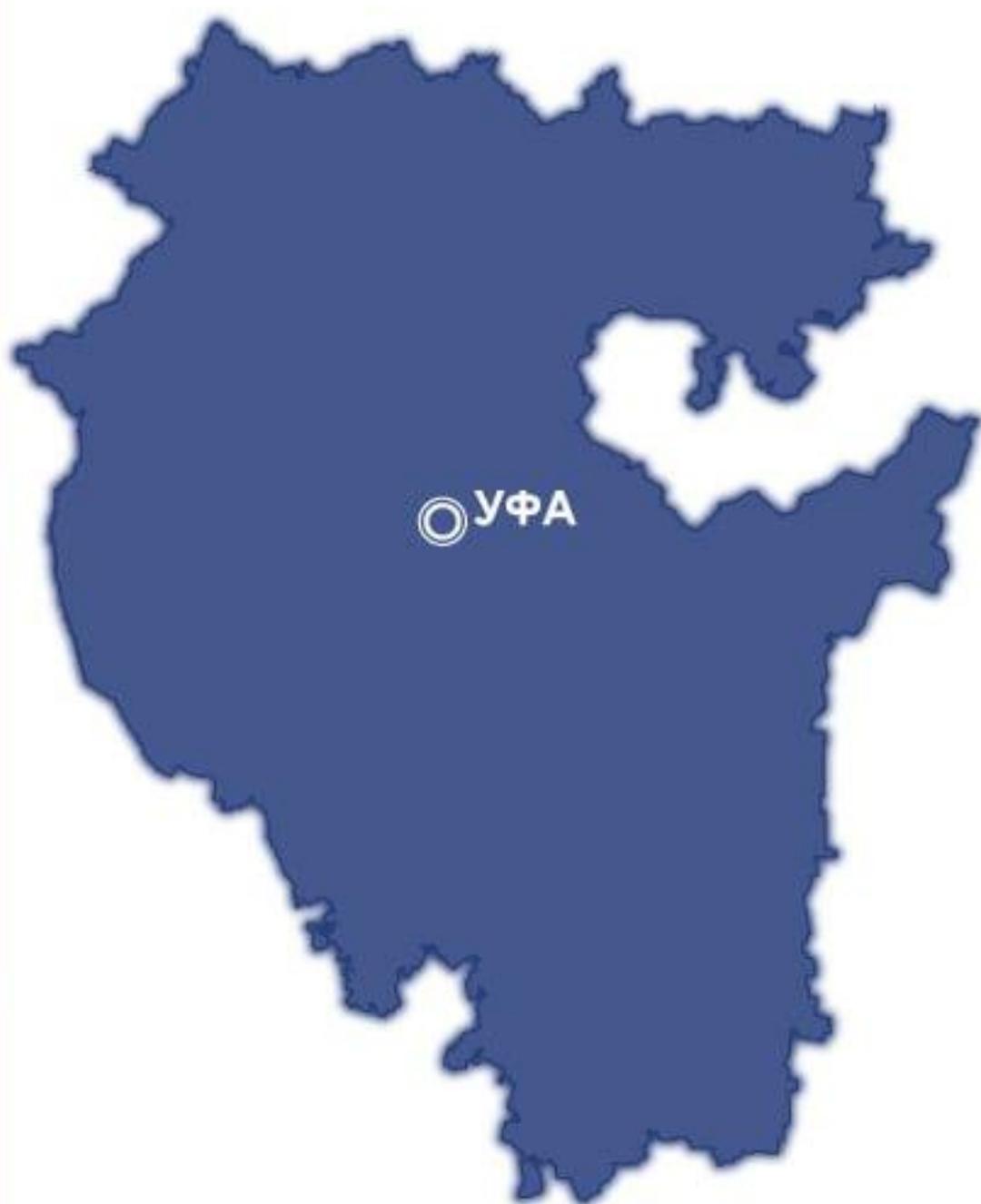


ГЕОЛОГИЯ

**АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**



**Известия Отделения наук
о Земле и природных ресурсов**

Сетевое издание
Учредитель и издатель:
Государственное бюджетное научное
учреждение
«Академия наук
Республики Башкортостан»

Online edition
Founder and Publisher:
State budgetary scientific institution
"Academy of Sciences
Republic of Bashkortostan"

**Геология. Известия
Отделения наук о Земле
и природных ресурсов**

**Geology. Proceedings
of the Department
of Earth Sciences
and Natural Resources**

16+

№ 2 (35), 2024
ЭЛ № ФС 77 – 85908 от 18.09.2023
Роскомнадзор (г.Москва)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2024-2

16+

№ 2 (35), 2024
EL No. FS 77 – 85908 dated 09/18/2023
Roskomnadzor (Moscow)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2024-2

**Уфа
2024**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

ВАЛИУЛЛИН Рим Абдуллович, академик-секретарь Отделения наук о Земле и нефтегазовых технологий, Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», академик Академии наук Республики Башкортостан; заведующий кафедрой геофизики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», доктор технических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

КУЗНЕЦОВА Альфия Рашитовна, начальник отдела по подготовке научных журналов, Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», доктор экономических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация

МАСАГУТОВ Рим Хакимович, член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог Российской Федерации, заслуженный геолог Республики Башкортостан, г. Уфа, Российская Федерация

САВЕЛЬЕВ Дмитрий Евгеньевич, Главный научный сотрудник, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АНДРЕЕВ Вадим Евгеньевич

Член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», доктор технических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация

БЕЛОГУБ Елена Витальевна

Заместитель директора по научной работе, ФГБУН «Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, доцент, г. Миасс, Челябинская область, Российская Федерация

БРУСНИЦЫН Алексей Ильич

Заведующий кафедрой минералогии, Институт наук о Земле ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», доктор геолого-минералогических наук, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ВИКЕНТЬЕВ Илья Владимирович

Главный научный сотрудник, Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии Российской академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г. Москва, Российская Федерация

ЗНАМЕНСКИЙ Сергей Евгеньевич

Заведующий лабораторией палеовулканологии и металлогении, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация

- ИБЛАМИНОВ**
Рустем
Гильбрахманович
КАЗАНЦЕВА
Тамара
Тимофеевна
- Профессор ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктор геолого-минералогических наук, доцент, г. Пермь, Российская Федерация
- Академик Академии наук Республики Башкортостан, Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан»; главный научный сотрудник, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация
- КИСИН**
Александр
Юрьевич
- Заведующий лабораторией геохимии и рудообразующих процессов, Институт геологии и геохимии им.акад. А.Н. Заварицкого, Уральское отделение Российской Академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация
- КИСЛОВ**
Евгений
Владимирович
- Ведущий научный сотрудник ФГБУН Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, г. Улан-Удэ, Российская Федерация
- КНЕЛЛЕР**
Леонид Ефимович
- Профессор кафедры разведки и разработки нефтяных и газовых скважин, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (филиал в г. Октябрьский), научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт геофизических исследований геологоразведочных скважин (г. Октябрьский), доктор технических наук, профессор, г. Октябрьский, Российская Федерация
- КОВАЛЕВ**
Сергей
Григорьевич
КОТЕНЕВ
Юрий Алексеевич
- Директор Института геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация
- Заведующий кафедрой «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация
- ЛОБАНКОВ**
Валерий
Михайлович
- Профессор кафедры «Геофизические методы исследований», ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», доктор технических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация
- МУСТАФИН**
Сабир Кабирович
- Профессор кафедры геологии, гидрометеорологии и геоэкологии, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация
- ПОПКОВ**
Василий Иванович
- Профессор кафедры нефтяной геологии, гидрогеологии и геотехники, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Краснодар, Российская Федерация
- ПУЧКОВ**
Виктор Николаевич
- Член-корреспондент Российской Академии наук, главный научный сотрудник Институт геологии и геохимии им.акад. А.Н. Заварицкого, Уральское отделение Российской Академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация

- ПРИЩЕПА**
Олег Михайлович
Заведующий кафедрой геологии нефти и газа, ФГБОУ ВО «Санкт-петербургский горный университет», доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
- САВЕЛЬЕВ**
Виктор Алексеевич
Заведующий кафедрой геологии нефти и газа, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Ижевск, Российская Федерация
- СНАЧЕВ**
Александр
Владимирович
Ведущий научный сотрудник, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», кандидат геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация
- УСПЕНСКИЙ**
Борис Вадимович
Заведующий кафедрой геологии нефти, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Казань, Российская Федерация
- ЧАЙКОВСКИЙ**
Илья Иванович
Заведующий лабораторией геологии месторождений полезных ископаемых, ФГБУН «Горный институт» Уральского отделения Российской академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г. Пермь, Российская Федерация
- ЧЕРНЫШОВ**
Алексей Иванович
Заведующий кафедрой петрографии Геолого-географического факультета, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Томск, Российская Федерация
- ШУМИЛОВ**
Александр
Владимирович
Профессор кафедры геофизики, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктор технических наук, доцент, г. Пермь, Российская Федерация.
- МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**
- АЖГАЛИЕВ**
Дулат Калимович
Руководитель научного центра по геологии, геофизике и геохимии, Некоммерческое акционерное общество «Атырауский университет нефти и газа им.Сафи Утебаева», доктор геолого-минералогических наук, доцент, г. Атырау, Республика Казахстан
- ЖОЛТАЕВ**
Герой Жолтаевич
Директор ТОО «Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Алматы, Казахстан

Журнал выходит 4 раза в год.

Учредитель, редакция и издатель: Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан».

Адрес учредителя, редакции и издателя:

450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Кирова, д. 15, каб.218.

Тел./Факс: +7 (347) 276-40-77.

Электронная почта: geology-akademia@yandex.ru

© Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», 2024

∞ ∞ ∞

Научные специальности, по которым публикуются статьи в сетевом издании

«Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов»

- 1.6.1 Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика
- 1.6.3 Петрология, вулканология
- 1.6.4 Минералогия, кристаллография. Геохимия. Геохимические методы поисков полезных ископаемых.
- 1.6.6 Гидрогеология
- 1.6.9 Геофизика
- 1.6.10 Геология, поиск, разведка твердых полезных ископаемых, минерагения
- 1.6.11 Геология, поиск, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений
- 1.6.21 Геоэкология
- 2.8.3 Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр
- 2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

THE EDITORIAL BOARD OF THE REVIEWED SCIENTIFIC PUBLICATION

- Editor-in-Chief:** **VALIULLIN** Rim Abdullovich, Academician-Secretary of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan; Head of the Department of Geophysics, Ufa University of Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
- Deputy Editor-in-Chief:** **KUZNETSOVA** Alfiya Rashitovna, Head of the Department for the preparation of scientific journals, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Economics, Professor, Ufa, Russian Federation
- MASAGUTOV** Rim Khakimovich, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Honored Geologist of the Russian Federation, Honored Geologist of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russian Federation
- SAVELYEV** Dmitry Evgenievich, Leading Researcher of the Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Ufa, Russian Federation

EDITORIAL BOARD:

- ANDREEV**
Vadim
Evgenievich Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
- BELOGUB**
Elena Vitalievna Deputy Director for Research, FSBSI "South Ural Federal Scientific Center for Mineralogy and Geoecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Miass, Chelyabinsk Region, Russian Federation
- BRUSNITSYN**
Alexey Ilyich Head of the Department of Mineralogy, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, St. Petersburg, Russian Federation
- VIKENT'EV**
Ilya Vladimirovich Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Moscow, Russian Federation
- ZNAMENSKY**
Sergey Evgenievich Head of the Laboratory of Paleovolcanology and Metallogeny, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Ufa, Russian Federation
- IBLAMINOV**
Rustem
Gilbrakhmanovich Professor of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Perm State National Research University", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Perm, Russian Federation
- KAZANTSEVA**
Tamara
Timofeevna Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan"; Chief Researcher, Institute of Geology, Ufa Federal Research

	Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Ufa, Russian Federation
KISIN Alexander Yurievich	Head of the Laboratory of Geochemistry and Ore Forming Processes, Institute of Geology and Geochemistry named after V.I. acad. A.N. Zavaritsky Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation
KISLOV Evgeny Vladimirovich	Leading Researcher, Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation
KNELLER Leonid Efimovich	Professor of the Department of Exploration and Development of Oil and Gas Wells, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technological University" (branch in Oktyabrsky), Research and Design Institute for Geophysical Research of Geological Exploration Wells, Doctor of Technical Sciences, Professor, Oktyabrsky, Russian Federation
KOVALEV Sergey Grigorievich	Director of the Institute of Geology of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
KOTENEV Yuri Alekseevich	Head of the Department "Geology and Exploration of Oil and Gas Fields", FSBEI HE "Ufa State Petroleum Technological University", Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
LOBANKOV Valery Mikhailovich	Professor of the Department of Geophysical Methods of Research, FSBEI HE "Ufa State Petroleum Technological University", Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
MUSTAFIN Sabir Kabirovich	Professor of the Department of Geology, Hydrometeorology and Geoecology, Ufa University of Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
POPKOV Vasily Ivanovich	Professor of the Department of Petroleum Geology, Hydrogeology and Geotechnics, Kuban State University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Krasnodar, Russian Federation
PRISHCHEPA Oleg Mikhailovich	Head of the Department of Geology of Oil and Gas, St. Petersburg Mining University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, St. Petersburg, Russian Federation
PUCCHKOV Viktor Nikolaevich	Chief Researcher of the Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation
SAVELYEV Viktor Alekseevich	Head of the Department "Geology of Oil and Gas", Institute of Oil and Gas named after M.S. Gutserieva, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Izhevsk, Russian Federation
SNACHEV Aleksandr Vladimirovich	Leading Researcher of the Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Ufa, Russian Federation
USPENSKY Boris Vadimovich	Head of the Department of Petroleum Geology, Kazan (Volga Region) Federal University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Kazan, Russian Federation

CHAIKOVSKY
Ilya Ivanovich Head of the Laboratory of Geology of Mineral Deposits of the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Perm, Russian Federation

CHERNYSHOV
Alexey Ivanovich Head of the Department of Petrography of the Faculty of Geology and Geography, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research Tomsk State University", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Tomsk, Russian Federation

SHUMILOV
Aleksandr
Vladimirovich Professor of the Department of Geophysics, Perm State National Research University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm, Russian Federation

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

AZH GALIEV
Dulat Kalimovich Head of the Scientific Center for Geology, Geophysics and Geochemistry Non-profit joint-stock company «Atyrau University of Oil and Gas named after Safi Utebaev», Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Atyrau, Republic of Kazakhstan

ZHOLTAEV Hero
Zholtaevich Director of LLP "Institute of Geological Sciences named after. K. I. Satpaeva, doctor of geological and mineralogical sciences, Professor, Almaty, Republic of Kazakhstan

The scientific journal is published 4 times a year.

Founder, editors and publisher: State budgetary scientific institution

"Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan".

Address of the founder, editors and publisher:

450008, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Kirova, 15, room 218.

Tel.: +7 (347) 276-40-77.

E-mail: geology-akademia@yandex.ru

© Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2024

СЕТЕВОЕ ИЗДАНИЕ
«Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов»
СОДЕРЖАНИЕ № 2 (35) 2024

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Попков Василий Иванович

Морфология поверхности палеозойского складчатого основания запада Туранской платформы

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-12-22

12

Савельев Дмитрий Евгеньевич

Микроструктура порфирокластов оливина и пластическое течение пород верхней мантии (на примере изучения лерцолитов методом EBSD)

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-23-48

23

Никифоров Виталий Викторович, Шарафутдинов Айдар Рафисович, Шабрин Никита Владиславович, Чибисов Александр Вячеславович

Уточнение литолого-фациального строения юрско-нижнемеловых отложений на основе спектральной декомпозиции

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65

49

Мударисова Раушания Айдаровна, Лукьянова Резеда Габдрашитовна

Особенности изотопного состава углерода и кислорода карбонатных пород казанского яруса горского месторождения сверхвязкой нефти

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-66-74

66

Ахметьянова Альбина Ильшатовна, Кузнецов Александр Игоревич

Тенденции в области охраны окружающей среды в Республике Татарстан

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-75-93

75

Неркаряян Алина Евгеньевна, Харченко Владимир Михайлович

Использование космической съемки для проведения геодинамического анализа на примере территории города Москва

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-94-100

94

ONLINE EDITION
"Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences
and Natural Resources"
CONTENTS № 2 (35) 2024

EARTH SCIENCES

Popkov Vasily Ivanovich

FOLD-THRUST DISLOCATIONS IN TRIASSIC SEDIMENTS SOUTH
MANGYSHLAK TROUGH

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-12-22

12

Savelyev Dmitry Evgenievich

MICROSTRUCTURAL FEATURES OF OLIVINE PORPHYROCLASTS AND PLASTIC
FLOW OF UPPER MANTLE ROCKS (ON THE EXAMPLE OF STUDY OF
LHERZOLITES BY EBSD METHOD)

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-23-48

23

***Nikiforov Vitaly Viktorovich, Sharafutdinov Aidar Rafisovich, Shabrin Nikita
Vladislavovich, Chibisov Alexander Vyacheslavovich***

UPDATE THE LITHOFACIES STRUCTURE BASED OF SPECTRAL
DECOMPOSITION

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65

49

Mudarisova Raushaniya Aidarovna, Lukyanova Rezeda Gabdrashitovna

FEATURES OF THE ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBON AND
OXYGEN IN CARBONATE ROCKS OF THE KAZANIAN STAGE OF THE
GORSKY ULTRAVISCOUS OIL FIELD

DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-66-74

66

Akhmetyanova Albina Ilshatovna, Kuznetsov Alexander Igorevich

ENVIRONMENTAL TRENDS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-75-93

75

Nerkararyan Alina Evgenievna, Kharchenko Vladimir Mikhailovich,

USING SPACE IMAGING TO CARRY OUT GEODYNAMIC ANALYSIS
ON THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF THE CITY OF MOSCOW

DOI 10.24412/249-4052-2024-2-94-100

94

**МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПАЛЕОЗОЙСКОГО СКЛАДЧАТОГО
ОСНОВАНИЯ ЗАПАДА ТУРАНСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

© Попков Василий Иванович,

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,

г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. Поверхность складчатого основания платформ является важной геологической границей, разделяющей комплексы пород, сформировавшихся в различных геодинамических обстановках и характеризующихся разными физическими свойствами, во многом определяющими закономерности формирования в них полезных ископаемых. Поэтому определение глубины ее залегания и морфологии имеет не только теоретическое, но и практическое значение. Несмотря на многолетнее изучение фундамента запада Туранской платформы среди геологов и геофизиков нет единства в представлениях о его строении, глубинах залегания и структуре поверхности. В связи с этим целью работы является построение структурной карты поверхности фундамента запада Туранской плиты, выделение основных тектонических структур и их морфологии. В основу построений положен комплексный анализ материалов бурения и геофизических данных. При составлении структурной карты использовался весь имеющийся к настоящему времени геолого-геофизический материал, включающий в себя данные бурения, грави- и магнитной съемки, сейсморазведки различных модификаций, что позволило выполнить достаточно детальные и достоверные построения. В статье дается подробная характеристика структуры поверхности складчатого основания запада Туранской платформы. Выделены зоны крупных поднятий и опусканий. Установлены их границы. Полученные результаты могут быть использованы при решении вопросов нефтегазоносности исследуемой территории. Складчатое основание запада Туранской плиты представляет собой гетерогенное и гетерохронное образование, дифференцированное по глубине залегания, что позволяет провести морфоструктурное районирование его поверхности.

Ключевые слова: фундамент, складчатое основание, платформа, структуры, разрывы.

FOLD-THRUST DISLOCATIONS IN TRIASSIC SEDIMENTS SOUTH MANGYSHLAK TROUGH

© Popkov Vasily Ivanovich

Kuban State University, Krasnodar, Russian Federation

Summary. The surface of the folded base of the platforms is an important geological boundary separating rock complexes formed in different geodynamic settings and characterized by different physical properties, which largely determine the patterns of formation of minerals in them. Therefore, determining the depth of its occurrence and morphology is not only theoretical, but also practical. Despite many years of studying the foundation of the west of the Turan Platform, there is no unity among geologists and geophysicists in their ideas about its structure, depth of occurrence and surface structure. In this regard, the aim of the work is to build a structural map of the surface of the foundation of the west of the Turan plate, to identify the main tectonic structures and their morphology. The construction is based on a comprehensive analysis of drilling materials and geophysical data. When drawing up the structural map, all the currently available geological and geophysical material was used, including data from drilling, gravity and magnetic surveys, and seismic surveys of various modifications, which made it possible to perform fairly detailed and reliable constructions. The results of the work and the scope of their application. The article provides a detailed description of the surface structure of the folded base of the west Turan platform. The obtained results can be used in solving the issues of oil and gas potential of the studied territory. The folded base of the western Turan plate is a heterogeneous and heterochronous formation, differentiated by the depth of occurrence, which allows for morphostructural zoning of its surface.

Keywords: foundation, folded base, platform, structures, gaps.

Введение. Поверхность складчатого основания платформ является важной геологической границей, разделяющей комплексы пород, сформировавшихся в различных геодинамических обстановках и характеризующихся разными физическими свойствами, во многом определяющими закономерности формирования в них полезных ископаемых. Поэтому определение глубины ее залегания и морфологии имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Традиционно фундаментом платформы принято считать консолидированное основание, сложенное первично осадочными и вулканогенно-осадочными породами, претерпевшими метаморфогенные преобразования, дислоцированные и прорванные интрузиями различного состава. Формируются они на разных стадиях развития мобильных поясов, которое завершается складчатостью, региональным метаморфизмом и

гранитизацией [4], то есть становлением коры континентального типа. В соответствии с возрастом завершающей складчатости выделяются древние (докембрийские) платформы с кристаллическим фундаментом, и молодые (фанерозойские) – со складчатым фундаментом. Последние могут содержать в себе обломки более древней докембрийской континентальной коры.

Для территории запада Туранской плиты известно большое количество структурных карт и схем поверхности фундамента [1 - 3, 5 - 9, 15 и др.], отражающих уровень информации на момент их составления, а также взгляды авторов на основные закономерности формирования континентальной коры. Сложилось два подхода к расчленению коры платформ с различным подходом к трактовке понятия «фундамент» и, соответственно, определению границы фундамент – чехол: «геологический» и «геофизический» [9]. Не останавливаясь на их рассмотрении, отметим, что геофизические методы дают косвенную информацию о строении земной коры и границах в ней, что при недостатке геологических данных может приводить к ошибкам при ее интерпретации. Один из наглядных примеров – несостоявшееся вскрытие Кольской сверхглубокой скважиной верхней мантии. Учитывая, что геология является историко-генетической наукой, мы будем руководствоваться соответствующим этому методом.

Результаты исследований. Согласно современным теоретическим разработкам в истории развития земной коры выделяются три основных стадии: океаническая, переходная и континентальная [21]. Во время второй стадии происходит постепенное формирование нового гранитно-метаморфического слоя, что является характерной особенностью земной коры переходного типа. Одним из важных геологических признаков его формирования является начало орогенного стиля развития тех или иных тектонических зон, сопровождающегося образованием нижних моласс, связанных с возникновением зон тектонических поднятий и расчлененного гористого рельефа. Поднятия возникают в результате тектонического скучивания и различных складчатых деформаций комплексов океанической и переходной стадий, их метаморфизма и гранитизации.

Интенсивное разрушение формирующегося рельефа, мощный вынос возникающего при этом обломочного материала и его быстрая аккумуляция в субэвральской или прибрежно-морской обстановке приводит к образованию нижних моласс. Состав обломочного материала в них, как правило,

полимиктовый. Его основную массу составляют обломки пород и минералов, образующих сложно построенные конгломерато-песчано-алевритовые толщи. Обычно преобладают обломки кварцитов, различных эффузивов, кремнистых пород, известняков, граувакк, габроидов, плагиогранитов. Лишь в верхних частях нижнемолассовых серий в составе обломочного материала спорадически, а затем во всем большем количестве появляются породы гранитно-метаморфического слоя: плагиогнейсы, гранитоиды калий-натриевого типа, а также калиевые полевые шпаты, кварц, аркозавая дресва. Это объясняется увеличением денудационного среза островных поднятий и выходом на дневную поверхность более глубоких горизонтов земной коры [21].

Таким образом, собственно переходный (геосинклинальный) этап, по сути дела, заканчивается накоплением нижних моласс [11, 21], обычно подвергшихся довольно существенным деформациям и постдиагенетическим преобразованиям. Формирование обширных областей или поясов с горным рельефом обуславливает образование и накопление континентальных верхних моласс, являющихся одним из комплексов-показателей становления континентальной коры [21], и включаемых сторонниками выделения промежуточного (квазиплатформенного, тафрогенного) комплекса в его состав [1, 7, 8 и др.]. В качестве верхней молассы на обширных пространствах запада Туранской плиты выделяются красноцветные грубообломочные континентальные образования верхней перми.

В предшествующих наших работах [12-19] было показано, что формирование складчатого основания Туранской платформы в основном было завершено к началу поздней перми. Исключением являются зоны раннекимерийской складчатости (Мангышлакско-Каращорской и Туаркыр-Караауданской) [14, 15]. Вопрос об их природе и истории развития – тема отдельного самостоятельного исследования. Отметим лишь, что в состав каратаусского комплекса пермо-триаса входит биркутская свита раннепермского возраста, сложенная нижнемолассовыми образованиями, аналогичными одновозрастным отложениям Южного Мангышлака, входящими в состав верхнего структурного яруса эпигерцинского фундамента [20]. В пределах хребтов Западного и Восточного Каратау она выходит на дневную поверхность. На отложениях биркутской свиты без перерыва в осадконакоплении согласно залегают породы верхней перми и триаса, совместно испытавшие интенсивные деформации в конце триаса. По характеру и стилю деформаций и геофизическим параметрам складчатый комплекс пермо-триаса Горного Мангышлака

практически не отличается от палеозойского складчатого основания платформы.

