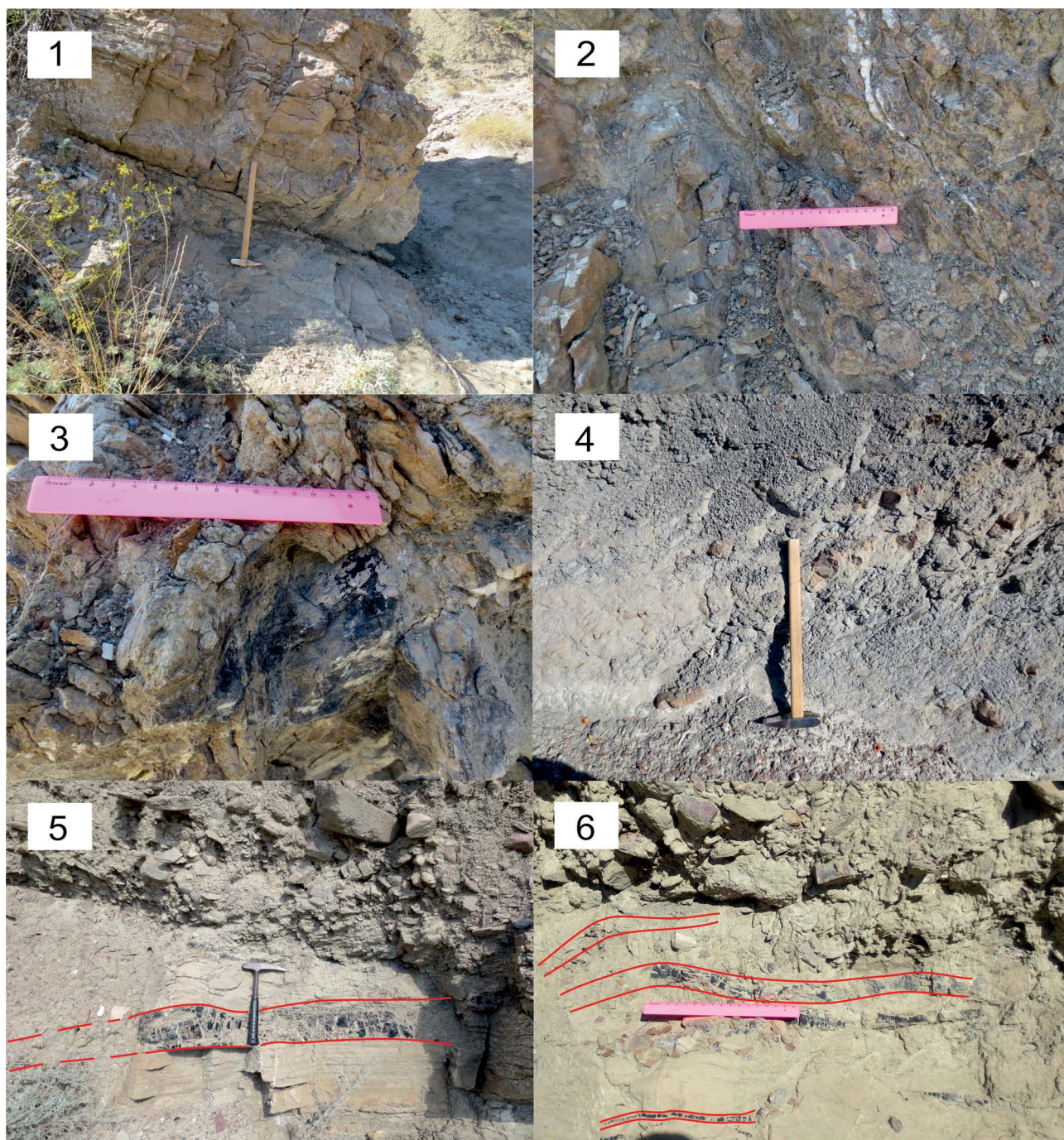
агрегатами гипса), со следами выветривания. Песчаник относительно однородный по составу, зерна неокатанные, остроугольные, реже слабоокатанные, в составе преобладает кварц, цемент карбонатно-глинистый, встречаются редкие зерна плагиоклаза кислого состава (альбит — олигоклаз) с признаками вторичных изменений (от почти чистых зерен с отчетливыми двойниками до интенсивно выветрелых, серицитизированных, с едва различимой спайностью). Много микроконкреций железо-окисдных минералов, повсеместно встречаются игольчатые агрегаты гипса, а также частицы углистого вещества до 3,0–5,0 мм длиной.

Непосредственно над слоем 1 с нерезким контактом залегают серые, преобладающе мелкозернистые (с незначительной примесью среднезернистых) трещиноватые песчаники слоя 2 с обилием углистого вещества (размер частиц до 12 мм) и раковинного детрита (плохой сохранности, неопределимые фрагменты), в нижней части слоя линзовидные включения гагатов (матовых) и витринитовых углей. Песчаники преобладающе кварцевого состава с обилием железоокисдных включений, с глинисто-карбонатным пелитоморфным цементом, с новообразованиями прозрачного кальцита (по микротрещинам) и прожилками волокнистого гипса. Мощность слоя 0,25 м.

Выше в слое 3 залегают разномасштабные несортированные серые песчаники с галькой, рыхлые, с неясной косой слоистостью, трещиноватые, слабоожелезненные по трещинам, преобладающе кварцевого состава (неокатанные зерна), с углистыми частицами (иногда скоплениями в виде микролинз до 2 см в длину), обрывками растительной ткани плохой сохранности, раковинным детритом, микроконкрециями железо-окисдных минералов, вторичным зернистым кальцитом и волокнисто-лучистыми агрегатами гипса. По мнению авторов, этот слой может быть интерпретирован как возможный конус выноса древнего речного потока в прибрежно-мелководную зону морского бассейна. Об этом свидетельствуют грубообломочный материал, отсутствие сортировки, беспорядочная разнонаправленная косая слоистость, обилие растительных остатков, принесенных с суши (фрагменты листьев и стеблей).

Вверх по разрезу песчаники слоя 3 постепенно переходят в серые мелко-среднезернистые песчаники слоя 4, значительно более плотные в сравнении с предыдущим слоем, горизонтально слоистые (подчеркивается ориентированным расположением фрагментарных растительных остатков), кварцевого состава (зерна кварца неокатанные,





**Рис. 3.** Фотографии обнажений копсельской свиты средней юры в долине р. Копсель.

1 — ритмично построенные слоистые среднезернистые песчаники (обн. 24/21, слой 1); 2 — песчаники мелкозернистые с конкрециями и линзовидными прослоями углей (обн. 24/21, слой 2); 3 — отложения конуса выноса временных потоков (обн. 24/21, слой 3); 4 — прослой алевролита с редкими закономерно расположенными карбонатными конкрециями (обн. 25/21, слой 7); 5 — гагат массивный, основной пласт (обн. 25/21, слой 9); 6 — песчаники с линзовидными прослоями гагата (спутники основного пласта) (обн. 25/21, слой 10)

**Fig. 3.** Photographs of outcrops of the Kopsel Formation of the Middle Jurassic in the valley of the Kopsel valley.

1 — rhythmically layered medium-grained sandstones (24/21, layer 1); 2 — fine-grained sandstones with nodules and lenticular interlayers of coals (24/21, layer 2); 3 — deposits of the cone of the removal flows (24/21, layer 3); 4 — siltstone interlayer with rare naturally arranged carbonate nodules (25/21, layer 7); 5 — massive jet, main stratum (25/21, layer 9); 6 — sandstones with lenticular interlayers of jet (satellites of the main layer) (25/21, layer 10)



остроугольные), с кальцитовым пелитоморфным цементом, с обилием раковинного детрита, микроконкреций Fe-оксидов и обугленного растительного детрита.

В расположенном выше слое 5 песчаник изменяется от серого мелкозернистого вверху до среднезернистого буроватого, насыщенного раковинным детритом и карбонатными конкрециями в нижней части; песчаник преобладающе кварцевого состава, зерна разной степени окатанности (изометричные, остроугольные и слабоокатанные); встречено обилие микроконкреций железистых минералов (оксиды железа), незначительная примесь углистых частиц.

Выше с резким неровным контактом залегают песчаники слоя 6, перемятые, беспорядочно слоистые, с текстурами наподобие «зеркала скольжения», в них обнаружены крупные линзы углей. Мощность этой зоны перемятости песчаников (по всей вероятности — это оползневая структура) до 1,2 м, верхняя часть скрыта осыпью.

Выше по течению р. Копсель, на расстоянии около 50 м от предыдущего разреза и стратиграфически выше, обнажается разрез в точке наблюдения 25/21 (левый берег).

Нижняя часть этого разреза (более 5,0 м) представлена в слое 7 тонкими глинистыми алевроитами с закономерно повторяющимися горизонтами карбонатных уплощенных конкреций, с незначительной примесью мелкого песка, состоящего преимущественно из кварца и сильно выветрелого плагиоклаза (песчаные зерна меньше 0,5 мм, неокатанные, остроугольные), с обилием углистых частиц (в виде стеблевидных фрагментов и листоватых пластин, вероятно, древесного и растительного происхождения). Слоистость едва прослеживается на отдельных участках по ориентировке вытянутых углистых частиц.

Выше по разрезу в слое 8 песчаник буровато-серый, мелкозернистый, горизонтально слоистый, массивный, плотный, преобладающе кварцевого состава (зерна кварца преимущественно неокатанные, остроугольные, но встречаются и слабооглаженные), с обломками створок раковин и фрагментами известковых организмов типа мшанок (фауна не определима). Отмечено обилие углистых частиц размером  $> 5,0$  мм, интенсивно трещиноватых, с кальцитовыми прожилками, заполняющими трещины, также много обрывков растительных тканей по напластованию.

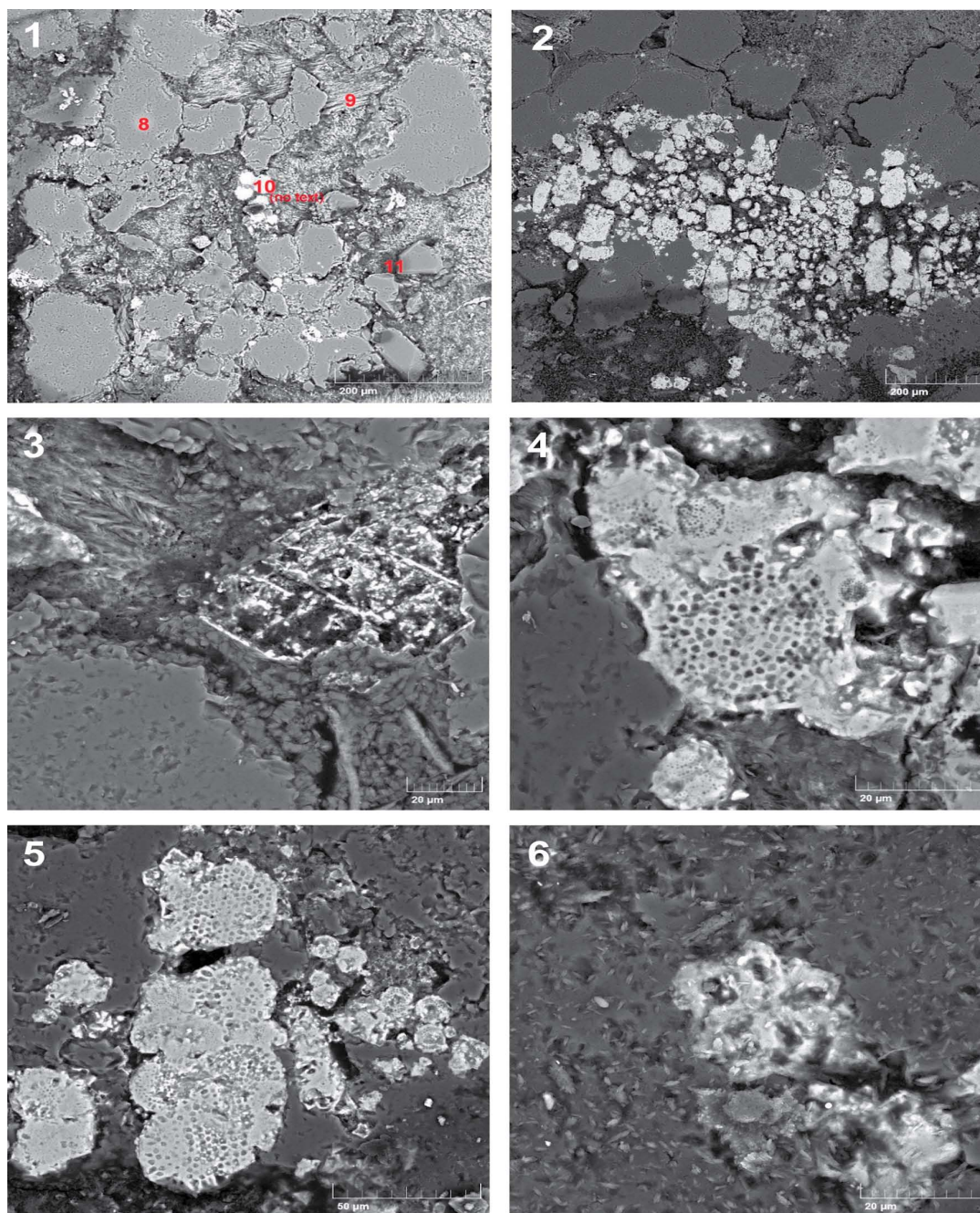
Этот слой прослеживается выше по течению р. Копсель на расстояние около 15,0 м, т.е. видимая мощность его может быть значительно больше.

Далее вверх по разрезу — слой 9, представленный собственно гагатом черного цвета, массивным, с многочисленными трещинами (более крупными вертикальными и мелкими разнонаправленными), залеченными кальцитом. Мощность слоя (от 0,2 м) невыдержанная по простиранию, на протяжении 1,5 м слой выклинивается. Возможно, он расщепляется на более тонкие пропластки.

Надугольный слой 10 представляет собой несколько прослоев гагата изменяющейся мощности, чередующихся с прослоями алевролитов. Эти изогнутые и линзовидные пропластки гагата небольшой мощности являются спутниками основного пласта. Насчитывается порядка 3—4 прослоев, их мощность варьирует от 0,5 до 2,5 см, максимум 5 см (преобладают 1,0—1,5 см).

Завершается эта часть разреза песчаником (слой 11), прослеживаемым только на небольшой мощности — около 0,2 м и закрытым осыпью более 1,5—2,0 м.

**Состав пород.** Как уже отмечено при описании разреза, основными слагающими породами являются песчаники и алевролиты. В составе зернистых пород преобладает кварц, как терригенный, переотложенный из песчаников (окатанные зерна), так и вулканогенного генезиса (угловатые неокатанные зерна), привнесенный в составе вулканических андезито-дацитовых пород. Прослой туфов и лав андезитового состава в районе Карадага отмечались ранее в работах [4, 10]. Редко встречен плагиоклаз (кислого-среднего состава), в большом количестве присутствуют микроконкреции железооксидных минералов, среди темноцветных обнаружены биотит, роговая обманка, пироксен, повсеместно распространены вторичный кальцит и гипс. По данным расшифровки порошковых дифрактограмм природных неориентированных образцов, главными породообразующими минералами являются кварц, гипс, кальцит, а в глинистой, фракции  $< 0,001$  мм (в ориентированных препаратах, нанесенных на стекло) преобладают слюда и смешаннослойный минерал слюда-сметит, в значительно меньшем количестве присутствуют хлорит и каолинит. Просмотр препаратов в электронном сканирующем микроскопе позволил изучить основные слагающие породы минералы (рис. 4, ф. 1) и отметить следующую закономерность: железооксидные минералы (по количественному соотношению Fe и O — это  $Fe_2O_3$ ) замещают повсеместно сульфиды во фрамбоидах пирита, имеющих биогенное происхождение, а также темноцветные минералы, вероятно, оливины либо пироксены, судя по форме



**Рис. 4.** Структуры и основные породообразующие минералы песчаников копсельской свиты в сканирующем микроскопе.

1 — основные породообразующие минералы: точки 8 — кварц; 9, 11 — гипс; 10 — оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — вероятно, гематит); 2, 4, 5 — фрамбоиды пирита (структуры биогенного происхождения), замещенные оксидом железа; 3 — зерно силикатного минерала (возможно, оливина или пироксена), полностью замещенного оксидом железа (в центре), и игольчатые «колосовидные» агрегаты гипса (слева вверху); 6 — фрагмент известкового микроорганизма (вероятно, поперечный срез стебля Crinoidea), замещенного оксидом железа

**Fig. 4.** Structures and main rock-forming minerals of sandstones of the Kopsel Formation in a scanning microscope. 1 — main rock-forming minerals: points 8 — quartz; 9, 11 — gypsum; 10 — iron oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — probably hematite); 2, 4, 5 — pyrite framboids (structures of biogenic origin), replaced by iron oxide; 3 — a grain of a silicate mineral (possibly olivine or pyroxene), completely replaced by iron oxide (in the center) and needle-like “spike-shaped” gypsum aggregates (top left); 6 — a fragment of a calcareous microorganism (probably a cross-section of the stem of Crinoidea), replaced with iron oxide

первичного минерального каркаса зерна (рис. 4, ф. 2—5). Встречены также ископаемые остатки микроорганизмов со структурой, замещенной оксидами железа (рис. 4, ф. 6). Известно, что пирит ( $\text{FeS}_2$ ) образуется и существует в аноксидных условиях заболачивающихся водоемов [18], в которых и происходило угленакопление. Окисление железа и серы и вынос серы с образованием гипса происходили в процессе литогенеза (возможно, на стадии раннего катагенеза) осадков [8, 19]. Гипс известен в парагенезе минералов раннего и среднего катагенеза. Сера, высвобождающаяся в ходе процесса замещения сульфидов оксидом железа, связывается в сульфат-ион, используемый в образовании гипса. Нередко при этом указывается на возможность образования гипса, ангидрита и других сульфатов на стадии раннего катагенеза [19].

**Фации осадков** определяют изменение структурно-текстурных особенностей пород и их состава в изучаемом разрезе. В нижней части изучаемого разреза в обнажении 24/21 можно предполагать наличие следующих фаций осадков: 1) морские прибрежно-мелководные мелкозернистые песчаники с горизонтальной и слабоволнистой либо слабокосой слоистостью, с фауной разной степени сохранности (слои 1, 4, 5); 2) мелкозернистые песчаники с линзами гагата и обилием фрагментов растительных тканей, вероятно, соответствуют застойным условиям мелководной лагуны (слой 2); 3) разнотекстурные рыхлые песчаники с беспорядочной косой слоистостью, грубой галькой и обилием растительных остатков, по всей видимости, авандельтовые, принадлежат конусу выноса водного потока (слой 3); наконец, 4) зона перемятых беспорядочно слоистых песчаников с текстурами, похожими на «зеркала скольжения», определяет оползневую склоновую фацию (слой 6). Не исключена возможность постседиментационной тектонической переработки пород слоя 3 и слоя 6.

Верхняя часть изучаемого разреза в обнажении 25/21 представлена почти на всем протяжении (>5 м мощности), фацией морских мелководных осадков, состоящих преимущественно из горизонтально слоистых алевроитов (слой 7) и мелкозернистых песчаников (слой 8) с включениями углистых частиц и битой ракушки (вероятно, еще более мелководные осадки, возможно, прибрежно-пляжевого типа). Верхняя часть разреза представлена углесодержащей фацией изолированной лагуны, в которой происходило накопление сносимой с берега растительности, с последующим

углеобразованием в условиях малоподвижного водного режима застойного бассейна (собственно гагатовый слой 9 и алевроит с линзами гагатов слоя 10).

М.В. Муратов в «Кратком очерке геологического строения Крымского полуострова» [10] описывает отложения келловейского яруса как осадки трансгрессирующего моря. На восточном побережье в районе Судакского антиклинория осадки келловейского яруса согласно без перерыва залегают на батских отложениях, а кверху также согласно переходят в оксфордский ярус, что свидетельствует о непрерывном существовании морского бассейна в этом регионе.

В более поздних публикациях [1, 2] отложения келловейского яруса средней юры в районе Судак (авторы публикации выделяют территорию в качестве Судакской сдвиговой пластины) также интерпретируются как морские, в которых выделяются прибрежная (песчано-алевритовые осадки более крупнозернистые с однонаправленной косой и горизонтальной слоистостью, накапливавшиеся в пределах открытого мелководного шельфа, в приливно-отливном режиме) и пелагическая (более тонкие, сортированные, с мелкой косоволнистой, горизонтальной и косой слоистостью, формировавшиеся в некотором удалении от береговой линии, в более спокойных условиях) зоны.

В изученных разрезах наблюдаем преобладание алевроитового и песчаного материала, местами разнонаправленную слоистость, встречаем в большом количестве фрагменты тканей ископаемых растений, что может свидетельствовать о достаточно мелководной прибрежной фации шельфовых осадков. А обнаруженные линзы и прослои углей — не что иное, как переработанные торфяники, образовавшиеся в мелководной изолированной или полуизолированной лагуне, что также свидетельствует о прибрежно-морском типе отложений. Помимо этого, как уже упоминалось ранее, в изученных разрезах на фоне морских мелководных отложений фрагментарно выделены авандельтовая (конуса выноса) и оползневая склоновая фации.

### Петрография углей

Из угольных прослоев были отобраны образцы для петрографических исследований в оптическом и сканирующем микроскопах.

Углетомографические исследования позволили определить микрокомпонентный состав юрских углей и отнести их к гумусовой группе. Палеотомографические исследования подтвердили отнесение



исследованных углей к разновидности гагатов, так как в основном они сложены остатками растений семейства Араукариевых или близких к ним таксонов.

При исследовании шлифов в проходящем свете (увел.  $\times 100$ — $200$ ) видно, что уголь состоит из крупных фрагментов структурного витринита и гелефицированной основной массы. Структурный витринит красно-коричневого цвета, с сохранившимися проводящими каналами растительной ткани, более темными, чем основная масса. Гелефицированное вещество красно-коричневого цвета, полуразложенное, иногда в нем наблюдаются сохранившиеся годовые кольца древесины.

Образцы для просмотра и изучения в сканирующем микроскопе Vega3 Tescan были отобраны из слоя 9 обнажения 25/21, микроанализы химических элементов выполнены на приставке к микроскопу UTM Max, для определения содержания углерода проводилось напыление золотом (этот элемент присутствует на диаграммах химических анализов). На фотографиях (рис. 5) представлены взаимоотношения органического вещества углей и минерального вещества терригенной примеси и новообразованных минералов вторичных изменений (при диагенезе и катагенезе).

В сканирующем микроскопе при увеличениях от  $\times 200$  до  $\times 2000$  отчетливо проявляется блоковая структура гагата в прослое 9 обнажения 25/21, обр. 25/21-3. В образце наблюдается угольное углеродистое вещество (темное поле) и крупные трещины (светлое поле), заполненные кальцитом (рис. 5, ф. 1). На снимке проявляется мелко блоковое строение гагата в образце 25/21-3. Наблюдается характерное для однородного витринитового вещества строение с внутренними трещинами усыхания (рис. 5, ф. 2). Точки замеров химических анализов на темном поле показывают преобладающее содержание углерода, на светлом поле — кальция.

В сканирующем микроскопе мы наблюдаем однородное вещество гагата с микротрещинами, заполненными кальцитом (рис. 5, ф. 3). Карбонатное вещество практически пронизывает древесную ткань. При большом увеличении проявляется примесь в виде редких мелких зерен кварца и пирита (рис. 5, ф. 4).

Минеральное вещество терригенной примеси представлено не окатанными зернами кварца и мелкими зернами пирита. Вторичные изменения выражаются в пропитке органической массы гагатов карбонатными растворами, возможно, при повышенной температуре, так как вещество

становится оптически непрозрачным. Мы также наблюдаем большое количество трещин, по которым развит кальцит, это макротрещины, мелкие трещины и нанотрещины (различаемые в сканирующем микроскопе).