Анализ материалов бурения и комплекса геофизических данных позволил составить схему внутреннего строения фундамента, выделить в его составе разновозрастные складчатые зоны и блоки докембрийской консолидации [15], построить структурную карту поверхности гетерогенного и гетерохронного складчатого основания запада Туранской плиты. При ее построении использовался весь имеющийся к настоящему времени геолого-геофизический материал, включающий в себя данные бурения, грави- и магнитной съемки, сейсморазведки различных модификаций, что позволило выполнить достаточно детальные и достоверные структурные построения (рис. 1).

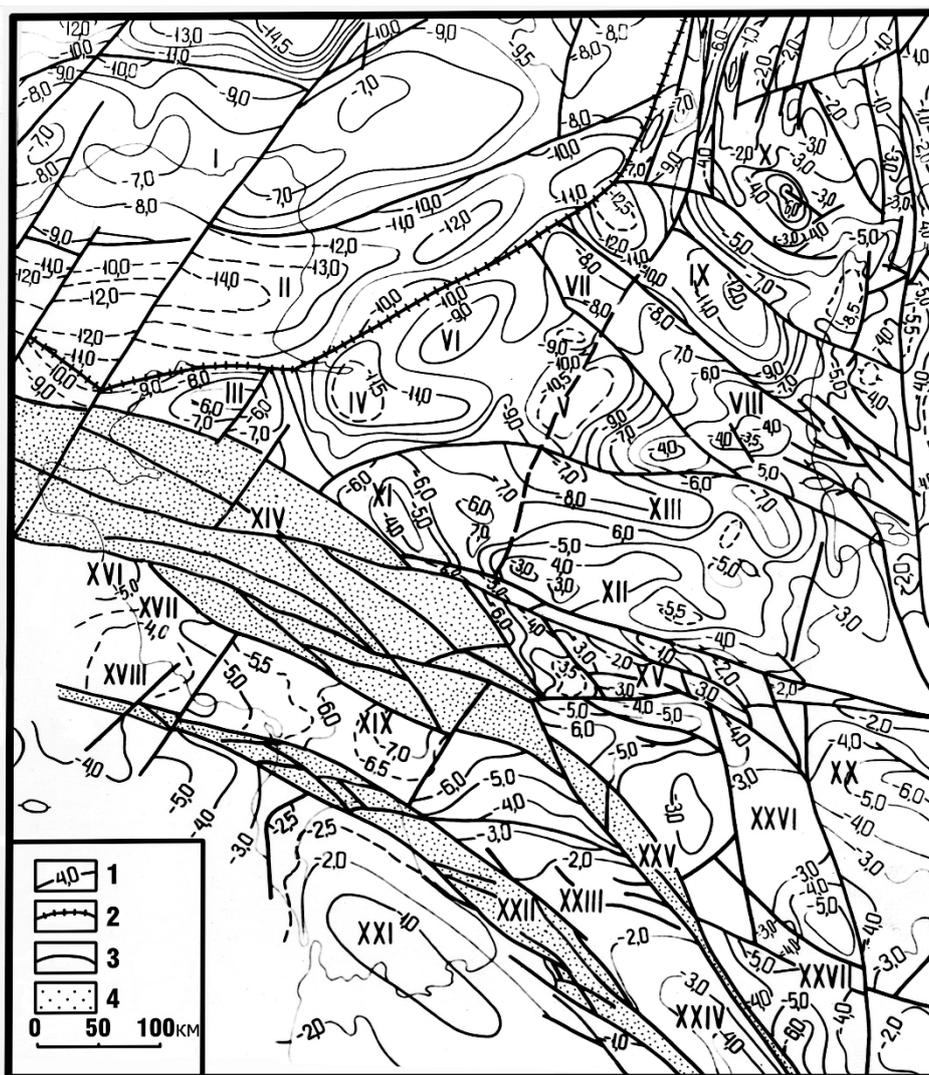


Рис. 1. Структурная схема поверхности фундамента запада Туранской плиты (по Северному Устьюрту и югу Прикаспия) использованы материалы [10], где: 1 – стратоизогипсы, в км, 2 – юго-восточная граница Восточно-Европейской платформы, 3 – основные разломы, 4 – раннекембрийские складчатые зоны.

Поднятия: I – Северо-Каспийское, III – Бузачинское, VI – Жайылганское, VII – Чумыштинское, VIII – Актумсукское, XI – Шольтауское, XII – Байчагырское, XV – Центрально-Устюртское, XVII – Карагиинская седловина, XVIII – Песчаномысское, XXI – Карабогазское, XXII – Туаркырское, XXIII – Кумсебиенское, XXVI – Сарыкамышское.

Прогибы: II – Эмбинский, IV – Бейнеуский, V – Самский, IX – Косбулакский, X – Челкарский, XIII – Барсакельмесский, XIV Центрально-Мангышлакский, XVI – Сегендыкский, XIX – Жазгурлинско-Учкудукский, XX – Дарьялык-Дауданский, XXIV – Учтаганский, XXVII – Верхнеузбойский

Северо-западным ограничением Туранской плиты служит тектонический шов, отделяющий Северо-Устюртский массив от Эмбинского прогиба. В рельефе поверхности фундамента Северному Устюрту отвечает крупная отрицательная структура, осложненная относительно погруженными (Бейнеуский, Самский, Косбулакский, Барсакельмесский прогибы) и приподнятыми (Бузачинское, Жайылганское, Чумыштинское, Актумсукское, Шольтауское, Байчагырское поднятия) зонами.

Наиболее погружен фундамент в пределах Косбулакского прогиба, где его поверхность залегает на глубинах 12,0-12,5 км. Прогиб вытянут в северо-западном направлении и небольшой поперечной перемычкой разделяется на две депрессии. К северо-востоку от него выделяется изометричный Челкарский прогиб, в центральной части которого фундамент погружен на глубину более 6,0 км. Крупная отрицательная структурная форма, имеющая в плане вид треугольника, выделяется в центральной части Северного Устюрта. Наибольшая глубина залегания фундамента отмечается в осевых зонах Бейнеуского (около 12 км) и Самского (11 км) прогибов. Ось Бейнеуского прогиба изогнута в виде дуги, обращенной выпуклой стороной к юго-западу. По замкнутой изогипсе -11,0 км его размеры по длинной оси 125 км, по короткой от 25 км в узкой восточной и до 65 км в более широкой западной части.

Самский прогиб субизометричной формы (85x60 км) на юге через разрывное нарушение граничит с Барсакельмесским прогибом. К северо-западу от него картируется Жайылганское поднятие, ограниченное изогипсой -9,0 км и вытянутое в северо-восточном направлении. Размеры поднятия 80x50 км.

Описанная глубокопогруженная зона с северо-востока Чумыштинским и Актумсукским поднятиями отделена от Косбулакского прогиба. Чумыштинский свод (100x80 км) находится к северо-западу от Актумсукского выступа фундамента. Поверхность фундамента в пределах данной системы поднятий изменяется от -7,5 км на северо-западе до -3,5 км и менее в районе Актумсукского выступа. Северо-восточным и юго-западным ее ограничением служат крупные разрывные нарушения.

Вдоль юго-западной границы Северного Устюрта трассируется цепь сводовых поднятий. Крайним из них на северо-западе является Бузачинский свод (125x80 км). Максимальная глубина залегания фундамента в его пределах

порядка 6,0 км. Разломом северо-восточной ориентации свод рассечен на две части, западная из которых несколько погружена.

Размеры Шольтауского свода 80x50 км, амплитуда около 2,5 км. С юга и северо-запада свод ограничен разрывными нарушениями.

Располагающееся к востоку Байчагырское поднятие имеет вытянутую в субширотном направлении форму. Размеры в пределах замкнутой изогипсы -4,0 км 150x32 км. В южной приразломной части поднятия выделяются два небольших купола, оконтуривающихся изогипсой -3,0 км.

К северу от Шольтауского и Байчагырского поднятий протягивается линейный Барсакельмесский прогиб (300x45-50 км), расширяющийся к западу, где глубина кровли фундамента достигает 8-9 км.

Повышенной плотностью разрывных нарушений отличается Центрально-Устюртская зона поднятий. Здесь наиболее приподнят Айбугирский блок (менее 1,0 км), к югу от которого наблюдается ступенчатое погружение поверхности фундамента.

Южнее рассмотренных зон простирается протяженная Южно-Мангышлакско-Устюртская система прогибов. Ее крайним западным звеном является Сегендыкский структурный залив, открывающийся в Каспийское море. К югу от него картируется изометричный (75x75 км) Песчаномысский свод, фундамент которого вскрывается скважинами на глубинах менее 4,0 км.

Небольшой по размерам Карагиинской седловиной Сегендыкский структурный залив отделяется от обширного Жазгурлинско-Учкудукского прогиба. Примечательно, что наибольшие глубины залегания поверхности фундамента (более 7,0 км) отмечаются здесь на участках, отвечающих в плане седловинам в платформенном чехле Карынжарыкской и Биринжикской. В их пределах Жазгурлинско-Учкудукский прогиб по существу сливается с Центрально-Мангышлакским.

На крайнем востоке вырисовывается Дарьялык-Дауданский прогиб, в осевой части которого фундамент погружен на глубины, превышающие 5 км.

В южных районах исследуемой территории фундамент залегает на сравнительно небольших глубинах или даже, как, например, на Туаркыре, выведен на дневную поверхность. Крупнейшим структурным элементом здесь является Карабогазский свод, в центральной части которого мощность осадочного чехла резко сокращена и не превышает одного километра. С северо-востока он опоясан Туаркыр-Караауданской зоной раннекиммерийской складчатости, имеющей чрезвычайно сложное мелкоблочное строение. Предполагается, что такой же зоной является Карашорская система дислокаций.

Между ними заключен относительно просто построенный блок фундамента, в северной части которого выделяется Кумсебшенская седловина с глубиной его залегания менее 2,0 км, разделяющая Жазгурлинско-Учкудукский и Учтаганский прогибы. В пределах последнего складчатое основание

платформы погружено более чем на три километра.

К востоку от Карашорской зоны располагается Сарыкамышское поднятие (глубина фундамента в своде менее 3,0 км), отделяющее Южномангышлакско-Устюртскую систему прогибов от Верхне-Узбойского прогиба.

Выводы. Выполненные построения позволили закартировать структуру поверхности складчатого основания запада Туранской платформы, что позволяет более обосновано решать вопросы формирования и поисков месторождений полезных ископаемых в ее пределах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буш В.А., Гарецкий Р.Г., Кирюхин Л.Г. Тектоника эпигеосинклинального палеозоя Туранской плиты и ее обрамления. М.: Наука, 1975. 192 с.
2. Волож Ю.А., Сапожников Р.Б. Строение фундамента западного Казахстана по геофизическим данным // Советская геология. 1974. № 12. С. 79–93.
3. Гарецкий Р.Г., Шрайбман В.И. Глубина залегания и строение складчатого фундамента северной части Туранской плиты (Западный Казахстан). М.: Изд-во АН СССР, 1960. 90 с.
4. Геологический словарь. Том 2. М.: Недра. 1973. 450 с.
5. Голубовский В.А. Скифско-Туранская плита, принципы разделения фундамента и чехла // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1961. Т. 56. № 1. С.16–29.
6. Димаков А.И., Тамаров А.И. Глубинная структура Мангышлака. Л.: Недра. 1973. 90 с.
7. Кунин Н.Я. Промежуточный структурный этаж Туранской плиты. М.: Недра, 1974. 264 с.
8. Летавин А.И. Фундамент молодой платформы юга СССР. М.: Наука, 1980. 162 с.
9. Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования / Ю.Г. Леонов, Ю.А. Волож, М.П. Антипов, В.А. Быкадоров, Т.Н. Хераскова. М.: ГЕОС, 2010. 64 с.
10. Липатова В.В., Волож Ю.А., Воцалевский Э.С. Доюрский комплекс Северного Устюрта и полуострова Бузачи. М.: Недра, 1985. 133 с.
11. Моссаковский А.А. Орогенные структуры и вулканизм палеозойской Евразии и их место в процессе формирования континентальной земной коры. М.: Наука, 1976. 216 с.
12. Попков В.И., Калинин М.И., Сейфулин Ш.М. Глубинное строение запада Туранской плиты // Доклады академии наук СССР. 1985. Т. 284. № 4. С. 939–943.
13. Попков В.И., Попков И.В. Породы фундамента и тектоническая природа Карабогазского геоблока запада Туранской плиты // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 32. С. 20–37. DOI: [10.24412/2949-4052-2023-3-20-37](https://doi.org/10.24412/2949-4052-2023-3-20-37).

14. Попков В.И. Тектоника доюрского осадочного комплекса запада Туранской плиты // Геотектоника. 1986. № 4. С. 106–116.
15. Попков В.И. Тектоника запада Туранской плиты. М.: ИГиРГИ, 1992. 148 с.
16. Попков В.И. Геология и перспективы нефтегазоносности фундамента юго-запада Туранской плиты // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2023. Том 49. №4 (112). С. 56–65. DOI:10.24412/1728-5283-2023-4-56-65.
17. Попков В.И., Попков И.В. Состав и постдиагенетические преобразования отложений нижнего структурного яруса палеозоя Запада Туранской плиты // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4 (75). С. 67–77.
18. Попков В.И., Попков И.В. Структурно-формационная характеристика верхнепалеозойских отложений запада Туранской плиты // Геология, география и глобальная энергия. 2019. № 4 (75). С. 9–17.
19. Попков В.И., Попков И.В. Структура фундамента Мангышлака и Устюрта по геофизическим данным // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов АН РБ. 2020. № 27. С. 52–57.
20. Попков В.И., Дементьева И.Е. Литологическая характеристика и возраст биркутской свиты Горного Мангышлака // Экзолит – 2020. Литологические школы России. Годичное собрание (научные чтения), посвященные 215-летию основания Московского общества испытателей природы. М.: МАКС Пресс, 2020. С. 174–176.
21. Тектоника Северной Евразии (Объяснительная записка к тектонической карте Северной Евразии масштаба 1:5 000 000). М.: Наука, 1980. 222 с.

REFERENCES

1. Bush V.A., Garetsky R.G., Kiryukhin L.G. Tectonics of the epigeosynclinal Paleozoic of the Turanian plate and its framing. М.: Nauka, 1975. 192 p.
2. Volozh Yu.A., Sapozhnikov R.B. The structure of the foundation of western Kazakhstan according to geophysical data // Soviet Geology. 1974. No. 12. pp. 79–93.
3. Garetsky R.G., Shraybman V.I. Depth and structure of the folded foundation of the northern part of the Turan Plate (Western Kazakhstan). М.: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 90 p.
4. Geological dictionary. Volume 2. М.: Nedra. 1973. 450 p.
5. Golubovsky V.A. Scythian-Turanian plate, principles of separation of the foundation and cover // Bull. MOIP. Dept. geol. 1961. T. 56. No. 1. P.16–29.
6. Dimakov A.I., Tamarov A.I. Deep structure of Mangyshlak. L.: Subsoil. 1973. 90 p.

7. Kunin N.Ya. Intermediate structural floor of the Turanian plate. M.: Nedra, 1974. 264 p.
8. Letavin A.I. The foundation of a young platform in the south of the USSR. M.: Nauka, 1980. 162 p.
9. Consolidated crust of the Caspian region: experience of zoning / Yu.G. Leonov, Yu.A. Volozh, M.P. Antipov, V.A. Bykadorov, T.N. Kheraskova. M.: GEOS, 2010. 64 p.
10. Lipatova V.V., Volozh Yu.A., Votsalevsky E.S. Pre-Jurassic complex of Northern Ustyurt and the Buzachi Peninsula. M.: Nedra, 1985. 133 p.
11. Mossakovsky A.A. Orogenic structures and volcanism of the Paleozooids of Eurasia and their place in the process of formation of the continental crust. M.: Nauka, 1976. 216 p.
12. Popkov V.I. Kalinin M.I., Seyfulin Sh.M. Deep structure of the western Turanian plate // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1985. T. 284. No. 4. P. 939–943.
13. Popkov V.I., Popkov I.V. Basement rocks and tectonic nature of the Karabogaz geoblock of the western Turanian plate // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 32. pp. 20–37. DOI: 10.24412/2949-4052-2023-3-20-37.
14. Popkov V.I. Tectonics of the pre-Jurassic sedimentary complex of the western Turanian plate // Geotectonics. 1986. No. 4. C. 106–116.
15. Popkov V.I. Tectonics of the western Turanian plate. M.: IGI RGI, 1992. 148 p.
16. Popkov V.I. Geology and prospects for oil and gas potential of the foundation of the southwest Turan Plate // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2023. Volume 49. No. 4 (112). pp. 56–65. DOI: 10.24412/1728-5283-2023-4-56-65.
17. Popkov V.I., Popkov I.V. Composition and postdiagenetic transformations of sediments of the lower structural stage of the Paleozoic West of the Turan Plate // Geology, geography and global energy. 2019. No. 4 (75). pp. 67–77.
18. Popkov V.I., Popkov I.V. Structural and formational characteristics of the Upper Paleozoic deposits of the west of the Turan Plate // Geology, geography and global energy. 2019. No. 4 (75). pp. 9–17.
19. Popkov V.I., Popkov I.V. Structure of the foundation of Mangyshlak and Ustyurt according to geophysical data // Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Belarus. 2020. No. 27. pp. 52–57.
20. Popkov V.I., Dementyeva I.E. Lithological characteristics and age of the Birkut formation of Gorny Mangyshlak // Exolit - 2020. Lithological schools of Russia. Annual meeting (scientific readings) dedicated to the 215th anniversary of the

founding of the Moscow Society of Natural Scientists. М.: МАКС Press, 2020. pp. 174–176.

21. Tectonics of Northern Eurasia (Explanatory note to the tectonic map of Northern Eurasia on a scale of 1:5,000,000). М.: Nauka, 1980. 222 p.

Сведения об авторах:

Попков Василий Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры нефтяной геологии, гидрогеологии и геотехники, Заслуженный деятель науки Кубани, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Email: geoskubsu@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2959-4901.

Author's personal details:

Popkov Vasily Ivanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Professor of the Department of Petroleum Geology, Hydrogeology and Geotechnics, Honored Scientist of Kuban, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State University". Email: geoskubsu@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2959-4901.

© Попков В.И.

DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-23-48

УДК 552.321.6+553.46

**МИКРОСТРУКТУРА ПОРФИРОКЛАСТОВ ОЛИВИНА
И ПЛАСТИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ПОРОД ВЕРХНЕЙ МАНТИИ
(НА ПРИМЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕРЦОЛИТОВ МЕТОДОМ EBSD)**

© Савельев Дмитрий Евгеньевич

Институт геологии

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр
Российской Академии наук»,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Микроструктурное изучение ультраосновных ксенолитов в базальтах и перидотитов офиолитовых комплексов позволило выявить широкое распространение в них деформационных структур (Nicolas, Poigier, 1976; Carter, 1976; Karato, 2008, и др.), что закрепило за ними название «мантийных тектонитов» (Колман, 1979; Щербаков, 1990 и др.). На протяжении долгого времени единственным методом исследования внутренней структуры ультрамафтов на микроуровне оставался петроструктурный, основанный на применении универсального федоровского столика (Казаков, 1987; Саранчина, Кожевников, 1985 и др.). Основными результатами, получаемыми данным методом, были статистические данные об оптической ориентировке прозрачных анизотропных минералов (оливина, пироксенов). На рубеже XX — XXI веков появился совершенно новый метод микроструктурных исследований, основанный на дифракции отраженных электронов (ДОЭ/EBSD) в кристаллической решетке, который ознаменовал выход на качественно новый уровень исследований структуры кристаллических материалов (Даниленко и др., 2012; Метод ..., 2009), в том числе и геологических (Prior et al., 1999; 2009). За последние 20 лет в международной геологической литературе появилось большое количество работ, посвященных как методическим вопросам применения EBSD в геологии, так и непосредственно изучению микроструктуры мантийных тектонитов (Karato et al., 2008; Warren et al., 2008; Jung, 2017 и др.). В отечественной литературе отмечается дефицит работ по данной тематике, что сдерживает применение EBSD для количественной оценки структуры пород — производных верхней мантии, обнажающихся в офиолитовых разрезах и ксенолитах. Данное исследование направлено на восполнение существующего пробела и охватывает как методические, так и исследовательские аспекты.

Ключевые слова: EBSD, оливин, ортопироксен, пластическая деформация, рекристаллизация, кинк-банд, офиолиты, ультрамафиты.

**MICROSTRUCTURAL FEATURES OF OLIVINE PORPHYROCLASTS
AND PLASTIC FLOW OF UPPER MANTLE ROCKS
(ON THE EXAMPLE OF STUDY OF LHERZOLITES BY EBSD METHOD)**

© Savelyev Dmitry Evgenievich

Institute of Geology

FGBNU "Ufa Federal Research Center"
Ufa, Russian Federation

Summary. Microstructural studies of ultrabasic xenoliths in basalts and peridotites of ophiolite complexes revealed the widespread occurrence of deformation structures in them (Nicolas,

Poirier, 1976; Carter, 1976; Karato, 2008, etc.), which assigned them the name “mantle tectonites” (Colman, 1979; Shcherbakov, 1990, etc.). For a long time, the only method for studying the internal structure of ultramafits at the microlevel remained petrostructural, based on the use of a universal Fedorov table (Kazakov, 1987; Saranchina, Kozhevnikov, 1985, etc.). The main results obtained by this method were statistical data on the optical orientation of transparent anisotropic minerals (olivine, pyroxenes). At the turn of the 20th - 21st centuries, a completely new method of microstructural studies appeared, based on electron reflected diffraction (EBSD) in a crystal lattice, which marked the entry into a qualitatively new level of research into the structure of crystalline materials (Danilenko et al., 2012; Method..., 2009), including geological ones (Prior et al., 1999; 2009). Over the past 20 years, a large number of works have appeared in the international geological literature devoted to both methodological issues of using EBSD in geology and directly studying the microstructure of mantle tectonites (Karato et al., 2008; Warren et al., 2008; Jung, 2017, etc.). In the domestic literature, there is a shortage of works on this topic, which hinders the use of EBSD for quantitative assessment of the structure of rocks - derivatives of the upper mantle, exposed in ophiolite sections and xenoliths. This study aims to fill the existing gap, covers both methodological and research aspects.

Keywords: *EBSD*, olivine, orthopyroxene, plastic deformation, recrystallization, kink-band, ultramafic rocks, ophiolite

Введение. Структурный фактор в генезисе значительной части горных пород и руд глубинного происхождения играет важное, а порой определяющее значение, поэтому изучение его проявлений, запечатленных в структурах минеральных агрегатов, не менее важно, чем геохимические исследования. Вместе с тем, следует констатировать, что в геологической литературе отмечается значительное преобладание работ, касающихся различных аспектов состава пород, руд и минералов. До недавнего времени данную ситуацию можно было объяснить объективными причинами: микроструктурные методы являлись весьма трудоемкими и оставались уделом высококлассных петрографов, владевших навыками работы на универсальном федоровском столике.

В начале XXI века ситуация начала кардинально меняться с появлением и активным развитием нового метода, основанного на сканирующей электронной микроскопии и, в частности, на явлении дифракции отраженных (обратно-рассеянных) электронов на кристаллической решетке различных материалов. За короткий промежуток времени метод EBSD (electron back-scattered diffraction) прочно вошел в арсенал материаловедения (Метод ..., 2009 [7]; Даниленко и др., 2012 [2]) и все более стал применяться при изучении геологических материалов (Prior et al., 2009) [41]. Это связано с рядом преимуществ, которые имеет данный метод по сравнению с традиционным оптическим.

Как известно, первые микроструктурные исследования минералов из тектонитов корового происхождения были предприняты в начале XX века Б.Зандером. В дальнейшем петроструктурный метод изучения широко применялся при изучении метаморфических пород, а главными минералами,

которые использовались для таких исследований, являлись кварц и кальцит. Основы данного метода подробно изложены в многочисленных руководствах (Саранчина, Кожевников, 1985 [11]; Казаков, 1987 и др.) [5].

Применение данного метода для изучения внутреннего строения ультрамафитов ксенолитов и офиолитовых комплексов в 1960-е-2000 годы позволило установить повсеместное распространение признаков пластического течения, а сами породы получили название «мантийных тектонитов» (Carter, AveLallement, 1970 [21]; Carter, 1976 [20]). Наиболее значительный вклад в микроструктурное изучение ультрамафитов внесли французские исследователи (Mercier, Nicolas, 1975[33]; Poirier, 1985 [39]), в отечественной литературе в этом направлении работали А.И.Гончаренко [1], А.И.Чернышов [14], С.А.Щербаков [16], Е.И.Денисова [3], В.Р.Шмелев [15] (Гончаренко, 1986 [1]; Щербаков, 1990 [16]; Денисова, 1990 [3]; Чернышов, 2001 [14]; Шмелев, 1991 [15] и др. [6, 22, 24]).

Несмотря на значительные успехи в расшифровке микроструктуры мантийных ультрамафитов и понимании процессов, сформировавших их, оптический метод давал лишь ограниченный диапазон данных (используются главным образом статистические круговые диаграммы – «прямые полюсные фигуры»), причем качество полученных данных сильно зависело от квалификации исполнителя. Среди ограничений в использовании метода также следует отметить трудоемкость, малую производительность и слабую разрешающую способность оптического микроскопа.