В результате вторичных постседиментационных изменений в пропластках гагатов в местах, где органическое вещество пропитано карбонатными растворами, угольное вещество становится оптически непрозрачным. Отмечаются многочисленные трещины усыхания, залеченные карбонатами и гипсом, иногда до 0,5 см мощностью.

### **Ископаемая древесина и общие данные о палеоэкологии среднеюрской растительности разреза Копсель**

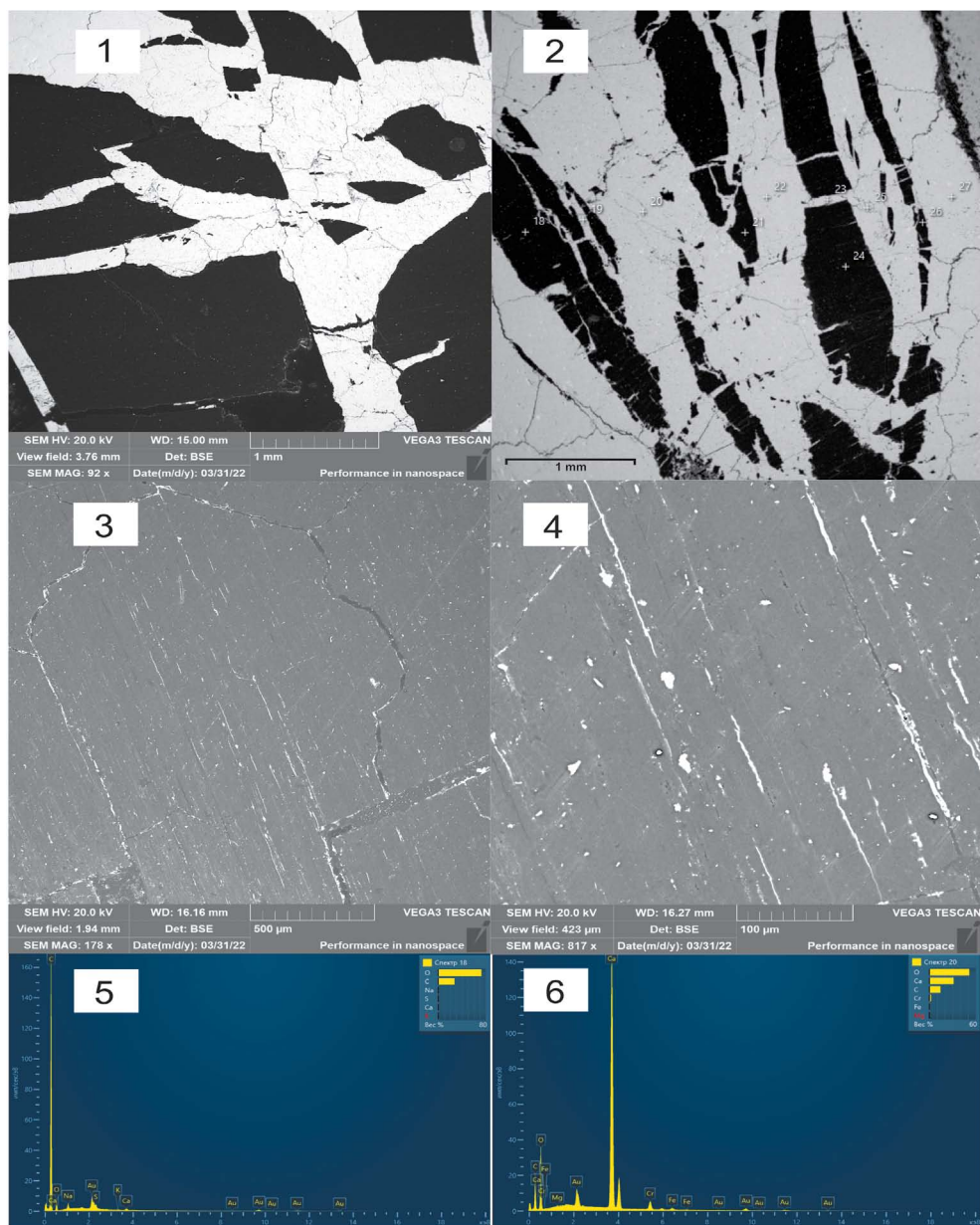
#### **1. Характеристика среднеюрской ископаемой древесины разреза Копсель**

В ходе исследований разреза Копсель был изучен фрагмент углефицированной древесины, извлеченный из песчаников копсельской свиты среднеюрского возраста. Фрагмент был разделен на два сегмента, каждый около 7 мм по наибольшему измерению, которые были изучены в электронном сканирующем микроскопе.

В результате проведенного изучения были получены данные об анатомическом строении этой древесины (рис. 6, 7), которые кратко резюмируются ниже.

Древесина пикноксильная, сложенная трахеидами с однородной поровостью. Наблюдаются поля перекреста с многочисленными порами круглых и овальных очертаний. Средний диаметр трахеид меняется в пределах от 20 до 30 мкм. Наблюдается слабо развитая паренхимная ткань. Поры на стенках трахеид окаймленные, обычно округлых или продольно-вытянутых овальных очертаний. Средний диаметр пор вместе с окаймлением составляет от 8 до 10 мкм. Диаметр апертуры поры обычно равен 2 мкм. Изредка наблюдаются поры с апертурами до 2,5 мкм по наибольшему измерению. Ширина каймы варьирует от 3,5 до 4,5 мкм с небольшими отклонениями от средних значений. Поры располагаются близко друг к другу. Расстояние между соседними порами в среднем равно 1—2 мкм. Краussyлы отсутствуют. Древесинные (сердцевинные) лучи, насколько об этом можно судить по изученным фрагментам, относительно редкие, состоящие из пяти или шести вертикальных слоев клеток. Клеточные стенки сердцевинных лучей тонкие.

Поры, расположенные на полях перекреста трахеид и сердцевинных лучей, образуют



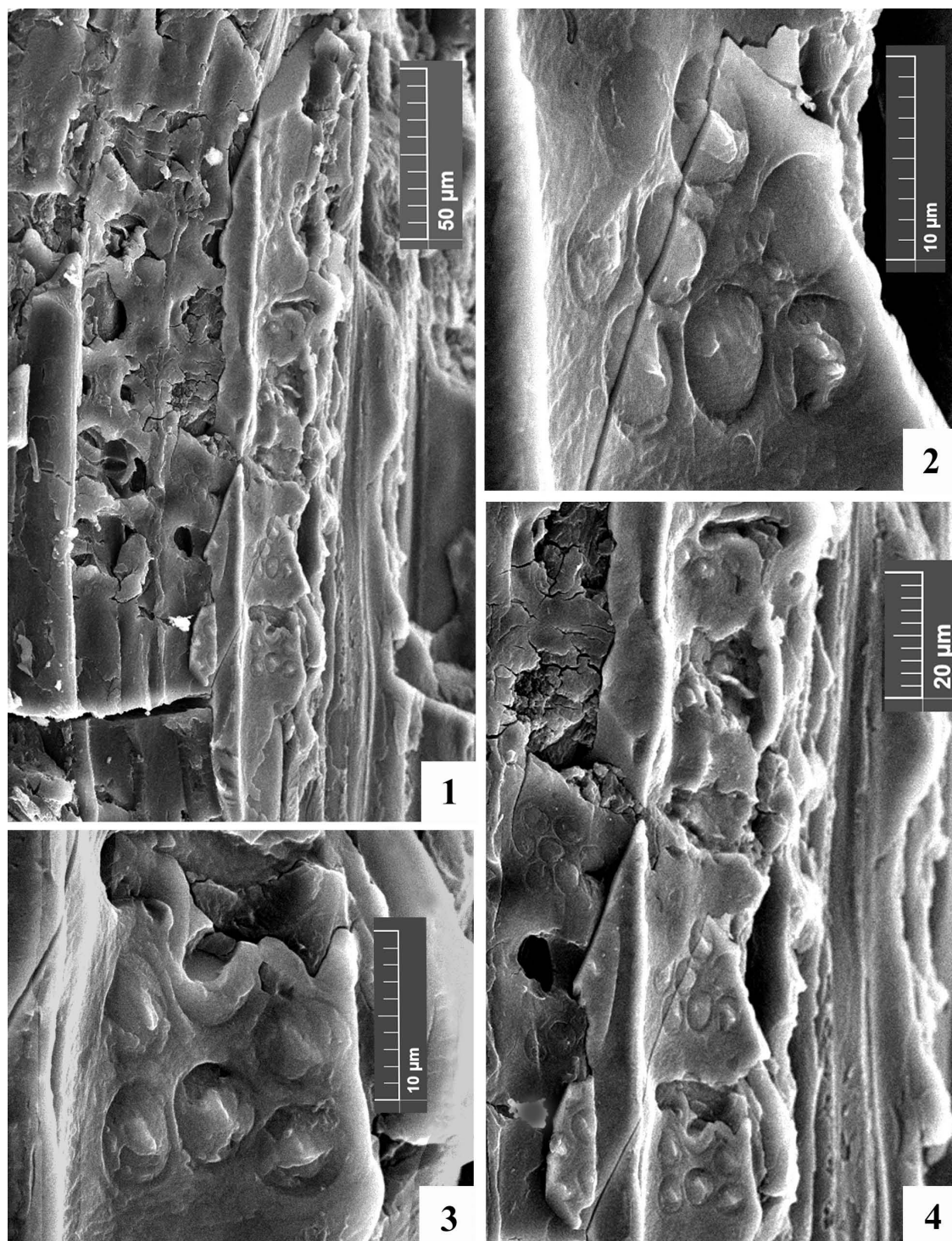
**Рис. 5.** Микрофотографии структуры гагатов (обн. 25/21, слой 9) в сканирующем микроскопе и результаты химического анализа.

1 — блоковая структура гагата: крупные трещины, заполненные кальцитом (светлое), и угольное вещество (темное); 2 — то же, мелкоблочное строение: характерное для однородного колломорфного витринитового вещества строение с внутренними трещинами усыхания (точка 18 на темном поле — углерод, точка 20 на светлом поле — кальцит); 3 — однородное вещество гагата с микротрещинами, заполненными кальцитом; 4 — то же, при большом увеличении: видна терригенная примесь в виде редких мелких зерен кварца и пирита; 5 — элементный состав в точке 18; 6 — элементный состав в точке 20, соответствующий кальциту

**Fig. 5.** Micrographs of the structure of gagates (25/21, layer 9) in a scanning microscope and the results of chemical analysis.

1 — block structure of jet: large cracks filled with calcite (light) and coal substance (dark); 2 — the same, small-block structure: a structure characteristic of a homogeneous collomorphous vitrinite substance with internal drying cracks (point 18 on a dark field — carbon, point 20 on a light field — calcite); 3 — homogeneous substance of jet with microcracks filled with calcite; 4 — the same, at high magnification: a terrigenous impurity is visible in the form of rare small grains of quartz and pyrite; 5 — elemental composition at point 18; 6 is the elemental composition at point 20 corresponding to calcite





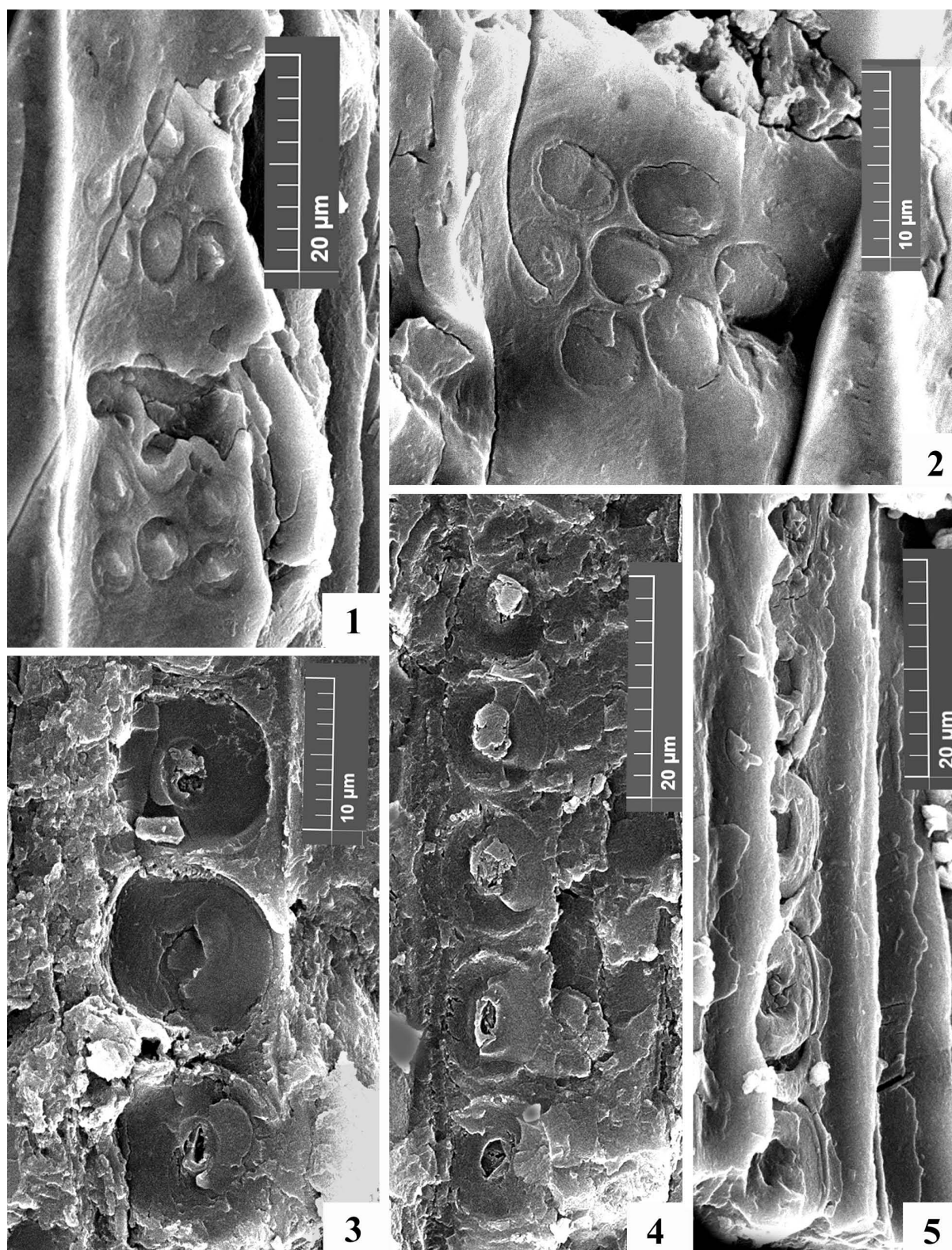
**Рис. 6.** *Araucarioxylon* sp. Строение пор на полях перекреста (обн. 24/2, слой 2).

1 — общий вид; 2 — поле перекреста с восемью порами; 3 — поле перекреста с семью в различной степени сохранившимися порами; 4 — положение полей перекреста, изображенных на фигурах 2 и 3, относительно друг друга. Длина масштабной линейки указана на фигурах

**Fig. 6.** *Araucarioxylon* sp. p. Structure of pores in the fields of the crossover (24/2, layer 2).

1 — general view; 2 — crossover field with eight pores; 3 — the field of the cross with seven preserved pores to varying degrees; 4 is the position of the fields of the cross, depicted in figures 2 and 3, relative to each other. The length of the scale bar is indicated on the shapes





**Рис. 7.** *Araucarioxylon* sp. (обн. 24/2, слой 2). 1 — два соседних поля перекреста; 2 — поле перекреста с семью порами; 3—5 — трахеиды с окаймленными порами. Длина масштабной линейки указана на фигурах  
**Fig. 7.** *Araucarioxylon* sp. (24/2, layer 2). 1 — two adjacent fields of the crossroads; 2 — crossover field with seven pores; 3—5 — tracheids with fringed pores. The length of the scale bar is indicated on the shapes



компактные группы из 7—8 пор. Поры на полях перекреста обычно овальных очертаний, вытянуты вдоль трахеид или иногда располагаются под небольшим наклоном. Реже встречаются поры округлых очертаний. Диаметр пор на полях перекреста варьирует от 3,5 до 5 мкм.

Наблюдается довольно большое сходство изученных древесин с древесинами рода *Araucarioxylon* Kraus 1870, emend. Maheshwari 1972. Несмотря на то что таксономический статус и валидность рода *Araucarioxylon* нередко оспариваются [22—24], этот род широко использовался и продолжает использоваться в палеоботанической литературе при характеристике мезозойских ископаемых древесин, а также для древесин этого же анатомического типа из верхнего палеозоя [7].

## 2. Таксономический состав среднеюрской флоры Южного берега Крыма

Исходя из опубликованных ранее данных [14—17], среднеюрская флора Горного Крыма, включая флористические комплексы, известные из средней юры Южного берега Крыма, обладала вполне типичным мезозойским обликом, характерным для Индо-Европейской (Евро-Синийской) палеофлористической провинции. В состав этой флоры входили хвощевидные *Neocalamites* sp., *Equisetites* sp.; папоротники *Gleichenia* sp., *Coniopteris* spp., *Phlebopteris phillipsii* (Zigno) Srebrodolskaya, *Ph. polypodioides* Brongniart, *Dictyophyllum rugozum* Lindley et Hutton, *Cladophlebis williamsonii* (Brongniart) Brongniart; кейтониевые *Sagenopteris phillipsii* (Brongniart) Presl., беннеттиты *Otozamites graphicus* (Leckenby) Harris, *O. cf. beania* (Lindley et Hutton) Brongniart, *Pterophyllum margaritae* Teslenko, *Ptilophyllum acutifolium* Morris, *Zamites femeonis* (Pomel) Ettingshausen, *Cycadolepis hypene* Harris, цикадовые *Nilssonia orientalis* Heer, и др.; гинкгофиты *Ginkgo digitata* (Brongniart) Heer, *Sphenobaiera* sp., *Pseudotorellia* sp. и др.; хвойные *Podozamites lanceolatus* (Lindley et Hutton) Schimper, *Araucarites cutchensis* Feistmantel, *Brachiphyllum mamillare* Brongniart, *Pagiophyllum setosum* (Phillips) Seward и др. [17].

## 3. Палеоэкологический облик среднеюрской растительности Южного берега Крыма

Исходя из общегеологических данных [12], среднеюрская растительность Крыма занимала преимущественно низменные участки морского побережья, возможно, сезонно подтопляемые, в полуизолированных лагунах, за счет изменения динамики и объема поступления

поверхностных вод, что создало благоприятные условия для формирования залежей торфа, позднее преобразовавшегося в каменный уголь. Наличие в составе флоры многочисленных термофильных элементов (глейхениевые и матониевые папоротники) со всей определенностью свидетельствует в пользу жаркого и влажного гумидного климата. Вместе с тем значительное количество остатков цикадофитов, разнообразных беннеттитов и хвойных, хорошо адаптированных к относительно сухим и хорошо дренируемым ландшафтам, указывает на то, что в непосредственной близости от мест формировавшихся танатоценозов располагались возвышенности, на которых произрастали палеофитоценозы с доминировавшими хвойными и цикадофитами. Возможно, именно остатки хвойных, включая араукариевые, и давали основную массу для образования торфяников.

## Заключение

На основе комплексных исследований нового уникального местонахождения гагатовых углей в копсельской свите средней юры (бат-келловейский ярус) в долине р. Копсель уточнен и дополнен палеоботанический состав растений-углеобразователей (с преобладанием хвойных типа араукариевых), реконструированы климатические и палеоландшафтные условия формирования этих углей на северной окраине Тетиса.

Литолого-минералогические особенности пород, преимущественно песчаников и алевролитов, с раковинным детритом, растительными остатками и линзами углей (гагатов) позволяют определить фациальные обстановки осадконакопления как прибрежно-морские и лагунные с фрагментами авандельтовых и пролювиальных оползневых отложений.

Установленные вторичные изменения вмещающих пород и собственно углей дают возможность судить о стадии раннего катагенеза, которому была подвержена толща на следующих этапах геологической истории, что могло быть связано с влиянием эндогенных процессов (гидротерм, углеводородных газов). В последнее время в Крымско-Кавказском регионе, в том числе в Горном Крыму, многие исследователи [6] обнаруживают влияние современных глубинных горячих растворов и углеводородных газов, изменяющих первоначальный состав осадков. Подобные потоки могли существовать и ранее, вне связи с синхронными извержениями вулканов, но имеющие глубинное происхождение.

### Выводы

В изученной части разреза юрских отложений выделяются следующие фации: 1) морские прибрежно-мелководные — мелкозернистые песчаники с горизонтальной и слабоволнистой либо слабокосой слоистостью, с фауной разной степени сохранности; 2) застойные условия мелководной лагуны — мелкозернистые песчаники с линзами гагата и обилием фрагментов растительных тканей; 3) авандельтовые (или конус выноса) — разнотернистые рыхлые песчаники с беспорядочной косой слоистостью, грубой галькой и обилием растительных остатков; 4) пролювиальные (оползневые склоновые и отложения временных потоков) — зона перемятых, несортированных, беспорядочно слоистых песчаников с текстурами, подобными «зеркалам скольжения».

Торфонакопление и последующее углеобразование происходило, вероятно, в мелководных лагунах. Тип торфонакопления паралический, парагенетически связан с изученным комплексом осадков. Ископаемые угли представлены структурным витринитом и относятся к гумусовой группе.

Среднеюрская растительность Крыма занимала преимущественно низменные участки морского побережья, возможно, сезонно подтопляемые,

что создало благоприятные условия для формирования залежей торфа, позднее преобразовавшегося в уголь. Наличие в составе флоры многочисленных термофильных элементов (глейхениевые и матониевые папоротники) со всей определенностью свидетельствует в пользу жаркого и влажного гумидного климата.

Постседиментационные преобразования пород соответствуют раннему катагенезу. Установлены по наличию вторичного кальцита (по трещинам породы и в виде конкреционных образований), обилию аутигенного гипса и повсеместного замещения фрамбоидов пирита железистыми минералами. Пирит образовывался в аноксидных условиях заболачивающихся водоемов параллельно с угленакплением. Затем на ранней стадии катагенеза происходило окисление железа и серы и вынос серы с образованием гипса.