Напротив, метод EBSD является инструментальным, автоматизированным и количественным, дает большой массив разнообразных данных в цифровом виде, который может быть обработан в специфических программных комплексах. Среди сложностей в применении метода необходимо отметить высокую требовательность к подготовке поверхности образцов, а для геологических материалов, которые являются значительно более крупнозернистыми по сравнению с металлическими, в некоторых случаях возникает проблема сканирования больших площадей для получения представительной информации.

В данной работе сделан акцент на изучении методом EBSD образцов свежих лерцолитов с целью, с одной стороны, показать возможности данного метода в расшифровке внутреннего строения деформированных зерен породообразующего оливина офиолитов, а с другой стороны, детализировать структурную информацию для более полной характеристики процессов пластической деформации в породах верхней мантии.

Методы исследований. Для изучения были выбраны наиболее свежие образцы лерцолитов из внутренней части массива Северный Крак (Южный Урал), которые по данным предыдущих исследований представляют собой наименее деплетированные породы офиолитового комплекса (Сначев и др., 2001

[12, 53]; Чашухин и др., 2007 [13]; Савельев, Гатауллин и др. [10, 47, 48]; Савельев [9, 45]). Породы характеризуются массивной либо слабовыраженной полосчатой макротекстурой. Для микроструктурных исследований были выбраны образцы с наиболее выраженными макроскопическими структурными элементами – минеральной уплотненностью и линейностью, которые отражают, как считается, поле напряжений, действовавшее в ходе пластической деформации породы в условиях верхней мантии (Николя, 1992 [8]; Чернышов, 2001 [14] и др.).

Образцы были распилены в соответствии с макроструктурой и из них изготовлены полированные шлифы в трех взаимно перпендикулярных плоскостях. Для микроструктурных исследований использованы шлифы, изготовленные в плоскости, перпендикулярной минеральной уплотненности и содержащей линейность (рис.1).

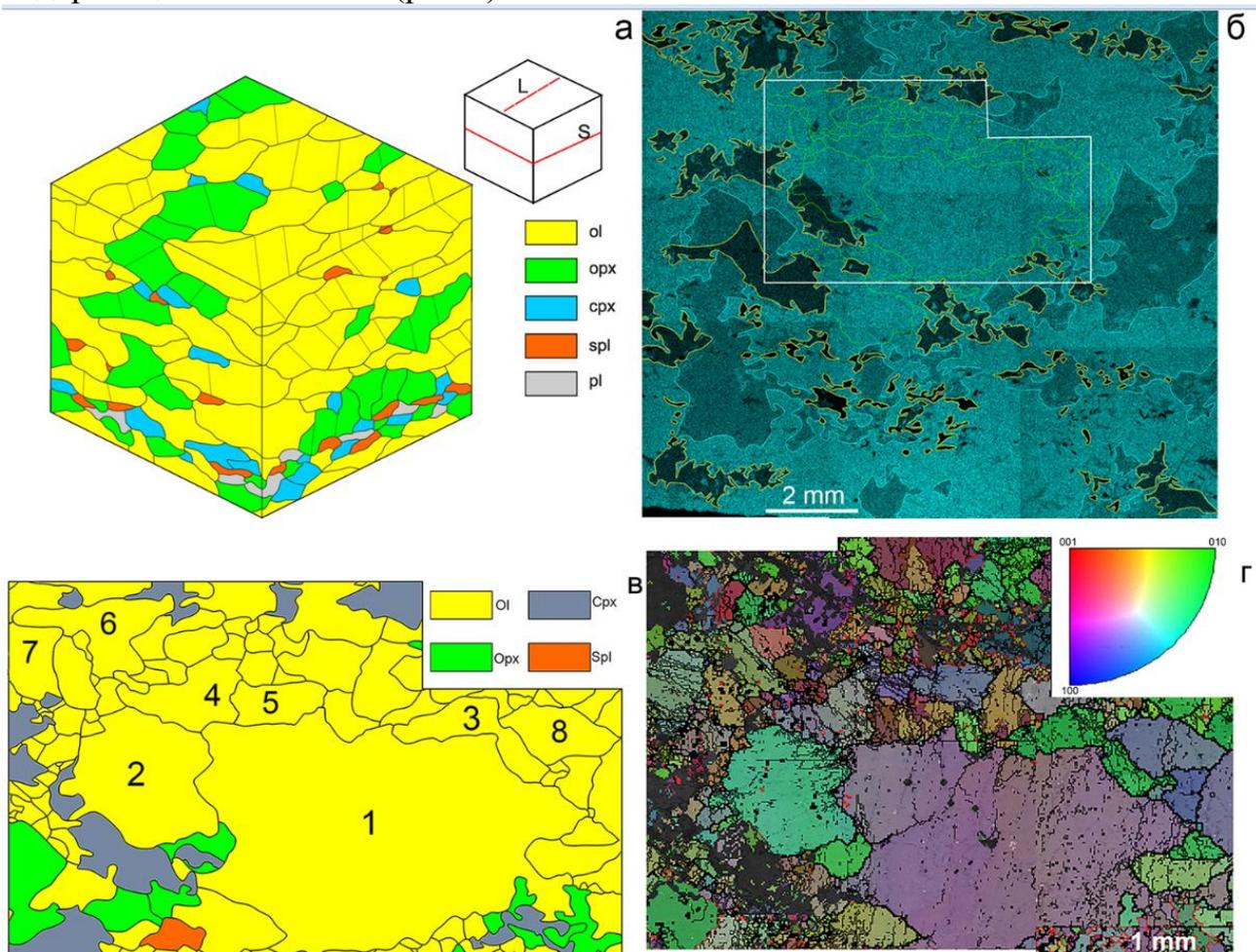


Рисунок 1 – Участки с хорошо выраженными порфирокластами оливина

Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов проводились в полированных шлифах на сканирующем электронном микроскопе Vega Tescan Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer

15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа). Микроструктурное изучение препаратов проводилось методом дифракции обратно-рассеянных электронов (EBSD). Подробно физические основы данного метода описаны в соответствующих руководствах и обзорных работах (Prior et al., 1999 [40]; 2009 [41]; Даниленко и др., 2012 [2] и др. [44]).

Как уже отмечено во введении, метод EBSD весьма требователен к подготовке поверхности образцов. Предварительно образцы были тщательно отполированы механическим методом на алмазных пастах. На заключительной стадии, для снятия образовавшегося наклепа, все препараты полировались механо-химическим методом на суспензии аморфного кремнезема («0,04 μm - Colloidal Silica Suspension, Non-Stick/Rinsable» (Allied High Tech Products iNC). Изучение проводилось на СЭМ Vega Mira в ЦКП «Структурные и физико-механические методы изучения материалов» в ИПСМ РАН (Уфа). Условия съемки: шаг сканирования 20 мкм, увеличение 90, идентификация фаз по 5/5 и 5/6 линиям, разрешение Хафа — 40. Обработка первичных данных проводилась с использованием программного комплекса Channel 5 и программы MTEX (в оболочке MATLAB). Специфические особенности обработки данных изложены в следующем разделе.

Результаты исследований. *Петрография.* Лерцолиты состоят из оливина (65-70 об.%), ортопироксена (15-25 об.%), клинопироксена (5-7 об.%) и хромшпинелида (1-5 об.%). В небольших количествах в породах также отмечаются мелкие выделения амфибола (до 2-3 об.%) и плагиоклаза (до 2-5 об.%). Серпентинизация является главным вторичным процессом, но ограничена образованием низкотемпературного петельчатого серпентина. Количество серпентина в породах варьирует в значительном диапазоне, но для данного исследования нами были выбраны наиболее свежие образцы с содержанием вторичных минералов не более 10-15 об.%. Как показано в предыдущих работах, во внутренних частях массивов Крака массовая петельчатая серпентинизация являлась квазистатичным процессом, его прожилки обычно не смещают элементы структуры, сформированные в условиях верхнемантийного пластического течения (Saveliev et al., 2021 [46]).

Во многих образцах, к которым также относится и образец СЕК-2150-01, отмечается наличие отчетливых макроскопических текстур - минеральной уплощенности (и/или полосчатости) и линейности, как показано на рис. 1а. Инструментальные микроструктурные исследования проведены на шлифе,

ориентированном в плоскости, перпендикулярной к минеральной уплощенности и содержащей линейность (ось X шлифа) (рис. 1б — 1г).

В шлифе хорошо видно, что минеральная уплощенность оливина примерно параллельна структурной зональности породы, которая выражена в разделении в пространстве минеральных агрегатов как по составу, так и по зернистости. Выделенный участок (рис.1б) характеризуется более крупным размером большей части зерен и существенно оливиновым составом. Ниже данного участка располагается область преимущественно мелкозернистого строения и полиминерального состава, включая оливин, ортопироксен, клинопироксен, амфибол, плагиоклаз и мелкие зерна хромшпинелидов. Для клинопироксена, амфибола и плагиоклаза характерны ксеноморфные очертания и уплощенность вдоль оси X шлифа.

Из всех минералов шлифа лишь крупные зерна ортопироксена несколько отклоняются от установленной закономерности: отмечаются зерна как удлиненные вдоль оси X, так и вдоль оси Y шлифа. Эти наблюдения согласуются с установленной ранее особенностью ортопироксена не подчиняться общей структуре мантийных тектонитов и обычно объясняются наименьшей пластичностью данного минерала, который в твердофазном потоке мантийного диапира мог вращаться как твердое включение и деформироваться путем квазихрупкого разрыва (Николя, 1992 [8]).

Внутри выделенного участка (рис.1в) выделяются несколько относительно крупных деформированных зерен оливина размером от 1 до 5 мм, окруженных по периферии мелкозернистым агрегатом того же минерала (0.1 — 0.5 мм). Такую структуру принято относить к порфирокластовым (Nicolas et al., 1971[36]; Гончаренко, 1989 [28]; Чернышов, 2001 [14]). При ближайшем рассмотрении порфирокластов мы видим, что все они характеризуются неоднородным (волнистым) погасанием, которое обусловлено наличием разделов двух типов — прямолинейного и криволинейного.

На рис.2 приведены фотографии нескольких порфирокластов данного участка с трассированными внешними и внутренними границами различного типа.

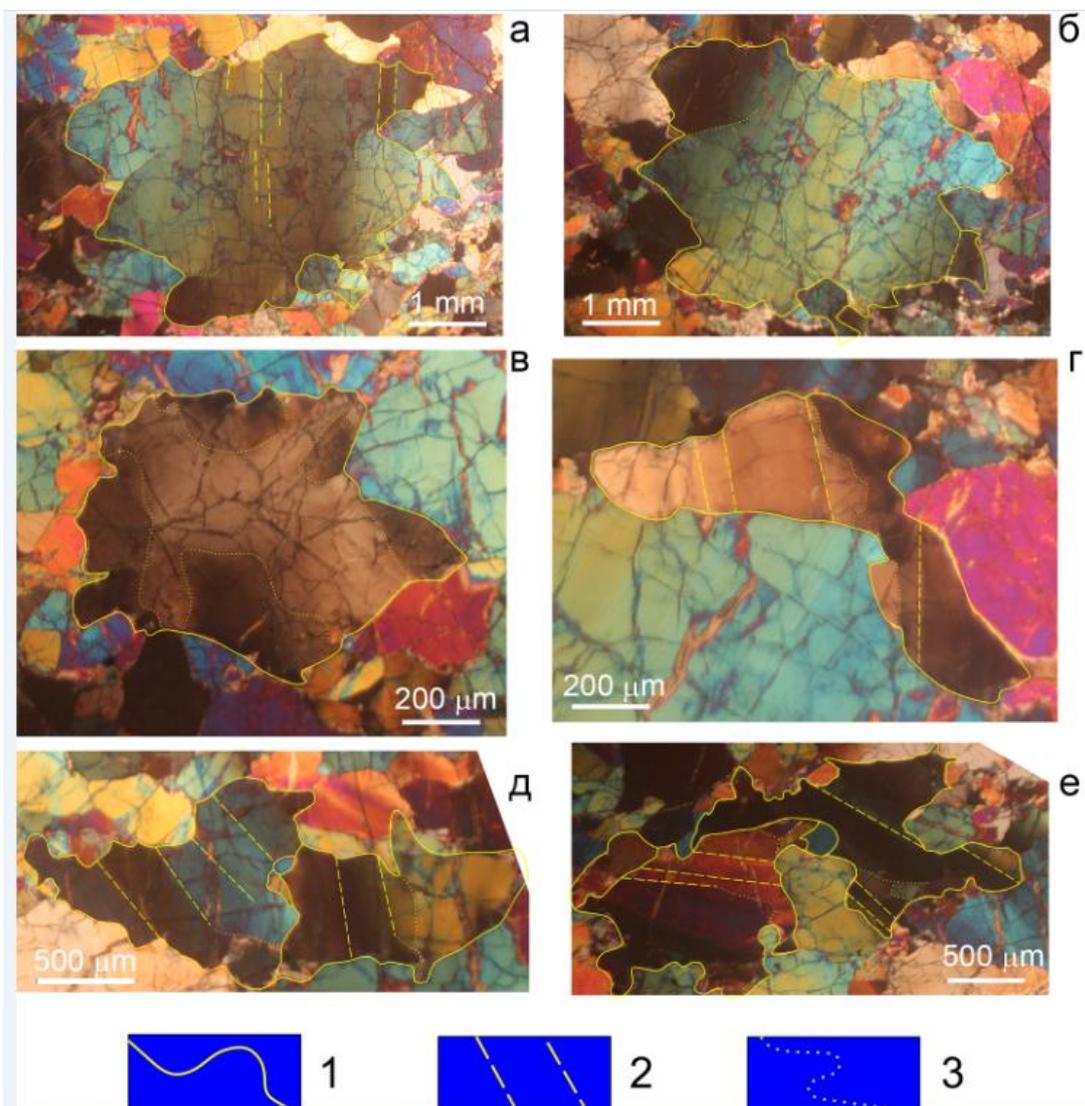


Рисунок 2 – Фотографии нескольких порфирокластов данного участка с трассированными внешними и внутренними границами различного типа

Внешние границы хорошо видны в оптический микроскоп из-за значительного угла разориентировки на них (обычно более 15°) и именуются «высокоугловыми» или границами зерен. Внутренние границы не фиксируются в оптическом микроскопе какими-либо поверхностями раздела из-за малого угла разориентировки (менее 15°) и именуются «малоугловыми», или границами субзерен (Passchier, Trown, 2005[38]).

Кроме границ различного типа, на рис.2 можно также отметить еще одну важную деталь: во многих случаях границы крупных зерен оливина имеют заливообразный характер, чередуются выпуклые и вогнутые участки границы различной кривизны и диаметра (от 5-20 мкм до 100 и более мкм), а также остроугольные участки, связанные с наличием мелких округлых зерен на контакте с крупными.

Микроструктура. Микроструктурное изучение образца проводилось с достаточно большим шагом сканирования (20 мкм) с целью получить обзорную картину шлифа, представительную информацию о кристаллографической ориентировке оливина и ортопироксена. Всего в образце было изучено 9 участков и в приложениях программного комплекса *HKL Channel 5* были получены данные различного типа: 1) в приложении *Map Sticher* произведена сшивка отдельных карт для получения в дальнейшем интегральной информации в других приложениях; 2) в приложении *Project Manager* построена статистическая гистограмма разориентировки для некоррелированных пар точек ($n=10000$), необходимая для расчета М-индекса (см.ниже); 3) в приложении *Tango* построен комплект карт, включая карты контраста полос Кикучи, фазового состава, гранулометрического состава и карту в цветовой кодировке обратных полюсных фигур (рис. 2г); 4) в приложении *Mambo* построены интегральные статистические диаграммы ориентировок главных осей оливина и ортопироксена («синоптические диаграммы» по (Добржинецкая, 1989 [27])); 5) в приложении *Salsa* проведен расчет J-индекса (Bunge, 1982 [19]) интенсивности ориентировок для оливина и ортопироксена.

На рис.3 приведены так называемые «синоптические диаграммы» (Добржинецкая, 1989 [27]) или «прямые полюсные фигуры» (ППФ), демонстрирующие плотность концентрации той или иной ориентировки главных направлений кристаллических решеток оливина и ортопироксена образца СЕК-2150-01.

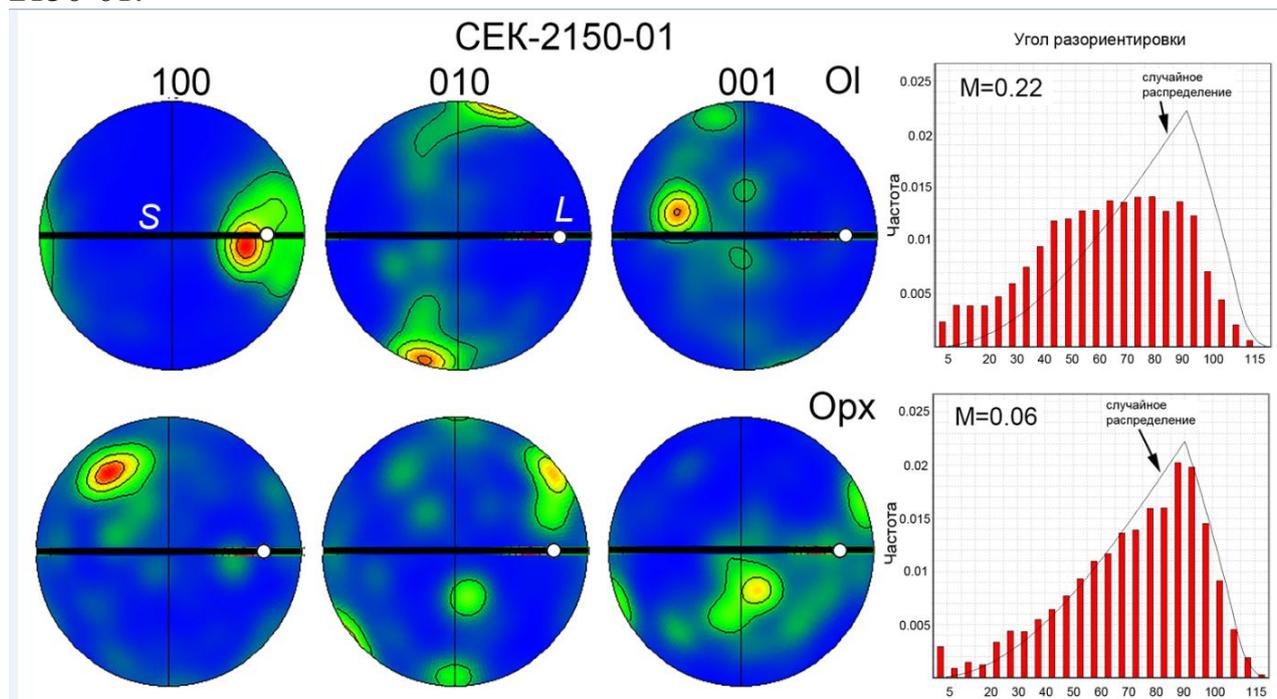


Рисунок 3 – «Синоптические диаграммы» (Добржинецкая, 1989 [27]) или «прямые полюсные фигуры» (ППФ)

В правой части рисунка размещены гистограммы разориентировок некоррелированных (случайных) пар точек для тех же минералов. Кривые на гистограммах показывают теоретическое случайное распределение величины, то есть тот случай, когда предпочтительная кристаллографическая ориентировка отсутствует.

Гистограммы были использованы для расчета М-индекса по формуле из работы (Skemer et al., 2005 [51]), который по мнению его авторов является более представительным по сравнению с J-индексом для оценки интенсивности текстуры. Полученные цифры говорят о том, что оливин имеет интенсивно развитую предпочтительную ориентировку, тогда как ортопироксен — довольно умеренную.

Анализ ППФ оливина (рис.3) указывает на то, что ось [100] практически совпадает с линейностью, а с плоскостью минерального уплощения могут совпадать как (010), так и (001) с более интенсивным максимумом для (010).

В целом, отмечается тенденция к формированию слабо выраженного пояса осей [010] и [001] перпендикулярно плоскости минерального уплощения S, что характерно для D-типа текстуры оливина (Karato et al., 2008 [31]; Jung, 2017[29]). Данный тип текстуры оливина может быть связан с активизацией множественного скольжения по семейству плоскостей $\{0kl\}$ в направлении [100]. В ортопироксене под малым углом к линейности концентрируются оси [001] либо [010], а плоскостью скольжения неизменно является (100). Подобные текстуры могут быть интерпретированы как сочетание типов АВ и АС, согласно классификации в работе (Jung, 2017 [29]).

Более точную информацию об активных системах трансляционного скольжения может дать анализ строения полос излома (кинк-банд структур) в порфирукластах. Данный метод описан во многих работах по микроструктурному анализу (Добржинецкая, 1989 [4]; Щербаков, 1990 [16]), но с применением EBSD значительно возрастает точность определения ориентировки кристаллической решетке, возрастает количество измеренных точек, появляется возможность идентифицировать большое количество невидимых в оптический микроскоп субзеренных границ и даже провести их типизацию.

Полосы пластического излома в деформируемых кристаллах возникают как дополнительный геометрический фактор сохранения сплошности деформации в материалах, где количество систем скольжения меньше пяти, согласно критерию фон Мизеса (Добржинецкая, 1989[4]). Границы полосы излома являются малоугловыми (субзеренными) границами и представляют собой участки скопления дислокаций. В зависимости от типа дислокаций (краевые, винтовые), могут быть образованы границы наклона и кручения. Возможно также образование границ смешанного типа.

На рис.4 приведена схема определения главных элементов строения порфирокластов для двух крайних типов границ — наклона (рис.4а) и кручения (рис.4б).

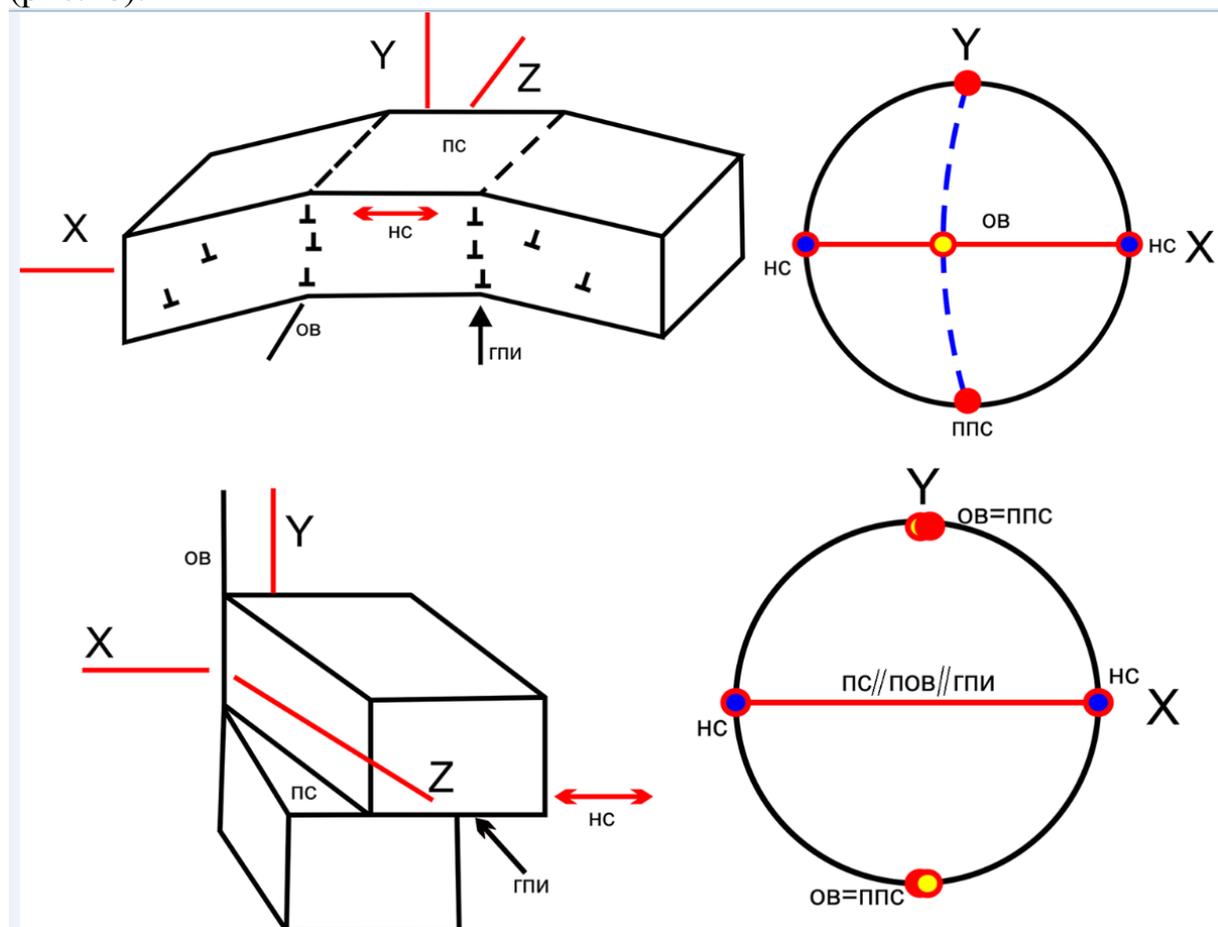


Рисунок 4 – схема определения главных элементов строения порфирокластов для двух крайних типов границ — наклона (рис.4а) и кручения (рис.4б)

В первом случае граница перпендикулярна плоскости скольжения, а ось вращения является линией пересечения плоскости границы и плоскости скольжения, она перпендикулярна направлению скольжения. Во втором случае граница полосы излома совпадает с плоскостью скольжения, а ось вращения - с полюсом плоскости скольжения.

Для детального изучения нами были выбраны 8 зерен различного размера и морфологии (рис.5), в приложении *Project Manager* мы выделили эти зерна в виде отдельных фрагментов (subsets), а в приложении *Tango* построены карты в кодировке ОПФ. Затем в приложении *Mambo* были построены диаграммы разного типа: 1) ориентировка главных осей кристаллической решетки оливина ([100], [010], [001]), 2) диаграммы плотностей осей вращения в координатах кристаллической решетки оливина и 3) то же, в координатах образца. Все эти данные приведены для каждого порфирокласта на рис.5а-5д, а на рис. 5е даны

схематические изображения зерен с расположением следов границ полос излома и направлений удлинения.

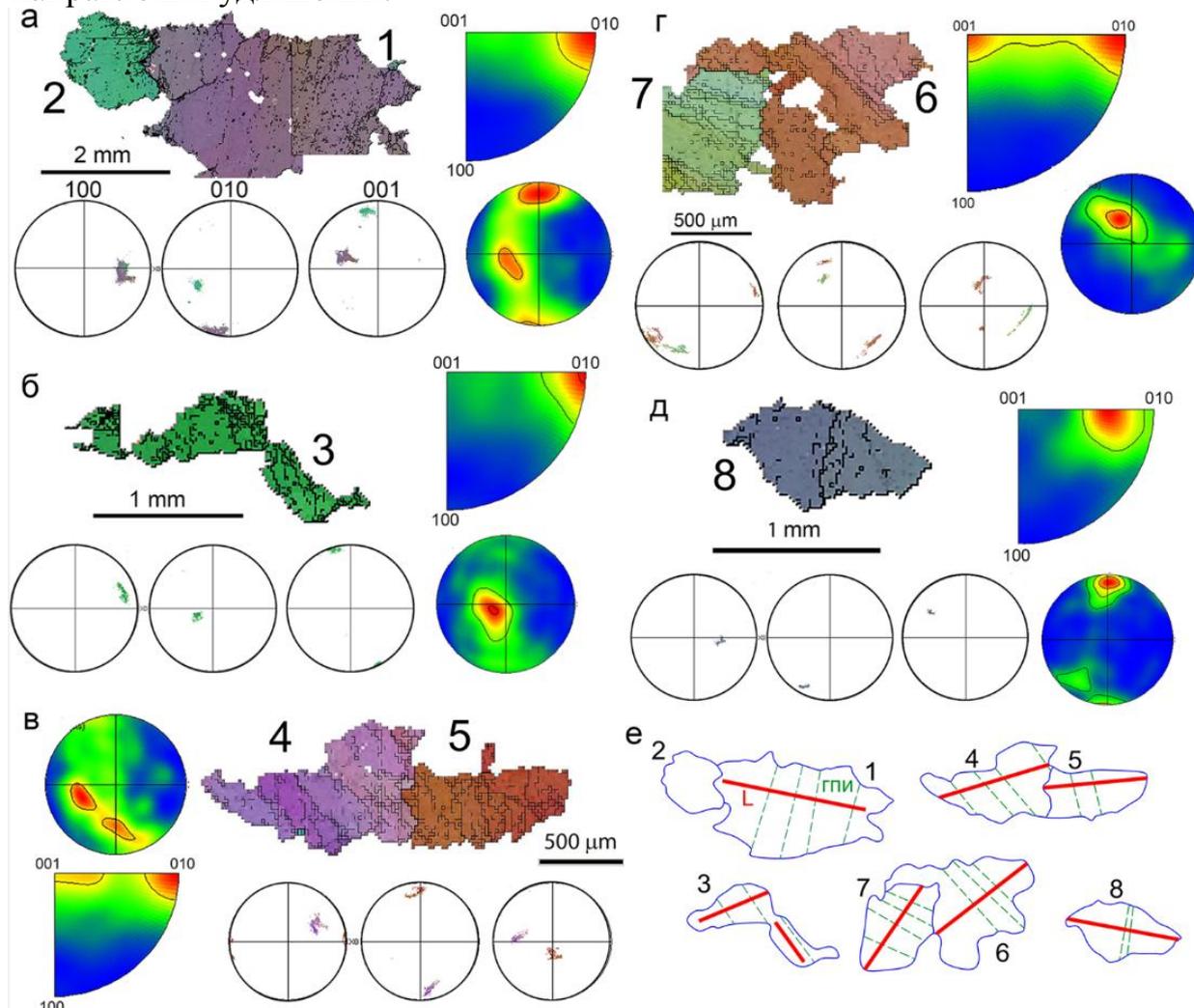


Рисунок 5 – Диаграммы разного типа: 1) ориентировка главных осей кристаллической решетки оливина ([100], [010], [001]); 2) диаграммы плотностей осей вращения в координатах кристаллической решетки оливина; 3) то же, в координатах образца, где: рис.5а–5д – данные для каждого порфиροкласта; рис. 5е – схематические изображения зерен с расположением следов границ полос излома и направлений удлинения.

Большая часть зерен характеризуется отчетливым удлинением (L), кроме изометричного зерна 2. При этом в зернах 1, 3-5 и 8 удлинение аппроксимируется в целом с осью X изображения, а в зернах 6 и 7 направлено по диагонали под большим углом к ней. Во всех случаях, кроме правой части зерна 3, след границ полос излома образует угол, близкий к прямому по отношению к удлинению, которое в целом может быть сопоставлено с направлением трансляционного скольжения. В большей части изученных зерен плотность осей вращения

образует сильные максимумы вблизи оси $[010]$, и лишь в некоторых зернах наряду с ней ось вращения совпадает с $[001]$ либо с $[021]$.

На рисунке 6 приведена интерпретация систем скольжения в изученных зернах в предположении, что все субграницы (полосы излома) являются границами наклона, то есть представляют собой скопления краевых дислокаций.

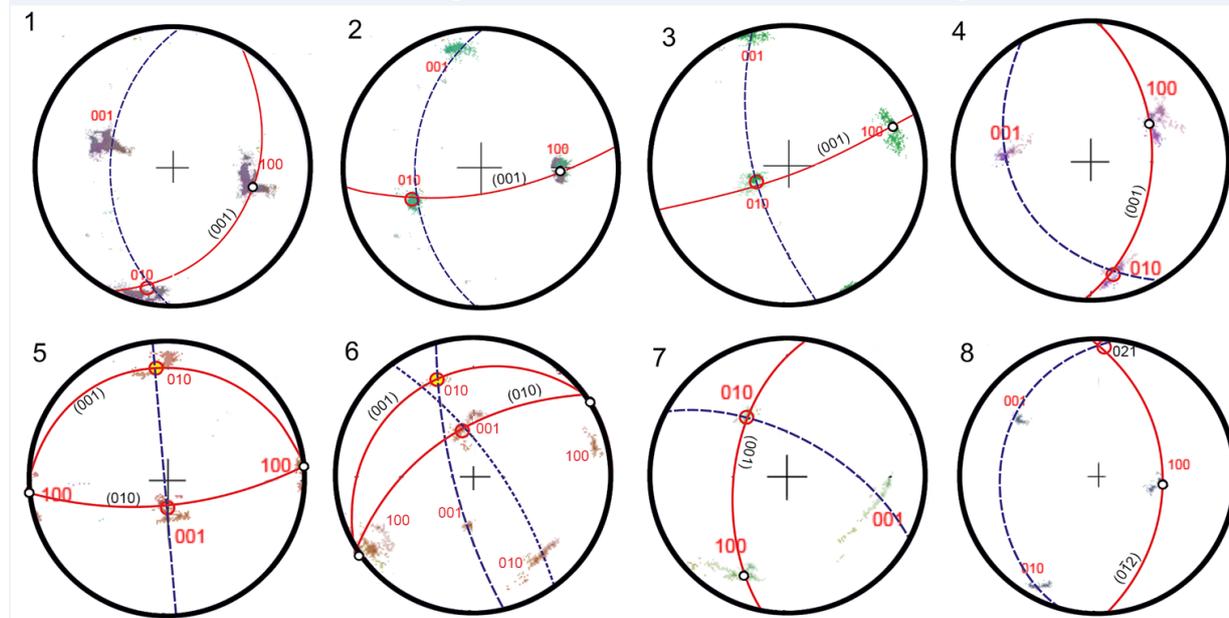


Рисунок 6 – Интерпретация систем скольжения в изученных зернах в предположении, что все субграницы (полосы излома) являются границами наклона

Данное предположение представляется логичным, если учесть, что границы полос излома перпендикулярны плоскости скольжения. В этом случае в подавляющем большинстве случаев плоскостью скольжения является (001) , реже отмечаются плоскости скольжения (010) и (012) , но ориентировка плоскости скольжения лишь в зернах 2 и 3 аппроксимируется осью X образца, в других же случаях она образует довольно значительный угол с ней (рис.6).

Для проверки предположения о природе субграниц изученных зерен в программе MTEX были построены карты тех же зерен с разделением субзеренных границ на типы. Хотя на основе двумерных данных, получаемых при EBSD-анализа недостаточно информации для однозначного разделения границ наклона и кручения, их можно типизировать на качественном уровне, используя тот факт, что ось разориентировки в случае границы кручения перпендикулярна следу границы, а в случае границы наклона ось разориентировки параллельна ей. Именно на основе определения угла между осью вращения и следом границы в программе MTEX реализован алгоритм определения типа субзеренных границ (<https://mte-toolbox.github.io/TiltAndTwistBoundaries.html>).

Результаты выполнения алгоритма по типизации субграниц в программе МТЕХ приведены на рис.7.

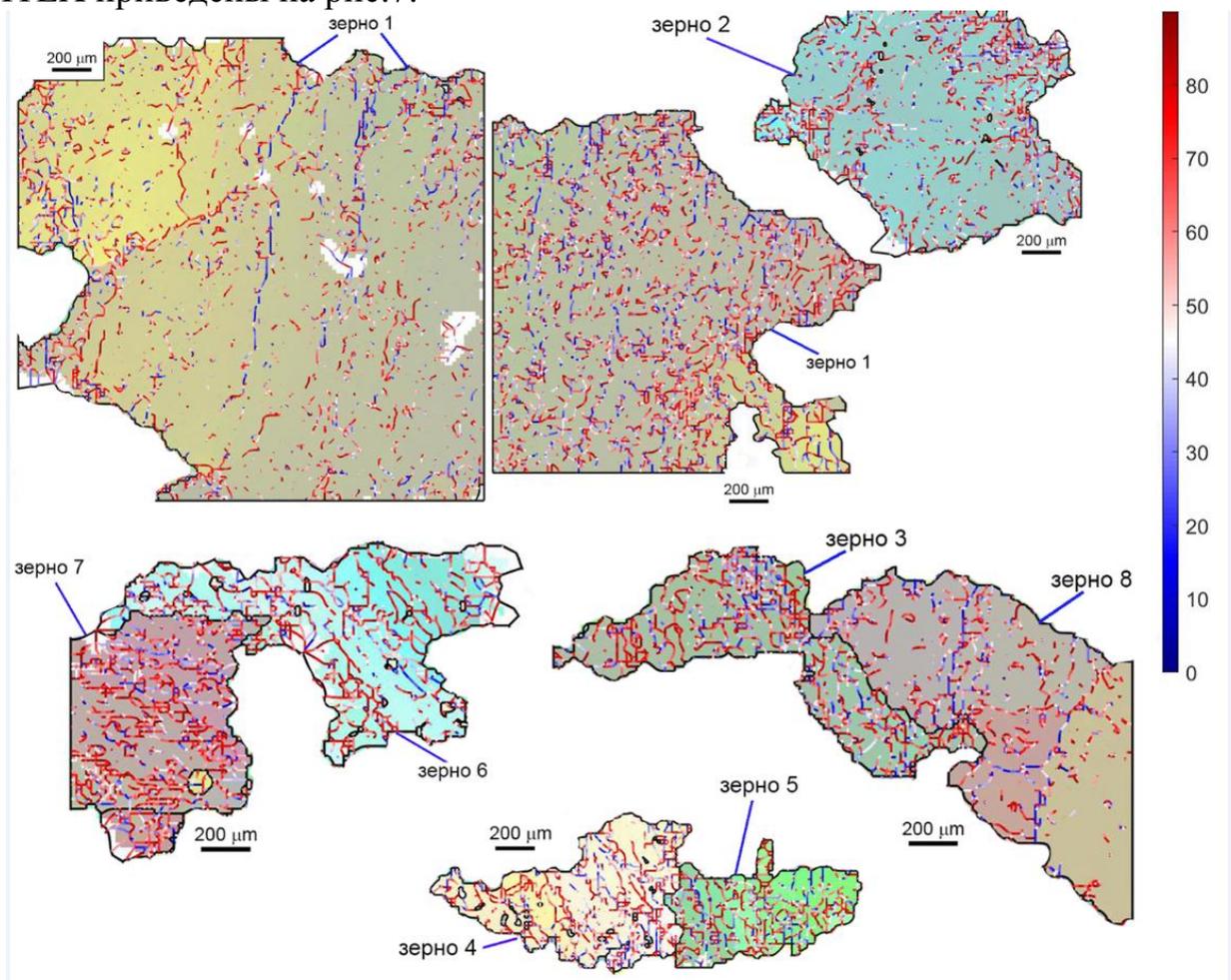


Рисунок 7 – Результаты выполнения алгоритма по типизации субграниц в программе МТЕХ

Границы наклона показаны синим цветом, тогда как границы, показанные красным цветом, могут являться как границами наклона, так и кручения. Из приведенных изображений следует, что достоверные границы наклона имеют подчиненное значение и они всегда образуют угол, близкий к прямому с направлением скольжения. Все наклонные или параллельные направлению скольжения границы окрашены в красные тона и вероятнее всего представлены границами кручения. Отнесение к какому-либо типу границ красного цвета, перпендикулярных направлению скольжения, проблематично.

Основной вывод, который позволяет сделать рисунок 7: границы кручения играют важную роль в изученных зернах и, соответственно, имеют значительный вес на диаграммах плотности осей вращения. Поскольку ось вращения границ кручения совпадает с полюсом плоскости скольжения, то из этого следует вывод о том, что во многих случаях, наряду с (001), плоскостью скольжения является (010).

Состав минералов. Ромбический пироксен представлен магнезиальной разновидностью — энстатитом, при этом концентрация малых элементов (Al, Cr) обнаруживает закономерные вариации в зависимости от размера зерен, то есть принадлежность их к порфирокластам или необластам. В то время как в порфирокластах отмечаются повышенные содержания хрома и алюминия, в необластах их концентрация минимальна (таблица 1).

Таблица 1 – Составы пироксенов в изученных лерцолитах

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	51.73	53.36	53.02	52.27	53.83	54.46	55.01	55.35	55.30	57.88	55.37	55.35
TiO ₂	0.31	0.22	0.26	0.27	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	5.40	5.55	5.87	5.35	4.82	4.86	4.89	4.83	3.19	0.44	3.43	4.91
FeO	2.06	2.16	2.23	2.19	5.00	4.98	5.03	5.04	4.88	5.12	5.17	5.13
MnO	-	-	-	-	0.15	0.15	-	-	0.14	-	0.17	-
MgO	16.72	17.21	18.09	16.98	33.97	34.17	34.45	34.38	34.93	36.60	34.66	34.64
CaO	20.98	21.24	20.67	20.89	0.51	0.62	0.57	0.71	0.59	0.16	0.69	0.49
Na ₂ O	0.61	0.72	0.64	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0.80	0.81	0.72	0.84	0.54	0.53	0.50	0.49	0.39	-	0.42	0.53
Сумма	98.61	101.27	101.50	99.35	98.82	99.77	100.46	100.81	99.42	100.20	99.92	101.07

Примечание: 1 — 4 — клинопироксен, 5 — 12 — ортопироксен (9, 10 — необласты, остальные анализы — порфирокласты)

В изученных образцах лерцолитов были определены составы породообразующих минералов — оливина, пироксенов, хромшпинелидов (таблица 2).

Таблица 2 – Составы акцессорного хромшпинелида и оливина в изученных лерцолитах

№	13	14	15	16	17	18	19
SiO ₂	41.81	43.27	41.12	41.01	-	-	-
Al ₂ O ₃	-	-	-	-	43.6	55.87	51.30
FeO	7.65	7.29	7.16	7.53	16.61	11.98	11.57
MgO	51.08	50.56	51.11	50.97	15.03	18.45	19.22
V ₂ O ₃	-	-	-	-	-	0.15	0.18
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	23.88	12.26	16.32
MnO	0.18	-	-	0.16	-	-	-
NiO	0.3	0.24	0.27	0.35	-	0.20	0.31
ZnO	-	-	-	-	0.42	0.37	-
сумма	101.01	101.35	99.66	100.02	99.54	99.27	98.91

Примечание: 13 — 16 — оливин, 17 — 19 — хромшпинелид (17 — тонкое выделение, 18, 19 — крупные зерна)

Клинопироксен представлен диопсидом с теми же закономерностями изменения состава, что и в ортопироксене. Оливин характеризуется магнезиальным составом с содержанием форстеритового минала 90-92%,

заметной концентрацией никеля (0.24-0.35 мас.% NiO) и низким содержанием марганца, как правило ниже предела обнаружения. Хромшпинелид характеризуется повышенной глиноземистостью и низким содержанием трехвалентного железа (табл.2), причем отмечаются значительные вариации в отношении Cr/Al между крупными кристаллами и тонкими новообразованными выделениями, последние являются более хромистыми.

Обсуждение результатов. Петрографические данные свидетельствуют о том, что лерцолиты представлены мантийными тектонитами. На это указывает широкое распространение в породах признаков пластической деформации породообразующих минералов — оливина и ортопироксена. Они выражены в волнистом погасании, образованием полос излома (кинк-бандов). Изгиб порфировкластов ортопироксена сопровождается образованием параллельных плоских включений — ламелей диопсида.

Как было отмечено выше, оливин и ортопироксен образуют два максимума размерности зерен — крупные деформированные (порфировкласты) 1-5 мм и мелкие однородные (необласты) менее 1 мм, что свидетельствует о проявлении процессов динамической рекристаллизации, действовавших одновременно с пластической деформацией минералов. Морфология границ порфировкластов, характеризующаяся наличием выпуклостей и вогнутостей различного масштаба, является свидетельством проявления миграции границ (Passchier, Trown, 2005 [38]).

Полосчатая текстура пород обусловлена различным фазовым и гранулометрическим составом, что скорее всего связано с различной реологией материала. С одной стороны, значительная разница в пластических свойствах между оливином и ортопироксеном ведет к образованию слоев существенно оливинового состава. В масштабе обнажений и крупных участков массива это ведет к формированию так называемых дунит-гарцбургитовых комплексов полосчатого строения. С другой стороны, в отдельные «слои» концентрируются зерна более легкоплавких минералов лерцолитов — клинопироксена, амфибола, плагиоклаза. Это можно объяснить тем, что данные минералы представляют собой результат кристаллизации частичного расплава базитового состава, экстрагированного из лерцолитов.

Микроструктурные особенности оливина были проанализированы двумя способами. Первый включал анализ интегральных (так называемых «синоптических») диаграмм плотности ориентировок главных осей кристаллической решетки минерала. Второй способ включал в себя геометрический анализ порфировкластов с целью определения активных систем скольжения. В целом оба варианта дали сходные результаты, свидетельствующие о том, что пластическая деформация оливина происходила при активизации системы скольжения $\{0kl\}[100]$, которая также именуется иногда «карандашным скольжением» (Щербаков, 1990 [16, 50]).

При обработке данных в программе MTEX установлено широкое распространение в порфирокластах, наряду с субзеренными границами наклона, также границ кручения. С первыми обычно ассоциируют плоскости скольжения (001), а со вторыми чаще всего — плоскости (010). Кроме того, сопоставление оптических изображений в скрещенных николях с картой субзеренной структуры позволяет отметить следующие закономерности: 1) прямолинейные границы неоднородного погасания в оливине, ориентированные субортогонально к направлению скольжения, обычно образуют минимальный угол с осью вращения (границы наклона), 2) границы неоднородного погасания криволинейной формы характеризуются значительным углом между следом границы и осью вращения и значительная их часть вероятно являются границами кручения. В целом, этот вывод согласуется с геометрическими построениями, приведенными на рис.4: в деформированных порфирокластах плоскость скольжения обычно ортогональна по отношению к субграницам наклона и образует малый угол с субграницами кручения.

В образовании пород мантийного разреза офиолитовых комплексов можно выделить два крупных этапа: 1) высокотемпературный (мантийный), на котором происходит становление первичных ассоциаций минералов и формируются их структурные взаимоотношения, и 2) коровый, связанный с выведением ультрамафитов в верхние горизонты земной коры, в это время происходит образование низкотемпературных вторичных минералов (серпентин, хлорит) и разрушение первичных мантийных соотношений. Поскольку нас интересовали события первого этапа, то для исследований были выбраны максимально свежие образцы, сохранившие информацию об условиях становления ультрамафитов на верхнемантийном уровне.

Для оценки условий образования мантийных минеральных ассоциаций использованы следующие методы. Температура минеральных равновесий в парах оливин-хромшпинелид и ортопироксен-клинопироксен определялась по различным версиям соответствующих геотермометров (Ballhaus et al., 1991 [17]; Brey, Kohler, 1990 [18]; Roeder et al., 1979 [43]; Schwartz J. et al. [49], Smelov V.R. [52], Till J.L. [54], Warren J.M. [55]; и др.), общее давление оценено по геобарометру, разработанному в (Putirka, 2008 [42]) (рис.8а). Полученные нами микроструктурные данные сравнивались с эмпирическими (рис.8б) и экспериментальными (рис.8в, 8г) диаграммами, что позволило ограничить диапазоны возможных $P-T$ -условий образования лерцолитов.

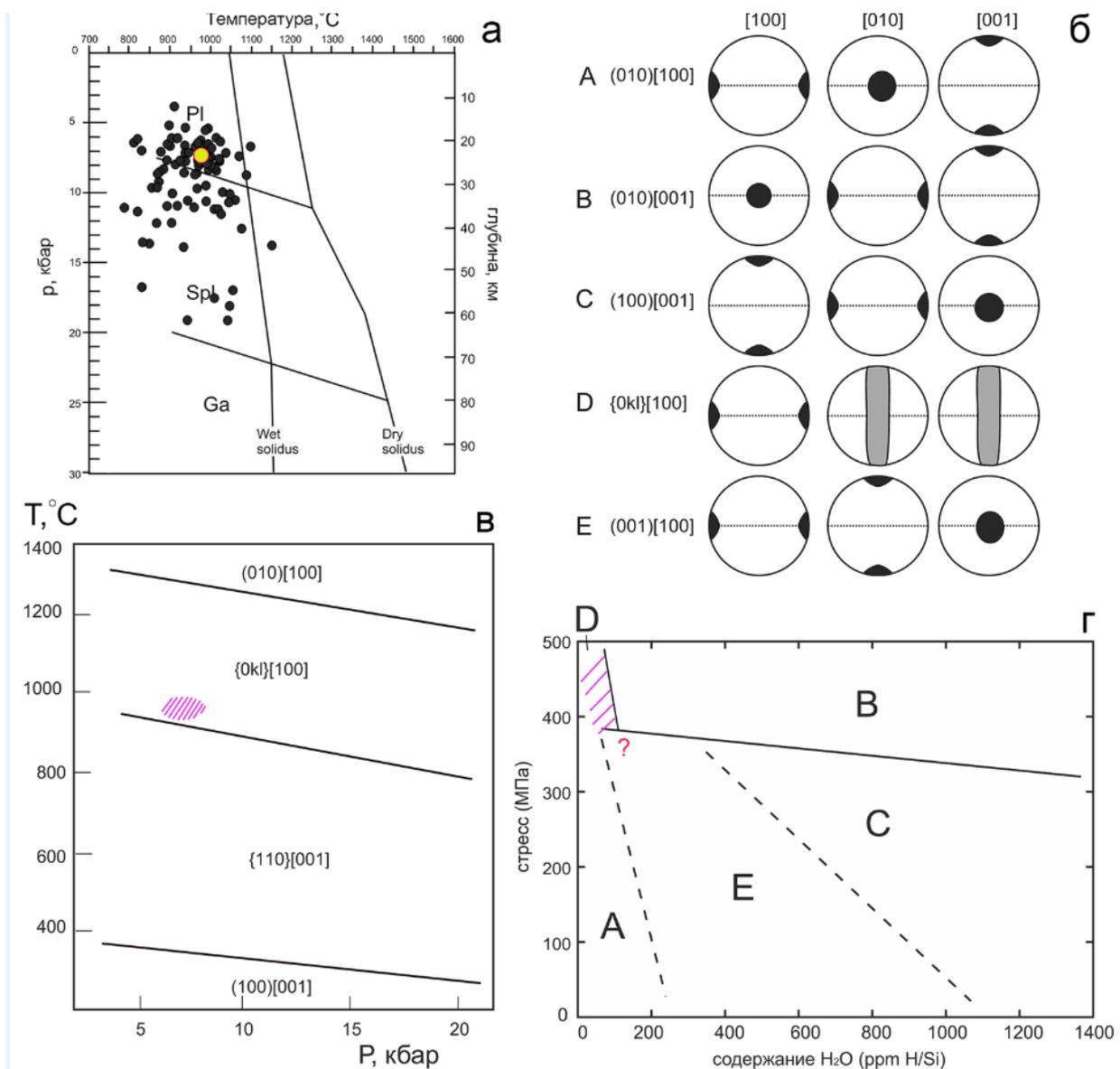


Рисунок 8 – Результаты определения PТσ-условий образования большой выборки лерцолитов Северного Крака

На рис. 8а приведены результаты определения PТσ-условий образования большой выборки лерцолитов Северного Крака (Савельев, Гатауллин, 2021 [10]), среди них выделено расположение исследованного нами образца СЕК-2150-01. По данным геотермобарометрии он попадает в поле плагиоклазовой фации, что также соответствует модальному минеральному составу лерцолита — он представлен шпинель-плагиоклазовой разновидностью. Сегрегации тонкозернистых агрегатов «плагиоклаз + хромшпинелид + клинопироксен» образуют струйчатые выделения параллельно генеральной полосчатости и минеральной уплотненности (рис.1б).