Пропластки гагатов также изменены: в тех местах, где органическое вещество пропитано карбонатными растворами, угольное вещество подвергается тепловому воздействию, становится оптически непрозрачным. Вещество углей хрупкое и разбито на кубики. Отмечаются многочисленные трещины усыхания, залеченные карбонатами и гипсом.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вознесенский А.И. Седиментологические и геодинамические условия формирования позднемезозойских осадочных комплексов в бассейнах северной периферии Тетиса: автореф. дисс. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 2003. 55 с.
2. Вознесенский А.И., Книппер А.Л., Перфильев А.С., Успенская Е.А., Арешин А.В. История восточной части террейна Горного Крыма в средней-поздней юре // Геотектоника. 1998. № 1. С. 27—44.
3. Геология СССР. Т. VIII. Крым. Полезные ископаемые. 1974. М.: Недра, 1974. 205 с.
4. Геология СССР. Т. VIII. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.
5. Геология шельфа УССР. Стратиграфия (шельф и побережье Черного моря) / отв. ред. Ю.В. Тесленко. Киев: Наукова Думка, 1984. 184 с.
6. Лаврушин В.Ю., Айдаркожина А.С., Э.В. Соколов, Челноков Г.А., Петров О.Л. Грязевулканические флюиды Керченско-Таманской области: геохимические реконструкции и региональные тренды. Сообщение 1. Геохимические особенности и генезис грязевулканических вод // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 6. С. 485—512.
7. Лепехина В.Г. Палеосилологическая характеристика верхнепалеозойских угленосных отложений Кузнецкого бассейна // Биостратиграфический сборник. 1969. Вып. 4. С. 126—153.
8. Логвиненко Н.В., Орлова Л.В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. Л.: Недра, 1987. 237 с.
9. Моисеев А.С. О Бешуйском каменноугольном месторождении в Крыму. Материалы по общей и прикладной геологии. 1929. Вып. 100. С. 1—38.
10. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 208 с.
11. Паллас П.С. Наблюдения, сделанные во время путешествия по южным наместничествам Русского государства / Пер. с нем.; Отв. ред. Б.В. Левшин; Сост. Н.К. Ткачева. М.: Наука, 1999. 246 с.
12. Пчелинцев В.Ф. Киммериды Крыма. Л.: Наука, 1966. 127 с.
13. Стукалова И.Е., Садчикова Т.А., Чепалыга А.Л., Наугольных С.В., Латышева И. В. Угли (гагаты) в отложениях плейстоценовых Черноморских террас Юго-Восточного Крыма // Литология и полезные ископаемые. 2021. № 6. С. 553—564.
14. Тесленко Ю.В. Байосская флора Горного Крыма / В кн.: Палеонтологические и биостратиграфические исследования на территории Украины / отв. ред. Вялов О.С. Киев: Наук. думка, 1991. С. 93—96.
15. Тесленко Ю.В. О слое с хейролепидиевыми в

- ааленских угленосных отложениях Горного Крыма / В кн.: Проблемы стратиграфии фанерозоя Украины / Відп. ред. П.Ф. Гожик. Киев: Наук. думка, 2004. С. 84—85.
16. Тесленко Ю.В., Астахова Т.В., Горак С.В., Краева Е.Я., Пермяков В.В., Плотникова Л.Ф., Дегельнюк П.Д., Воронова М.А., Яновская Г.Г. О создании новых региональных стратиграфических схем юга Украины / В кн.: Новые данные по стратиграфии и фауне фанерозоя Украины. Сб. научных трудов. Киев: Наук. думка, 1982. С. 146—150.
  17. Тесленко Ю.В., Яновская Г.Г. Среднеюрская флора Горного Крыма. Киев: Наукова думка, 1990. 160 с.
  18. Тимофеев П.П., Боголюбова Л.И. Геохимия органического вещества голоценовых отложений в областях приморского торфонакопления (Колхида, Южная Прибалтика, Западная Куба, Флорида) // Труды ГИН, вып. 520. М.: Наука, 1999. 220 с.
  19. Фролов В.Т. Литология. Кн. 1: Учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1992. 336 с.
  20. Шнюков Е.Ф., Кутний В.А., Рыбак Е.Н. Камень ночи. Изд. 2-е, допол. Киев: ОМГОР НАНУ, 2009. 64 с.
  21. Штах Э., Маковски М.-Т., Тейхмюллер М., Тейлор Г., Чандра Д., Тейхмюллер Р. Петрология углей. М.: Мир, 1978. 554 с.
  22. Brea M. Una nueva especie del genero Araucarioxylon Kraus 1870, emend. Maheshwari 1972 del Triasico de Agua de la Zorra, Uspallata, Mendoza, Argentina // Ameghiniana (Rev. Asoc. Paleontol. Argent.). 1997. Vol. 34. No. 4. P. 485—496.
  23. Savidge R.A. Wood anatomy of Late Triassic trees in Petrified Forest National Park, Arizona, USA, in relation to Araucarioxylon arizonicum Knowlton, 1889 // Bulletin of Geosciences. 2007. Vol. 82 (1). P. 301—328.
  24. Stewart W.N., Rothwell G.W. Paleobotany and the evolution of plants. Second edition. Cambridge: Cambridge University press. 1993. 521 p.
- ## REFERENCES
1. Voznesensky A.I. Sedimentological and geodynamic conditions for the formation of Late Mesozoic sedimentary complexes in the basins of the northern periphery of the Tethys. Tesis Doctor Dissertation. Moscow, 2003. 55 p.
  2. Voznesensky A.I., Knipper A.L., Perfiliev A.S., Uspenskaya E.A., Areshin A.V. History of the eastern part of the terrain of the Mountainous Crimea in the Middle-Late Jurassic // Geotectonics. 1998. No. 1. P. 27—44.
  3. Geology of the Soviet Union. Crimea. Mineral resources. Moscow: Nedra Publ. 1974. Vol.VIII.205 p.
  4. Geology of the USSR. T. VIII. Crimea. Part 1. Geological description. Moscow: Nedra Publ., 1969. 576 p.
  5. Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Stratigraphy (shelf and coast of the Black Sea) / otv. Red. Yu.V. Teslenko. Kiev: Naukova Dumka, 1984. 184 p.
  6. Lavrushin V.Yu., Aidarkozhina A.S., Sokol E.V., Chelnokov G.A., Petrov O.L. Mud volcanic fluids of the Kerch-Taman region: geochemical reconstructions and regional trends. Message 1. Geochemical features and genesis of mud volcanic waters // Lithology and mineral resources. 2021. No. 6. P. 485—512.
  7. Lepekhina V.G. Paleooxylogic characteristics of the Upper Paleozoic coal-bearing deposits of the Kuznetsk basin // Biostratigraphic collection. 1969. Iss. 4. P. 126—153.
  8. Logvinenko N.V., Orlova L.V. Formation and change of sedimentary rocks on the continent and in the ocean. Leningrad: Nedra, 1987. 237 p.
  9. Moiseev A.S. About the Beshui coal deposit in the Crimea // Materials on the general Geology. 1929. Iss. 100. P. 1—38.
  10. Muratov M.V. A brief outline of the geological structure of the Crimean Peninsula. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1960. 208 p.
  11. Pallas P.S. Observations Made during Travels along Southern Vicariates of the Russian State in 1793—1794) / Levshin B.V. and Tkachev N.K., Eds. In Scientific Heritage. Moscow: Nauka, 1999, vol. 27.
  12. Pchelintsev V.F. Cimmerids of Crimea. Leningrad: Nauka, 1966. 127 p.
  13. Stukalova I.E., Sadchikova T.A., Chepalyga A.L., Naugolnykh S.V., Latysheva I.V. Coals (gagats) in the sediments of the Pleistocene Black Sea terraces of the South-Eastern Crimea // Lithology and mineral resources. 2021. No. 6. P. 553—564.
  14. Teslenko Yu.V. Bayossskaya flora of the Mountain Crimea / Paleontological and biostratigraphic studies on the territory of Ukraine / Ed. Vyalov O.S. Kiev: Nauk. Dumka Publ., 1991. P. 93—96.
  15. Teslenko Yu.V. On the layer with cheirolepidia in the Aalen coal deposits of the Mountain Crimea / In book.: Problems of stratigraphy of the Phanerozoic of Ukraine / Ed. P.F. Gozhik. Kyiv: Nauk. Dumka, 2004. P. 84—85.
  16. Teslenko Yu.V., Astakhova T.V., Gorak S.V., Kraeva E.Ya., Permyakov V.V., Plotnikova L.F., Degelnyuk P.D., Voronova M.A., Yanovskaya G.G. On the creation of new regional stratigraphic schemes of the south of Ukraine / In: New data on the stratigraphy and fauna of the Phanerozoic of Ukraine. Collection of scientific papers. Kiev: Sciences. Dumka, 1982. P. 146—150.
  17. Teslenko Yu.V., Yanovskaya G.G. Middle Jurassic Flora in the Crimean Mountains. Kiev: Naukova Dumka, 1990.
  18. Timofeev P.P., Bogolyubova, L.I. Sedimentogenesis and Early Lithogenesis of Holocene Deposits in the Maritime Peat Deposition Zones: Kolkhida, Southern Baltic Region, Western Cuba, and Florida. Moscow: Nauka, 1998.
  19. Frolov V.T. Lithology. Book. 1: Textbook. Moscow: MGU Publ., 1992. 336 p.
  20. Shnyukov E.F., Kutniy V.A., Rybak E.N. Stone of the night. Ed. 2nd, additional. Kiev: OМГОР НАСУ, 2009. 64 p.
  21. Stach E., Mackowsky M.-Th., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D., Teichmüller R. Coal Petrology. Moscow: Mir Publ., 1978.

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

22. Brea M. Una nueva especie del genero *Araucarioxylon* Kraus 1870, emend. Maheshwari 1972 del Triasico de Agua de la Zorra, Uspallata, Mendoza, Argentina // *Ameghiniana* (Rev. Asoc. Paleontol. Argent.). 1997. Vol. 34. No. 4. P. 485—496.
23. Savidge R.A. Wood anatomy of Late Triassic trees in Petrified Forest National Park, Arizona, USA, in relation to *Araucarioxylon arizonicum* Knowlton, 1889, Bull. Geosci., 2007. Vol. 82, no. 4. P. 301—328.
24. Stewart W.N., Rothwell G.W. Paleobotany and the evolution of plants. Second edition. Cambridge: Cambridge University press. 1993. 521 p.

### ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Стукалова И.Е. — разработала концепцию статьи, участвовала в полевых работах и сборе каменного материала для исследований, провела углепетрографические и литологические исследования, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Садчикова Т.А. — разработала концепцию статьи, провела литологические, минералогические исследования и фациальный анализ, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

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

Чепалыга А.Л. — разработал концепцию статьи, участвовал в полевых работах и сборе каменного материала для исследований, провел геоморфологические и палеогеографические исследования, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Irina E. Stukalova — developed the concept of the article, participated in field work and the collection of stone material for research, conducted coal petrographic and lithological studies, 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.

Tamara A. Sadchikova — developed the concept of the article, conducted lithological, mineralogical studies and facies 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.

Sergey V. Naugolnykh — developed the concept of the article, conducted paleobotanical and paleogeographic studies, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Andrey L. Chepalyga — developed the concept of the article, participated in field work and the collection of stone material for research, conducted geomorphological and paleogeographic studies, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Стукалова Ирина Евгеньевна\*** — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и геохимии осадочных бассейнов Геологического института РАН.

7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия

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

тел.: +7 (495) 953-66-18

SPIN-код: 7028-8177

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4639-2145>

**Irina E. Stukalova\*** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher, Laboratory of Sedimentology and Sedimentary Basin Geochemistry, Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.

7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia

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

tel.: +7 (495) 953-66-18

SPIN-code: 7028-8177

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4639-2145>



**Садчикова Тамара Александровна** — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории седиментологии и геохимии осадочных бассейнов Геологического института РАН.

7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия

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

тел.: +7 (495) 959-34-97

SPIN-код: 5030-8325

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9564-6128>

**Наугольных Сергей Владимирович** — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник лаборатории палеофлористики Геологического института РАН

7, Пыжевский пер., г. Москва 119017, Россия

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

тел.: +7 (495) 959-35-01

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6506-7319>

**Чепалыга Андрей Леонидович** — доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН  
29/4, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

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

тел.: +7 (477) 129-04-74

SPIN-код: 1681-7671

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8654-1614>

**Tamara A. Sadchikova** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Senior Researcher of the Laboratory of Sedimentology and Geochemistry of Sedimentary Basins of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences.

7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia

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

tel.: +7 (495) 959-34-97

SPIN-code: 5030-8325

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9564-6128>

**Sergey V. Naugolnykh** — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Chief Researcher of the Laboratory of Paleofloristics of the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences

7, Pyzhevsky lane, Moscow 119017, Russia

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

tel.: +7 (495) 959-35-01

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6506-7319>

**Andrey L. Chepalyga** — Dr. of Sci. (Geog.), Leading Researcher of the Laboratory of Hydrology of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences

29/4, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

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

tel.: +7 (477) 129-04-74

SPIN-code: 1681-7671

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8654-1614>

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



## ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОВЫХ РЕЗЕРВУАРОВ ОХОТСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕРПРЕТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЙСМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

А.К. ШАТЫРОВ

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Основным содержанием настоящей статьи является анализ результатов геолого-геофизического изучения Охотоморского региона в целях разработки новых методов и технологий обработки сейсмической информации в комплексе с другими данными для решения задач прогноза месторождений углеводородов.

**Цель.** Решение задач прогноза месторождений углеводородов и выделения нефтяных залежей новыми методами.

**Материалы и методы.** Использовалась интерпретационная обработка сейсмического материала, патент № 2559123 — 2015 г., патент № 142221 — 2014 г., технология детализации структурно-тектонического строения (ДСТС) ловушек углеводородов, технология селекции нефтегазосодержащих объектов.

**Результаты.** Для прогноза перспектив нефтегазоносности в районах отсутствия глубокого бурения Охотоморского региона даются рекомендации применения технологии детализации структурно-тектонического строения (ДСТС) ловушек УВ; многопризнакового прогноза залежей (МПЗ) углеводородов; декомпозиции дисперсии волнового поля (ДДВП); низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии (НРЭ) геодинамического шума; селекции нефтегазосодержащих объектов (ОИС).

**Ключевые слова:** ГРП, углеводороды, Охотское море, интерпретация

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

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

**Для цитирования:** Шатыров А.К. Прогноз нефтегазовых резервуаров Охотского моря на основе интерпретационной обработки сейсмического материала. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):66—80. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-66-80>

Статья поступила в редакцию 07.05.2023

Принята к публикации 07.09.2023

Опубликована 28.09.2023

# FORECAST OF OIL AND GAS RESERVOIRS OF THE SEA OF OKHOTSK BASED ON INTERPRETATION PROCESSING OF SEISMIC MATERIAL

ANAR K. SHATYROV

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

## ABSTRACT

**Background.** This article analyses the results of geological and geophysical studies conducted in the Okhotsk Sea area with the purpose of developing methods for processing seismic information in combination with other data to solve the problems of forecasting hydrocarbon deposits.

**Aim.** Solving problems of forecasting hydrocarbon deposits through the development of a structural and technological scheme for prospecting and evaluation of a geological and geophysical model to identify images of oil and gas deposits.

**Materials and methods.** The research methodology included selection of the location of points for simulating “vertical wells” in order to analyze the geodynamics of the medium; multiplex parametric transformations of wave fields taking into account diagnostic significant attributes and building a multiparametric cluster; selection of oil and gas deposits; formation of images of oil and gas deposits; local forecast of improved reservoir properties and saturation; refinement of the geometry of target surfaces with forecast data in actual points (vertical wells); forecast of the area of target surfaces; spatial mapping of the largest hydrocarbon deposits.

**Results.** Forecasting of oil and gas prospects in the Okhotsk Sea in areas where there is no deep drilling can be carried out using the following technologies: detailing the structural and tectonic structure of hydrocarbon traps; multi-feature prediction of hydrocarbon deposits; decomposition of the dispersion of the wave field; low-frequency resonance of seismic emission geodynamic noise; selection of oil and gas-containing objects.

**Keywords:** geological exploration work, hydrocarbons, the Sea of Okhotsk, interpretation

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

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

**For citation:** Shatyrov A.K. Forecast of oil and gas reservoirs of the sea of Okhotsk based on interpretation processing of seismic material. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):66—80. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-66-80>

*Manuscript received 07 May 2023*

*Accepted 07 September 2023*

*Published 28 September 2023*

При поисках месторождений углеводородов на шельфе Охотского моря особую роль играют сейсмические методы, которые доказали свою эффективность при изучении терригенных отложений крупных русловых и дельтовых седиментационных систем Северо-Сахалинского участка шельфа Охотского моря. В результате сейсморазведочных работ выявлены и подготовлены к бурению геологические структуры, открыты и разрабатываются месторождения углеводородов. Появление новых поисковых объектов требует разработки новых методов и технологических

приемов обработки геолого-геофизической информации.

В настоящее время прямой прогноз нефтегазовых резервуаров и фильтрационно-емкостных свойств коллекторов в районах слабо или не изученных бурением базируется на изучении упруго-деформационных характеристик разреза на основе различных процедур интерпретационной обработки полученного сейсмического материала [13].

Для решения прикладных задач в геолого-разведке создан ряд комплексных технологий,

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

позволяющих осуществлять переход на качественно более высокий уровень их интерпретационной дообработки, что обеспечивает снижение рисков при оценке ресурсной базы и последующих этапов геолого-разведочных работах (ГРП). Структурно-технологическая схема базовой поисково-оценочной геолого-геофизической модели для выявления образцов нефтегазовых залежей представлена на рисунке 1 и включает в свой состав:

- а) выбор местоположения актуальных точек для имитирования «вертикальных скважин» с целью анализа геодинамики среды;
- б) мультиплексные параметрические преобразования волновых полей с учетом диагностически значимых атрибутов и построение многопараметрического кластера;
- в) селекцию нефтегазовых залежей, формирование образов нефтяных и газовых залежей;
- г) локальный прогноз улучшенных коллекторских свойств и углеводородного (УВ) насыщения;

д) уточнение геометрии целевых поверхностей с данными прогноза в актуальных точках (вертикальных скважинах);

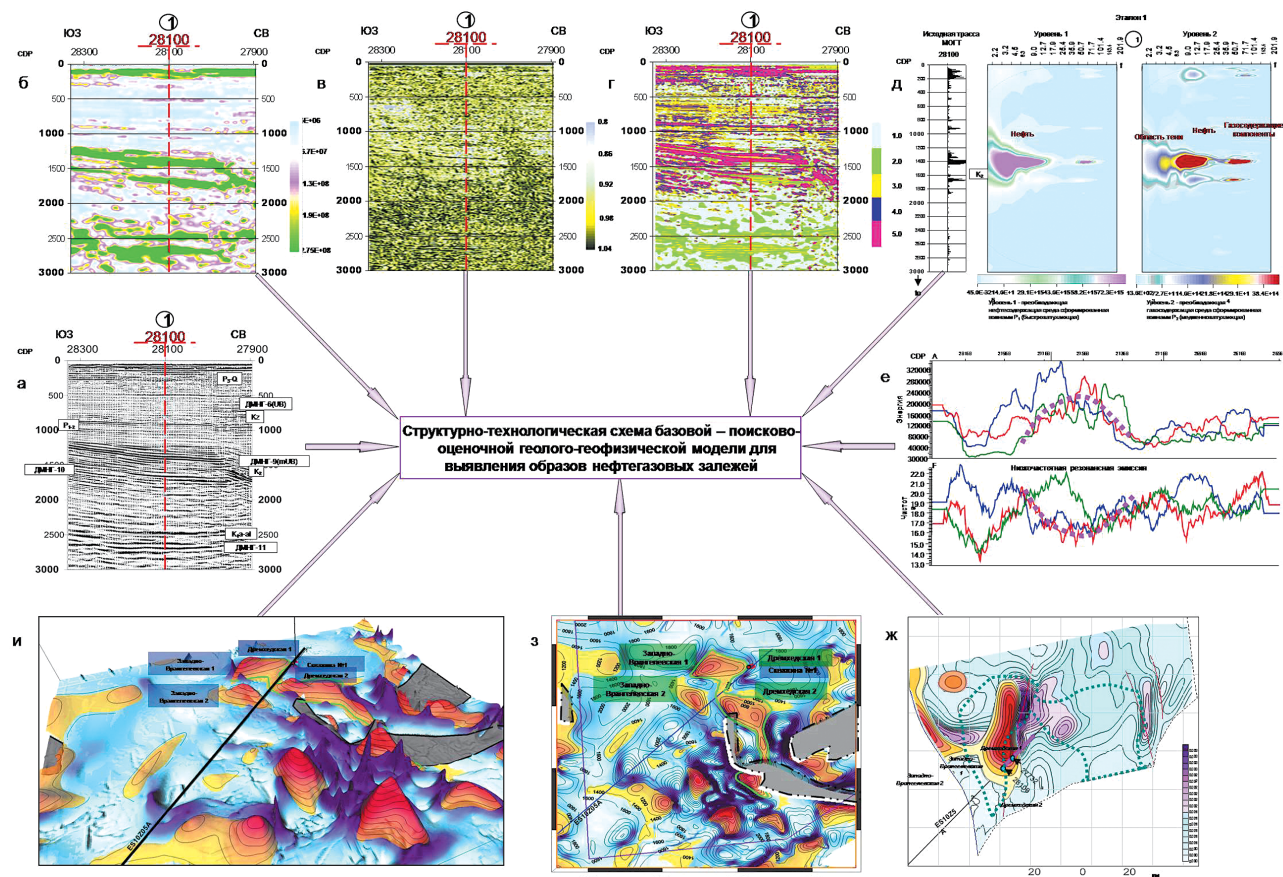
е) прогноз площади целевых поверхностей;

ж) пространственное отображение наиболее крупных залежей УВ.

### Методические подходы

Для прогноза перспектив нефтегазоносности в районах отсутствия глубокого бурения использовались нижеперечисленные технологии:

- технология детализации структурно-тектонического строения (ДСТС) ловушек УВ;
- технология многопризнакового прогноза залежей (МПЗ) углеводородов;
- технология декомпозиции дисперсии волнового поля (ДДВП). (патент № 142221 — 2014 г.) [2];
- технология низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии (НРЭ) геодинамического шума (патент № 2559123 — 2015 г.) [20];



**Рис. 1.** Структурно-технологическая схема базовой поисково-оценочной геолого-геофизической модели для выявления образцов нефтегазовых залежей

**Fig. 1.** Structural and technological scheme of the basic prospecting and evaluation geological and geophysical model for the identification of oil and gas deposits



- технология селекции нефтегазосодержащих объектов (ОИС).

### Результаты интерпретационной обработки сейсмического материала

Для прогноза возможных залежей использовался временной разрез по профилю 0898103A, проходящему вблизи скважины Магаданская-1 (рис. 2), в которой в целевом потенциально продуктивном интервале неогена не было обнаружено коллекторов порового типа промышленного значения [17].

В условиях Охотского моря формирование эталона для определения образа возможной залежи использовались вертикальные сечения временных разрезов МОГТ в точках анализа геосреды (XDP 84900, 79700 и 69650).

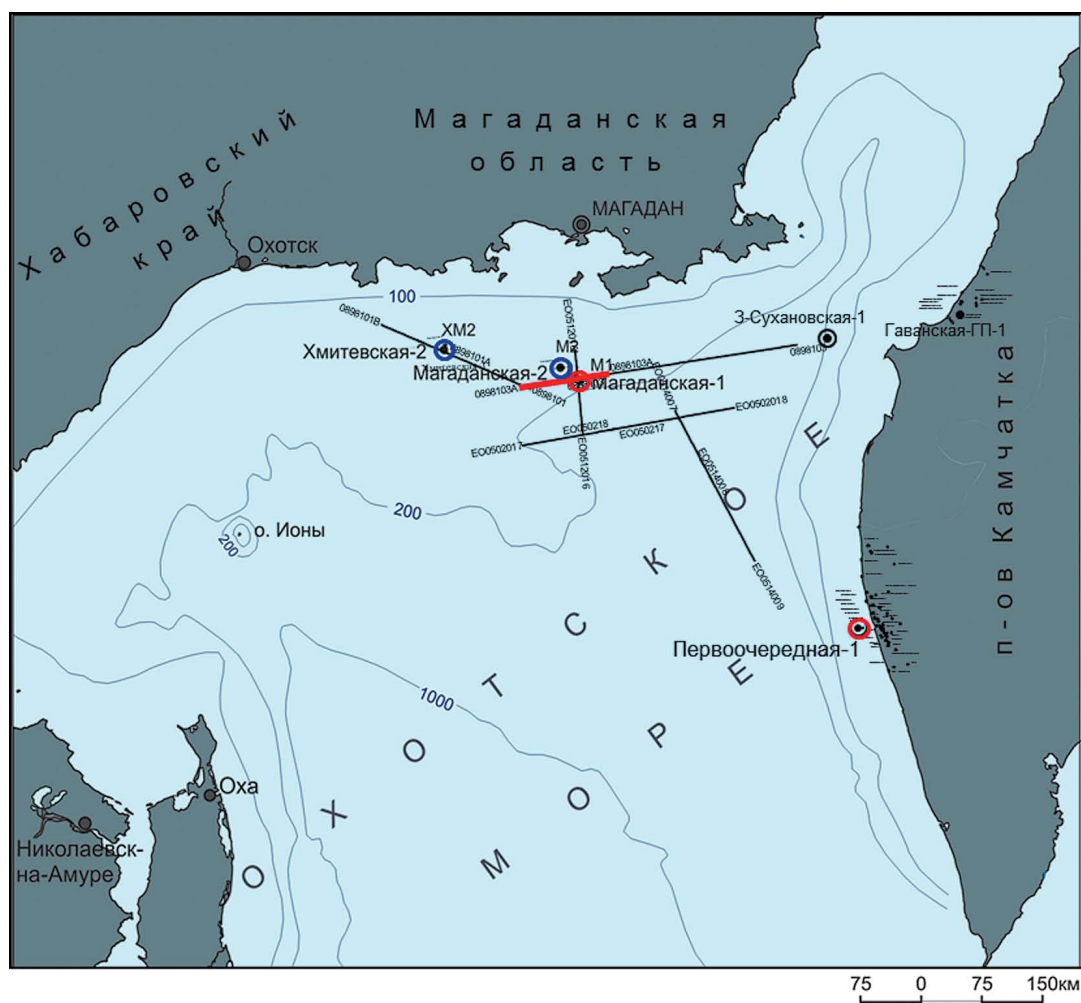
Процесс обнаружения нефтегазовой залежи в целевых комплексах осуществлялся в следующей последовательности:

- исходная трасса МОГТ была преобразована в вейвлет-коэффициенты, отображающие упругие свойства среды. Полученные данные трансформировались в дисперсию (уровень 1) и ее локальную составляющую (уровень 2);

- проводилась оценка частотно-энергетических доминант и локализация аномальных участков [15].

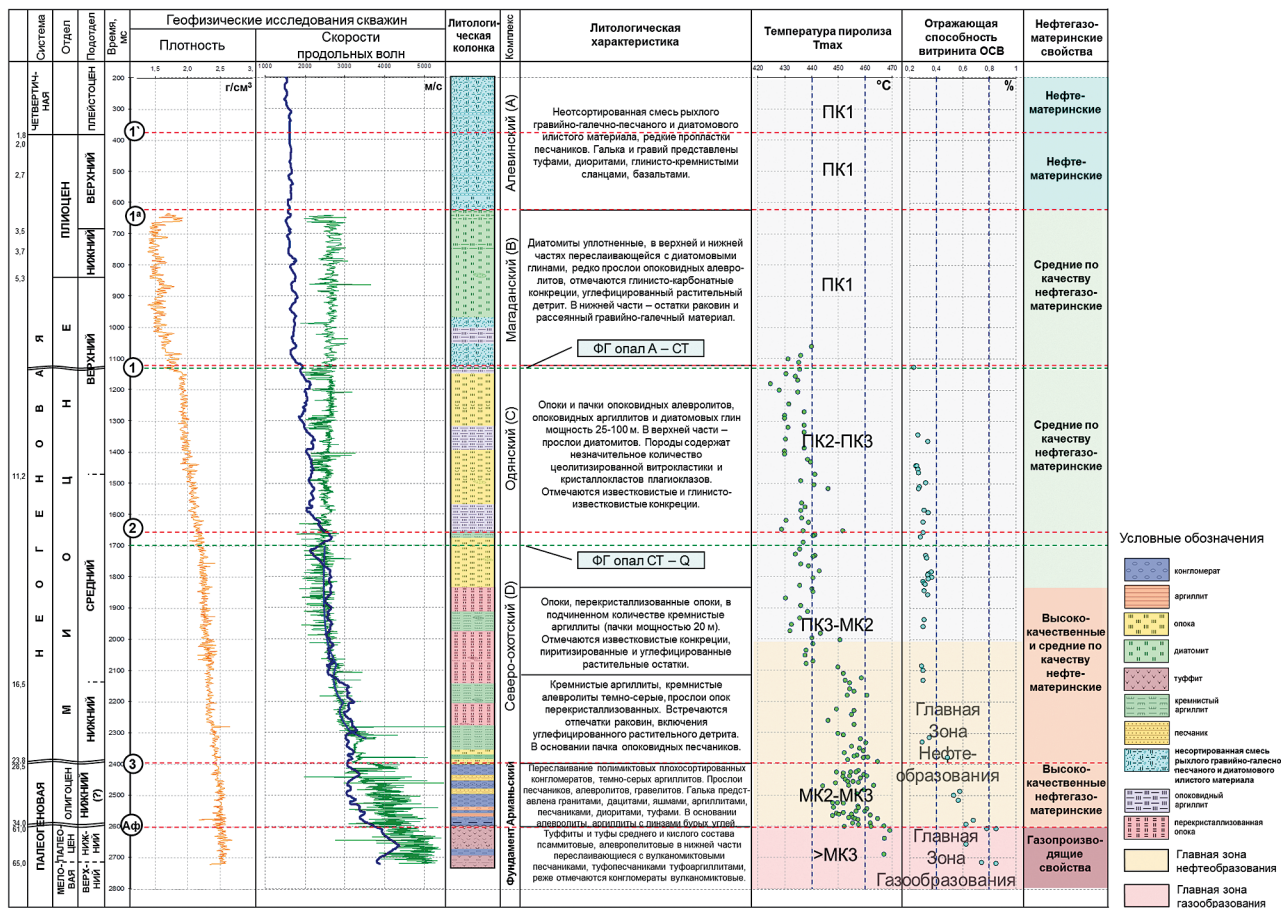
На рисунках 3—6 представлен процесс выделения нефтенасыщенных и газосодержащих пластов на основе анализа доминантных частот и энергии отраженных  $P_1$  (быстрых) и  $P_2$  (медленных) волн (пр. 0898103A) [16].

Согласно полученным данным в разрезе выделены волны  $P_1$  и  $P_2$ . Уровни доминантных частот и энергии для волн  $P_1$  и  $P_2$  различны. Это позволяет локализовать нефтегазонасыщенный пласт и уточнить наличие в нем газовой компоненты [19].



**Рис. 2.** Обзорная схема с расположением профиля 0898103A (красная линия — исходный временной разрез)  
**Fig. 2.** Overview diagram with the location of the profile 0898103A (the red line is the original time section)

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



**Рис. 3. Основные геолого-геофизические характеристики разреза скважины Магаданская-1**  
**Fig. 3. Main geological and geophysical characteristics of the Magadanskaya-1 well section**

На первом этапе обработки (уровень 1) четко отображается нефтяная залежь в области максимально накопленной энергии волнового поля при доминантной частоте 3—4 Гц. Указанная аномалия при последующей обработке (уровень 2) попадает в область тени, при этом усиливаются и появляются дополнительные малоразмерные средне- и высокочастотные компоненты геосреды [4].

Разнородность и мелкомасштабность геодинамики среды отчетливо проявляются во втором уровне обработки.

Критерии отображения волнового образа нефтяной залежи:

1. Наличие участка повышенного градиента амплитуд на исходной трассе.
2. Расположение сейсмозонетической и частотной аномалии в области низких частот с учетом наличия отраженной быстрозатухающей волны  $P_1$ , отсутствие указанной аномалии при втором уровне обработки, попадание аномалии волны  $P_1$  в область тени.

3. Появление четкой сейсмозонетической аномалии в области более высоких частот, свидетельствующее о развитии медленно затухающей волны  $P_2$ .

4. Развитие мелкомасштабных компонент в области высоких частот.

На рисунке 6 показан фрагмент временного разреза, горизонтальные линии расчета низкочастотной резонансной эмиссии и соответствующий результат выделения нефтегазосодержащих залежей на основе анализа доминантных частот и энергии волн  $P_1$  и  $P_2$ .

Представленные результаты свидетельствуют о наличии резонанса на времени 1656 мс и широкой полосы резонанса на времени 1694 мс, которые отображают улучшенные коллекторские свойства [14].

Это позволило выделить образ возможной нефтяной залежи в интервале времен  $t_0 = 1,60—1,75$  с (см. рис. 7, XDP 84900), максимальная энергия на уровне 1 —  $12,3^{12}$  эВ, частота — 4 Гц,



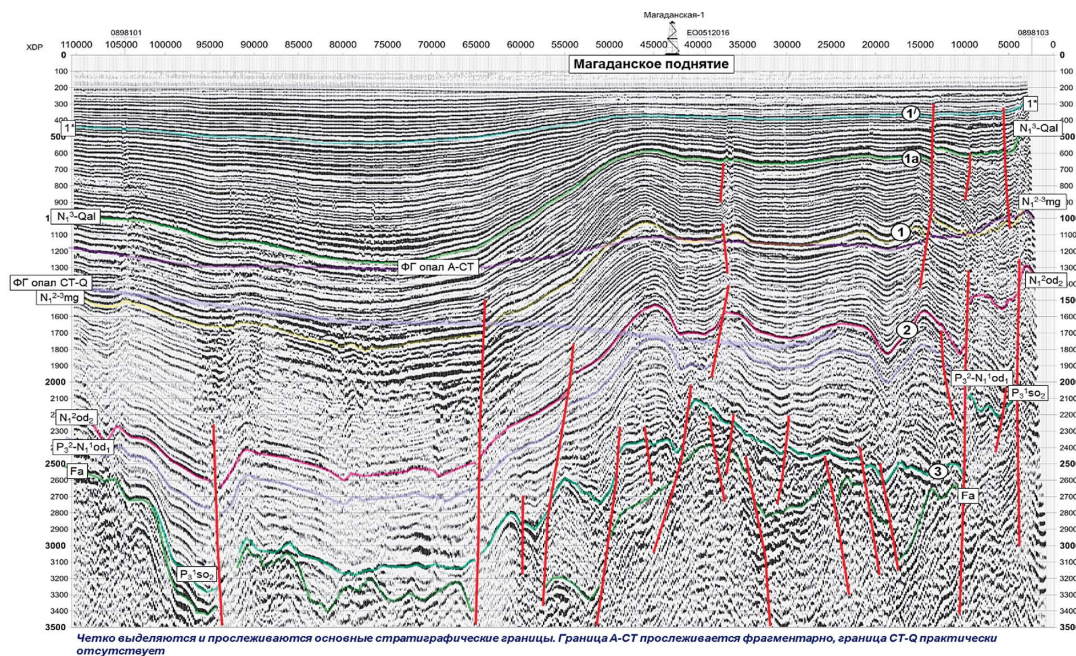


Рис. 4. Исходный временной разрез по профилю 0898103A

Fig. 4. Initial time section according to profile 0898103A

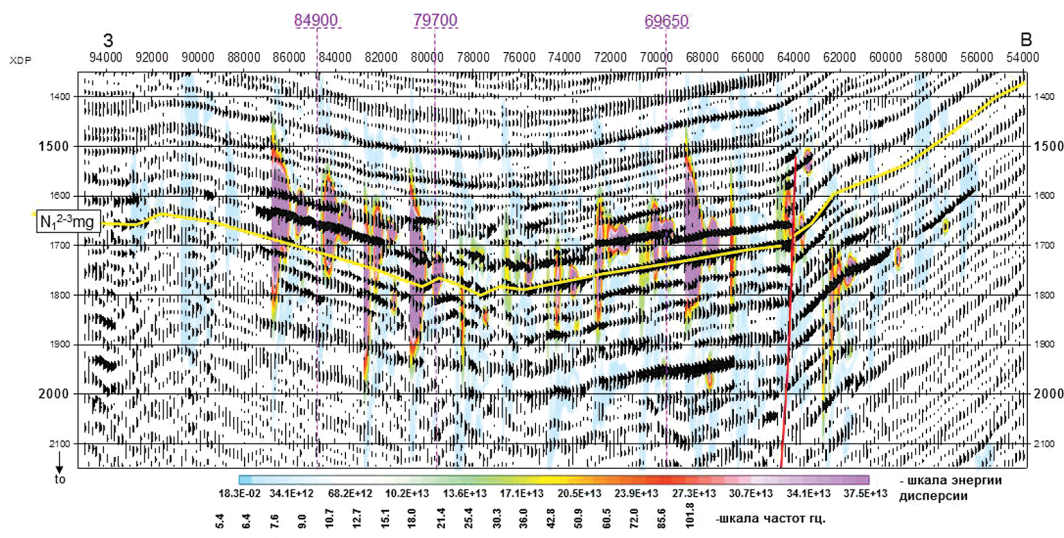


Рис. 5. Декомпозиция дисперсии волнового поля по фрагменту временного разреза профиля 0898103A

Fig. 5. Decomposition of the dispersion of the wave field by a fragment of the time section of the profile 0898103A

на уровне 2 максимальная энергия —  $13,6^{11}$  эВ, частота — 50 Гц.

На рисунке 8 (XDP 79700) максимальная энергия на уровне 1 —  $31,8^{12}$  эВ, частота ~ 4 Гц, на уровне 2 максимальная энергия —  $11,4^{11}$  эВ, частота ~ 25 Гц.

Обнадеживающий результат получен при изучении третьей «синтезированной вертикальной скважины» (рис. 9): максимальная энергия на уровне 1 —  $22,7^{12}$  эВ, частота ~ 4 Гц,

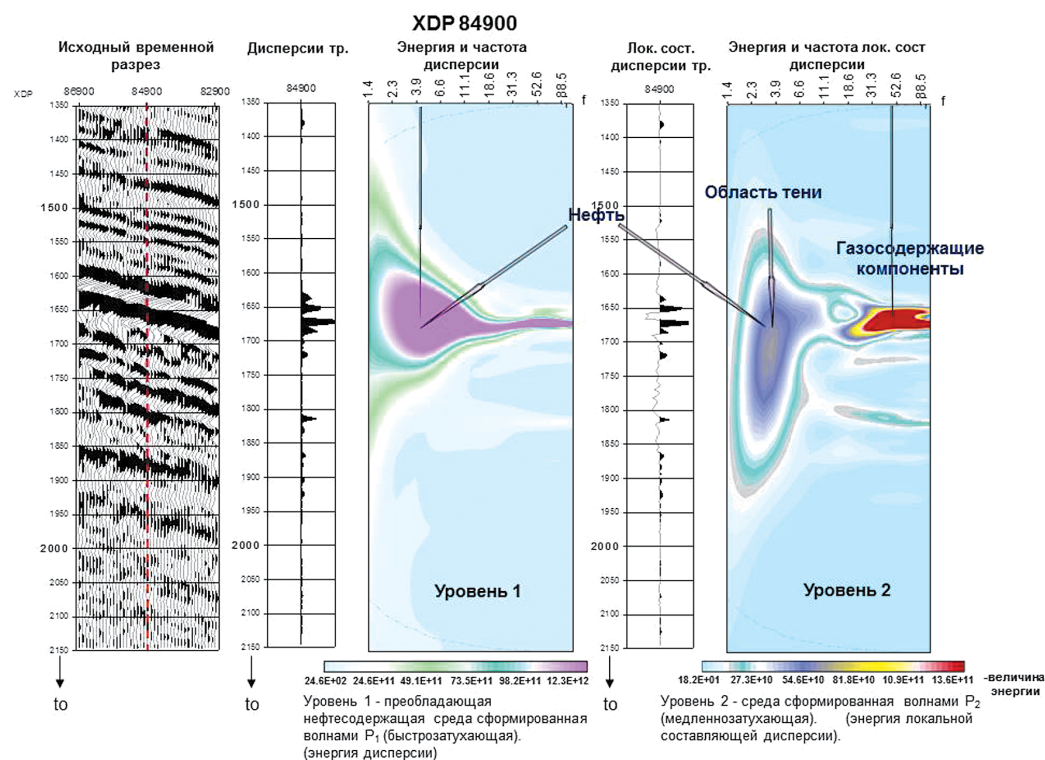
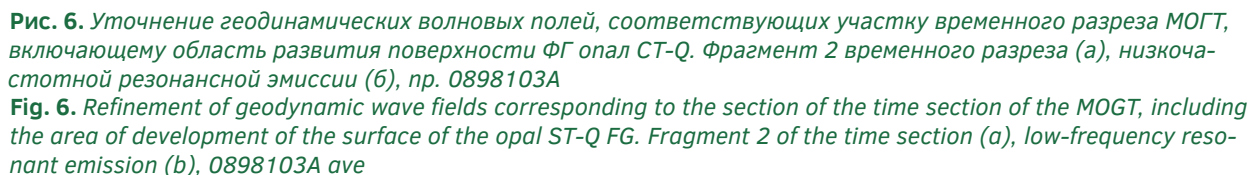
на уровне 2 максимальная энергия —  $27,3^{10}$  эВ, частота ~ 6 Гц.

Практическую значимость представляет образ газовой залежи, отображенной в геодинамике среды на  $t_0$  1,60—1,75 с.

В соответствии с наблюдаемыми признаками;

- наличие градиента амплитуд в области максимальной частотно-энергетической аномалии;
- положение аномалии в интервале низких частот;





**Рис. 7.** Прогноз нефтегазовых залежей, трасса ХДР 84900, пр. 0898103А  
**Fig. 7.** Forecast of oil and gas deposits, highway ХДР 84900, ave. 0898103А



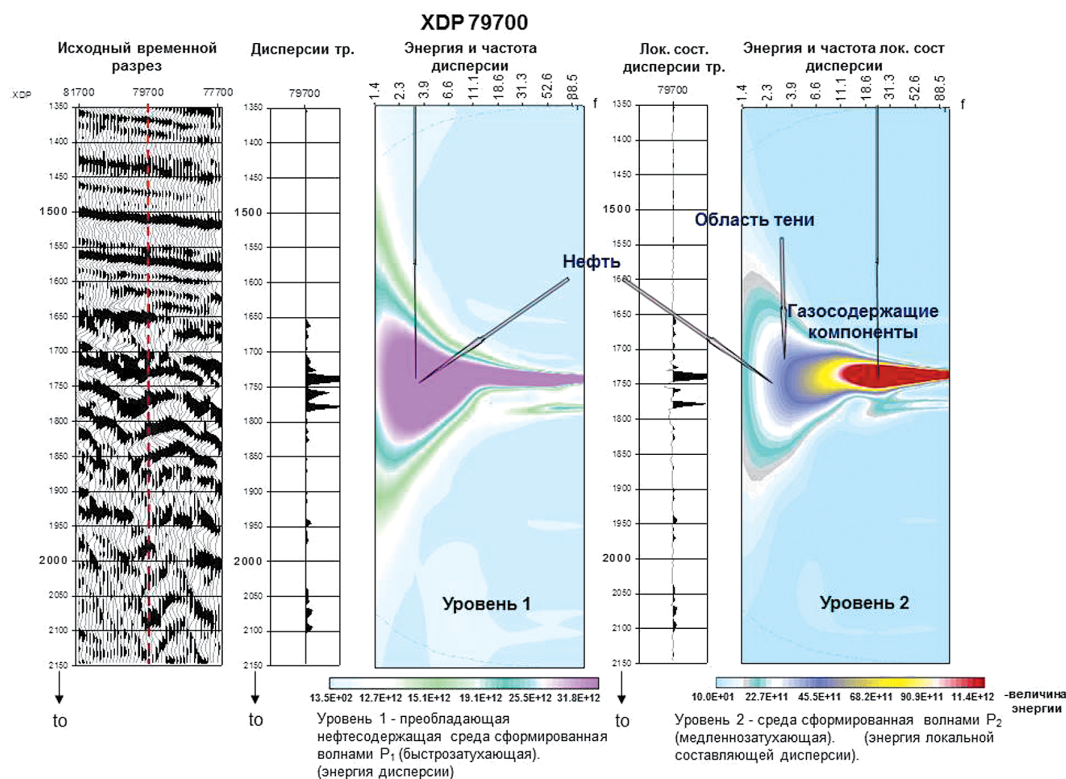


Рис. 8. Прогноз нефтегазовых залежей, трасса XDP 79700, пр. 0898103A

Fig. 8. Forecast of oil and gas deposits, XDP 79700 highway, 0898103A ave

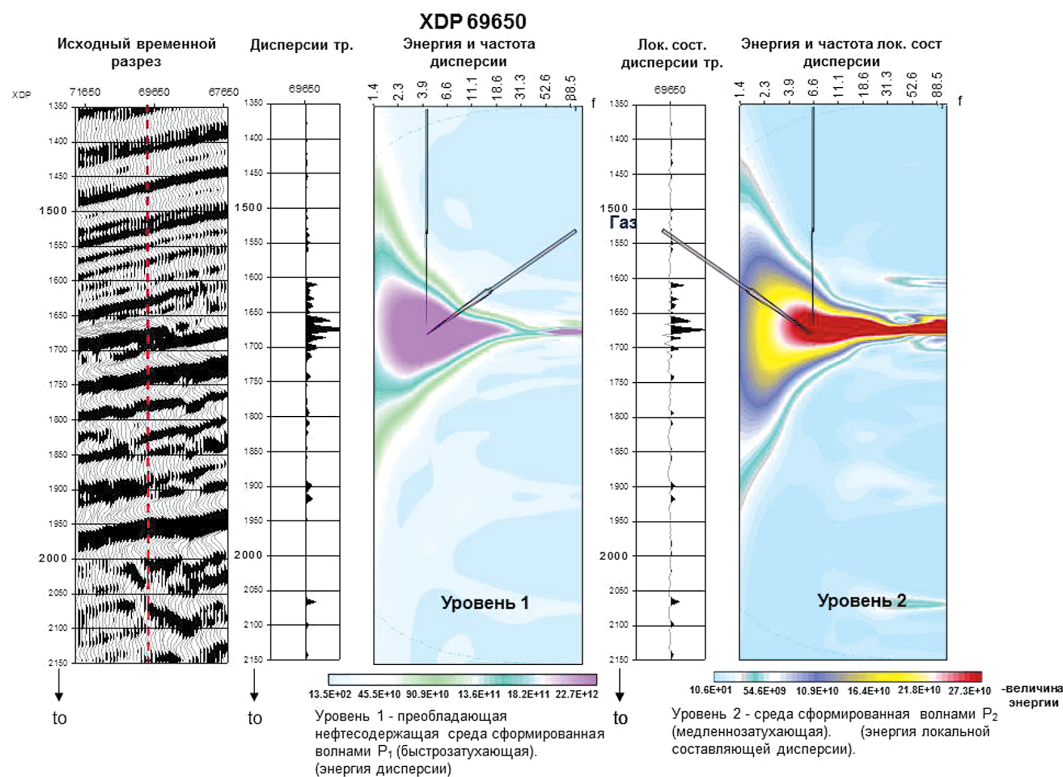


Рис. 9. Прогноз нефтегазовых залежей, трасса XDP 69650, пр. 0898103A

Fig. 9. Forecast of oil and gas deposits, XDP 69650 highway, 0898103A ave

- незначительный сдвиг аномалии на втором уровне;

- сложная аномалия НРЭ, создающая резонанс, смещенный друг от друга по X (рис. 6, XDP 69650).

Полученная информация может быть интерпретирована как возможное развитие газоконденсатной залежи, которая представляет раствор газа и мелких фракций углеводорода и находится в однофазном состоянии. Газовый фактор таких залежей очень велик [3].

На рисунках 10 и 11 выделен образ возможной нефтяной залежи в интервале времен  $t_0 = 1,15—1,20$  с, XDP 78500. Максимальная энергия на уровне 1 —  $86,4^{12}$  эВ, частота  $\sim 4$  Гц, на уровне 2 максимальная энергия —  $18,2^{12}$  эВ, частота  $\sim 18$  Гц.

На рисунке 12 фрагмент временного разреза с линиями расчета низкочастотной резонансной эмиссии 1,484 и 1,676 с с соответствующим результатом. Представленные результаты свидетельствуют о наличии резонанса, которые отображают улучшенные коллекторские свойства [2].