Сравнение результатов микроструктурного изучения с экспериментальными данными по деформации оливина в условиях высоких

температур и давлений показывает, что активными системами скольжения в оливине были системы семейства $\{0kl\}[100]$, которые на интегральных текстурных диаграммах (или «синоптических» по (Добржинецкая, 1989 [4])) формируют тип D предпочтительной кристаллографической ориентировки (Karato et al., 2008 [30]; Jung, 2017 [31]) (рис.8б).

Активизация подобных систем скольжения в экспериментально изученных образцах наблюдалась при умеренных температурах (900-1300°C) в диапазоне давлений 5-15 кбар. Состав сосуществующих пироксенов в изученном лерцолите позволяет локализовать оценку общего давления по расчетным геобарометрам из работы (Putirka, 2008 [42]) на уровне 7-9 кбар, а температуры в диапазоне 900-1000°C. Таким образом, мы можем ограничить область образования пород, которая на диаграмме (рис.8в) попадает в поле активности системы $\{0kl\}[100]$ вблизи нижнего предела. Положение данного типа текстуры оливина на другой диаграмме, демонстрирующей зависимость кристаллографической ориентировки оливина от величины стресса и содержания в системе H_2O (рис.8г), позволяет предполагать, что изученные ультрамафиты образовались при достаточно высоком стрессе при относительно «сухих» условиях.

Вместе с тем, анализ порфирокластов показал преобладание систем скольжения $(001)[100]$, которые характеризуют тип E текстуры, тогда как второй важный компонент типа D – система $(010)[100]$ – выражен не явно, и его наличие связывается главным образом с границами кручения. Это может быть связано с тем, что лерцолиты первоначально формировались в условиях мантийного течения, близкого к типу E (рис.8г), а после быстрого его прекращения и остывания неравновесная деформационная структура трансформировалась в более устойчивую конфигурацию.

Заключение. В результате изучения свежих образцов лерцолитов массива Северный Крака комбинированными методами РЭМ и EBSD получены количественные данные о составе и микроструктурных особенностях пороодообразующих минералов. Анализ строения порфирокластов оливина показал, что наиболее развитыми системами скольжения в оливине являлись $(001)[100]$ – для границ наклона, и $(010)[100]$ – для границ кручения с подчиненным значением других систем семейства $\{0kl\}[100]$. Интегральные данные так называемых «синоптических» диаграмм указывают также на развитие в лерцолитах D-типа предпочтительной кристаллографической ориентировки. Оценки $P\text{-}T\text{-}\sigma$ -условий двумя независимыми способами (микроструктурным и геохимическим) сопоставимы и указывают на образование пород в режиме дислокационной ползучести при температурах 850-1000°C при общем давлении 7-9 кбар и стрессе 400-500 МПа, что сопоставимо с нижней границей плагиоклазовой фации глубинности в верхней мантии.

Финансирование. Исследования выполнены за счет гранта РНФ (Соглашение № 22–17–00019). Аналитические исследования проведены на базе ЦКП ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов».

Автор очень признателен И.И. Мусабинову за проведение аналитических работ по EBSD.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гончаренко А.И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1989. 404 с.
2. Даниленко В.Н., Миронов С.Ю., Беляков А.Н., Жилиев А.П. Применение EBSD анализа в физическом материаловедении (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2012. Т. 78. №2. С. 28–46.
3. Денисова Е.А. Строение и деформационные структуры офиолитовых массивов с лерцолитовым типом разреза. Геотектоника, 1990, №2, с. 14–27.
4. Добржинецкая Л.Ф. Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. М.: Наука, 1989. 288 с.
5. Казаков А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.: Наука, 1987. 272 с.
6. Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир, 1979. 262 с.
7. Метод дифракции отраженных электронов в материаловедении /под ред. А.Шварца, М.Кумара, Б.Адамса, Д.Филда (перевод с англ.) – М.: Техносфера, 2014. 544 с.
8. Николя А. Основы деформации горных пород. М.: Мир -Эльф Акитен, 1992. 166 с.
9. Савельев Д.Е. Состав и микроструктура лерцолитов Крака как отражение процессов в верхней мантии Уральского подвижного пояса // Геология. Известия Академии наук Республики Башкортостан, 2022. № 29. С. 38–45.
10. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. Лерцолиты Азнагуловской площади: состав и P-T-fO₂ условия образования // Вестник АНРБ, 2021, Т. 40, № 3(103). С. 15–25. DOI: 10.24412/1728-5283-2021-3-15-25
11. Саранчина Г.М., Кожевников В.Н. Фёдоровский метод (определение минералов, микроструктурный анализ). Л., Недра, 1985. 208 с.
12. Сначев В.И., Савельев Д.Е., Рыкус М.В. Петрохимические особенности пород и руд габбро-гипербазитовых массивов Крака. Уфа: БашГУ, 2001. 212 с.
13. Чашухин И.С., Вотяков С.Л., Щапова Ю.В. Кристаллохимия хромшпинели и окситермобарометрия ультрамафитов складчатых областей. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2007. 310 с.

14. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). Томск: Чародей, 2001. 215 с.
15. Шмелев В.Р. Гипербазиты массива Сыум-Кеу (Полярный Урал): структура, петрология, динамометаморфизм. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 1991. 78 с.
16. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. М.: Наука, 1990. 120 с.
17. Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: Implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contr. Miner. Petrol.*, 1991, V. 107. Pp. 27–40. <https://doi.org/10.1007/BF00311183>.
18. Brey G.P., Köhler T. Geothermobarometry in 4-phase lherzolites: 2. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers. *J. Petrol.*, 1990, 31, 1353–1378. <https://doi.org/10.1093/petrology/31.6.1353>.
19. Bunge H. *Texture Analysis in Materials Science: Mathematical Models*. London: Butterworths, 1982. 593 p.
20. Carter N.L. Steady state flow of rocks. *Rev. Geophys. and Space Phys.* 1976, V.14, Pp. 301–360.
21. Carter N.L., Ave'Lallement H.G. High-T flow dunite and peridotite. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1970, V.81. Pp. 2181-2202.
22. Chaschukhin I.S., Votyakov S.L., Schapova Yu.V. Crystal chemistry of Cr-spinel and oxythermobarometry of ultramafic rocks of folded areas. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 2007. 310 p.
23. Chernyshov A.I. *Ultramaфиты (plastic flow, structural and petrostructural heterogeneity)*. Tomsk: Charodey, 2001. 215 p.
24. Coleman R.G. *Ophiolites*. Springer-Verlag, 1977. 229 p.
25. Danilenko V.N., Mironov S.Yu., Belyakov A.N., Zhilyaev A.P. Application of EBSD analysis in physical materials science (review). *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostirovanie materialov.* [Factory laboratory. Diagnostics of materials], 2012. V. 78 (2). P. 28–46.
26. Denisova E.A. Building and deformation structures of the lherzolite-type ophiolite massifs. *Geotektonika*, 1990, No 2. Pp. 14–27.
27. Dobrzhinetskaya L.F. *Deformations of igneous rocks at the condition of deep tectogenesis*. Moscow: Nauka, 1989. 288 p.
28. Goncharenko A.I. *Deformation and petro structural evolution of alpinotype ultrabasites*. Tomsk: Tomsk University Publishing, 1989. 404 p.
29. Jung H. Crystal preferred orientations of olivine, orthopyroxene, serpentine, chlorite, and amphibole, and implications for seismic anisotropy in subduction

- zones: a review. *Geosciences Journal*, 2017, V. 21. Pp. 985–1011.
<http://dx.doi.org/10.1007/s12303-017-0045-1>
30. Karato S. *Deformation of Earth Materials. An Introduction to the Rheology of Solid Earth*. Cambridge University Press. 2008. 463 p.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511804892>
31. Karato S., Jung H., Katayama I., Skemer P. Geodynamic significance of seismic anisotropy of the upper mantle: new insights from laboratory studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2008, V. 36. Pp. 59–95.
32. Kazakov A.N. *Dynamical analysis of microstructural orientation of minerals*. Leningrad: Nauka, 1987. 272 p.
33. Mercier J-C.C., Nicolas A. Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology*, 1975, V.16. Pp.454–487.
34. MTEX: <https://mtex-toolbox.github.io/TiltAndTwistBoundaries.html>
35. Nicolas A. *Basics of rock deformation*. Paris: Masson, 1984. 166 p.
36. Nicolas A., Bouchez J.L., Boudier F., Mercier J.C. Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some European lherzolites. *Tectonophysics*, 1971, V.12. pp. 55–86.
37. Nicolas A., Poirier J.P. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. Wiley – Interscience, London, 1976. 444 p.
38. Passchier C.W., Trouw R.A.J. *Microtectonics*. 2nd, Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, 372 p.
39. Poirier J.-P. *Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals*. London, Cambridge University Press, 1985. 287 p.
40. Prior D.J., Boyle A.P., Brenker F., Cheadle M.J., Day A., Lopez G., Peruzzo L., Potts G.J., Reddy S.M., Spiess R., Timms N.O., Trimby P.W., Wheeler J., Zetterstrom L. The application of electron backscattered and orientation contrast imaging in the SEM to textural problems in rocks. *American Mineralogist*, 1999, V.84. Pp. 1741-1749.
41. Prior D.J., Mariani E., Wheeler J. EBSD in the Earth Sciences: applications, common practice and challenges. In: *Electron Backscatter Diffraction in Materials Science: 2nd Edition*. Editors Schwartz, A.J., Kumar, M., Adams B.L. & Field, D.P. Springer. 2009. ISBN-13: 978-0387881355.432p. Chapter 29. Pp. 345-357.
42. Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems. *Rev. Mineral. Geochem.*, 2008, V. 69. P. 61–120. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3>.
43. Roeder P.L., Campbell I.H., Jamieson H.E. A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1979, V.68. P. 325. <https://doi.org/10.1007/BF00371554>.

44. Saranchina G.M., Kozhevnikov V.N. Fedorov's method (mineral definition, microstructural analysis). Leningrad: Nedra, 1985. 208 p.
45. Saveliev D.E. Composition and microstructure of Kraka lherzolites as reflection some processes in upper mantle beneath Urals mobile belt. *Geology. Izvestiya of Academy of Sciences of Bashkortostan Republic*, 2022, V.29. Pp. 38-45. (in Russian)
46. Saveliev D.E., Gataullin R.A. Lherzolites of Aznagulovo area: composition and $PTfO_2$ condition of formation. *Herald of Academy of Sciences of Bashkortostan Republic*, 2021, V.40 (3). P. 15-25. DOI: 10.24412/1728-5283-2021-3-15-25.
47. Saveliev D.E., Makatov D.K., Rakhimov I.R., Gataullin R.A., Shilovskikh V.V. Silicates from lherzolites in the south-eastern part of the Kempirsay massif as the matter source for giant chromitite deposits (the Southern Urals, Kazakhstan). *Minerals*, 2022, 12, 1061; <https://doi.org/10.3390/min12081061>.
48. Saveliev D.E., Shilovskikh V.V., Sergeev S.N., Kutyrev A.V. Chromian spinel neomineralisations and the microstructure of plastically deformed ophiolitic peridotites (Kraka massifs, Southern Urals, Russia). *Mineralogy and Petrology*, 2021, V. 115(4), P. 411-430. doi.org/10.1007/s00710-021-00748-w.
49. Schwartz J., Kumar M., Adams B.L., Field D.P. *Electron backscattered diffraction in Material Science*. Springer Science+Business Media. 2009. 528 p.
50. Shcherbakov S.A. Plastic deformations of ultrabasic rock of the Urals ophiolite association. Moscow. Nauka, 1990, 120 p.
51. Skemer Ph., Katayama I., Jiang Z., Karato S.-I. (2005) The misorientation index: Development of a new method for calculating the strength of lattice-preferred orientation. *Tectonophysics*, 2005, V. 411. Pp. 157–167.
52. Smelyov V.R. Gyperbasites of Syum-Keu massif (Polar Urals): structure, petrology, dynamomethamorphism. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 1991. 78 p.
53. Snachev V.I., Saveliev D.E., Rykus M.V. Petrochemical features of rocks and ores of Kraka gabbro-gyperbasite massifs. Ufa: BashGU, 2001. 212 p.
54. Till J.L., Moskowitz B.M. Deformation microstructures and magnetite texture development in synthetic shear zones. *Tectonophysics*, 2014, V. 629. Pp. 211–223.
55. Warren J.M., Hirth G., Kelemen P.B. Evolution of olivine lattice preferred orientation during simple shear in the mantle. *Earth and Planetary Science Letters* 272 (2008) 501–512. [doi:10.1016/j.epsl.2008.03.063](https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.063)

REFERENCES

1. Goncharenko A.I. Deformation and petrostructural evolution of alpine-type hyperbasites. Tomsk: Tomsk University Publishing House, 1989. 404 p.
2. Danilenko V.N., Mironov S.Yu., Belyakov A.N., Zhilyaev A.P. Application of EBSD analysis in physical materials science (review) // Factory Laboratory. Diagnostics of materials, 2012. T. 78. No. 2. pp. 28–46.
3. Denisova E.A. Structure and deformation structures of ophiolite massifs with lherzolite type of section. Geotectonics, 1990, No. 2, p. 14–27.
4. Dobrzhinetskaya L.F. Deformations of igneous rocks under conditions of deep tectogenesis. M.: Nauka, 1989. 288 p.
5. Kazakov A.N. Dynamic analysis of microstructural orientations of minerals. L.: Nauka, 1987. 272 p.
6. Colman R.G. Ophiolites. M.: Mir, 1979. 262 p.
7. Method of reflected electron diffraction in materials science / ed. A. Schwartz, M. Kumar, B. Adams, D. Field (translation from English) - M.: Tekhnosphere, 2014. 544 p.
8. Nicolas A. Fundamentals of rock deformation. M.: Mir-Elf Akiten, 1992. 166 p.
9. Savelyev D.E. Composition and microstructure of Kraka lherzolites as a reflection of processes in the upper mantle of the Ural mobile belt // Geology. News of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2022, No. 29, pp. 38–45.
10. Savelyev D.E., Gataullin R.A. Lherzolites of the Aznagulovskaya area: composition and P-T-fO₂ conditions of formation // Bulletin of ANRB, 2021, T. 40, No. 3(103). pp. 15–25. DOI: 10.24412/1728-5283-2021-3-15-25
11. Saranchina G.M., Kozhevnikov V.N. Fedorov method (determination of minerals, microstructural analysis). L., Nedra, 1985. 208 p.
12. Snachev V.I., Savelyev D.E., Rykus M.V. Petrochemical features of rocks and ores of the gabbro-ultrabasic massifs of Kraka. Ufa: Bashkir State University, 2001. 212 p.
13. Chashchukhin I.S., Votyakov S.L., Shchapova Yu.V. Crystal chemistry of Cr-spinel and oxythermobarometry of ultramafic rocks of folded areas. Ekaterinburg: IGiG Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. 310 p.
14. Chernyshov A.I. Ultramafic rocks (plastic flow, structural and petrostructural heterogeneity). Tomsk: Charodey, 2001. 215 p.
15. Shmelev V.R. Hyperbasites of the Syum-Keu massif (Polar Urals): structure, petrology, dynamometamorphism. Ekaterinburg: Institute of Geology and Geology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1991. 78 p.
16. Shcherbakov S.A. Plastic deformations of ultramafic rocks of the ophiolite association of the Urals. M.: Nauka, 1990. 120 p.

17. Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: Implications for the oxidation state of the upper mantle. *Contr. Miner. Petrol.*, 1991, V. 107. P. 27–40. <https://doi.org/10.1007/BF00311183>.
18. Brey G.P., Köhler T. Geothermobarometry in 4-phase lherzolites: 2. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers. *J. Petrol.*, 1990, 31, 1353–1378. <https://doi.org/10.1093/petrology/31.6.1353>.
19. Bunge H. *Texture Analysis in Materials Science: Mathematical Models*. London: Butterworths, 1982. 593 p.
20. Carter N.L. Steady state flow of rocks. *Rev. Geophys. and Space Phys.* 1976, V.14, P. 301–360.
21. Carter N.L., Ave'Lallement H.G. High-T flow dunite and peridotite. *Bull.Geol.Soc.Amer.*, 1970, V.81. P. 2181-2202.
22. Chaschukhin I.S., Votyakov S.L., Schapova Yu.V. Crystal chemistry of Cr-spinel and oxythermobarometry of ultramafic rocks of folded areas. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 2007. 310 p. (in Russian)
23. Chernyshov A.I. *Ultramafites (plastic flow, structural and petrostructural heterogeneity)*. Tomsk: Charodey, 2001. 215 p. (in Russian)
24. Coleman R.G. *Ophiolites*. Springer-Verlag, 1977. 229 p.
25. Danilenko V.N., Mironov S.Yu., Belyakov A.N., Zhilyaev A.P. Application of EBSD analysis in physical materials science (review). *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostirovanie materialov.*[Factory laboratory. Diagnostics of materials], 2012. V. 78 (2). P. 28–46. (In Russian)
26. Denisova E.A. Building and deformation structures of the lherzolite-type ophiolite massifs. *Geotektonika*, 1990, No 2. P. 14–27 (in Russian)
27. Dobrzhinetskaya L.F. *Deformations of igneous rocks at the condition of deep tectogenesis*. Moscow: Nauka, 1989. 288 p. (in Russian)
28. Goncharenko A.I. *Deformation and petro structural evolution of alpinotype ultrabasites*. Tomsk: Tomsk University Publishing, 1989. 404 p. (in Russian)
29. Jung H. Crystal preferred orientations of olivine, orthopyroxene, serpentine, chlorite, and amphibole, and implications for seismic anisotropy in subduction zones: a review. *Geosciences Journal*, 2017, V. 21, P. 985–1011. <http://dx.doi.org/10.1007/s12303-017-0045-1>
30. Karato S. *Deformation of Earth Materials. An Introduction to the Rheology of Solid Earth*. Cambridge University Press. 2008. 463 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511804892>

31. Karato S., Jung H., Katayama I., Skemer P. Geodynamic significance of seismic anisotropy of the upper mantle: new insights from laboratory studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2008, V. 36. P. 59–95.
32. Kazakov A.N. Dynamical analysis of microstructural orientation of minerals. Leningrad: Nauka, 1987. 272 p. (in Russian).
33. Mercier J-C.C., Nicolas A. Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts. *Journal of Petrology*, 1975, V.16. P.454–487.
34. MTEX: <https://mtex-toolbox.github.io/TiltAndTwistBoundaries.html>
35. Nicolas A. Basics of rock deformation. Paris: Masson, 1984. 166 p.
36. Nicolas A., Bouchez J.L., Boudier F., Mercier J.C. Textures, structures and fabrics due to solid state flow in some European lherzolites. *Tectonophysics*, 1971, V.12, pp. 55–86.
37. Nicolas A., Poirier J.P. Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks. Wiley – Interscience, London, 1976. 444 p.
38. Passchier C.W., Trouw R.A.J. *Microtectonics*. 2nd, Revised and Enlarged Edition. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, 372 p.
39. Poirier J.-P. Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals. London, Cambridge University Press, 1985. 287 p.
40. Prior D.J., Boyle A.P., Brenker F., Cheadle M.J., Day A., Lopez G., Peruzzo L., Potts G.J., Reddy S.M., Spiess R., Timms N.O., Trimby P.W., Wheeler J., Zetterstrom L. The application of electron backscattered and orientation contrast imaging in the SEM to textural problems in rocks. *American Mineralogist*, 1999, V.84. P. 1741-1749.
41. Prior D.J., Mariani E., Wheeler J. EBSD in the Earth Sciences: applications, common practice and challenges. In: *Electron Backscatter Diffraction in Materials Science: 2nd Edition*. Editors Schwartz, A.J., Kumar, M., Adams B.L. & Field, D.P. Springer. 2009. ISBN-13: 978-0387881355.432p. Chapter 29. P. 345-357.
42. Putirka K.D. Thermometers and barometers for volcanic systems. *Rev. Mineral. Geochem.*, 2008, V. 69. P. 61–120. <https://doi.org/10.2138/rmg.2008.69.3>.
43. Roeder P.L., Campbell I.H., Jamieson H.E. A re-evaluation of the olivine-spinel geothermometer. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1979, V.68. P.325. <https://doi.org/10.1007/BF00371554>.
44. Saranchina G.M., Kozhevnikov V.N. Fedorov’s method (mineral definition, microstructural analysis). Leningrad: Nedra, 1985. 208 p. (in Russian)
45. Saveliev D.E. Composition and microstructure of Kraka lherzolites as reflection some processes in upper mantle beneath Urals mobile belt. *Geology. Izvestiya of Academy of Sciences of Bashkortostan Republic*, 2022, V.29. P. 38-45. (in Russian)

46. Saveliev D.E., Gataullin R.A. Lherzolites of Aznagulovo area: composition and PTfO₂ condition of formation. Herald of Academy of Sciences of Bashkortostan Republic, 2021, V.40 (3). P. 15-25. DOI: 10.24412/1728-5283-2021-3-15-25 (in Russian)
47. Saveliev D.E., Makatov D.K., Rakhimov I.R., Gataullin R.A., Shilovskikh V.V. Silicates from lherzolites in the south-eastern part of the Kempirsay massif as the matter source for giant chromitite deposits (the Southern Urals, Kazakhstan). Minerals, 2022, 12, 1061; <https://doi.org/10.3390/min12081061>
48. Saveliev D.E., Shilovskikh V.V., Sergeev S.N., Kutyrev A.V. Chromian spinel neomineralisations and the microstructure of plastically deformed ophiolitic peridotites (Kraka massifs, Southern Urals, Russia). Mineralogy and Petrology, 2021, V. 115(4), P. 411-430. doi.org/10.1007/s00710-021-00748-w
49. Schwartz J., Kumar M., Adams B.L., Field D.P. Electron backscattered diffraction in Material Science. Springer Science+Business Media. 2009. 528 p.
50. Shcherbakov S.A. Plastic deformations of ultrabasic rock of the Urals ophiolite association. Moscow. Nauka, 1990, 120 p. (in Russian)
51. Skemer Ph., Katayama I., Jiang Z., Karato S.-I. (2005) The misorientation index: Development of a new method for calculating the strength of lattice-preferred orientation. Tectonophysics, 2005, V. 411. P. 157–167
52. Smelyov V.R. Gyperbasites of Syum-Keu massif (Polar Urals): structure, petrology, dynamomethamorphism. Ekaterinburg: IGG UrB RAS, 1991. 78 p. (in Russian)
53. Snachev V.I., Saveliev D.E., Rykus M.V. Petrochemical features of rocks and ores of Kraka gabbro-gyperbasite massifs. Ufa: BashGU, 2001. 212 p. (in Russian)
54. Till J.L., Moskowitz B.M. Deformation microstructures and magnetite texture development in synthetic shear zones. Tectonophysics, 2014, V. 629. P. 211–223.
55. Warren J.M., Hirth G., Kelemen P.B. Evolution of olivine lattice preferred orientation during simple shear in the mantle. Earth and Planetary Science Letters 272 (2008) 501–512. doi:10.1016/j.epsl.2008.03.063

Сведения об авторе:

Савельев Дмитрий Евгеньевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

Author's personal details

Savelyev Dmitry Evgenievich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Institute of Geology - a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Савельев Д.Е.

УТОЧНЕНИЕ ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ ЮРСКО-НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

© Никифоров Виталий Викторович,

© Шарафутдинов Айдар Рафисович,

© Шабрин Никита Владиславович,

© Чибисов Александр Вячеславович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,

г. Уфа, Российская Федерация

Научный центр мирового уровня

«Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты»,

г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Полифациальные условия накопления юрско-нижнемеловых отложений представляют собой одну из ключевых характеристик геологического строения продуктивных толщ Западно-Сибирского осадочного бассейна. Эти условия приводят к сложной дифференциации фациальных тел с разнообразными фильтрационно-емкостными свойствами и мозаичным распределением пород по площади. Исследования направлены на детализацию литолого-фациальной модели исследуемой площади основываясь на анализе и комплексирование данных кернового материала, геофизических исследований скважин и результатов сейсморазведки. Стандартные исследования фациального строения с использованием скважинных данных обычно ограничены информацией, полученной из пробуренных участков. Это позволяет с определенной достоверно установить условия осадконакопления только в разбуренной части территории. При этом границы фациальных тел в межскважинном пространстве и для неразбуренной части месторождения зачастую интерполируются. Применение спектральной декомпозиции сигнала дает возможность с достаточной точностью определить геометрию песчаных тел, сформированных в определенных условиях осадконакопления. Для уточнения распространения границ фациальных тел в программном пакете tNavigator проведен атрибутный анализ сейсмических кубов амплитуд для продуктивного разреза на примере месторождения северо-восточной части Шаимского нефтегазоносного района Западно-Сибирской провинции. Метод основывается на разделении сигнала волнового поля на частотные компоненты, каждой из которых присваивается свой цветовой канал. Результатом применения алгоритма спектральной декомпозиции является куб суммирования трех частотных компонент, характеризующий преобладание определенного литотипа отложений. На основе проведенных исследований скорректированы границы фациальных тел на всем исследуемом участке, в том числе в неразбуренных областях, построена детальная литолого-фациальная модель месторождения, которая полностью соответствует общему развитию регионального осадочного бассейна. Результаты проведенной работы позволят более рационально подойти к вопросу освоения запасов нефти исследуемой площади на начальной стадии разработки, обосновать технологии воздействия и прогнозировать их эффективность.