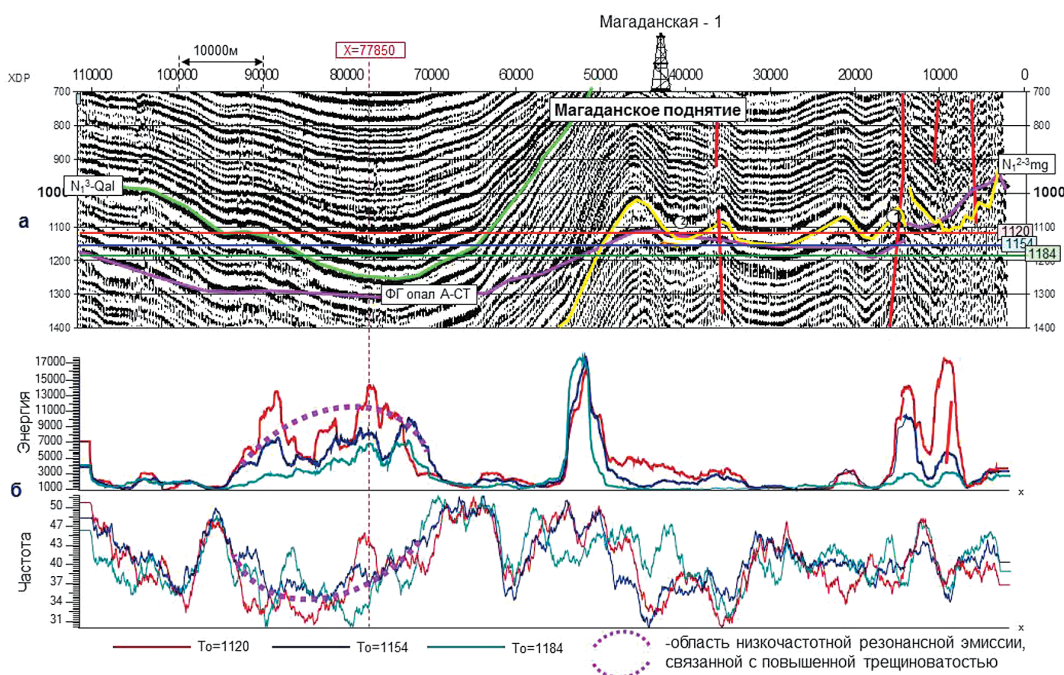
Эта информация может быть интерпретирована как возможное развитие газоконденсатной залежи в интервале времен  $t_0 = 1,60—1,75$  с (рис. 13,

XDP 46825). Максимальная энергия на уровне 1 —  $10,5^{13}$  эВ, частота  $\sim 9$  Гц, на уровне 2 максимальная энергия —  $20,5^{12}$  эВ, частота  $\sim 11$  Гц.

На рисунке 14 выделена, возможно, нефтяная залежь в интервале времен  $t_0 = 1,45—1,55$  с, XDP 46650. Максимальная энергия на уровне 1 —  $10,9^{15}$  эВ, частота  $\sim 4$  Гц, на уровне 2 максимальная энергия —  $20,5^{14}$  эВ, частота  $\sim 19$  Гц.

Следует отметить, что все выделенные по профилю 0898103A в районе Магаданского поднятия прогнозные аномалии, соответствующие по результатам интерпретационной обработки возможным проявлениям залежей углеводородов, в основном приурочены к склону поднятия и прогибу, выделяемому на временном разрезе (см. рис. 4). Время, на котором выделяются эти аномалии (1,5—1,7 мс), соответствует области развития фазовой границы перехода опал СТ-Q (кварц), связанной с вторичными преобразованиями кремнистых пород (силицитов), широко представленными в Охотском море [6].

Ряд специалистов отмечают, что в результате этого преобразования отложения становятся хрупкими и, по всей видимости, при последующих геодинамических процессах могут создавать зоны



**Рис. 10.** Уточнение геодинамических волновых полей, соответствующих участку временного разреза МОГТ, включающему область развития поверхности ФГ опал СТ-Q. Фрагмент временного разреза (а), низкочастотная резонансная эмиссия (б), пр. 0898103A

**Fig. 10.** Refinement of geodynamic wave fields corresponding to the section of the time section of the MOGT, including the area of development of the surface of the opal ST-Q FG. Fragment of a time section (a), low-frequency resonant emission (b), 0898103A ave



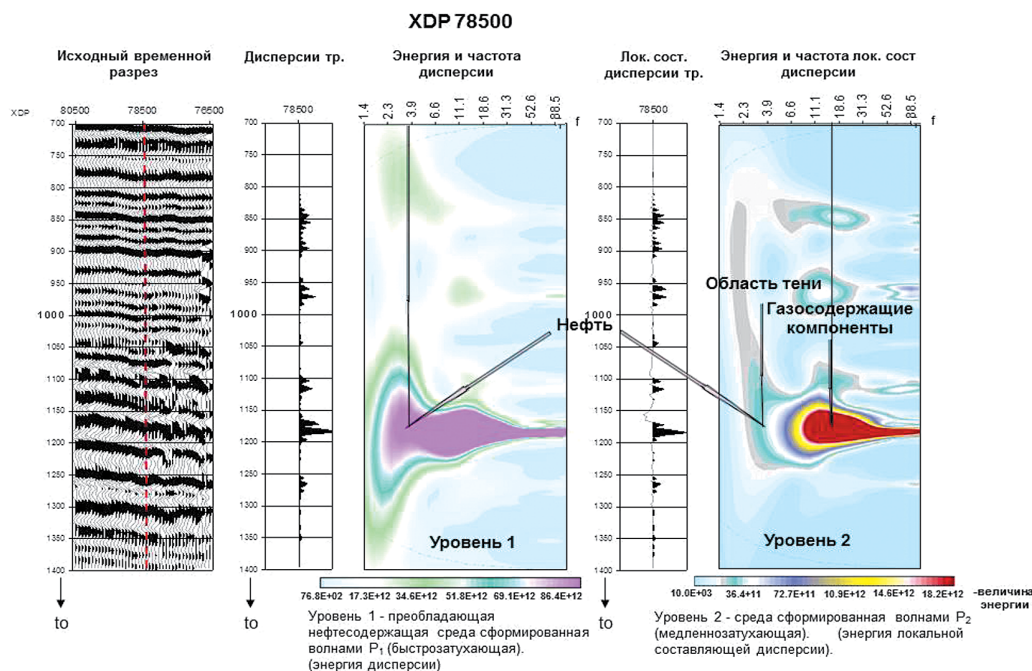


Рис. 11. Прогноз нефтегазовых залежей, трасса XDP 78500, пр. 0898103A

Fig. 11. Forecast of oil and gas deposits, XDP 78500 highway, 0898103A ave

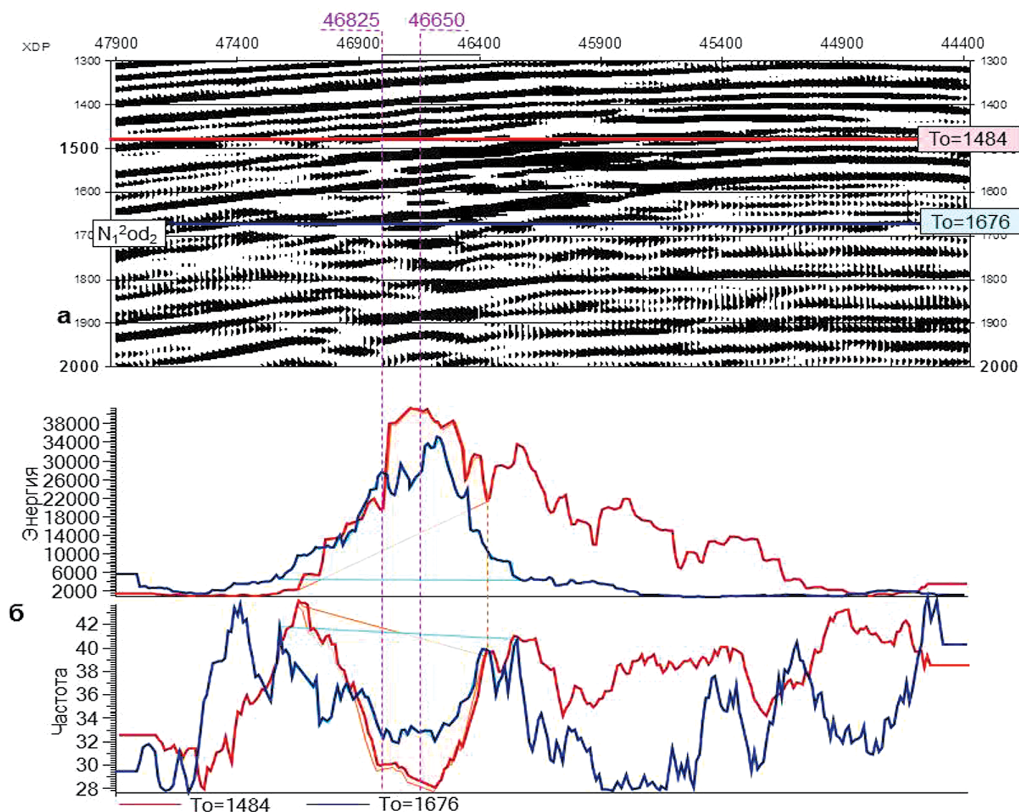
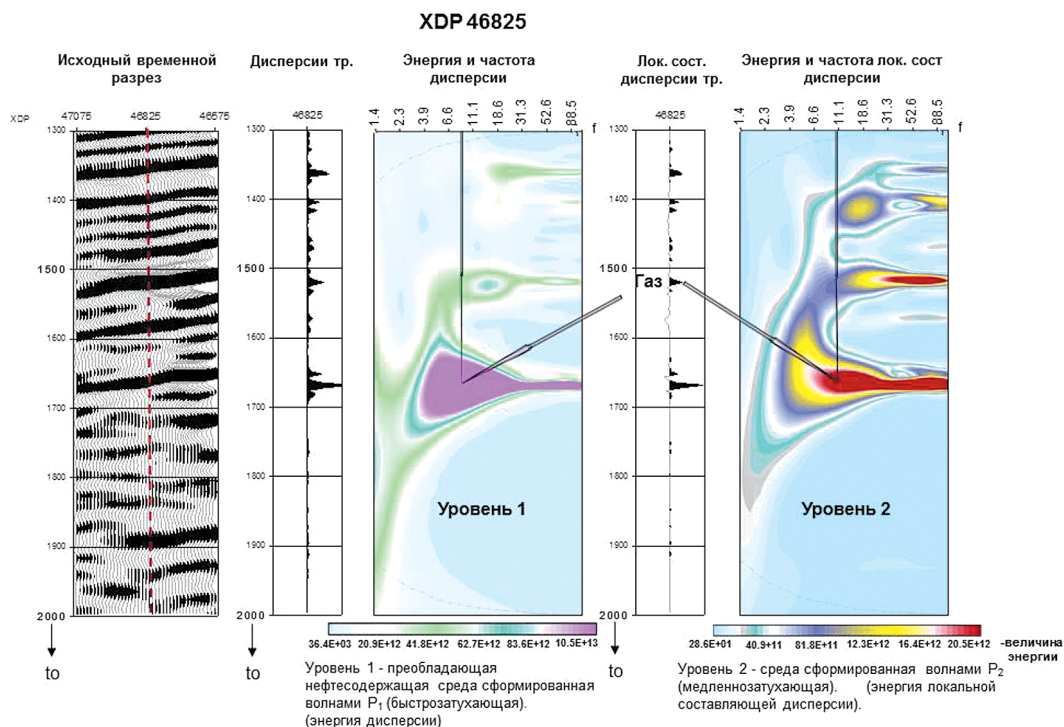


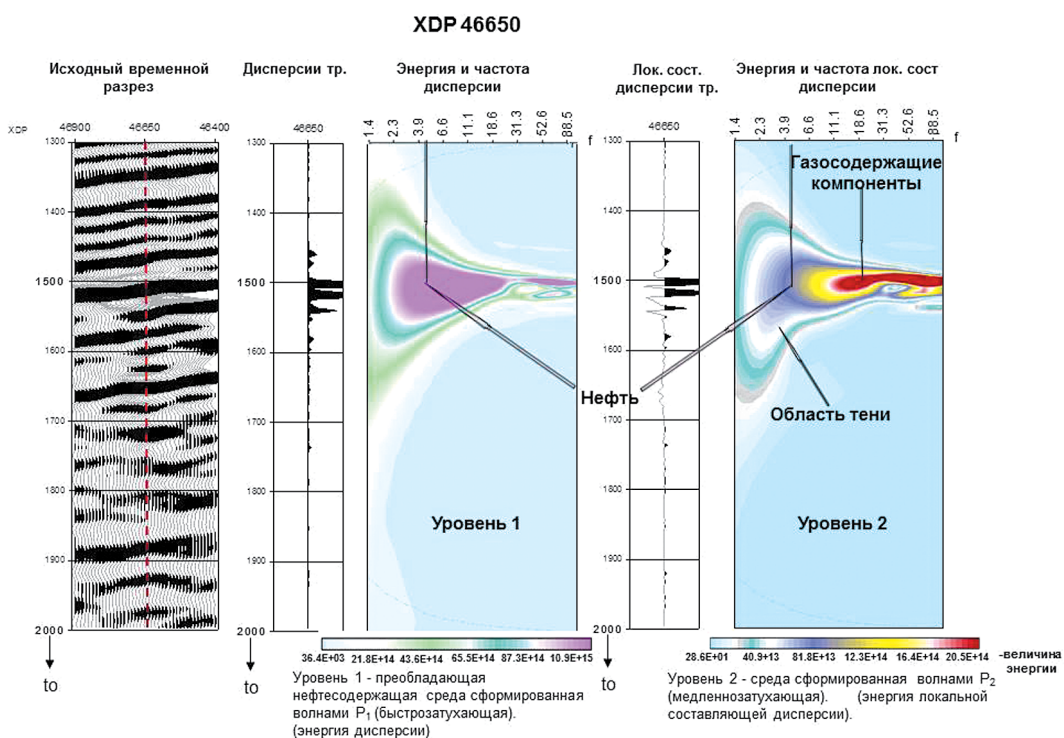
Рис. 12. Уточнение геодинамических волновых полей, соответствующих участку исходного временного разреза МОГТ. Фрагмент временного разреза (а), низкочастотная резонансная эмиссия (б), пр. 0898103A

Fig. 12. Refinement of geodynamic wave fields corresponding to the section of the initial time section of the MOGT. Fragment of a time section (a), low-frequency resonant emission (b), 0898103A ave

повышенной трещиноватости, т.е. формировать в которых могут формироваться залежи углеводородов [5].  
коллекторы трещинного, порово-трещинного типа,



**Рис. 13.** Прогноз нефтегазовых залежей, трасса XDP 46825, пр. 0898103А  
**Fig. 13.** Forecast of oil and gas deposits, highway XDP 46825, ave. 0898103A



**Рис. 14.** Прогноз нефтегазовых залежей, трасса XDP 46650, пр. 0898103А  
**Fig. 14.** Forecast of oil and gas deposits, highway XDP 46650, ave. 0898103A



Размеры этих залежей во многом будут зависеть от площади и объема развития силицитовых отложений, наиболее насыщенных кремнеземом, и величины геодинамического воздействия на них [7].

Вполне возможно, что аномалии волнового поля, выявленные по результатам атрибутивного анализа с помощью представленных технологий, и отражают этот процесс, что может являться поисковым признаком для выделения региональных зон повышенной трещиноватости по глубине их проявления и по площади и прогноза в них углеводородов [10].

На следующих рисунках в виде различных параметрических характеристик показано влияние процессов вторичных преобразований силицитовых толщ на частотно-динамические характеристики волнового поля. Ниже фазовой границы ФГ-2 (опал А-СТ) происходит заметное региональное уменьшение динамики поля в параметрах энергии (рис. 15) и энтропии (рис. 16). Следует отметить, что в прочих параметрах (анизотропии, частоты и др.), не представленных в отчете, наблюдается аналогичная картина разной степени выразительности [8].

Параметр динамических сгущений (рис. 17) показывает наличие в разрезе вертикальных зон его повышенных значений, которые могут указывать на повышенную трещиноватость среды,

созданную в результате глубинных геодинамических процессов (процессы сжатия-растяжения, внедрения магматических тел и пр.), а также на наличие путей миграции как глубинных флюидов (ювенильные воды, обогащенные газом глубинного происхождения), так и флюидов, сформировавшихся в процессе катагенетического преобразования органического вещества силицитовых толщ палеогена-неогена [9].

### Заключение

Для прогноза перспектив нефтегазоносности в районах отсутствия глубокого бурения Охотоморского региона рекомендуется использовать технологии детализации структурно-тектонического строения (ДСТС) ловушек УВ; многопризнакового прогноза залежей (МПЗ) углеводородов; декомпозиции дисперсии волнового поля (ДДВП) (патент № 142221 — 2014 г., изобретение 2015 г.); низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии (НРЭ) геодинамического шума (патент № 2559123 — 2015 г.); селекции нефтегазосодержащих объектов (ОИС) [11].

Структурно-технологическая схема базовой поисково-оценочной геолого-геофизической модели для выявления образов нефтегазовых залежей включает выбор местоположения актуальных точек для имитирования «вертикальных скважин» с целью

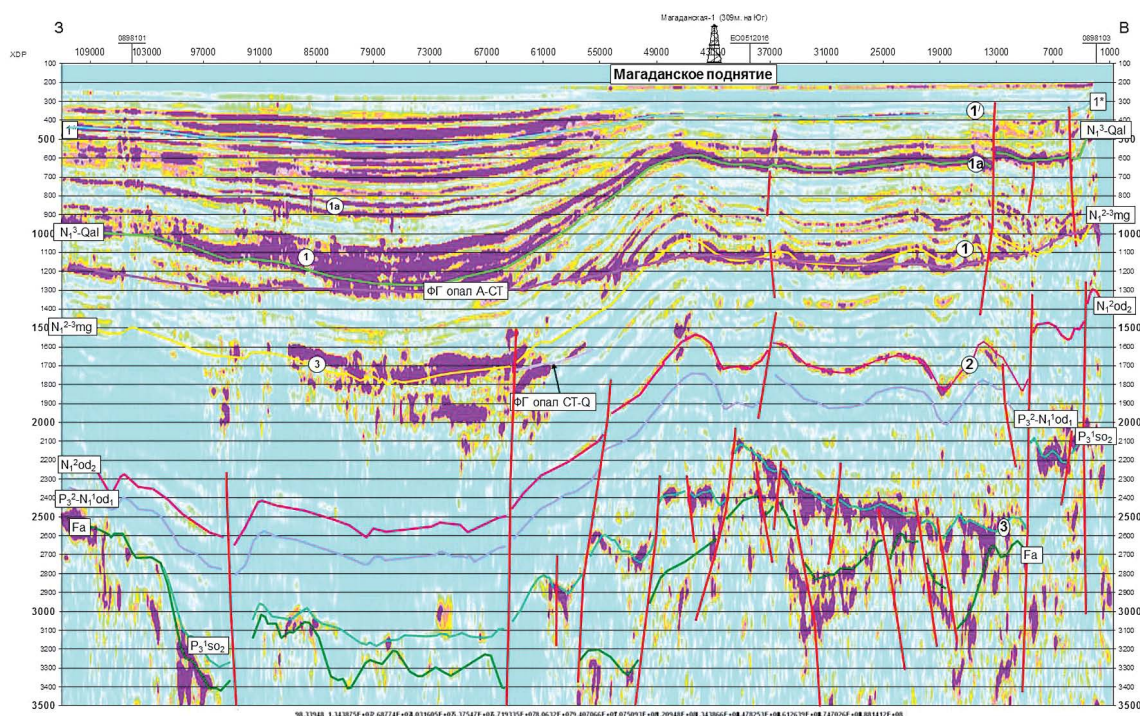


Рис. 15. Параметрический разрез энергии волнового поля, пр.0898103А

Fig. 15. Parametric section of the wave field energy, 0898103A ave



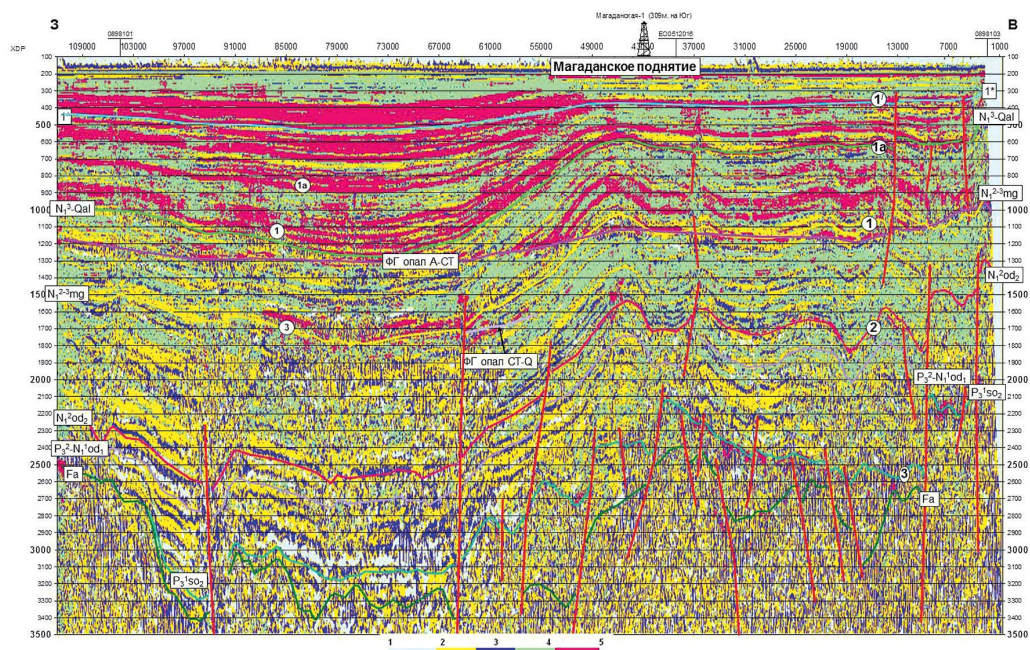


Рис. 16. Параметрический разрез оценки энтропии, пр. 0898103А  
Fig. 16. Parametric section of entropy estimation, 0898103A ave

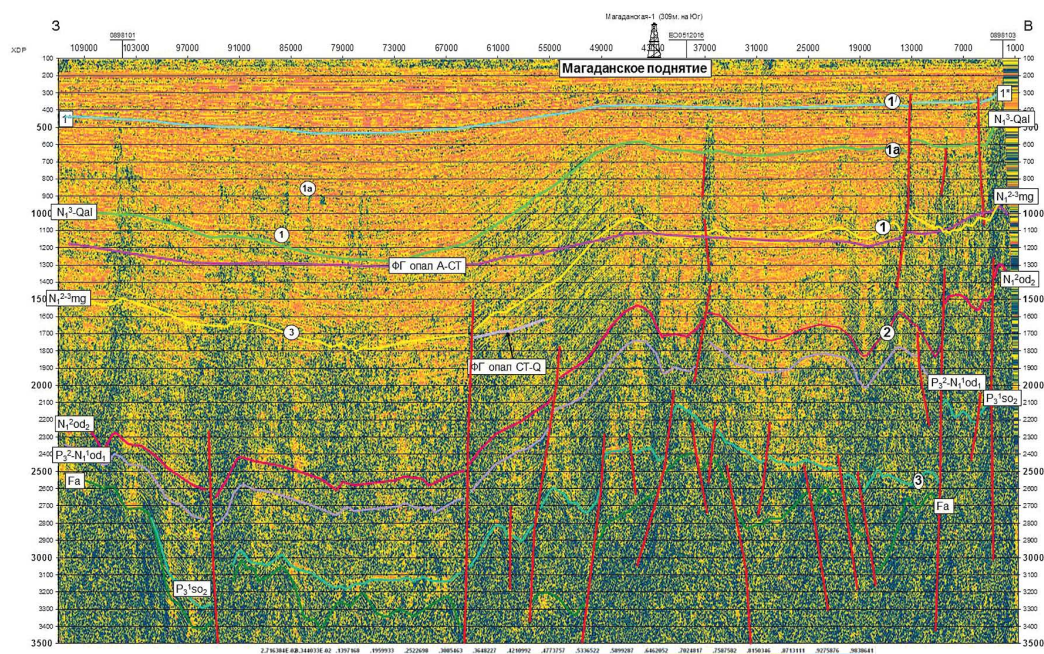


Рис. 17. Параметрический разрез классификации метода динамических сгущений, пр. 0898103А  
Fig. 17. Parametric section of the classification of the dynamic condensation method, 0898103A ave

анализа геодинамики среды; мультиплексные параметрические преобразования волновых полей с учетом диагностически значимых атрибутов и построение многопараметрического кластера; селекцию нефтегазовых залежей, формирование образов нефтяных и газовых залежей; локальный

прогноз улучшенных коллекторских свойств и УВ насыщения; уточнение геометрии целевых поверхностей с данными прогноза в актуальных точках (вертикальных скважинах); прогноз площади целевых поверхностей; пространственное отображение наиболее крупных залежей УВ [12].



## ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасенков А.П., Сенин Б.В., Леончик М.И. К уточнению модели нефтегазгеологического районирования арктического шельфа России в свете современных геолого-геофизических данных // Геология нефти и газа. 2016. № 4. С. 79—90.
2. Земцова Д.П., Иванова А.А., Никитин А.А., Пугач А.Л. патент №142221, 2014.
3. Земцова Д.П., Никитин А.А., Пискун П.В. Вейвлет-анализ волнового поля при решении задач сейсмо-разведки. Мат.-лы VII междунар. науч.-практ. конф. «Геомодель». Геленджик. С. 68—69.
4. Карасевич А.М., Земцова Д.П., Никитин А.А. Новые технологии геофизических исследований при поисках и прогнозе углеводородного сырья. М.: Страхование ревю, 2010. 140 с.
5. Карасевич А.М., Земцова Д.П., Никитин А.А., Пугач А.Л., Погосян А.Г., Дуплищева М.Р. патент № 2559123, 2015.
6. Керимов В.Ю., Бондарев А.В. Закономерности формирования, эволюция, пространственное развитие углеводородных систем и оценка перспектив нефтегазоносности Присахалинского шельфа // Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности. М.: Мат.-лы Всеросс. науч. конф., посвященной 30-летию ИПНГ РАН, 2017. С. 83—84.
7. Керимов В.Ю., Бондарев А.В. Оценка перспектив нефтегазоносности Присахалинского шельфа по результатам анализа палеотектонических и палео-географических критериев // Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на морских акваториях. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. С. 105—113.
8. Керимов В.Ю., Бондарев А.В., Мустаев Р.Н. Генерационно-аккумуляционные углеводородные системы на Сахалинском шельфе Охотского моря // Новые идеи в науках о земле. М.: РГГУ им. Серго Орджоникидзе (филиал) (Старый Оскол), 2019. С. 246—249.
9. Керимов В.Ю., Кислер Д.А., Шатыров А.К., Идиятуллина Э.З. Палеотектонические и палеогеографические критерии прогнозирования скоплений углеводородов в акватории Присахалинского шельфа // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 6. С. 8—21.
10. Керимов В.Ю., Кузнецов Н.Б. и др. Отчет «Обосновать районы вероятного углеводородонакопления на шельфе Охотского моря на основе использования современных технологий прогноза нефтегазовых». М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. Российский Федеральный геологический фонд.
11. Керимов В.Ю., Мустаев Р.Н., Серикова У.С. Стратегия моделирования углеводородных систем на разных этапах и стадиях геолого-разведочных работ на нефть и газ // Нефтегазохимия. 2018. № 1. С. 45—49.
12. Керимов В.Ю., Синявская О.С. Оценка перспективных ресурсов акватории Охотского моря // Геология, поиски и разведка месторождений углеводородов на морских акваториях. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2017. С. 244—257.
13. Керимов В.Ю., Синявская О.С., Бондарев А.В., Сизиков Е.А. Условия формирования ловушек нефти и газа в палеоген-неогеновом комплексе Присахалинского шельфа // Фундаментальный базис инновационных технологий поисков, разведки и разработки месторождений нефти и газа и приоритетные направления развития ресурсной базы ТЭК России. М., 2016. С. 138—140.
14. Никитин А.А., Петров А.В. Основные процедуры обработки и интерпретации нестационарных геофизических полей // Геофизика. 2007. № 3. С. 63—70.
15. Николаевский В.Н. Изменения сейсмических волн из-за присутствия газа в пластах // Геофизика. 2014. № 3. С. 14—20.
16. Овезов Б.А., Щербакова К.О., Календарова Л.Р., Романов П.А., Кузнецова Д.А. Снижение критических последствий торсионных вибраций в результате разрушения горной породы долотами PDC // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 4. С. 91—100.
17. Петровская Н.А. Отчет о результатах работ, проведенных ФГУП «Дальморнефтегеофизика» по анализу фонда локальных нефтегазоперспективных объектов на шельфах дальневосточных морей с целью их геолого-экономической оценки. Южно-Сахалинск, 2001. Архив ОАО «Дальморнефтегеофизика», № 1-01-6м/2.
18. Сенин Б.В., Леончик М.И. Региональные геологические проблемы и риски выбора оптимальных направлений нефтегазоперспективных работ в дальневосточных морях России // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2020. № 1. С. 12—22.
19. Тектоническое районирование и углеводородный потенциал Охотского моря / Отв. ред. К.Ф. Сергеев. М.: Наука, 2006. 128 с.
20. Технология низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии НРЭ геодинамического шума. Изобретение № 2559123 — 2015 г.

## REFERENCES

1. Afanasenkov A.P., Senin B.V., Leonchik M.I. To clarify the model of oil and gas geological zoning of the Russian Arctic shelf in the light of modern geological and geophysical data // Geology of Oil and Gas. 2016. No. 4. P. 79—90.
2. Zemtsova D.P., Ivanova A.A., Nikitin A.A., Pugach A.L. patent No. 142221, 2014.
3. Zemtsova D.P., Nikitin A.A., Piskun P.V. Wavelet analysis of the wave field when solving seismic exploration problems. Materials of the VII international. scientific-practical conf. «Geomodel». Gelendzhik. pp. 68—69.
4. Karasevich A.M., Zemtsova D.P., Nikitin A.A. New technologies of geophysical research in the search and forecast of hydrocarbon raw materials. Moscow: Insurance Review, 2010. 140 p.

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

5. Karasevich A.M., Zemtsova D.P., Nikitin A.A., Pugach A.L., Pogosyan A.G., Duplishcheva M.R. patent No. 2559123, 2015.
6. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V. Patterns of formation, evolution, spatial development of hydrocarbon systems and assessment of the prospects for oil and gas potential of the Sakhalin shelf // Fundamental basis of innovative technologies in the oil and gas industry. Moscow: All-Russian materials. scientific Conf., dedicated to the 30th anniversary of IPNG RAS, 2017. pp. 83—84.
7. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V. Assessment of oil and gas potential prospects for the Sakhalin shelf based on the results of analysis of paleotectonic and paleogeographic criteria // Geology, searches and exploration of hydrocarbon deposits in offshore areas. Moscow: Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina, 2017. pp. 105—113.
8. Kerimov V.Yu., Bondarev A.V., Mustaev R.N. Generation-accumulation hydrocarbon systems on the Sakhalin shelf of the Sea of Okhotsk // New ideas in geosciences. Moscow: Russian State University for the Humanities named after. Sergo Ordzhonikidze (branch) (Stary Oskol), 2019. pp. 246—249.
9. Kerimov V.Yu., Kisler D.A., Shatyrov A.K., Idiyatullina E.Z. Paleotectonic and paleogeographic criteria for predicting hydrocarbon accumulations in the waters of the Sakhalin shelf // News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2022. No. 6. P. 8—21.
10. Kerimov V.Yu., Kuznetsov N.B. and others. Report "To substantiate areas of probable hydrocarbon accumulation on the shelf of the Sea of Okhotsk based on the use of modern technologies for oil and gas forecasting." Moscow: Russian State University of Oil and Gas named after I.M. Gubkina, 2014. Russian Federal Geological Fund.
11. Kerimov V.Yu., Mustaev R.N., Serikova U.S. Strategy for modeling hydrocarbon systems at different stages and stages of geological exploration for oil and gas // Neftegazokhimiya. 2018. No. 1. P. 45—49.
12. Kerimov V.Yu., Sinyavskaya O.S. Assessment of promising resources in the Sea of Okhotsk // Geology, prospecting and exploration of hydrocarbon deposits in offshore waters. Moscow: Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkina, 2017. pp. 244—257.
13. Kerimov V.Yu., Sinyavskaya O.S., Bondarev A.V., Sizikov E.A. Conditions for the formation of oil and gas traps in the Paleogene-Neogene complex of the Sakhalin shelf // Fundamental basis of innovative technologies for prospecting, exploration and development of oil and gas fields and priority directions for the development of the resource base of the Russian fuel and energy complex. M., 2016. pp. 138—140.
14. Nikitin A.A., Petrov A.V. Basic procedures for processing and interpreting non-stationary geophysical fields // Geophysics. 2007. No. 3. P. 63—70.
15. Nikolaevsky V.N. Changes in seismic waves due to the presence of gas in layers // Geophysics. 2014. No. 3. P. 14—20.
16. Ovezov B.A., Shcherbakova K.O., Kalendarova L.R., Romanov P.A., Kuznetsova D.A. Reducing the critical consequences of torsion vibrations as a result of rock destruction by PDC bits // News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2022. No. 4. P. 91—100.
17. Petrovskaya N.A. A report on the results of work carried out by FSUE Dalmorneftegeofizika to analyze the stock of local oil and gas prospects on the shelves of the Far Eastern seas for the purpose of their geological and economic assessment. Yuzhno-Sakhalinsk, 2001. Archive of JSC Dalmorneftegeofizika, No. 1-01-6m/2.
18. Senin B.V., Leonchik M.I. Regional geological problems and risks of choosing optimal directions for oil and gas exploration in the Far Eastern seas of Russia // Mineral Resources of Russia. Economics and Management. 2020. No. 1. P. 12—22.
19. Tectonic zoning and hydrocarbon potential of the Sea of Okhotsk / Responsible. ed. K.F. Sergeev. Moscow: Nauka, 2006. 128 p.
20. Technology of low-frequency resonance of seismic emission of NRE geodynamic noise. Invention No. 2559123 — 2015

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

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

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

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

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия  
e-mail: [anar.shatyrov@mail.ru](mailto:anar.shatyrov@mail.ru)  
тел.: +7 (926) 142-77-63  
SPIN-код: 5794-0287  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-5325>

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

23, Miklukho-Maklaya st., Moscow 117997, Russia  
e-mail: [anar.shatyrov@mail.ru](mailto:anar.shatyrov@mail.ru)  
tel.: +7 (926) 142-77-63  
SPIN-code: 5794-0287  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3450-5325>





<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-81-88>  
УДК 622.276.66



## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ТРИЗ АЧИМОВСКОЙ ТОЛЩИ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ «N»

Т.Т. МАЖРЕНОВА

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

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Разработка сложных с геологической точки зрения объектов характеризуется низкой эффективностью традиционных методов увеличения нефтеотдачи, отсутствием или высокой стоимостью технологического обеспечения добычи альтернативными методами. В данной работе будут рассмотрены особенности разработки на примере существующего объекта, относящегося к Ачимовским толщам Западной Сибири.

**Цель.** Ретроспективный анализ динамики разработки эксплуатационного объекта, дополнительное изучение возможных причин высокой обводненности продукции.

**Материалы и методы.** Для написания работы были использованы проектные документы, содержащие данные о геолого-физических характеристиках и динамике добычи по эксплуатационному объекту, а также графические приложения (геологические разрезы, каротажные диаграммы, выкопировки из карт). Проводилось изучение материалов, графических приложений и построение графиков в Excel.

**Результаты.** Изучены возможные причины высокой обводненности продукции.

**Заключение.** Определен вектор дальнейшего развития научно-исследовательской деятельности в рамках заданной темы.

**Ключевые слова:** ГРП, динамика добычи, высокая начальная водонасыщенность, Ачимовская толща, недонасыщенные коллекторы, геологическая неоднородность

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

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

**Для цитирования:** Мажренова Т.Т. Особенности разработки ТРИЗ Ачимовской толщи на месторождении «N». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2023;65(4):81—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-81-88>

Статья поступила в редакцию 11.05.23

Принята к публикации 15.09.2023

Опубликована 28.09.2023

## FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF HARD TO RECOVERY RESERVES OF THE ACHIMOVSKAYA SITE OF THE "N" DEPOSIT

TOMILA T. MAZHRENOVA

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

### ABSTRACT

**Background.** The development of objects that are complex from a geological point of view is characterized by the low efficiency of traditional methods of enhanced oil recovery, the absence or high cost of technological support for production by alternative methods. In this paper, the development features will be considered using the example of an existing object related to the Achimov strata of Western Siberia.

**Aim.** A retrospective analysis of the dynamics of the development of a production facility, additional study of the possible causes of high water cut.

**Materials and methods.** To write the work, design documents were used containing data on the geological and physical characteristics and dynamics of production at the production site, as well as graphic applications (geological sections, well logs, extracts from maps). The study of materials, graphic applications and graphing in Excel was carried out.

**Results.** The possible reasons for the high water cut in the production were studied.

**Conclusion.** The vector of further development of research activities within the framework of a given topic is determined.

**Keywords:** hydraulic fracturing, production dynamics, high initial water saturation, Achimov formation, undersaturated reservoirs, geological heterogeneity

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

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

**For citation:** Mazhrenova T.T. Features of the development of hard to recovery reserves of the Achimovskaya site of the "N" deposit. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):81—88. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-81-88>

*Manuscript received 15 September 2023*

*Accepted 26 September 2023*

*Published 28 September 2023*

### Теория

Ачимовский комплекс представляет собой песчано-глинистые отложения подводных конусов выноса глубоководного генезиса, приуроченные к фондоформенной части клиноциклита неокомского возраста [1, 3, 6, 7]. Необходимо обратить особое внимание на характер генезиса Ачимовских пластов. Согласно многочисленным исследованиям в меловой период большая часть Западной Сибири находилась под толщей воды. В течение миллионов лет происходила регрессия и трансгрессия моря, в результате которой образовались настоящие толщи осадочных отложений [1]. Подвергаясь эрозии, органические вещества позднее сформировали Западно-Сибирскую нефтегазонасную провинцию. Освоение ресурсного

потенциала Ачимовского комплекса осложняют условия залегания углеводородов. От участка к участку глубина залегания пластов варьируется от 2500 до 4000 метров. Местами среднее пластовое давление достигает величины 60 МПа, средняя температура колеблется в районе 80—85 °С. Учитывая вышеперечисленные факторы, ачимовские горизонты можно отнести к промежуточным между традиционными и трудноизвлекаемыми запасами.

В данной работе в качестве объекта исследования рассматривалось месторождение «N» углеводородов (далее «месторождение») в Западной Сибири. По данным проектных документов в геологическом строении месторождения принимают участие метаморфические и изверженные породы

палеозойского возраста, эффузивно-осадочные породы нерасчлененного пермо-триасового возраста и осадочные отложения мезозойско-кайнозойского возрастов.

Далее стоит подробнее остановиться на меловой системе, представленной мегаколослоистым комплексом пород клиноформного строения. Сортымская свита залегает в основании нижнемелового разреза и представлена четырьмя толщами. Вторая толща этой свиты относится к Ачимовским залежам, представленным по данным исследований: «...переслаивающимися песчано-алеврито-глинистыми породами, имеющими сложное строение. Ачимовская толща не выдержана по площади и разрезу. Нижняя граница толщи прослеживается почти четко, а верхняя определяется степенью развития песчаной фации». Общая толщина пачки измеряется в диапазоне от 5 до 163 м. К этой части разреза приурочены отложения продуктивных пластов группы БС<sub>16–22</sub>. Эти пласты неоднородны по разрезу и не выдержаны по простиранию, также характеризуются довольно низкими фильтрационно-емкостными

свойствами (ФЕС). Ниже представлен условный разрез месторождения в интервале продуктивных отложений (рис. 1).

В пласте БС<sub>18–19</sub> было обнаружено на стадии разведки 17 залежей нефти. Ниже (табл. 1) представлены ФЕС параметры разрабатываемого объекта по данным исследований керна, ГИС и ГДИ.

По данным ГИС проницаемость нефтенасыщенного коллектора пласта изменяется от  $0,43 \times 10^{-3}$  до  $35,4 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>, среднее значение  $5,0 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Среднее значение коэффициента открытой пористости составляет 0,178 доли ед. при диапазоне 0,123–0,225 доли ед.

Фильтрационно-емкостные свойства пласта изучены на образцах керна из 38 скважин. Всего было выполнено 1344 определения открытой пористости, 1238 — проницаемости. Коэффициент пористости в пласте БС<sub>18–19</sub> изменяется от 0,138 до 0,217 доли ед. при среднем значении 0,172 доли ед., проницаемость изменяется в интервале от 0,5 до  $113,0 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup> при среднем значении  $5,3 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>.

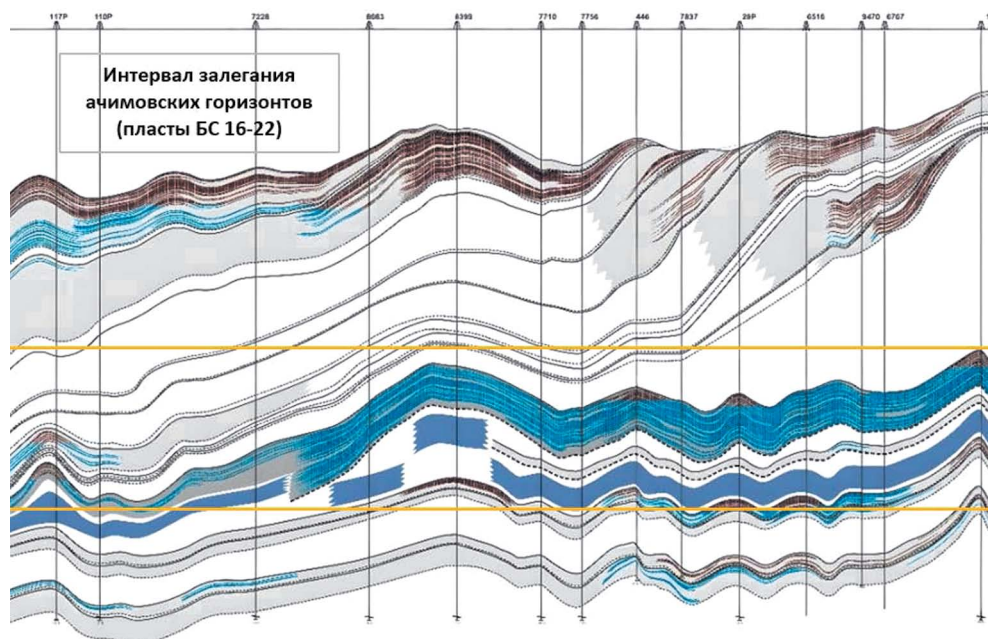


Рис. 1. Условный разрез в интервале продуктивных отложений

Fig. 1. Conditional section in the interval of productive deposits

Таблица 1. ФЕС параметры пласта БС<sub>18–19</sub>  
Table 1. Filtration and capacitance parameters of the BS<sub>18–19</sub> formation

| Параметр/Метод                     | Керн  | ГИС   | ГДИ | Величина                      |
|------------------------------------|-------|-------|-----|-------------------------------|
| Коэффициент пористости (ср.з)      | 0,172 | 0,178 | -   | Доли единиц                   |
| Коэффициент проницаемости (ср. з.) | 5,3   | 5,0   | 8,9 | $10^{-3} \times \text{мкм}^2$ |



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

На каротажных диаграммах (рис. 2) представлены кривые, полученные следующими методами: ПС — потенциал собственной поляризации, ГК — гамма-каротаж, ИК — индукционный каротаж. С помощью интерпретации кривых каротажа было произведено литологическое расчленение разреза и выделены интервалы насыщения нефтью и водой.

По проектным данным промышленная добыча нефти производилась из залежей 5 и 6+7+16+17, относящихся к продуктивному пласту БС<sub>18–19</sub>. Также на объекте предпринимались попытки промышленной разработки залежи 15. Далее будут приведены и рассмотрены динамические параметры разработки скважин, относящихся к залежи 15, которая так и не была введена в промышленную эксплуатацию по причине низких показателей по дебиту нефти и высокой обводненности скважинной продукции. Залежь 15 разрабатывалась с 1987 года, но из-за недостатков технологического обеспечения и высокой начальной обводненности (около 97%) объект с 1999 года разрабатывается единичными скважинами и в промышленную разработку не введен. В 1987 году в южной части залежи была пробурена первая скважина 4407. Входной дебит жидкости составил 3,0 т/сут, обводненность — 96,3%. За три месяца работы скважины дебит жидкости не превысил 4,8 т/сут, обводненность также осталась на уровне 96%, после чего разработка этой залежи была приостановлена до 1999 года.

В 1999—2001 годах в других частях залежи были пробурены скважины 2097 и 2989. Скважина 2097 пробурена в центральной части залежи, скважина 2989 расположена в 190 м от границы актуального контура ВНК залежи, но дебиты жидкости по этим

скважинам также оказались незначительными: максимальный по скважине 2097 — 7,8 т/сут, по скважине 2989 — 3,5 т/сут, входная обводненность по скважине 2097 — 22,4%, по скважине 2989 — 96,2%; до 2006—2007 гг. обе скважины эксплуатировались на ШГН. По скважине 2097 за период 1999—2006 гг. средний дебит жидкости составил 4,4 т/сут с обводненностью 25,9%; в мае 2006 года был выполнен ГРП с массой пропанта 34,4 т, после которого дебит жидкости увеличился до 23,0 т/сут с обводненностью 82,8%. За период июнь 2006 — декабрь 2016 года дебит жидкости увеличился до 61,6 т/сут при обводненности 97,6%.

Были построены графики динамики разработки залежи 15 по скважинам 4407, 2097, 2989, 2123 (рис. 3). По трем из четырех представленных скважин конечная обводненность составила от 80 до 97%.

Как видно из полученных графиков, при незначительных дебитах нефти обводненность колебалась в диапазоне значений от 16,7 до 98,2%. По скважине 2097 наблюдался резкий скачок обводненности после проведения ГРП в 2006 году. Скважина 2989 остановлена в 2007 году из-за низкого дебита и высокой обводненности и находится в консервации. Почти на всех скважинах в разное время проводился гидроразрыв пласта, что приводило к резкому увеличению значений обводненности при наличии незначительного роста показателей отбора нефти. КИН на 2017 год равен 0,007 при утвержденном значении 0,221, в действующем фонде находятся две скважины, залежь не введена в промышленную разработку. На выкопировках карт по залежи можно проследить изменения за период эксплуатации (рис. 4, 5).