Ключевые слова: Юрско-нижнемеловые отложения, литолого-фациальное строение, спектральная декомпозиция, тюменская свита, границы фациальных тел, атрибутный анализ.

UPDATE THE LITHOFACIES STRUCTURE BASED OF SPECTRAL DECOMPOSITION

© Nikiforov Vitaly Viktorovich,

© Sharafutdinov Aidar Rafisovich,

© Shabrin Nikita Vladislavovich,

© Chibisov Alexander Vyacheslavovich

Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation
World level research centre «Rational exploration of hydrocarbons»,
Ufa, Russian Federation

Summary: The polyfacial conditions of accumulation of Jurassic-Lower Cretaceous sediments represent one of the key characteristics of the geological structure of the productive strata of the West Siberian sedimentary basin. These conditions lead to a complex differentiation of facies bodies with diverse filtration and capacitance properties and a mosaic distribution of rocks over an area. The research is aimed at detailing the lithological and facies model of the studied area based on the analysis and integration of core material data, geophysical well surveys and seismic survey results. Standard studies of the facies structure using borehole data are usually limited to information obtained from drilled sites. This makes it possible to reliably determine the conditions of sedimentation only in the drilled part of the territory. At the same time, the boundaries of facies bodies in the interwell space and for the non-drilled part of the deposit are often interpolated. The use of spectral decomposition of the signal makes it possible to determine with sufficient accuracy the geometry of sand bodies formed under certain sedimentation conditions. To clarify the distribution of the boundaries of facies bodies in the tNavigator software package, an attribute analysis of seismic amplitude cubes for a productive section was carried out using the example of a field in the northeastern part of the Shaimsky oil and gas region of the West Siberian province. The method is based on dividing the wavefield signal into frequency components, each of which is assigned its own color channel. The result of applying the spectral decomposition algorithm is a cube of summation of three frequency components, characterizing the predominance of a certain lithotype of deposits. Based on the conducted research, the boundaries of facies bodies were adjusted throughout the studied area, including in undeveloped areas, and a detailed lithological and facies model of the deposit was built, which fully corresponds to the overall development of the regional sedimentary basin. The results of the work carried out will allow a more rational approach to the issue of developing oil reserves of the studied area at the initial stage of development, substantiate impact technologies and predict their effectiveness.

Keywords: Jurassic-lower cretaceous formation, lithofacies structure, spectrographic decomposition, tyumen suite, boundaries of facies bodies, seismic attribute analysis.

Введение. В условиях постепенного истощения открытых и разрабатываемых месторождений нефти, в последнее время стал актуальным вопрос поиска ловушек неструктурного типа. Одним из перспективных направлений, является выделение литологически ограниченных ловушек, формирование которых связано с условиями седиментогенеза.

Стандартный литолого-фациальный анализ на основе скважинных данных (в первую очередь кернового материала, а также данных геофизических

исследований скважин) дает достаточно подробное представление о составе и условиях образования отложений, но лишь в небольшой прискважинной области. Для прослеживания выделенных фациальных обстановок, полученная информация интерполируется по площади. Применение такого метода представления строения залежей может недостоверно отражать геометрию сложных литологических тел. Одним из способов изучения неразбуренных областей продуктивных пластов является интерпретация данных сейсморазведочных работ.

Юрско-нижнемеловые отложения Западно-Сибирского палеобассейна характеризуются быстрой изменчивостью условий осадконакопления, сформированных в результате общей трансгрессии. Анизотропия фильтрационно-емкостных свойств (ФЭС) отложений приводит к неравномерной выработке запасов углеводородов. В условиях увеличения доли месторождений, находящихся на поздних стадиях разработки, понимание распределения фациальных тел продуктивных толщ позволяет установить причины формирования зон с повышенными значениями остаточных запасов.

На примере месторождения северо-восточной части Шамского нефтегазоносного района Западно-Сибирской провинции проведена реконструкция палеогеографических обстановок осадконакопления с применением атрибутивного анализа результатов сейсморазведочных работ. Геологическое строение продуктивного разреза характеризуется неравномерным распределением литологии, областями выклинивания и глинизации коллектора, а также осложнено системой разрывных нарушений. Высокая неоднородность обусловлена значительной фациальной изменчивостью отложений как по разрезу, так и по площади.

В продуктивном интервале можно выделить две крупные группы условий осадконакопления:

1. Нижняя часть разреза (пласты Ю₅₋₇) характеризуется континентальными фациальными обстановками с развитием песчаных тел палеорусел и глинистыми озерно-болотными отложениями. Большая часть исследуемой территории на данный период представлена денудационной равниной, откуда сносился материал и образовывал делювиально-пролювиальную обстановку осадконакопления. А также происходит постепенное перекрытие выхода фундамента склоновыми и пойменными осадками с увеличением доли отложений застойных и зарастающих стариц и озер.
2. Верхняя часть разреза (пласты Ю₂₋₄) представлена прибрежно-морскими обстановками, сформированными в условиях трансгрессии бассейна. В центральной и северной частях исследуемой территории отложения имеют континентальный генезис с русловыми, пойменными отложениями, осадками заливаемой прибрежной равнины и склоновыми отложениями. Увеличилась доля песчаного материала за счет образования пляжевых

отложений и вдольбереговых валов. Продолжающаяся трансгрессия моря привела к увеличению площади распространения морских обстановок осадконакопления.

На текущий момент месторождение находится в стадии активного разбуривания эксплуатационного фонда скважин. В таких условиях проведение литолого-фациального анализа осложняется ограниченностью доступных данных. Достоверные результаты исследований кернового материала и кривых ГИС возможно получить лишь на некоторых участках, где проведено бурение. Представление о строении нерабуренных частей территории можно сформировать исходя из интерполяции имеющихся данных, либо на основе интерпретации результатов сейсморазведочных работ. Применяя различные методы атрибутного анализа к сейсмическим кубам распределения волнового поля, возможно выделить дополнительные свойства отложений.

Одним из эффективных методов проведения литолого-фациального анализа является спектральная декомпозиция сигнала. В основе атрибута лежит методика разложения исходного сейсмического куба на частотные компоненты, каждой из которых присваивается свой цветовой канал (красный, зеленый или синий). Обычно наименьшей частоте присваивается красный канал, а наибольшей – синий, что связано с расположением данных цветов на оптическом спектре. Алгоритм удаляет вейвлет-отпечаток из исходных сейсмических данных. Затем с помощью RGB-смешивания трех спектральных компонент получается итоговый атрибут, который обычно анализируется по стратиграфическим или пропорциональным срезам между сейсмическими горизонтами.

С целью уточнения распространения границ фациальных тел, выделенных на основе анализа кернового материала и данных ГИС, в программном пакете tNavigator проведен атрибутный анализ сейсмических кубов амплитуд. Для правильного выбора частотных каналов оценен спектра волнового поля в интервале продуктивных пластов месторождения. В амплитудном спектре выделяются три пика частот с высокой амплитудой сигнала.

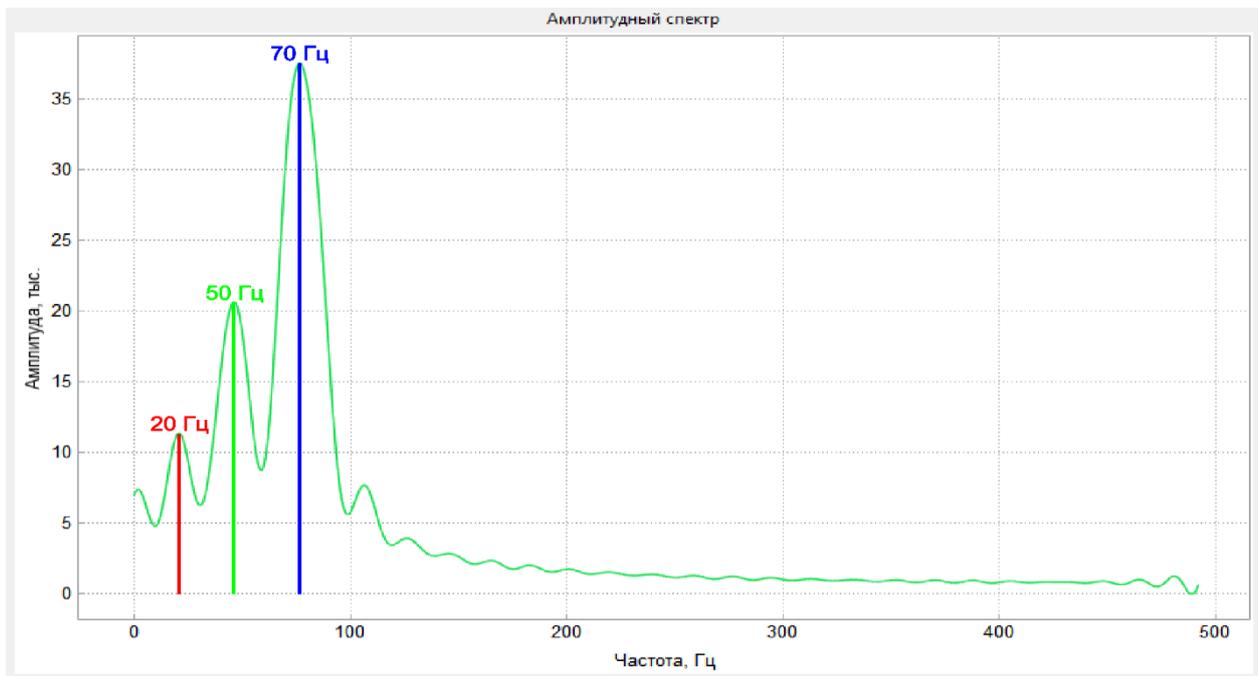


Рисунок 1 – Амплитудный спектр волнового поля месторождения в интервале продуктивных пластов

Исходя из полученных данных, красному каналу спектра была присвоена частота 20 Гц, зеленому – 50 Гц, синему – 70 Гц. Расчет атрибута спектральной декомпозиции проводился по алгоритму определения огибающей, в которой яркость цветовых каналов задавалась локальной амплитудой соответствующего комплексного сигнала. В качестве основы для вейвлет преобразования использована модель сигнала Риккера.

Полученный атрибутный куб сопоставлен с результатами анализа кернового материала и данных ГИС. Распределение спектров сигнала достоверно коррелируется с полученной ранее литолого-фациальной моделью исследуемой площади.

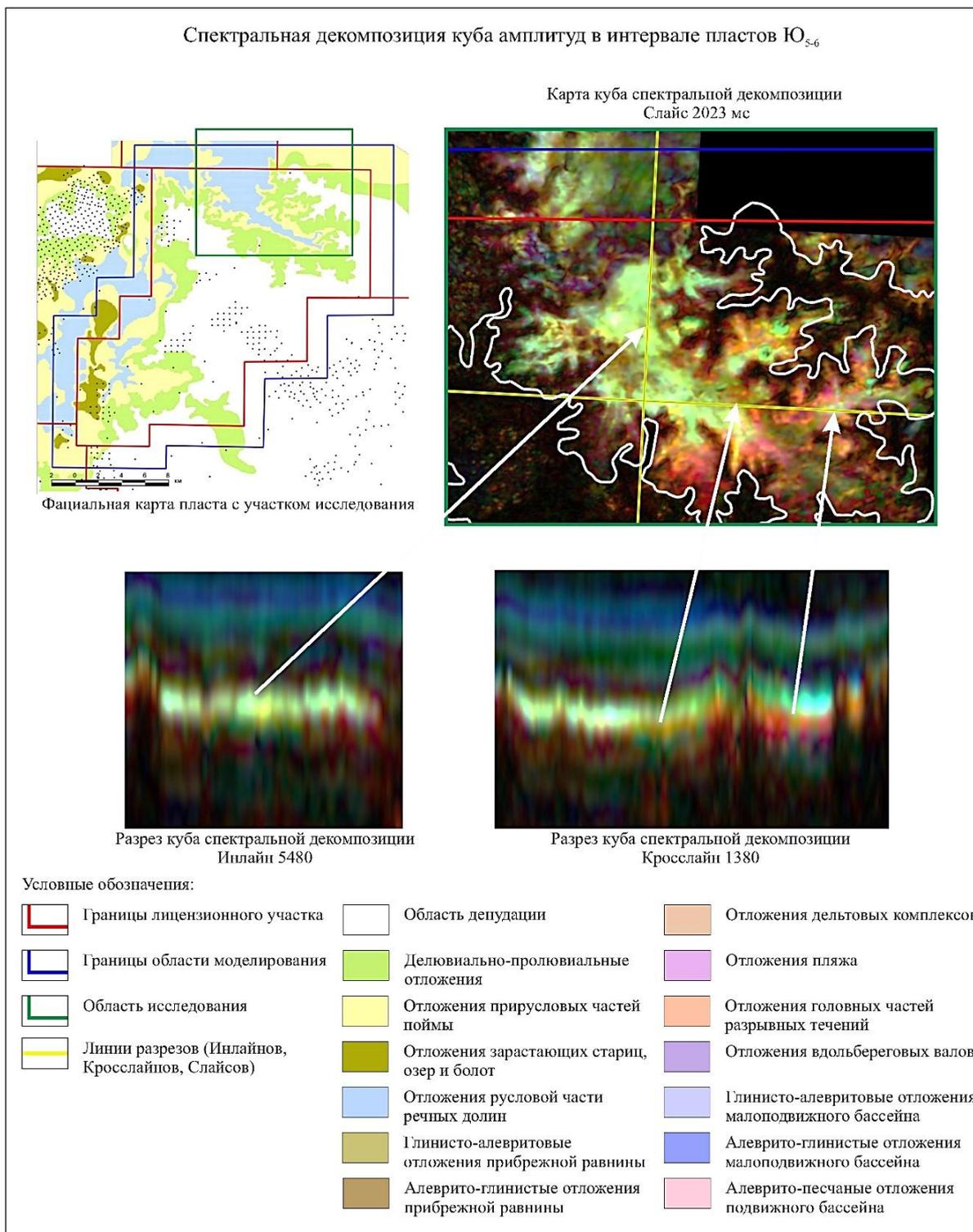


Рисунок 2 – Спектральная декомпозиция куба амплитуд в интервале пластов Ю₅₋₆

Заключение. Разрезы пластов Ю₅₋₇ представлены континентальными отложениями аллювиальных долин. Основными продуктивными песчанистыми

талами являются русловые каналы. В следствии отличия литологического состава от вмещающих пород, на полученном кубе спектральной декомпозиции, извилистые, шнуркообразные полосы палеорусел выделяются как участки с повышенными значениями частоты зеленого канала. Вмещающие отложения фундамента характеризуются понижением амплитуды частот и в кубе выражены как затемненные области. Делювиально-пролювиальные и пойменные отложения выражены областями с преобладанием красного канала.

На разрезах куба декомпозиции, выделенные русловые отложения представлены отдельными талами, в виде вреза в комплекс подстилающих отложений.

Интервал пластов Ю₅₋₆ характеризуется повышенными значениями амплитуд. Для корректного отображения спектров, создан отдельный куб, в котором произведено линейное уменьшение сигналов цветowych каналов. Вся область представлена врезающимися друг в друга меандрирующими речными каналами, что осложняет выделение отдельных русловых тел.

Осадконакопление интервала пласта Ю₄ характеризуется условиями прибрежной равнины. Отложения распределены относительно равномерно и принимают значения смещения зеленого и красного каналов. Выделяются отдельные области с преобладанием синего канала спектра. Условия осадконакопления в данных областях характеризуются как наиболее застойные. Остальные тала на основе данных декомпозиции выделить сложно.

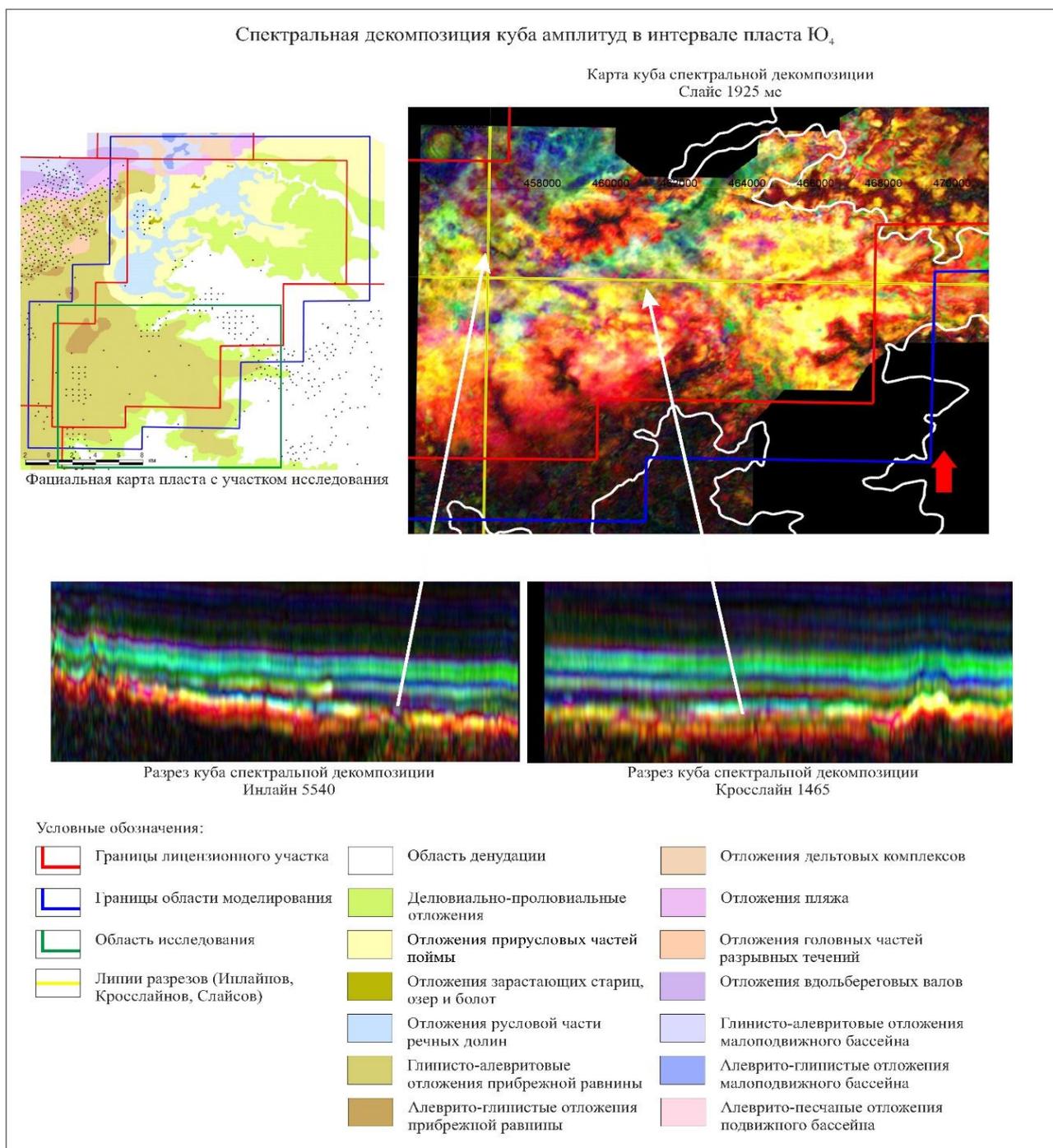


Рисунок 3 – Спектральная декомпозиция куба амплитуд в интервале пласта Ю₄

Для пластов Ю₂₋₃ выделяется общая тенденция – морские и переходные отложения характеризуются преобладанием синего канала в сигнале, континентальные – зеленого. На картах и разрезах уверенно выделяется граница между обстановками осадконакопления.

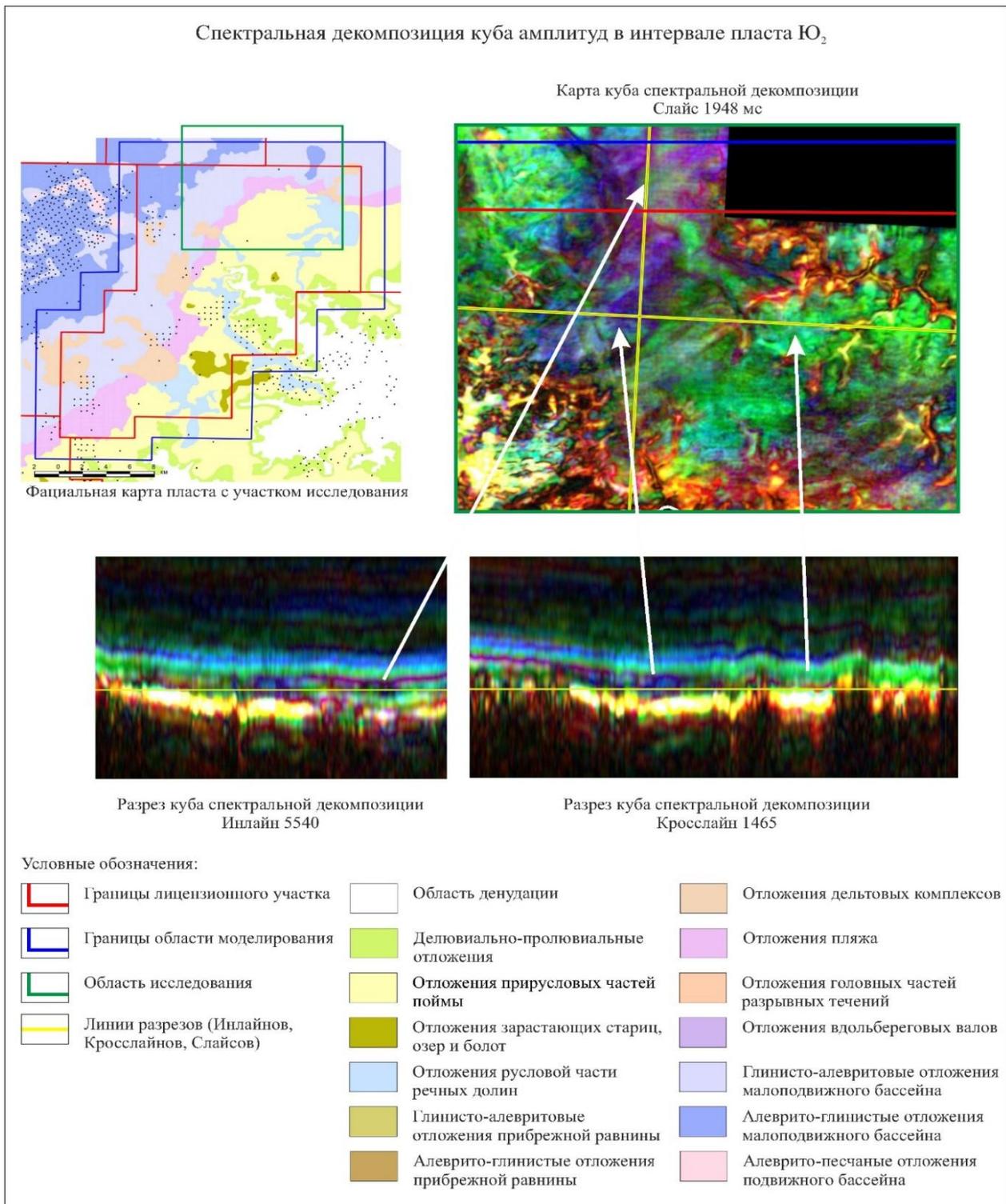


Рисунок 4 – Спектральная декомпозиция куба амплитуд в интервале пласта Ю₂

Оценено влияние условий обстановок осадконакопления на распределение гранулометрического состава и минералов глинистого цемента отложений продуктивных пластов месторождения. Закономерности изменения состава отложений подчиняются общим трендам развития территории. Для пластов

Ю₅₋₆ характерно преобладание крупнозернистых фракций и каолина в цементе. Это связано с распространением русел сплетенного типа, а также полным протеканием процесса выветривания полевых шпатов. Начиная с пласта Ю₄ сменяются обстановки осадконакопления. На территории возникают прибрежные, а затем и морские обстановки осадконакопления. Подъем уровня базиса эрозии речных систем изменяет их энергетiku, формируя меандрирующий тип русел, характеризующийся более мелкозернистыми осадками. Кроме этого уменьшается время денудации и сноса осадков в осадочный бассейн, что преждевременно заканчивает цикл выветривания полевых шпатов. В следствие этого, в глинистом цементе начинает возрастать доля гидрослюд и хлорита.

Для каждой фациальной зоны выделены и объяснены закономерности распределения фильтрационно-емкостных свойств. Высокие значения пористости приурочены к областям с высокой гидродинамической активностью, характеризующимся отсортированными отложениями. Застойные области, с сильно глинизированными коллекторами характеризуются пониженными значениями ФЕС. Кроме этого, отдельно отмечаются склоновые отложения, представленные чередованием и смесью осадков различных фракций, от грубозернистых до пелитовых. Для данных зон характерно хаотичное распределение ФЕС. Области склоновых конусов выноса, за счет формирования временными водными потоками, характеризуются сортировкой осадков и, как следствие, хорошими показателями пористости. В остальном, деллювиально-проллювиальные отложения имеют пониженные значения ФЕС на территории месторождения.

Максимальные значения эффективных толщин в области распространения континентальных условий принимают аллювиальные отложения. При этом, области замещения коллектора глинами в разрезе были выделены как застойные отложения зарастающих стариц и болот. Склоновые условия осадконакопления характеризуются неравномерным распределением эффективных толщин пластов и приурочены к областям выклинивания.

В переходных обстановках, в следствие высокой гидродинамической активности среды, отложения характеризуются высокими значениями эффективны толщин. Наибольшие значения приурочены к зонам дельтовых комплексов, где в короткие, по геологическим меркам, сроки происходило лавинообразное осадконакопления обломочного материала.