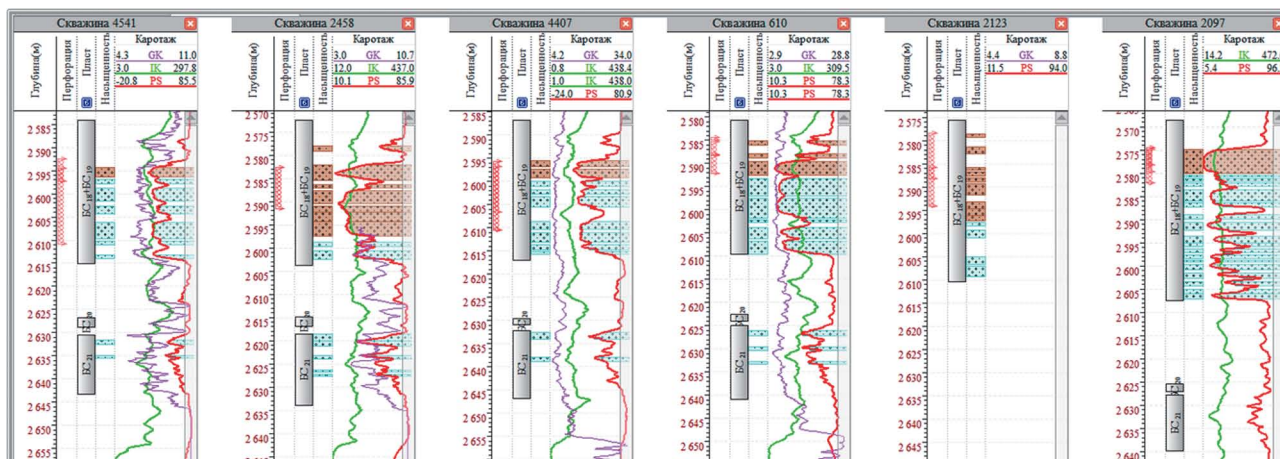


Рис. 2. Каротажные диаграммы по скважинам 4541, 2458, 4407, 610, 2123, 2097

Fig. 2. Logging diagrams for wells 4541, 2458, 4407, 610, 2123, 2097

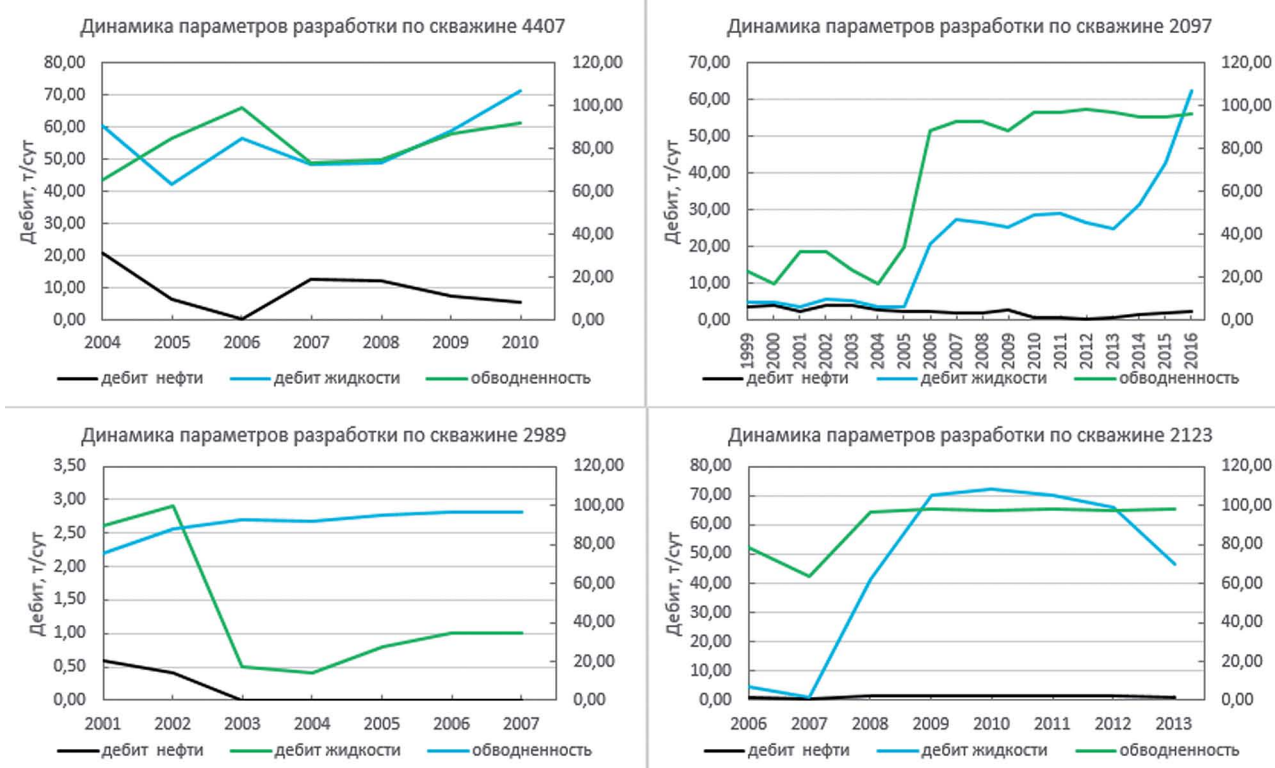


Рис. 3. Динамика разработки по скважинам 4407, 2097, 2989, 2123

Fig. 3. Development dynamics for wells 4407, 2097, 2989, 2123

Довольно неоднозначные показатели разработки можно объяснить сложностями геологического строения. Такого же мнения придерживается компания-недропользователь. Залежи объекта БС<sub>18—19</sub> характеризуются достаточно высокими показателями начальной водонасыщенности, характерной особенностью залежи 15 является подстилание подошвенной водой пласта, что ведет к быстрому обводнению продукции после проведения ГРП. Также добыча в значительной мере осложняется низкими ФЕС коллекторов и геологической неоднородностью пластов.

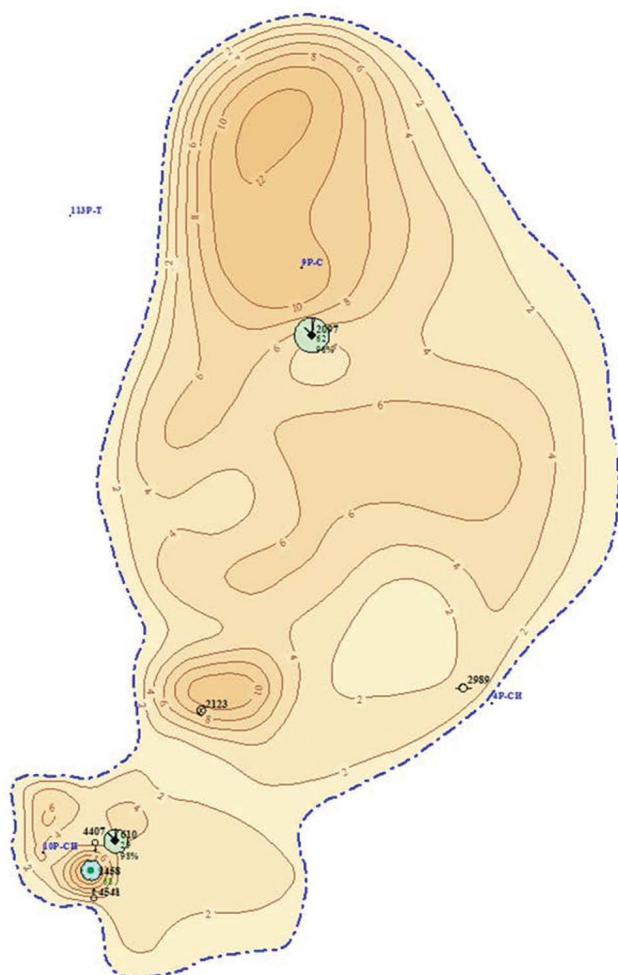
Еще одной причиной низких показателей разработки может являться ошибка при геометризации залежи и определении водонефтяного контакта (ВНК). Если обратить внимание на каротажные диаграммы, представленные выше (рис. 2), можно заметить одну характерную черту: интервалы перфорации охватывают не только зону нефтенасыщения, но также зоны смешанного и водонасыщения. Ситуация с некорректной перфорацией продуктивных интервалов является типичной для многих месторождений Западной Сибири.

Третья причина больших скачков обводненности может заключаться в недостаточно

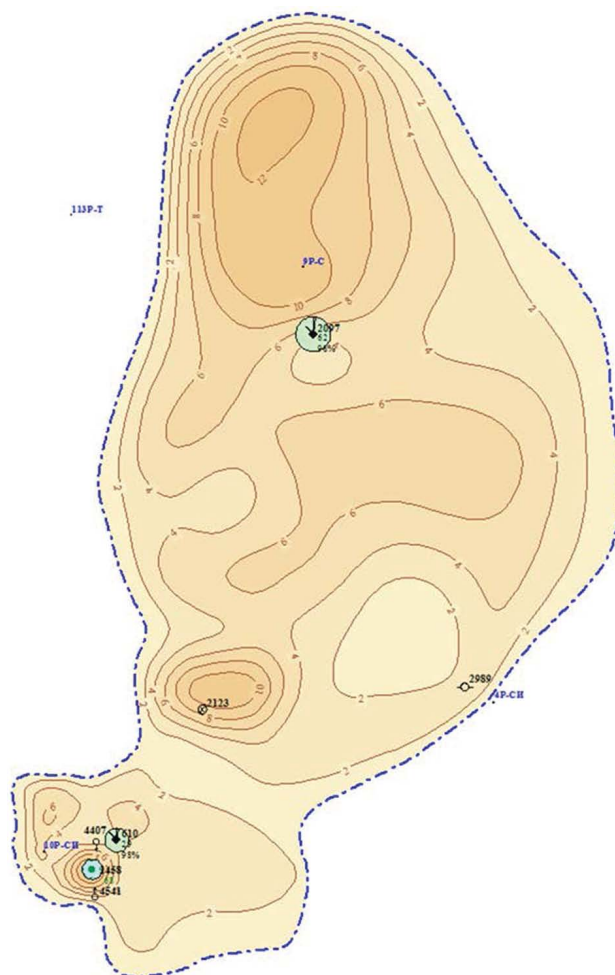
обоснованном подходе к выбору геолого-технологических мероприятий (ГТМ), к которым также относится гидроразрыв пласта. Стоит отметить, что на объекте также проводилась соляно-кислотная обработка и обновление механизированного фонда скважины. Данные меры принимались уже после получения неудовлетворительных показателей и скачков обводненности. Таким образом, возникают сомнения в целесообразности принятых мер по увеличению нефтеотдачи и интенсификации притока [2, 4, 8]. ГРП направлен на быстрое увеличение притока нефти, но в рассмотренных выше ситуациях не является оптимальным решением для долгосрочной разработки. Возникает необходимость в выявлении других способов влияния на пласт с целью прироста КИН.

### Выводы

Суммируя вышесказанное, можно сформулировать один общий вывод: при разработке объектов разного масштаба, отличающихся сложным геологическим строением, низкими ФЕС породы-коллектора и высокой начальной водонасыщенностью, применение ГРП может быть



**Рис. 4.** Выкопировка из карты по залежи 15 на начало разработки  
**Fig. 4.** A copy of the map for deposit 15 at the beginning of development



**Рис. 5.** Выкопировка из карты по залежи 15 на 2017 год  
**Fig. 5.** A copy of the map for deposit 15 for 2017

неэффективно в долгосрочной перспективе. Остаточные запасы нефти в высокообводненных пластах, а также углеводороды в недонасыщенных коллекторах могут в будущем в совокупности с другими категориями трудноизвлекаемых и нетрадиционных источников углеводородного сырья

поддерживать необходимые темпы добычи [10—12, 17, 18]. Для реализации концепции рационального природопользования необходимо исследовать, разрабатывать и внедрять новые технологии, направленные на наиболее полное и безопасное извлечение углеводородного сырья [9, 13—16].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вайнштейн А.Л. Обоснование выбора параметров работы добывающей скважины при выводе на режим после гидроразрыва пласта для сохранения долгосрочной проводимости трещины // ПРОНЕФТЬ. 2022. № 1. С. 3040.
2. Галеев Р.Г. Повышение выработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья. М.: КУБК-а, 1997. 352с.
3. Гурари Ф.Г. Строение и условия образования клиноформ неокома Западно-Сибирской плиты. Новосибирск: СНИИГГИМС, 2003. 141 с.
4. Мандрик И.Э., Панахов Г.М., Шахвердиев А.Х. Научно-методические и технологические основы оптимизации процесса повышения нефтеотдачи пластов. Москва: Издательство «Нефтяное хозяйство», 2010. 288 с.
5. Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче: системный анализ, диагноз, прогноз. М.: Наука, 1997. 254 с.
6. Севастьянов А.А. Оценка кондиционности



- запасов ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры // Академический журнал Западной Сибири. 2016. Т. 12, № 1(62). С. 24.
7. Севастьянов А.А., Коровин К.В., Зотова О.П., Зубарев Д.И. Особенности геологического строения ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 195—199.
  8. Шахвердиев А.Х.О., Арефьев С.В. Влияние фактора времени на показатели процесса разработки нефтяных месторождений // Вестник РАН. 2021. Т. 21. № 4. С. 45—52.
  9. Шахвердиев А.Х., Арефьев С.В., Давыдов А.В. Проблемы трансформации запасов углеводородного сырья в нерентабельную техногенную категорию трудноизвлекаемых // Нефтяное хозяйство. 2022. № 4. С. 38—43.
  10. Шахвердиев А.Х., Денисов А.В. Проблемы рационального использования попутного нефтяного газа // Вестник РАН. 2011. № 5. С. 55.
  11. Шахвердиев А.Х.О., Денисов А.В., Собаев А.Г., Шахвердиев Э.А. Оптимизация нестационарного заводнения нефтяных залежей с использованием модели роста // Вестник РАН. 2019. Т. 19. № 1. С. 21—25.
  12. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Аббасов Г.М., Омрани А. Газодинамическая десорбция газа в условиях внутрипластовой генерации диоксида углерода // Вестник РАН. 2010. Т. 10. № 1. С. 25—28.
  13. О возможности регулирования вязкостной аномалии в гетерогенных смесях / Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Аббасов Э.М., Расулова С.Р.Г. // Вестник РАН. 2014. Т. 14. № 1. С. 28—33.
  14. Шахвердиев А.Х., Панахов Г.М., Ренки Ц., Аббасов Э.М., Денисов А.В. Эффективность реогазохимической технологии ПНП на основе внутрипластовой генерации CO<sub>2</sub> опыт применения на месторождениях КНР // Вестник РАН. 2012. Т. 12. № 4. С. 73-81.
  15. Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация нестационарного заводнения с целью повышения нефтеотдачи пластов // Нефтяное хозяйство. 2019. № 1. С. 44—49.
  16. Шахвердиев А.Х. Системная оптимизация процесса разработки нефтяных месторождений. М.: Недра. 2004. 452 с.
  17. Шахвердиев А.Х. О включении высокообводненных запасов недонасыщенных нефтью коллекторов в категорию трудноизвлекаемых // Нефтяное хозяйство. 2023. № 4. С. 34—39.
  18. Gizzatullina A.A., Minnivaliev T.N., Mingulov I.Sh. Modeling the production of hard-to-recover oil reserves using thermal methods // MEACS, 2020. P. 1—8.

## REFERENCES

1. Vainstein A.L. Substantiation of the choice of parameters of the production well operation when switching to the mode after hydraulic fracturing to preserve the long-term conductivity of the crack // PRONEFT. 2022. No. 1. pp. 30—40.
2. Galeev R.G., Increasing the production of hard-to-recover hydrocarbon reserves. M.: KUBK-a, 1997. 352 p.
3. Gurari F.G., Structure and conditions of formation of Neocomal clinoforms of the West Siberian plate. Novosibirsk: SNIGGIMS, 2003. 141 p.
4. Mandrik I.E., Panakhov G.M., Shakhverdiev A.H. Scientific, methodological and technological bases for optimizing the process of enhanced oil recovery. Moscow: Publishing House «Oil Economy», 2010. 288 p.
5. Mirzajanzade A.H., Shakhverdiev A.H. Dynamic processes in oil and gas production: system analysis, diagnosis, forecast. M.: Nauka, 1997. 254 p.
6. Sevastyanov, A.A., Assessment of the conditionality of the reserves of Achimov deposits on the territory of KhMAO-Yugra // Academic Journal of Western Siberia. — 2016. Vol. 12, No. 1(62). p. 24.
7. Sevastyanov A.A., Korovin K.V., Zotova O.P., Zubarev D.I. Features of the geological structure of the Achimov deposits on the territory of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug-Yugra // Uspekhi sovremennogo naturalizatsii. 2016. No. 8. pp. 195—199.
8. Shakhverdiev A.H.O., Arefyev S.V. The influence of the time factor on the indicators of the oil field development process // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — 2021. Vol. 21. No. 4. pp. 45—52.
9. Shakhverdiev A.H., Arefyev S.V., Davydov A.V., Problems of transformation of hydrocarbon reserves into an unprofitable technogenic category of hard-to-recover // Oil economy. 2022. No. 4. pp. 38—43.
10. Shakhverdiev A.H., Denisov A.V. Problems of rational use of associated petroleum gas // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — 2011. No. 5. p. 55.
11. Shakhverdiev A.H.O., Denisov A.V., Sobaev A.G., Shakhverdiev E.A. Optimization of unsteady flooding of oil deposits using a growth model // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2019. Vol. 19. No. 1. pp. 21—25.
12. Shakhverdiev A.Kh., Panakhov G.M., Abbasov E.M., Abbasov G.M., Omrani A. Gas-dynamic gas desorption in the conditions of intraplastic generation of carbon dioxide // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — 2010. Vol. 10. No. 1. pp. 25—28.
13. On the possibility of regulating the viscosity anomaly in heterogeneous mixtures / Shakhverdiev A.H., Panakhov G.M., Abbasov E.M., Rasulova S.R.G. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — 2014. Vol. 14. No. 1. pp. 28—33.
14. Shakhverdiev A.Kh., Panakhov G.M., Renki Ts., Abbasov E.M., Denisov A.V. Efficiency of rheogasochemical technology of PNP based on in-situ CO<sub>2</sub> generation experience of application in the fields

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

- of China // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. — 2012. Vol. 12. No. 4. pp. 73—81.
15. Shakhverdiev A.H. System optimization of unsteady flooding in order to increase oil recovery of reservoirs // Oil economy. 2019. No. 1. pp. 44—49.
16. Shakhverdiev A.H. System optimization of the oil field development process. M.: Nedra. — 2004. 452 p.
17. Shakhverdiev A.H. On the inclusion of highly watered reserves of oil-saturated reservoirs in the category of hard-to-recover // Oil economy. 2023. No. 4. pp. 34—39.
18. Gizzatullina A.A., Minnivaliev T.N., Mingulov I.Sh. Modeling the production of hard-to-recover oil reserves using thermal methods // MEACS 2020. P. 1—8.

### ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Мажренова Т.Т. — систематизировала и проанализировала предоставленные материалы, разработала концепцию статьи и оформление.

Tomila T. Mazhrenova — systematized and analyzed the materials provided, developed the concept of the article and design.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Мажренова Томила Темировна**, студентка 3-го курса бакалавриата по направлению «Нефтегазовое дело», сотрудник кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

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

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

SPIN-код: 9947-5983

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-9148>

**Tomila T. Mazhrenova**, a 3rd-year undergraduate student in the direction of oil and gas business, an employee of the Department of Development and Operation of Oil and Gas Fields of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

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

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

SPIN-code: 9947-5983

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3684-9148>



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>  
УДК: 556.3, 624.131.1



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСЛАБЛЕННЫХ ЗОН С ПОЗИЦИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ

А.С. ГУСЕЛЬЦЕВ

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»  
2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, г. Москва 107140, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В последние десятилетия термин «ослабленная зона» получил широкое распространение в различных науках о Земле. Он широко используется в геологии, горном деле, геомеханике, тектонике, геодинамике, сейсмологии. Отсюда следует, что ослабленные зоны могут рассматриваться и трактоваться в довольно широком диапазоне, начиная от крупных разломных зон, включая зоны дилатансии, до зон с резко или довольно заметно изменяющимися физико-механическими свойствами. При этом цель изучения и учета таких зон также меняется, в том числе и в зависимости от масштаба исследований.

**Цель.** Рассмотреть структуры, широко используемые под термином «ослабленные зоны», но не получившие до сих пор четкого определения и классификации. Дать определение «ослабленная зона» с позиций гидрогеологии и инженерной геологии.

**Материалы и методы.** Основой для статьи послужили результаты многолетней работы автора в качестве эксперта по выбору площадок расположения объектов атомной энергии. Основными методами являлись сбор, систематизация и обработка информации, полученной автором в ходе полевых, лабораторных и камеральных исследований.

**Результаты.** Рассмотрены структуры, которые в науках о Земле получили термин «ослабленная зона», используемый применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. Приведено определение «ослабленная зона» с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Рассмотрены комплексные факторы, указывающие на наличие ослабленных зон и возможные негативные последствия для инженерных сооружений.

**Закключение.** В статье обоснована необходимость учета понятия «ослабленная зона» при детальном изучении территории расположения инженерных объектов. Отмечено, что при детальном изыскании ключом к количественной оценке характеристик слабых зон в дисперсных грунтах является корректная оценка пространственной изменчивости параметров грунтов, главным образом плотности сухого грунта и пористости.

**Ключевые слова:** ослабленные зоны, слабопроницаемые грунты, загрязнение подземных вод, пространственно-временная изменчивость характеристик грунтов, разрывы сплошности

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

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

**Для цитирования:** Гусельцев А.С. Определение ослабленных зон с позиций инженерной геологии и гидрогеологии. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2023;65(4):89—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>

Статья поступила в редакцию 30.08.2023

Принята к публикации 26.09.2023

Опубликована 28.09.2023



## DEFINITION OF WEAKENED ZONES FROM THE STANDPOINT OF ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY

ALEXANDR S. GUSELTSEV

*Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety  
2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia*

### ABSTRACT

**Background.** In recent decades, the concept of weakened zones has become widespread in various fields of Earth science. Thus, this concept is currently used in geology, mining, geomechanics, tectonics, geodynamics, and seismology. As a result, weakened zones can be considered and interpreted both as large fault zones, including dilatancy zones, and zones with sharply or quite noticeably changing physical and mechanical properties. At the same time, the purpose of studying and recording such zones also changes, depending on particular research tasks.

**Aim.** To consider structures that are widely termed as weakened zones, although having received no clear definition and classification. To provide a definition of this term from the standpoint of hydrogeology and engineering geology.

**Materials and methods.** The research basis was formed by the author's long-term experience in the selection of sites for the location of nuclear energy facilities. The main methods included collection, generalization, and processing of information obtained by the author during fieldwork and laboratory research.

**Results.** The author considers structures that are termed as weakened zones in Earth sciences, concerning a fairly wide range of structures and conditions of mountain ranges and soils. A definition of a weakened zone from the standpoint of hydrogeology and engineering geology is proposed. Various factors indicating the presence of weakened zones and possible negative consequences for engineering structures are considered.

**Conclusion.** The concept of weakened zones should be taken into consideration when conducting detailed surveys of areas for the location of engineering facilities. It is noted that, when carrying out detailed surveys, the key to quantifying the characteristics of weakened zones in dispersed soils consists in a correct assessment of the spatial variability of soil parameters, largely the density of dry soil and porosity.

**Keywords:** weakened zones, weakly permeable soils, groundwater pollution, spatial and temporal variability of soil characteristics, discontinuities

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

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

**For citation:** Guseltsev A.S. Definition of weakened zones from the standpoint of engineering geology and hydrogeology. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2023;65(4):89—96. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-4-89-96>

*Manuscript received 30 August 2023*

*Accepted 26 September 2023*

*Published 28 September 2023*

В последние десятилетия термин «ослабленная зона» получил широкое распространение в различных науках о Земле. Он широко используется в геологии, горном деле, геомеханике, тектонике, геодинамике, сейсмологии.

К ослабленным зонам приурочивается развитие рудоносных провинций гидротермального типа, где на участках повышенной тектонической активности по многочисленным мелким тре-

щинам из окружающей среды поступают рудоносные растворы [11].

Установлено, что над месторождениями (залежами) углеводородов имеются обширные субвертикальные ослабленные зоны различных наложенных друг на друга систем трещиноватости, по которым осуществляется интенсивная вертикальная миграция углеводородов к земной поверхности [2].

К этому можно добавить, что установленным является факт приуроченности месторождений указанных генетических типов к структурам, сформированным так называемыми магистральными разломами.

По данным камчатских ученых анализ пространственного размещения вулканов показывает, что если они формируются в зонах разломов, то группируются в ослабленных зонах, которые являются узлами пересечения разнонаправленных разломов.

Известно, что при освоении месторождений подземным способом в горных выработках почти сразу выявляются ослабленные зоны, где горный массив является подвижным или квазиустойчивым. Отдельные области массива в местах пересечения подвижных зон с выработками становятся водопроницаемыми и неустойчивыми. Возникновение трещин обусловлено различного рода напряжениями, возникающими при движении земной коры. Поскольку ослабленные зоны легко поддаются воздействию выветривания, не вызывает сомнения, что они, как и разломы и трещины, играют важную роль в формировании рельефа и гидрографической сети [7, 8].

Очевидно, что для выделения таких зон применимы все методы дистанционного и не дистанционного зондирования (дешифрирование космических и аэрофотоснимков, структурно-морфологические, геологические, геофизические, гидрогеологические и инженерно-геологические методы). В то же время ослабленные зоны занимают определенное место в иерархии уровней, используемых, к примеру, при структурно-геоморфологическом анализе (локальные, региональные и глобальные).

Считается, что наиболее чувствительным к тектоническим движениям экзогенным процессом является водная эрозия. Поэтому любые ослабленные зоны, например зоны повышенной трещиноватости, подвергаются эрозии в первую очередь, на них закрепляется гидросеть и они обнаруживают себя в рельефе в виде эрозионных ложбин разной масштабности.

Не вызывает сомнения, что такие зоны весьма интересны с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Для ослабленных зон, как уже отмечалось, характерна повышенная трещиноватость, дезинтеграция и водонасыщенность пород. Вдоль них активно развивается карст, наблюдаются интенсивные водоперетоки, устанавливается гидравлическая связь поверхностных и подземных вод. В результате всех этих явлений в зонах влияния разрывных нарушений наблюдается разуплотнение

и оседание вышележащих грунтов, инфильтрация поверхностных загрязнителей в водоносные горизонты питьевого назначения, формирование ландшафтных аномалий с высокими концентрациями химических элементов и веществ различных классов опасности на геохимических барьерах. В зонах влияния разломов часто наблюдаются деформации земной поверхности, приводящие к нарушениям целостности зданий, сооружений, дорог, трубопроводов, формирование аномалий радиоактивного газа радона в покровных отложениях над разломами и т.д. [1].

Инженерами-геологами и гидрогеологами термин «ослабленная зона» также используется на протяжении последних десятилетий и часто ассоциируется с зонами разуплотнения, пониженных прочностных и деформационных характеристик грунтов, развития экзогенных процессов, зон повышенной пористости и проницаемости.

В литературе, посвященной решению гидрогеологических и инженерно-геологических задач, вопросы повышенной проницаемости, миграции, развития различных экзогенных процессов всегда увязывались с тектоническими условиями, геодинамическим режимом, напряженно-деформированным состоянием грунтового массива (Гольдберг В.М., 1984, 1987; В.А. Мироненко, Румынин В.Г., 1998, 1999, 2020; Сергеев Е.М., Варга А.А., Бондарик Г.К., Зиангиров Р.С., Голодковская Г.А., Золотарев Г.С., Осипов В.И. и др., 1985; Кац Я.Г., Кутепов В.М., 1986; Хоменко В.П., 1987; Пашкин Е.М., Панкратов А.В., 2002; Несмеянов С.А., 2004, и др.).

### Ослабленные зоны как объект исследований

Из всего сказанного следует, что понятие «ослабленные зоны» используется в науках о Земле применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. К ослабленным зонам причисляют:

- тектонически нарушенные зоны,
- зоны субпараллельного расщепления разломов,
- зоны трещиноватости,
- узлы пересечения разломов,
- узлы пересечения трещин,
- зоны разуплотнения пород и грунтов,
- зоны дилатансии,
- зоны влияния разрывных нарушений, вызывающие разуплотнение и оседание перекрывающих грунтов, часто служащих несущим основанием различных объектов,
- подвижные, квазиустойчивые, неустойчивые зоны горного массива и пр.

Отсюда следует, что ослабленные зоны могут рассматриваться и трактоваться в довольно широком диапазоне, начиная от крупных разломных зон, включая зоны дилатансии (в основном скальные и слабо литифицированные дисперсные грунты), до зон с резко или довольно заметно изменяющимися физико-механическими свойствами (дисперсные грунты). Зоны дилатансии, как уже упоминалось, это приразрывные зоны разгрузки напряжений, сопровождающиеся изменениями в физико-механических характеристиках слагающих их пород. При этом цель изучения и учета таких зон также меняется, в том числе и от масштаба исследований [8].

Несмотря на достаточно широкое использование термина «ослабленная зона», в литературе довольно редко встречаются его определения. Вот некоторые из них, используемые в инженерной геологии.

Ослабленная зона (при рассмотрении карстово-суффозионных процессов) — зона в покровных отложениях, соответствующая зоне деформаций (обрушения) этих отложений и их ослабления вокруг зоны деформаций (обрушения) [10].

Ослабленная зона — это локальный участок в зоне техносферного влияния, где может происходить или уже произошло аномальное снижение несущих свойств грунтов по сравнению с окружающими грунтами того же типа с последующим негативным проявлением этих свойств по отношению к зданиям и инженерным сооружениям [3].

Оба определения используются применительно к определенным объектам исследования в инженерной геологии и по этой причине не могут быть универсальными. Наиболее приемлемой представляется такая формулировка: ослабленная зона — это область грунта (породы), где имеет место закономерное пространственно-временное изменение его инженерно-геологических и гидрогеологических характеристик по направлению от зон со слабо выраженными изменениями до зон максимальных изменений или границ распространения (разрывы сплошности массива, скрытые и открытые гидрогеологические границы). Классификации ослабленных зон на сегодня не существует.

Ослабленные зоны часто увязываются со структурно-тектоническими построениями на рассматриваемой территории. Это не совсем корректно, т.к. такие зоны могут также развиваться на границе сред вследствие геолого-литологических неоднородностей и пространственно-временной изменчивости характеристик грунтового массива.

При этом необходимо также учитывать корректность таких построений и информативность результатов инженерно-геологических изысканий.

В зависимости от масштаба исследований и слагающего субстрата такие зоны так же, как структурно-тектонические, геоморфологические, геоэкологические объекты, обладают соответствующей иерархией и соподчиненностью.

Соответствующими рангу таких структур и их активности оказываются и масштабы их влияния на различные инженерные сооружения и объекты. Поэтому не вызывает сомнения роль таких структур при оценке инженерно-геологических условий территории и необходимость их изучения на всех этапах инженерно-геологических изысканий [9].

В таких зонах более интенсивно проявляется пространственно-временная изменчивость геологической среды и характеристик геологического поля. Пространственная изменчивость характеристик обусловлена распределением сил, вызывающих разуплотнение или упрочнение, а временная — изменением их величины и направленности во времени. Ослабленные зоны, в свою очередь, являясь следствием процессов разуплотнения (дилатансии), представляются структурами, в объеме которых плотностные и прочностные характеристики горных пород и грунтов ниже, чем в окружающем их массиве. Соответственно, пористость, трещиноватость и проницаемость в них увеличиваются.

Нельзя также обойти вопрос об «активности» таких структур. В том случае, когда они отождествляются с тектоническими нарушениями и разломами, это понятие, несмотря на множество нерешенных вопросов, достаточно устоялось. Оно, в частности, ассоциируется с сейсмической и геодинамической активностью, ролью тектонических нарушений в энерго- и массопереносе и связанными с этим ландшафтными аномалиями, экологическими проблемами, проявлением экзогенных и инженерно-геологических процессов.

Что касается «активности» таких зон в дисперсных и слабопроницаемых грунтах, то она проявляется в первую очередь в увеличении в ее пределах инфильтрации воды и других флюидов, а следовательно, в локализации экологических (к примеру, проникновения и накопления радона), экзогенных и инженерно-геологических процессов: деформаций земной поверхности, суффозии, образования просадочных воронок, оврагообразования и в конечном счете деформации и/или разрушения зданий. Отсюда следует, что если такая ослабленная зона не выделена,

к примеру, на момент изысканий на основе общепринятых методик (СП, ГОСТ и пр.), то в последующем под воздействием природных и техногенных факторов характеристики грунтов в пределах этой зоны могут ухудшиться. С определенного момента она может стать фактором геологического риска и сыграть негативную роль при строительстве и эксплуатации объекта.

С другой стороны, признавая связь таких зон с указанными явлениями и процессами, подчас не удается ответить на простой вопрос: почему тот или иной процесс происходит именно здесь, а не в другом месте, проследить направление и масштабы его развития, спрогнозировать возможные объемы охвата и время развития. Причина, вероятно, в том, что математический аппарат, позволяющий моделировать и прогнозировать различные процессы в инженерной геологии и гидрогеологии, применяется в основном при работе с уже имеющими место и достаточно хорошо изученными событиями, без учета возможности наличия ослабленных зон, их масштаба и пороговых характеристик. В то же время при всей очевидности в необходимости выделения таких зон методически это не отработано. Но если на основе принятых методик такие зоны выделить не получается, то резонно встает вопрос — как это делать? На самом деле проблема лежит не в плоскости отсутствия методики как таковой, а в более осмысленном применении тех знаний, которые уже достигнуты в науках о Земле, но на качественно новом уровне, в придании этому процессу упорядоченного и законченного алгоритма. Требуется и некоторое изменение правил, к примеру, опробования грунтов. Связано это, очевидно, с отсутствием четкого определения и классификации таких зон и их места в пантеоне геологических объектов, а также геометрических и физических границ их определения.

Когда речь идет об ослабленных зонах — зонах разуплотнения скальных и полускальных грунтов, залегающих с поверхности земли или перекрываемых дисперсными грунтами небольшой мощности, то такие зоны часто ассоциируются с зонами разрыва сплошности, в роли которых выступают разрывные нарушения различного ранга или их ассоциации, а также связанные с ними зоны дилатансии.

Под разрывами сплошности в данном случае понимается весь ряд нарушений тектонического и нетектонического характера. Существует ряд шкал, ранжирующих разрывные, в основном тектонические, нарушения. Например,

шкала Кайе — Пиотровского, используемая в основном при выделении зон вероятных очагов землетрясений (ВОЗ) при оценке территорий размещения объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) (табл. 1) [11].

В соответствии с ней земную кору и верхнюю мантию рекомендуется рассматривать как дискретно-иерархическую структуру, каждый блок которой состоит из более мелких блоков и сам, в свою очередь, является частью более крупного блока. Переход от блоков одного порядка к следующему выражается чередованием отношений их максимальных размеров, кратных 3,3 и 3. Сразу следует отметить, что с уменьшением размеров блоков указанный коэффициент может уменьшаться.

Наиболее интересными для рассматриваемой проблемы являются нарушения, отвечающие примерно IX—XII рангам по указанной шкале. Почему интересны именно IX—XII ранги? Причина заключается в том, что при инженерных изысканиях, особенно для крупных и промышленно опасных объектов, к которым, в частности, относятся ОИАЭ, ранги с X по XVI и более изучаются достаточно пристально, с использованием аэро-космофотоснимков, геологических и геофизических методов. Ранги IX—XII, как правило, если и попадают в поле зрения исследователей, то им практически не уделяется внимания с точки зрения изучения ослабленных зон. Не зря в РБ-019-18 эта шкала дана в усеченном виде, начиная с X ранга. Ранги с I по VIII также представляют интерес, но могут исследоваться только в составе специальных работ, выполняемых в ограниченных объемах (котлованы, шурфы, канавы и пр.) или в лабораторных условиях, т.к. затрагивают детальный уровень вплоть до размеров кристалла.

Совсем по-другому обстоят дела при оценке изменчивости геологического параметра дисперсных и слабопроницаемых грунтов. Здесь в первую очередь необходимо учитывать то, что не все характеристики практически могут быть оценены с достаточной точностью. Это касается в основном механических характеристик грунтов и объясняется большим влиянием случайных составляющих при их определении. Поэтому необходимо выделить те характеристики, которые играют ведущую роль при формировании параметров и характеристик, участвующих, к примеру, в расчетах деформации основания и устойчивости сооружения [6].

В этом смысле согласно [5] наиболее удобными, не очень зависимыми от точности определения и в то же время находящимися в тесной связи



**Таблица 1.** Порядок, ранг и протяженность сейсмогенных структур, масштаб исследований и виды работ по уточнению геодинамических и сейсмических условий площадки объекта использования атомной энергии  
**Table 1.** The order, rank and extent of seismogenic structures, the scope of research and types of work to clarify the geodynamic and seismic conditions of the site of the nuclear facility

| Масштабность структуры | Порядок | Ранг | Протяженность, км | Масштаб исследований     | Виды работ |
|------------------------|---------|------|-------------------|--------------------------|------------|
| Планетарная            | XVIII   | 1    | 10 000—20 000     | 1: 50 000 000            | ОСР        |
|                        | XVII    | 2    | 3000—6000         | 1: 50 000 000            | ОСР        |
| Региональная           | XVI     | 3    | 1000—2000         | 1: 5 000 000, 1: 500 000 | ОСР        |
| Местная                | XV      | 4    | 300—600           | 1: 500 000               | ДСР        |
|                        | XIV     | 5    | 100—200           | 1: 500 000               | ДСР        |
|                        | XIII    | 6    | 30—60             | 1: 500 000, 1: 50 000    | ДСР, УСТУ  |
| Местная, локальная     | XII     | 7    | 10—20             | 1: 50 000                | УСТУ       |
| Локальная              | XI      | 8    | 3—6               | 1: 50 000                | УСТУ       |
|                        | X       | 9    | 1—2               | 1: 50 000                | УСТУ       |

Примечание. Планетарная — структура, разделяющая литосферные плиты; региональная — крупнейшая структура в пределах литосферной плиты; местная — наиболее крупная структура в пределах регионального блока земной коры; локальная — наиболее крупная структура в пределах местного блока земной коры, ОСР — общее сейсмическое районирование, ДСР — детальное сейсмическое районирование, УСТУ — уточнение сейсмотектонических условий.

Note. Planetary — a structure separating lithospheric plates; regional — the largest structure within the lithospheric plate; local — the largest structure within the regional block of the earth's crust; spote — the largest structure within the local block of the earth's crust, OSR — general seismic zoning, DSR — detailed seismic zoning, USTU — clarification of seismotectonic conditions.

с другими характеристиками, часто определяя их величину, являются пористость и плотность сухого грунта. При этом, как уже отмечалось, пористость является также миграционным параметром, определяющим корректность процесса схематизации гидрогеологических условий. Другим положительным качеством этих характеристик является возможность получения достаточного количества их определений, позволяющего производить корректную статистическую обработку, предписанную [4].

В пункте 4.6 [4] указано, что статистическую обработку результатов испытаний выполняют для выделения инженерно-геологического элемента (ИГЭ) или расчетного геологического элемента (РГЭ). За ИГЭ принимают некоторый объем грунта одного и того же происхождения, подвида или разновидности (см. ГОСТ 25100) при условии, что значения характеристик грунта изменяются в пределах элемента случайно (незакономерно) либо наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь. В случае выявления закономерности должны выполняться требования 5.5 [4]. ИГЭ наделяют постоянными нормативными и расчетными значениями характеристик. Комплекс ИГЭ используют при создании инженерно-геологической модели объекта.

В пункте 5.5 [4] указано, что при наличии закономерного изменения характеристик грунтов

в каком-либо направлении следует решить вопрос о необходимости разделения предварительно выделенного ИГЭ на два или несколько новых ИГЭ.

Дополнительное разделение ИГЭ не проводят, если выполняется условие

$$V < V_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $V$  — коэффициент вариации, вычисляемый по п. 6.4;  $V_{\text{доп}}$  — допустимое значение, принимаемое равным для физических характеристик 0,15, для механических, а также для параметров зондирования 0,30.

Если коэффициенты вариации превышают указанные значения, дальнейшее разделение ИГЭ проводят так, чтобы для вновь выделенных ИГЭ выполнялось условие (1).

К сожалению, на практике указанные рекомендации часто не выполняются. Нарушается требование выборки только из генеральной совокупности рассматриваемой характеристики. Более того, значения определений, не попадающие в диапазон 3-х сигм ( $\sigma$ ), просто отбрасываются, а причина их появления не анализируется. Указанный документ [4] также способствует ситуации, когда наблюдающаяся закономерность такова, что ею можно пренебречь, а не пытаться понять причины.

К этому часто добавляется игнорирование предписанных нормативными документами работ, обязательных к выполнению и способствующих

выделению ослабленных зон (изучение материалов прошлых лет, структурно-тектонико-геоморфологические исследования, инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка, геофизические работы). Изъятие этих работ из номенклатуры предписанных и такая статистическая обработка, не позволяющая корректно показать пространственную изменчивость характеристик грунтов, повышают вероятность пропуска ослабленных зон. Это не значит, что игнорирование таких зон может пройти бесследно для объекта. И если они не проявляются в течение первых 30—50 лет, то могут проявить себя спустя длительное время. Примеры тому можно найти при оценке эксплуатационной пригодности памятников архитектуры. Но бывают проявления и в более короткое время.

Ключом для количественной оценки характеристик ослабленных зон является оценка пространственной, а в случае наличия временных срезов, пространственно-временной изменчивости характеристик пород и грунтов. Для этого она требует более точной пространственной оценки характеристик и должна опираться на использование статистики при оценке изменчивости по вертикальной координате и на ее основе построения карт изменчивости. В этом случае для дисперсных, и в частности глинистых, грунтов, кор выветривания необходимо менять методику опробования в плане увеличения количества точек опробования и их пространственной равномерности.

В процессе инженерно-геологических работ распределение точек опробования в плане несравнимо мало по отношению к точкам топографической съемки. Поэтому важно располагать такие точки с учетом рабочей гипотезы возможного проявления ослабленных зон, основанной на результатах указанных выше исследований. На площадках размещения объектов, если это возможно, наиболее оптимальной является разведка по сетке, при необходимости со сгущением на участках посадки зданий и сооружений.

При гидрогеологических исследованиях картина усугубляется еще более ограниченным числом определений проницаемости или коэффициента фильтрации ( $K_f$ ), которые весьма редко позволяют проводить статистическую обработку, не говоря о том, что точность определений гидрогеологических параметров достаточно низкая. Поэтому на участках детальной инженерно-геологической разведки лучше опираться на результаты оценки пространственной изменчивости пористо-

сти грунтов, установления корреляций между этими двумя характеристиками и построения на этой основе карт проницаемости.

### Заключение

Рассмотрены структуры, которые в науках о Земле получили термин «ослабленная зона», используемый применительно к достаточно широкому спектру структур и состояний горных массивов и грунтов. Такие зоны весьма интересны с позиций гидрогеологии и инженерной геологии. Для ослабленных зон характерна повышенная трещиноватость, дезинтеграция и водонасыщенность пород. Вдоль них активно развивается карст, наблюдаются интенсивные водоперетоки, устанавливается гидравлическая связь поверхностных и подземных вод. В результате всех этих явлений в зонах влияния разрывных нарушений наблюдается разуплотнение и оседание вышележащих грунтов, инфильтрация поверхностных загрязнителей в водоносные горизонты питьевого назначения, формирование ландшафтных аномалий с высокими концентрациями химических элементов и веществ различных классов опасности на геохимических барьерах. В зонах влияния разломов часто наблюдаются деформации земной поверхности, приводящие к нарушениям целостности зданий, сооружений, дорог, трубопроводов, формирование аномалий радиоактивного газа радона в покровных отложениях над разломами и т.д.

Показано, что зоны ослабления формируются вокруг разрывов сплошности геологической среды, которыми выступают трещины и разломы разных рангов. Такие зоны «просвечивают» через перекрывающие их рыхлые отложения, вызывая ослабление последних. Одним из результатов возникновения таких зон является пространственно-временная изменчивость физико-механических свойств грунтов и пород, повышение проницаемости, улучшающее миграцию различных флюидов, включая подземные воды. В совокупности такие явления получили термин «ослабленные зоны».

В зависимости от целей и масштаба исследований, слагающего субстрата, ранга и активности таких структур показаны основные направления и возможности изучения слабых зон. Отмечено, что при детальных изысканиях ключом к количественной оценке характеристик слабых зон в дисперсных грунтах является корректная оценка пространственной изменчивости параметров грунтов, главным образом плотности сухого грунта и пористости.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Алехин В.И.* Разломы земной коры как зоны экологического риска // Эл. журнал «Проблемы экологии». ДонНТУ. 2004. № 1—2.
2. *Белоносов А.Ю., Курчиков А.Р.* Технология комплексных исследований для поисков, разведки и доразведки нефтяных месторождений Западной Сибири // НИИГиГ ТюмГНГУ. Вестник недропользователя ХМАО, №7, 2001, с. 58—60.
3. *Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 263 с.
4. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
5. *Гусельцев А.С., Пендин В.В., Барулин Г.П., Горобцов Д.Н.* Оценка пространственной изменчивости свойств грунтов основания при размещении АЭС // Известия вузов. Геология и разведка. 2017. № 6. С. 35—41.
6. *Дмитриев В.В., Ярг Л.А.* Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 542 с.
7. *Ермаков Н.И.* Геомеханика и конкурентноспособность горных предприятий Урала. Екатеринбург: Институт горного дела УрОРАН, 2004.
8. *Макеев В.М., Гусельцев А.С., Кравченко И.М.* Проблема выявления ослабленных зон при изучении инженерно-геологических условий (на примере территории Бушерской АЭС) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2020. № 5.
9. *Пендин В.В., Гусельцев А.С.* Организация управления подземной гидросферой на объектах атомной энергетики (на примере АЭС Бушер) // Инженерная геология. 2006. Ноябрь. С. 21—32.
10. Руководство по безопасности при использовании атомной энергии «Оценка исходной сейсмичности района и площадки размещения объекта использования атомной энергии при инженерных изысканиях и исследованиях». РБ-019-18 (В редакции приказа Ростехнадзора от 11 мая 2018 г. № 208).
11. *Сотников В.И.* Основные тенденции развития теории рудообразования. Новосибирский государственный университет, Науки о Земле, 1996.

## REFERENCES

1. Alekhin V.I. Faults of the earth's crust as zones of environmental risk // El. magazine «Problems of Ecology». DonNTU. 2004. No. 1—2.
2. Belonosov A.Y., Kurchikov A.R. Technology of integrated research for prospecting, exploration and additional exploration of oil fields in Western Siberia // NIIGiG Tyumen State Oil and Gas University. Bulletin of the subsoil user of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug, No. 7, 2001, pp. 58—60.
3. Goldberg V.M., Gazda S. Hydrogeological foundations of underground water protection from pollution. M.: Nedra, 1984. 263 p.
4. GOST 20522-2012. Soils. Methods for statistical processing of test results.
5. Guseltsev A.S., Pendin V.V., Barulin G.P., Gorobtsov D.N. Assessment of spatial variability of the properties of foundation soils during the siting of nuclear power plants. Izvestiya vuzov. Geology and exploration. 2017. No. 6. P. 35—41.
6. Dmitriev V.V., Yarg L.A. Methods and quality of laboratory soil study: textbook. M.: KDU, 2008. 542 p.
7. Ermakov N.I. Geomechanics and competitiveness of mining enterprises in the Urals. Ekaterinburg: Institute of Mining URORAN, 2004.
8. Makeev V.M., Guseltsev A.S., Kravchenko I.M. The problem of identifying weakened zones when studying engineering-geological conditions (using the example of the territory of the Bushehr NPP) // Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology. 2020. No. 5.
9. Pendin V.V., Guseltsev A.S. Organization of underground hydrosphere management at nuclear power facilities (using the example of NPP «Bushehr») // Engineering Geology. 2006. November. pp. 21—32.
10. Safety Guide for the Use of Nuclear Energy «Assessment of the initial seismicity of the area and site of a nuclear facility during engineering surveys and research». RB-019-18 (As amended by Rostekhnadzor order dated May 11, 2018 No. 208).
11. Sotnikov V.I. Main trends in the development of the theory of ore formation. Novosibirsk State University, Geosciences, 1996.

## ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

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

Alexandr S. Guseltsev — developed 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 THE AUTHOR

**Гусельцев Александр Сергеевич** — канд. геол.-мин. наук, начальник лаборатории отдела учета внешних взаимодействий ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности». 2/8, к. 5, ул. Малая Красносельская, г. Москва 107140, Россия  
e-mail: [guseltsev@secnrs.ru](mailto:guseltsev@secnrs.ru)  
тел.: +7 (916) 577-54-03

**Alexandr S. Guseltsev** — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Head of the Laboratory of the Department of Accounting for External Interactions of the Scientific and Engineering Centre for Nuclear and Radiation Safety. 2/8, bld. 5, Malaya Krasnoselskaya str., Moscow 107140, Russia  
e-mail: [guseltsev@secnrs.ru](mailto:guseltsev@secnrs.ru)  
tel.: +7 (916) 577-54-03