Морские обстановки осадконакопления характеризуются примерно равными низкими значениями эффективных толщин.

Таким образом, использование атрибутивного анализа результатов сейсморазведочных работ является хорошим инструментом определения свойств отложений. Такой подход позволяет более точно проводить

стратиграфическую интерпретацию данных, выявлять геологические особенности отложений, а также геометризацию фациальных тел.

Применение спектральной декомпозиции куба амплитуд рассматриваемого участка подтвердило результаты, полученные в ходе литолого-фациального анализа на основе скважинных данных. Кроме этого, прослежены границы выделенных тел в неразбуренной части месторождения, что позволит скорректировать забои планируемых скважин эксплуатационного фонда. Полученные результаты положены в основу детальной геологической модели месторождения, учитывающей характер распределения ФЭС в каждой из обстановок осадконакопления.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Никифоров В.В., Шабрин Н.В., Шарафутдинов А.Р., Махныткин Е.М., Шабутдинов А.С. Подбор эффективных геолого-технических мероприятий с учетом литолого-фациальных особенностей осадконакопления продуктивных отложений. Современные технологии в нефтегазовом деле – 2022. Сборник трудов международной научно-технической конференции. Октябрьский, 25 марта 2022 года. – Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2022. С. 191-195. EDN XNMEAG.
2. Арефьев С.В., Никифоров В.В., Котенёв Ю.А., Шабрин Н.В., Шарафутдинов А.Р. Особенности выработки запасов нефти юрско-нижнемеловых отложений на основании уточнения литолого-фациального строения месторождения // Нефть. Газ. Новации. 2022. № 3 (256). С. 26-31. EDN ULZUHW.
3. Шабрин Н.В., Никифоров В.В., Шарафутдинов А.Р. Влияние технологических факторов на выработку запасов на примере месторождения Шаимского региона // Актуальные проблемы науки и техники — 2023: сборник материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Уфа, 2023. Т.1. С. 119-120.
4. Шабрин Н.В., Никифоров В.В., Шарафутдинов А.Р. Особенности условий обстановок осадконакопления северо-восточной части Шаимского нефтегазоносного района // Актуальные проблемы науки и техники — 2023: сборник материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. Уфа, 2023. Т.1. С. 120-122.
5. Стенькин А.В., Котенёв Ю.А., Султанов Ш.Х., Мухаметшин В.В., Никифоров В.В. Повышение эффективности выработки запасов нефти юрских отложений Шаимского региона / А. В. Стенькин, Ю. А. Котенев, Ш. Х. Султанов [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2018. №4. С. 53-57. DOI 10.30713/2413-5011-2018-4-53-57. EDN YVJFCR.
6. Никифоров В.В., Стенькин А.В., Котенев Ю.А., Чудинова Д.Ю., Чибисов А.В. Предложения по освоению остаточных запасов нефти месторождения

- Шаимского нефтегазоносного района со сложным разломно-блоковым строением // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2022. № 5–6. С. 56–63.
7. Фазылова Л.Р., Султанов Ш.Х., Никифоров В.В. Оценка влияния неоднородности пластов-коллекторов нижнего мела на разработку запасов / Сборник научных трудов 43-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию филиала УГНТУ в г. Октябрьском. Материалы в 2-х томах. 2016. Сборник научных трудов 43-й Международной научно-технической 29 апреля 2016 года. Том 1. Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. С. 267-272. (340 с.) ISBN 978-5-93105-292-2. EDN XBQORD.
 8. Зацепин О.Г., Икс В.В., Стенькин А.В., Султанов Ш.Х., Никифоров В.В. Перспективы увеличения дебитов нефти из низкопроницаемых пластов тюменской свиты современными технологиями / О. Г. Зацепин, В. В. Икс, А. В. Стенькин [и др.] // Сборник научных трудов 43-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов, посвященной 60-летию филиала УГНТУ в г. Октябрьском: Материалы в 2-х томах, Октябрьский, 29 апреля 2016 года. Том 1. – Октябрьский: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. С. 170-175. EDN XCMSBD.
 9. Никифоров В. В., Амантаев В.И., Шарипов Д.Х., Яппаров В.Р. Анализ гидродинамической взаимосвязи между скважинами на примере месторождения Западной Сибири. Современные технологии в нефтегазовом деле – 2022: Сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Октябрьский. 2022. С. 27-32.
 10. Никифоров В.В., Султанов Ш. Х., Шабрин Н.В., Шарафутдинов А.Р. Влияние литолого-фациальных особенностей и тектонического строения на распределения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2023. № 2. С. 9-15.
 11. Шабрин Н.В., Стенькин А.В., Котенев А.Ю. Влияние фациальных обстановок осадконакопления Тюменской свиты на эффективность извлечения и выработку запасов углеводородов // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2022. Т. 43. № 2 (106). С. 36-45. DOI 10.24412/1728-5283_2022_2_36_45. EDN MRXWDM.
 12. Никифоров В.В., Котенев Ю.А. Геодинамические особенности формирования залежей нефти Шаимского нефтегазоносного района и повышение эффективности нефтеизвлечения // Нефть. Газ. Новации. 2022. №12(265). С. 16-19.
 13. Никифоров В.В., Котенев Ю.А. Геотектонические критерии потенциала нефтегазоносности Шаимского региона // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2022. Т. 42. № 1(105). С. 39-47. DOI 10.24412/1728-5283_2022_1_39_47. EDN VJMCAG.

14. Никифоров В. В., Котенев Ю. А. Геолого-физические особенности формирования и выработки запасов нефти залежей, осложненных разрывными нарушениями // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. № 6. С. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019-6-23-30. EDN TFZXDN.
15. Никифоров В. В., Котенев А. Ю., Набиев Т. А. Методический подход по оптимизации системы разработки месторождений со сложным геологическим строением // Бурение и нефть. 2023. № S1. С. 54-56. Источник: <https://burneft.ru/archive/issues/2023-01sp/54> (дата обращения: 10.06.2024).
16. Шабрин Н. В., Котенев М. Ю., Никифоров В. В. Геолого-промысловое обоснование совершенствования системы заводнения юрских отложений месторождений Шаимского района / Современные технологии в нефтегазовом деле – 2022: Сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Октябрьский. 2022. С. 293-297.
17. Шабрин Н. В., Никифоров В. В., Шарафутдинов А. Р., Котенёв М.Ю., Климин Р.В. Критерии поиска новых залежей нефти в коре выветривания доюрского фундамента Шаимского НГР // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 32. С. 52-67. DOI 10.24412/2949-4052-2023-3-52-67. EDN RTWOBF.
18. Никифоров В.В., Чудинова Д.Ю., Чибисов А.В., Котенев Ю.А. Комплексный подход к уточнению проводимости зон деструкции, выделенных методами сейсморазведки // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2022: Сборник трудов международной научно-технической конференции, г. Октябрьский. 2022. С. 187-191. EDN GHRNPY.
19. Волков Д.С. Возможности количественной интерпретации результатов спектральной декомпозиции сейсмических данных МОГТ-3D // Актуальные проблемы нефти и газа. 2022. №1 (36). С.25-40. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2022-36.art2.
20. Нуриева, А. А., Никифоров В. В. Бурение бокового ствола скважины как метод увеличения нефтеотдачи // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения: Ежегодный сборник научных трудов / ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан». Том Выпуск 8 (13). Уфа: ООО «Монография», 2019. С. 300-303. (340 с.). EDN INQASM.

REFERENCES:

1. Nikiforov V.V., Shabrin N.V., Sharafutdinov A.R., Makhnytkin E.M., Shabutdinov A.S. Selection of effective geological and technical measures taking into account the lithological and facial features of the sedimentation of productive deposits. Modern technologies in the oil and gas industry - 2022. Collection of proceedings of the international scientific and technical conference. Oktyabrsky, March 25, 2022. –

- Oktyabrsky: Ufa State Petroleum Technical University, 2022. Pp. 191-195. EDN XNMEAG.
2. Arefiev S.V., Nikiforov V.V., Kotenev Yu.A., Shabrin N.V., Sharafutdinov A.R. Features of the production of oil reserves of Jurassic-Lower Cretaceous deposits based on clarification of the lithological-facial structure of the field // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 3 (256). Pp. 26-31. EDN ULZUHW.
 3. Shabrin N.V., Nikiforov V.V., Sharafutdinov A.R. The influence of technological factors on the development of reserves using the example of a deposit in the Shaim region // Current problems of science and technology - 2023: collection of materials XVI International. scientific-practical conf. young scientists and specialists. Ufa, 2023. T.1 Pp. 119-120.
 4. Shabrin N.V., Nikiforov V.V., Sharafutdinov A.R. Features of the conditions of sedimentation environments in the northeastern part of the Shaim oil and gas region // Current problems of science and technology - 2023: collection of materials XVI International. scientific-practical conf. young scientists and specialists. Ufa, 2023. T.1. Pp. 120-122.
 5. Stenkin A.V., Kotenev Yu.A., Sultanov Sh.Kh., Mukhametshin V.V., Nikiforov V.V. Increasing the efficiency of production of oil reserves of the Jurassic deposits of the Shaim region / A. V. Stenkin, Yu. A. Kotenev, Sh. Kh. Sultanov [etc.] // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2018. No. 4. Pp. 53-57. DOI 10.30713/2413-5011-2018-4-53-57. EDN YVJFCR.
 6. Nikiforov V.V., Stenkin A.V., Kotenev Yu.A., Chudinova D.Yu., Chibisov A.V. Proposals for the development of residual oil reserves of the Shaim oil and gas bearing region with a complex fault-block structure // Territory "NEFTEGAZ". 2022. No. 5–6. pp. 56–63.
 7. Fazylova L.R., Sultanov Sh.Kh., Nikiforov V.V. Assessment of the influence of the heterogeneity of Lower Cretaceous reservoir layers on the development of reserves / Collection of scientific papers of the 43rd International Scientific and Technical Conference dedicated to the 60th anniversary of the branch of USPTU in Oktyabrsky. Materials in 2 volumes. 2016. Collection of scientific papers of the 43rd International Scientific and Technical Conference April 29, 2016. Volume 1. Oktyabrsky: Ufa State Petroleum Technical University, 2016. Pp. 267-272. (340 pp.) ISBN 978-5-93105-292-2. EDN XBQORD.
 8. Zatsepin O.G., Iks V.V., Stenkin A.V., Sultanov Sh.Kh., Nikiforov V.V. Prospects for increasing oil production rates from low-permeability formations of the Tyumen formation with modern technologies / O. G. Zatsepin, V. V. Iks, A. V. Stenkin [etc.] // Collection of scientific papers of the 43rd International Scientific and Technical Conference of Young Scientists, graduate students and students, dedicated to the 60th anniversary of the USPTU branch in Oktyabrsky: Materials in 2 volumes, Oktyabrsky, April 29, 2016. Volume 1. – Oktyabrsky: Ufa State Petroleum Technical University, 2016. Pp. 170-175. EDN XCMSB.

9. Nikiforov V.V., Amantaev V.I., Sharipov D.Kh., Yapparov V.R. Analysis of the hydrodynamic relationship between wells using the example of a field in Western Siberia. Modern technologies in the oil and gas industry - 2022: Collection of proceedings of the international scientific and technical conference, Oktyabrsky. 2022. Pp. 27-32.
10. Nikiforov V.V., Sultanov Sh. Kh., Shabrin N.V., Sharafutdinov A.R. The influence of lithological-facial features and tectonic structure on the distribution of reservoir properties // Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR. 2023. No. 2. Pp. 9-15.
11. Shabrin N.V., Stenkin A.V., Kotenev A.Yu. Influence of facies conditions of sedimentation of the Tyumen formation on the efficiency of extraction and production of hydrocarbon reserves // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2022. T. 43. No. 2 (106). Pp. 36-45. DOI 10.24412/1728-5283_2022_2_36_45. EDN MRXWDM.
12. Nikiforov V.V., Kotenev Yu.A. Geodynamic features of the formation of oil deposits in the Shaim oil and gas region and increasing the efficiency of oil recovery // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 12(265). Pp. 16-19.
13. Nikiforov V.V., Kotenev Yu.A. Geotectonic criteria for the oil and gas potential of the Shaim region // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2022. T. 42. No. 1(105). Pp. 39-47. DOI 10.24412/1728-5283_2022_1_39_47. EDN VJMCAG.
14. Nikiforov V.V., Kotenev Yu.A. Geological and physical features of the formation and production of oil reserves of deposits complicated by discontinuities // Oil and Gas Business. 2019. T. 17. No. 6. Pp. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019-6-23-30. EDN TFZXDN.
15. Nikiforov V.V., Kotenev A.Yu., Nabiev T.A. Methodological approach to optimizing the system for developing fields with complex geological structure // Drilling and Oil. 2023. No. S1. Pp. 54-56. Source: <https://burneft.ru/archive/issues/2023-01sp/54> (access date: 06/10/2024).
16. Shabrin N.V., Kotenev M.Yu., Nikiforov V.V. Geological and field justification for improving the waterflooding system of Jurassic deposits in the Shaim region / Modern technologies in oil and gas business - 2022: Collection of proceedings of the international scientific and technical conference, October. 2022. Pp. 293-297.
17. Shabrin N.V., Nikiforov V.V., Sharafutdinov A.R., Kotenev M.Yu., Klimin R.V. Criteria for searching for new oil deposits in the weathering crust of the pre-Jurassic basement of the Shaim oil and gas region // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 32. Pp. 52-67. DOI 10.24412/2949-4052-2023-3-52-67. EDN RTWOFB.
18. Nikiforov V.V., Chudinova D.Yu., Chibisov A.V., Kotenev Yu.A. An integrated approach to clarifying the conductivity of destruction zones identified by seismic exploration methods // Modern technologies in oil and gas business - 2022:

Collection of proceedings of the international scientific and technical conference, Oktyabrsky. 2022. Pp. 187-191. EDN GHRNPY.

19. Volkov D.S. Possibilities of quantitative interpretation of the results of spectral decomposition of CDP-3D seismic data // Current problems of oil and gas. 2022. No. 1 (36). Pp.25-40. DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2022-36.art2.
20. Nurieva, A. A., Nikiforov V. V. Drilling a lateral well as a method of increasing oil recovery // Oil and Gas Technologies and New Materials. Problems and solutions: Annual collection of scientific works / State Scientific University "Institute of Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan". Volume Issue 8 (13). Ufa: Monograph LLC, 2019. Pp. 300-303. (340 pp.). EDN INQASM.

Сведения об авторах:

Никифоров Виталий Викторович, старший преподаватель «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет», младший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», Уфа, Российская Федерация, эл. адрес: guk-geo@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-5198-0879.

Шарафутдинов Айдар Рафисович, ассистент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет», инженер Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», Уфа, Российская Федерация, эл. адрес: aydar.sharafutdinov1999@gmail.com. ORCID ID: 0009-0007- 9451-6073.

Шабрин Никита Владиславович, старший преподаватель «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет», младший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», Уфа, Российская Федерация, эл. адрес: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349.

Чибисов Александр Вячеславович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений» ФГБОУ ВО «Уфимский Государственный Нефтяной Технический Университет», старший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», Уфа, Российская Федерация, эл. адрес: z077@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-1382-2391.

Author's personal details:

Nikiforov Vitaly Viktorovich, senior lecturer “Geology and exploration of oil and gas fields” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technical University”, junior researcher at the International Scientific Center “Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet”, Ufa, Russian Federation, email. address: guk-geo@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-5198-0879.

Sharafutdinov Aidar Rafisovich, assistant of the department of "Geology and exploration of oil and gas fields" of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technical University", engineer of the International Scientific Center "Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet", Ufa, Russian Federation, email. address: aydar.sharafutdinov1999@gmail.com. ORCID ID: 0009-0007-9451-6073.

Shabrin Nikita Vladislavovich, senior lecturer “Geology and exploration of oil and gas fields” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technical University”, junior researcher at the International Scientific Center “Rational development of liquid hydrocarbon reserves of the planet”, Ufa, Russian Federation, email. address: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349.

Chibisov Alexander Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Geology and Exploration of Oil and Gas Fields” of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Ufa State Petroleum Technical University”, Senior Researcher of the International Scientific Center “Rational Development of Liquid Hydrocarbon Reserves of the Planet”, Ufa, Russian Federation, email address: z077@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-1382-2391.

© Никифоров В.В., Шарафутдинов А.Р., Шабрин Н.В., Чибисов А.В.

**ОСОБЕННОСТИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УГЛЕРОДА
И КИСЛОРОДА КАРБОНАТНЫХ ПОРОД КАЗАНСКОГО ЯРУСА
ГОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СВЕРХВЯЗКОЙ НЕФТИ**

© Мударисова Раушания Айдаровна,

© Лукьянова Резеда Габдрашитовна

Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Российская Федерация

Аннотация. Карбонатные породы, в зависимости от условий осадконакопления отличаются большим диапазоном минерального состава и коллекторских свойств. Изотопные соотношения по углероду и кислороду являются эффективными инструментами реконструкции палеогеографических условий формирования осадочной толщи. В статье рассмотрен изотопный состав углерода и кислорода доломитов Горского поднятия, которое является примером органогенной структуры. Для более полного определения условий формирования и преобразования карбонатной толщи казанского яруса Горского поднятия применялся метод стабильных изотопов. Установлено, что вариации значений изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ на разрезах Волго-Камского региона отражают изменения в истории окружающей среды в течение раннеказанского времени на востоке Русской платформы и могут быть использованы в качестве инструмента для построения хемотратиграфической основы биармийского отдела пермской системы. Содержание изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ горных пород казанского яруса имеет незначительные отклонения с изотопными кривыми для пермской системы, а также указывает на процессы формирования и преобразования карбонатных пород.

Ключевые слова: казанский ярус, изотопный состав, карбонатные отложения, доломит, сверхвязкая нефть.

**FEATURES OF THE ISOTOPIC COMPOSITION OF CARBON AND
OXYGEN IN CARBONATE ROCKS OF THE KAZANIAN STAGE
OF THE GORSKY ULTRAVISCOUS OIL FIELD**

© Mudarisova Raushaniya Aidarovna,

© Lukyanova Rezeda Gabdrashitovna

Kazan (Volga region) Federal University,
Kazan, Russian Federation

Summary. Carbonate rocks, depending on sedimentation conditions, have a wide range of mineral composition and reservoir properties. Isotopic ratios of carbon and

oxygen are effective tools for reconstructing the paleogeographic conditions of the formation of sedimentary strata. The article examines the isotopic composition of carbon and oxygen in dolomites of the Gorsky structure, which is an example of an organogenic structure. To more completely determine the conditions for the formation and transformation of the carbonate strata of the Kazan stage of the Gorsky structure, the method of stable isotopes was used. It has been established that variations in the values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes on sections of the Volga-Kama region reflect changes in the history of the environment during the Early Kazanian time in the east of the Russian Platform and can be used as a tool for constructing the chemostratigraphic basis of the Biarmian department of the Permian system. The content of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ isotopes in rocks of the Kazanian stage has slight deviations from the isotope curves for the Permian system, and also indicates the processes of formation and transformation of carbonate rocks.

Keywords: Kazanian Stage, isotopic composition, carbonate sediments, dolomite, ultraviscous oil.

Введение. Основной объект исследования – Горское месторождение сверхвязкой нефти, расположенное в пределах восточного борта Мелекесской впадины. В работе изучался каменный материал продуктивных на нефть отложений камышлинского горизонта казанского яруса. Камышлинский горизонт складывается, в основном, известковистыми доломитами, реликтово-органогенными, оолитовыми, нередко кавернозными от желтовато-серых, темно-коричневых до черных расцветок за счет сверхвязкой нефти (СВН). Из органических остатков в них встречаются реликты брахиопод, мшанок, криноидей, водорослей. В нижней части горизонта доломиты более плотные, бедные органическими остатками, трещиноватые, загипсованные, иногда глинистые. Толщина горизонта колеблется от 30 до 51 м [1].

Горская структура в палеогеографическом отношении в период формирования находилась на стыке зоны открытого моря, среднего и мелкого шельфа, где наиболее широко распространены доломиты, известняки, мергели. Преобладают ракушечники и оолитовые доломиты морского мелководья, вплоть до водорослево-мшанковых и криноидно-брахиоподовых рифов, и их склоновые разности – брекчиевидные и органогенно-обломочные доломиты [2].

Образование рифогенной ловушки в нижеказанских отложениях на Горском участке – это результат унаследованного развития раннеказанской палеошельфовой зоны над древними позднедевонско-раннекаменноугольными шельфами Усть-Черемшанского прогиба Камско-Кинельской системы. Предуральский краевой прогиб и Прикаспийская впадина в раннепермское время испытали погружение, что отразилось изостатически за пределами внешних бортов этих прогибов формированием крупного поднятия – Камско-Донского палеосвода [3, 4]. Условия формирования и генезис Горской ловушки исследовались с помощью палеотектонического анализа и графика роста

структур [3], а также подтверждены результатами петрофизических исследований [1]. В результате установлена рифогенная природа Горского резервуара, на строение которого повлияли, главным образом, активные постседиментационные процессы.

Методы. Данное исследование является логическим продолжением изучения продуктивных карбонатных пород казанского яруса Горского месторождения СВН ренгофлуорисцентного анализа, описанного в статье [1]. Авторами были изучены 30 образцов керн шести скважин структурного бурения, распределение которых по сводному разрезу представлено на рис. 1.

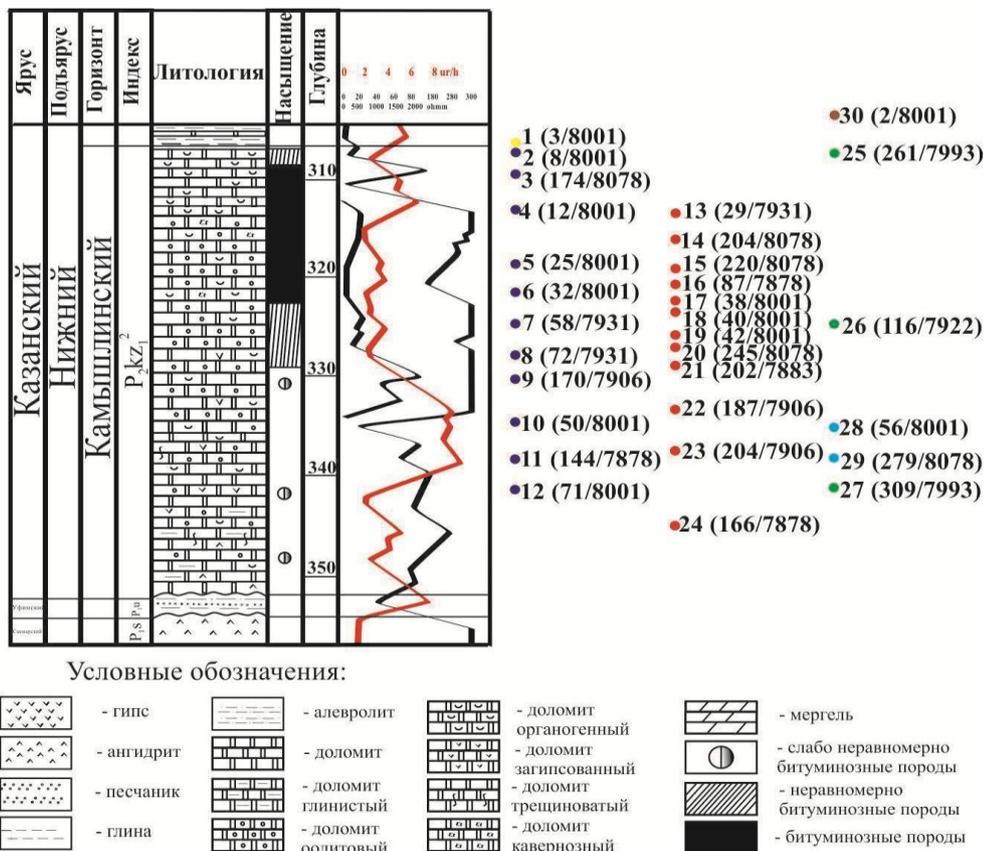


Рисунок 1 – Сводный разрез Горского месторождения СВН с приведением места отбора образцов по разрезу. Условные обозначения образцов: синие кружки – реликтивно-органический доломит, красные – оолитовый доломит, зеленые – глинистый доломит, голубой – пелоидный доломит, желтый - известняк.

Значения $\delta^{13}\text{C}$ в карбонатах контролируются: содержанием $\delta^{13}\text{C}$ растворенного в окружающей среде неорганического карбоната; pH осадков; скоростью их выпадения; минералогией образующегося карбоната и температурой. Значение $\delta^{18}\text{O}$ карбонатных минералов контролируется: температурой образования карбонатов в древних морях; значениями $\delta^{18}\text{O}$

($\delta^{18}\text{O}_w$) осаждающейся жидкости; минералогией; pH растворов; любыми кинетическими эффектами, проявляющимися во время осаждения [5]. На сегодняшний день известны работы многих авторов по стабильным изотопам карбонатных пород пермских отложений на территории Татарстана [6, 7, 8] и Башкортостана [13, 14, 15].

Стабильные изотопы кислорода и углерода – $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ в образцах горных пород были определены с помощью изотопного масс-спектрометра Delta V Plus (Thermo Fisher Scientific, Германия) с Flash HT с насадкой в режиме постоянного потока. Образцы каменного материала подготавливались по стандартной методике [9] в ортофосфорной кислоте при 100 °С, $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ определены в (‰) по (V-PDB) международному стандарту МАГАТЭ NBS-18 и IAEA-603, представляющему собой кальцит с известным изотопным соотношением углерода и кислорода.

Результаты и обсуждение. Эпигенез (растворение, перекристаллизация, вторичная кальцитизация и доломитизация и т.п.) значительно меняет первичный изотопный состав всех карбонатов, особенно реликтово-органогенных и оолитовых, так как они являются коллекторами, и в них устремляются мигрирующие растворы. Поэтому вариации изотопных показателей кислорода и углерода в измененных образцах не будут отражать химию вод бассейна седиментации. Реликтово-органогенные доломиты выбранного объекта исследования имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне от –1,17 до 5,21 ‰ (среднее 2,26 ‰) и значения $\delta^{18}\text{O}$ от –1,98 до 1,04 ‰ (средние –0,12 ‰). Оолитовые доломиты имеют значения $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне от –2,44 до 4,65 ‰ (среднее 2,22 ‰) и значения $\delta^{18}\text{O}$ от –5,33 до 1,05 ‰ (средние –0,29‰). Для глинистых доломитов: $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне от –3,96 до 4,09 ‰ (среднее 0,65‰) и значения $\delta^{18}\text{O}$ от –1,79 до 0,76 ‰ (средние –0,22 ‰). Для пеллоидного доломита: $\delta^{13}\text{C}$ в диапазоне от 4,84 до 6,25 ‰ (среднее 5,54 ‰) и значения $\delta^{18}\text{O}$ от 0,65 до 3,8 ‰ (средние 2,23 ‰).

Биармийское время характеризуется значительными колебаниями температуры из-за изменения климата [10]. При сравнении средних данных по содержанию изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ исследованных образцов с изотопными кривыми на конец палеозойской эры обнаруживается, что они в целом согласуются с глобальными данными с незначительным отклонением (рис. 2).

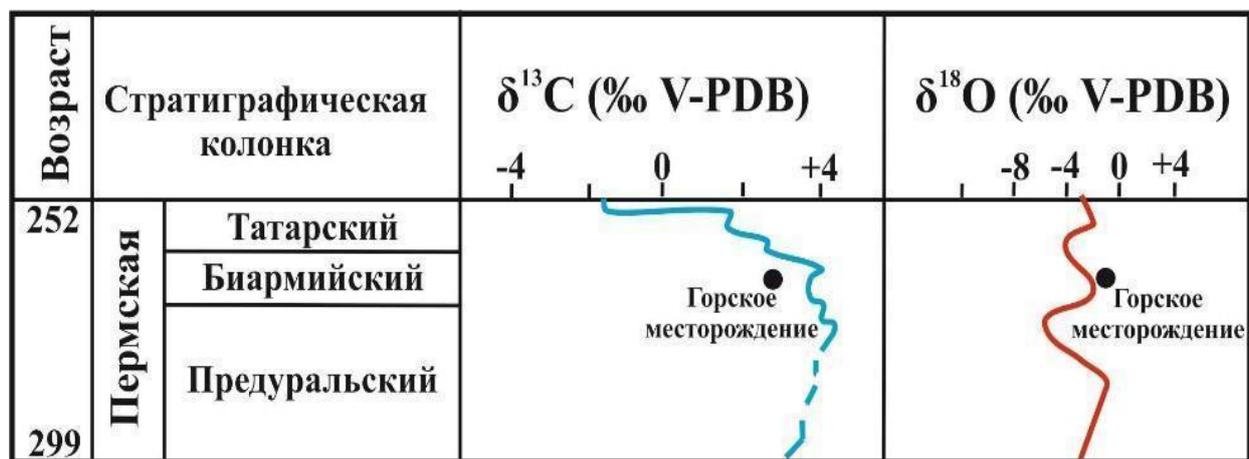


Рисунок 2 – График точки Горского поднятия (средние значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) на изотопных кривых из работы [11, 12]

Глобальное влияние на преобразование карбонатных пород Горского резервуара оказал эпигенез. Высокие значения $\delta^{13}\text{C}$ наблюдаются у карбонатов мелководных отложений, чаще у органогенных, к которым и относится Горская ловушка ($\delta^{13}\text{C} \geq 3$). Но в случае Горской ловушки значения $\delta^{13}\text{C}$ следует связывать со вторичными изменениями в карбонатах. Доломиты Горского поднятия показывают относительно обедненные значения $\delta^{13}\text{C}$, что может указывать на возможный внешний источник углерода в мигрирующих растворах или на температурно-зависимый эффект фракционирования.

Для доломитов нижнеказанского подъяруса смежных с РТ территорий характерны наиболее облегченные значения $\delta^{18}\text{O}$ пермского разреза [6]. Такой эффект можно объяснить привнесением метеорных вод, характеризующихся более легким изотопным составом кислорода в бассейн седиментации, а также вторичными изменениями пород, связанными с миграцией и аккумуляцией углеводородов.

По кросс-графику зависимости $\delta^{13}\text{C}$ от $\delta^{18}\text{O}$ по нижнеказанским отложениям (рисунок 3) наблюдается прямая корреляция ($K=0,73$ и $0,75$) между $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ для обоих доломитов, это может свидетельствовать о том, что наблюдаемые тренды величин изотопного состава обусловлены, главным образом, следствием вторичных (гипергенных, при участии метеорных вод и нефти) процессов преобразования и образования доломитов [8].

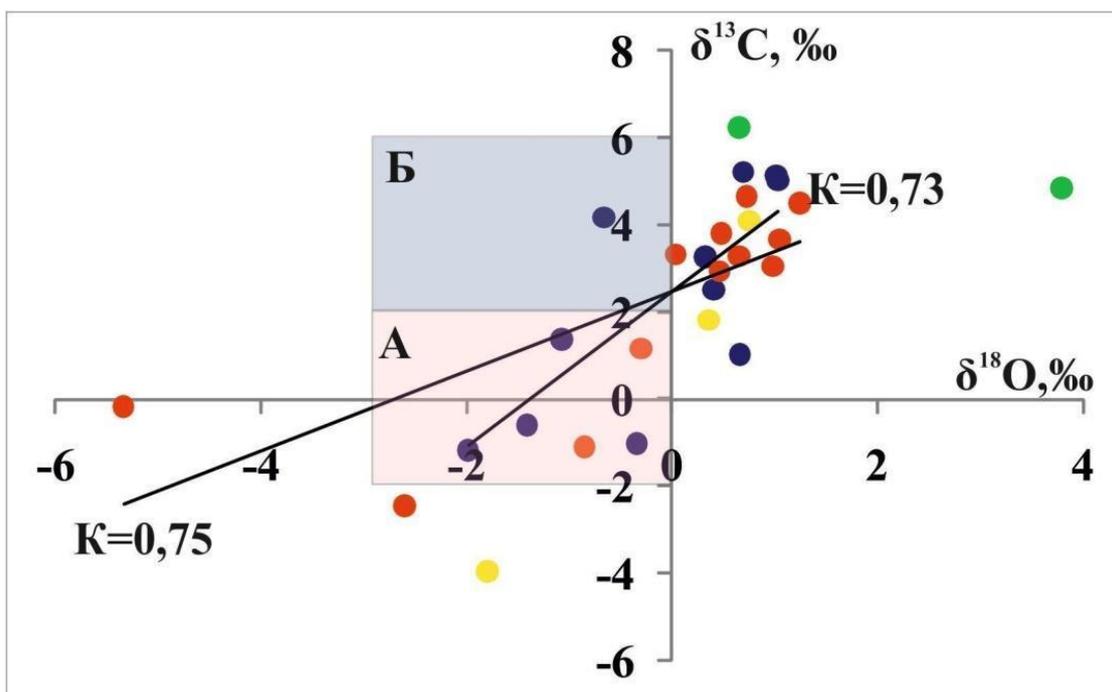


Рисунок 3 – Кросс-график зависимости $\delta^{13}\text{C}$ от $\delta^{18}\text{O}$ по нижнеказанским отложениям по Горскому поднятию. Область «А» – современные нормально-осадочные морские карбонаты; область «Б» – мелководные морские карбонаты зоны интенсивной аэрации [Условные обозначения приведены на рис. 1]

Выводы. Вариации значений изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ на разрезах Волго-Камского региона отражают изменения в истории окружающей среды в течение раннеказанского времени на востоке Русской платформы и могут быть использованы в качестве инструмента для построения хемотратиграфической основы биармийского отдела пермской системы. Содержание изотопов $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ горных пород казанского яруса имеет незначительные отклонения с изотопными кривыми для пермской системы, а также указывает на процессы формирования и преобразования карбонатных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мударисова Р.А., Лукьянова Р.Г. (2024) Особенности геохимического состава карбонатных пород камышлинского горизонта казанского яруса Горского поднятия // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. №1(34) С. 52-64.
2. Успенский Б.В., Валеева И.Ф. (2008) Геология месторождений природных битумов Республики Татарстан. Казань: Изд-во ПФ «ГАРТ», 347 с.
3. Мударисова Р.А., Лукьянова Р.Г., Успенский Б.В. (2021) Палеотектонические реконструкции условий формирования Горского месторождения сверхвязкой нефти. Нефтяное хозяйство. 2021. №6. С. 27-31. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-27-31.

4. Игнатъев В.И. (1976) Формирование Волго-Уральской антеклизы в пермский период. Казань: Изд-во Казанского университета, 256 с.
5. Swart P.K. (2015) The geochemistry of carbonate diagenesis: the past, present and future *Sedimentology*, V.62. I.5. Pp. 1233-1304. DOI:10.1111/sed.12205.
6. Муравьев Ф.А. (2007) Литолого-минералогическая характеристика пермских маркирующих карбонатных горизонтов РТ: дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.06, Казань, 219 с.
7. Нургалиева Н.Г., Нургалиев Д.К (2009) Палеоклиматические факторы формирования осадочной толщи в пермский период на востоке Русской плиты. // Ученые записки Казанского университета. Серия Естествовед. науки, Т. 151, кн. 3. С. 167–179.
8. Сунгатуллин Р.Х. Кулешов В.Н., Кадыров Р.И. (2014) Изотопный состав ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) доломитов из пермских эвапоритовых толщ востока Русской плиты (на примере Сюкеевского месторождения гипса) // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 5. С. 432–442.
9. Rosenbaum J., Sheppard S.M.F. (1986) An isotopic study of siderites, dolomites and ankerites at high temperatures *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1986. Vol. 50, Iss. 6, Pp. 1147–1150.
10. Chen B., Joachimski M.M., Shen S. [et al.] (2013) Permian ice volume and palaeoclimate history: Oxygen isotope proxies revisited *Gondwana Research*, 2013. Vol. 24, Iss. 1, Pp. 77–89. DOI 10.1016/j.gr.2012.07.007.
11. Sial A.N., Gaucher C., Ferreira V.P. [et al.] (2015) Isotope and elemental chemostratigraphy *Chemostratigraphy: concepts, techniques and applications* Elsevier, Pp. 23–64. DOI 10.1016/B978-0-12-419968-2.00002-9.
12. Nurgalieva N.G. Silantiev V.V., Fakhrutdinov E.I., Gareev B.I., Batalin G.A. (2016) The Lower Kazanian rocks as shallow marine facies (South-Eastern Tatarstan) of geochemistry data ARPN // *Journal of Engineering and Applied Sciences*, Pp. 13462-13471.
13. Мударисова Р.А., Лукьянова Р.Г. Особенности геохимического состава карбонатных пород Камышлинского горизонта Казанского яруса Горского поднятия // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов*. 2024. № 1(34). С. 52-64. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-52-64. EDN YPHQIS.
14. Масагутов Р.Х., Минкаев В.Н. Зоны и мегазоны углеводородов в неглубоких нижнепермских отложениях западного Башкортостана // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан*. 2022. № 29. С. 66-72. EDN BOGVGK.
15. Масагутов Р.Х. Мьянма: представления о геологии и перспективы нефтегазоносности запада бассейна Руау (Prome) Embayment // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов*. 2023. № 30. С. 41-62. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-41-62. EDN ZAPBEQ.

REFERENCES

1. Mudarisova R.A., Lukyanova R.G. (2024) Features of the geochemical composition of carbonate rocks of the Kamyshlinsky horizon of the Kazan stage of the Gorsky uplift Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources, No. 1(34) Pp. 52-64.
2. Uspensky B.V., Valeeva I.F. (2008) Geology of natural bitumen deposits in the Republic of Tatarstan. Kazan: Publishing House PF "GART", 347 p.
3. Mudarisova R.A., Lukyanova R.G., Uspensky B.V. (2021) Paleotectonic reconstructions of the formation conditions of the Gorskoye super-viscous oil field. Oil industry, No. 6. Pp. 27-31 DOI: 10.24887/0028-2448-2021-6-27-31.
4. Ignatiev V.I. (1976) Formation of the Volga-Ural anteklise in the Permian period. Kazan: Kazan University Publishing House, 256 p.
5. Swart P.K. (2015) The geochemistry of carbonate diagenesis: the past, present and future Sedimentology, V.62. I.5. Pp. 1233-1304. DOI:10.1111/sed.12205.
6. Muravyov F.A. (2007) Lithological and mineralogical characteristics of the Permian marker carbonate horizons of the Republic of Tatarstan: dis. ...cand. geol.-mineral. Sciences: 25.00.06, Kazan, 219 p.
7. Nurgalieva N.G., Nurgaliev D.K (2009) Paleoclimatic factors in the formation of sedimentary strata during the Permian period in the east of the Russian Plate. Scientific notes of Kazan University. Series Natural. Sciences, T. 151, book. 3, Pp. 167–179.
8. Sungatullin R.Kh. Kuleshov V.N., Kadyrov R.I. (2014) Isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) of dolomites from Permian evaporite strata of the eastern Russian Plate (using the example of the Syukeevo gypsum deposit) Lithology and minerals, no. 5, Pp. 432–442.
9. Rosenbaum J., Sheppard S.M.F. (1986) An isotopic study of siderites, dolomites and ankerites at high temperatures Geochim. et Cosmochim. Acta. Vol. 50, Iss. 6, Pp. 1147–1150.
10. Chen B., Joachimski M.M., Shen S. [et al.] (2013) Permian ice volume and palaeoclimate history: Oxygen isotope proxies revisited Gondwana Research. 2013. Vol. 24. Iss. 1. pp. 77–89. DOI 10.1016/j.gr.2012.07.007.
11. Sial A.N., Gaucher S., Ferreira V.P. [et al.] (2015) Isotope and elemental chemostratigraphy Chemostratigraphy: concepts, techniques and applications Elsevier, Pp. 23–64. DOI 10.1016/B978-0-12-419968-2.00002-9.
12. Nurgalieva N.G. Silantiev V.V., Fakhrutdinov E.I., Gareev B.I., Batalin G.A. (2016) The Lower Kazanian rocks as shallow marine facies (South-Eastern Tatarstan) of geochemistry data ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Pp. 13462-13471.

13. Mudarisova R.A., Lukyanova R.G. Features of the geochemical composition of carbonate rocks of the Kamyshlinsky horizon of the Kazan stage of the Gorsky uplift // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2024. No. 1(34). Pp. 52-64. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-52-64. EDN YPHQIS.
14. Masagutov, R. Kh. Zones and megazones of hydrocarbons in shallow Lower Permian sediments of western Bashkortostan / R. Kh. Masagutov, V. N. Minkaev // *Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*. 2022. No. 29. Pp. 66-72. EDN BOGVGK.
15. Masagutov R.Kh. Myanmar: ideas about geology and prospects for oil and gas potential in the west of the Pyay (Prome) Embayment basin // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2023. No. 30. Pp. 41-62. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-41-62. EDN ZAPBEQ.

Сведения об авторах:

Мударисова Раушания Айдаровна, старший преподаватель кафедры геологии нефти и газа им. акад. А.А. Трофимука, Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанский (Приволжский) федеральный университет ИГиНГТ КФУ, 420008, Казань, Кремлевская, 18, (843) 233-79-82, rayshania@mail.ru. ORCID ID (код автора) 0000-0001-7374-5060. Researcher ID (идентификатор автора) ААМ-5072-2021.

Лукьянова Резеда Габдрашитовна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры геологии нефти и газа им. акад. А.А. Трофимука, Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанский (Приволжский) федеральный университет ИГиНГТ КФУ, 420008, Казань, Кремлевская, 18, (843) 233-79-82, rezeda-1@yandex.ru

Author's personal details:

Mударисова Raushaniya Aidarovna, senior lecturer at the Department of Oil and Gas Geology named after. acad. A.A. Trofimuk, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies Kazan (Volga Region) Federal University IGiNGT KFU, 420008, Kazan, Kremlevskaya, 18, (843) 233-79-82, rayshania@mail.ru. ORCID ID (author code) 0000-0001-7374-5060. Researcher ID (Author ID) ААМ-5072-2021.

Lukyanova Rezeda Gabdrashitovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of Oil and Gas Geology named after. acad. A.A. Trofimuk, Institute of Geology and Oil and Gas Technologies Kazan (Volga Region) Federal University IGiNGT KFU, 420008, Kazan, Kremlevskaya, 18, (843) 233-79-82, rezeda-1@yandex.ru

© Мударисова Р. А., Лукьянова Р.Г.

**ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН**

© Ахметьянова Альбина Ильшатовна

© Кузнецов Александр Игоревич

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
г. Уфа, Российский Федерация

Аннотация. В Республике Татарстан ведется активная работа по защите окружающей среды. На территории республики в рамках национального проекта «Экология» действуют федеральные проекты: «Оздоровление Волги», «Чистая страна», «Сохранение уникальных водных объектов» и некоторые другие. За период с 2018 по 2022 гг. в Республике Татарстан затраты на содержание всех особо охраняемых природных территорий возросли в 2,8 раза, составив 266,6 млн. руб. в 2022 г. Текущие затраты на охрану окружающей среды увеличились на 21,7%, составив 15433,3 млн.руб. В 2022 году в структуре затрат на охрану окружающей среды в Татарстане наибольший удельный вес принадлежал текущим затратам на окружающую среду и составил 66,7%, доле инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов – 23,7%, доле затрат на капитальный ремонт производственных основных фондов по охране окружающей среды составила 8,5%, доле затрат на содержание всех особо охраняемых природных территорий, охрану и воспроизводство диких животных была равной 1,2%. В 2022 г. наибольший удельный вес стал принадлежать инвестициям на охрану и рациональное использование водных ресурсов – 76,1%, затем инвестициям на охрану атмосферного воздуха – 18,3%, инвестициям на охрану и рациональное использование земель – 4,5%, на другие мероприятия – 1,1%. В целях укрепления системы экологической безопасности населения Республики Татарстан ведутся работы по мониторингу и регулярному оповещению населения о качестве природных ресурсов, а также усилению экологического контроля.

Ключевые слова: окружающая среда, выбросы, Республика Татарстан, лесовосстановление, воспроизводство лесов.

ENVIRONMENTAL TRENDS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

© Akhmetyanova Albina Ilshatovna

© Kuznetsov Alexander Igorevich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
"Ufa University of Science and Technology",
Ufa, Russian Federation

The Republic of Tatarstan is actively working to protect the environment. On the territory of the republic, within the framework of the national project “Ecology”, there are federal projects: “Improvement of the Volga”, “Clean Country”, “Preservation of Unique Water Bodies” and some others. For the period from 2018 to 2022. in the Republic of Tatarstan, the costs of maintaining all specially protected natural areas increased 2.8 times, amounting to 266.6 million rubles. in 2022. Current costs for environmental protection increased by 21.7%, amounting to 15,433.3 million rubles. In 2022, in the structure of environmental protection costs in Tatarstan, the largest share belonged to current environmental costs and amounted to 66.7%, the share of investments in fixed assets aimed at environmental protection and rational use of natural resources - 23.7%, the share of costs for major repairs of production fixed assets for environmental protection was 8.5%, the share of costs for the maintenance of all specially protected natural areas, protection and reproduction of wild animals was equal to 1.2%. In 2022, the largest share began to belong to investments in the protection and rational use of water resources - 76.1%, then investments in the protection of atmospheric air - 18.3%, investments in the protection and rational use of land - 4.5%, and others events – 1.1%. In order to strengthen the system of environmental safety of the population of the Republic of Tatarstan, work is underway to monitor and regularly notify the population about the quality of natural resources, as well as to strengthen environmental control.

Key words: environment, emissions, Republic of Tatarstan, reforestation, forest reproduction.

Введение. Согласно Федеральному закону «Об охране окружающей среды», «охране от загрязнения, порчи, деградации, истощения, уничтожения и иного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности подлежат: земли, недра, почвы; леса, и иная растительность; поверхностные и подземные воды; атмосферный воздух, озоновый слой атмосферы и др.»[1]. В Республике Татарстан ведется активная работа по защите окружающей среды. На территории республики в рамках национального проекта «Экология» действуют федеральные проекты: «Оздоровление Волги», «Чистая страна», «Сохранение уникальных водных объектов» и другие. Согласно официальным данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, в регионе ведется комплексная работа по сохранению уникальных водных объектов, сохранению лесов, обращению с твердыми коммунальными отходами, воспроизводству чистой воды. Согласно национальному проекту «Экология» по Республике Татарстан на 2019-2024 гг., для финансирования экологических мероприятий было выделено свыше 14 млрд.руб., в т.ч. в 2019 г. было выделено 1268,9 млн. руб., в 2020 г. – 2743,1 млн. руб.; в 2021 г. – 3307,3 млн. руб., в 2022

г. – 6811,7 млн.руб., в 2023 г. – 3372,6 млн.руб., в 2024 г. – 5016,1 млн.руб. За анализируемый период было построено и реконструировано 12 очистных сооружений, расположенных в Волжском бассейне Республики Татарстан; ведется работа по рекультивации иловых полей, демонтаж бездействующих трубопроводов Озерного месторождения акватории Нижнекамского водохранилища. В 2020-2021 гг. «рекультивированы нарушенные земли нефтесодержащими загрязнениями в с. Шемордан Сабинского муниципального района, две свалки на территории республики; волонтерами ведутся работы по очистке берегов водных объектов»[2] и др. В целях укрепления системы экологической безопасности населения Республики Татарстан ведутся работы по мониторингу и регулярному оповещению населения о качестве природных ресурсов, а также усилению экологического контроля.

Экологическим и геологическим аспектам природопользования посвящены работы российских и зарубежных ученых. Исследованию вопросов карбонатных отложений и изучению вещественного и элементного состава карбонатов органогенных построек посвящены работы татарстанских ученых [16]. Оценку состава и структуры выбросов в окружающую среду представляют в своих работах башкортостанские ученые: Дегтярев А.Н., Кузнецова А.Р., Сафиуллин М.Р. [4, 5], оценку цикличности геологических процессов освещает в своих работах Казанцева Т.Т. [7, 8], исследование геопарков - Кислов Е.В. и другие [9]. Эколого-экономические проблемы изучает Крестовских Т.С. и другие авторы [10]. Процессы выбросов парниковых газов и отходов производства и потребления представляют в своих работах Кузнецов А.И. и Кузнецова А.Р. [11, 12, 13]. Эволюцию взглядов на геологические процессы представляют в своих работах В.И. Попков, И.В. Попков [17], а также Д.Е. Савельев [19], М.А. Смакова и др. [20]. Исследования особенностей геотектонических процессов земной поверхности представлены в работах белгородских [21] и самарских ученых [22]. Оценка воздействия экономического роста на окружающую среду раскрыта в работе бразильских, португальских и испанских ученых [24]. Экономике замкнутого цикла посвящены работы китайских ученых [25].

Как мы уже отмечали в одной из наших предыдущих работ, структуру «выбросов от парниковых газов по секторам экономики Российской Федерации в 2021 г., составили: 1) энергетика – 77,9%; 2) промышленные процессы и использование промышленной продукции - 12%; 3) сельское хозяйство – 5,6%; 4) отходы – 4,5%»[12]. Оценка предпринимаемых мер тенденций в области охраны окружающей среды в одном из регионов Российской Федерации – Республике Татарстан посвящено данное исследование.

Цель исследования заключается в анализе тенденций в области охраны окружающей среды в Республике Татарстан.

Материалы и методы. Материалами исследования явились официальные данные Федеральной службы государственной статистики по Республике

Татарстан за период с 2018 по 2022 годы. В работе использованы табличные, графические и статистические методы исследования.

Результаты исследования. Согласно официальным данным статистики Татарстана, за период с 2018 по 2022 гг. затраты на охрану окружающей среды в регионе возросли на 10,4% (таблица 1).

Таблица 1 – Затраты на охрану окружающей среды в Республике Татарстан (миллионов рублей) [18, С.19]

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022	2022 в % к 2018
Всего	20967,7	24496,2	27046,4	24539,5	23151,5	110,4
инвестиции в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов	5820,9	6863,1	8448,6	6174,6	5475,8	94,1
текущие затраты на охрану окружающей среды	12676,4	15092,6	15801,7	15655	15433,3	121,7
затраты на капитальный ремонт производственных основных фондов по охране окружающей среды	2376	2403,8	2679,5	2565	1965,8	82,7
затраты на содержание всех ООПТ, охрану и воспроизводство диких животных	94,4	136,7	116,6	144,9	266,6	в 2,8 раза

За период с 2018 по 2022 гг. в Республике Татарстан затраты на содержание всех особо охраняемых природных территорий возросли в 2,8 раза, составив 266,6 млн. руб. в 2022 г. Текущие затраты на охрану окружающей среды увеличились на 21,7%, составив 15433,3 млн.руб. Размеры инвестиций в основной капитал, направленные на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов уменьшились на 6%, составив 5475,8 млн.руб., а затраты на капитальный ремонт производственных основных фондов по охране окружающей среды сократились на 17,3%.

В структуре затрат на охрану окружающей среды наибольший удельный вес принадлежал именно текущим затратам и составлял свыше 60-65% (рисунок 1).

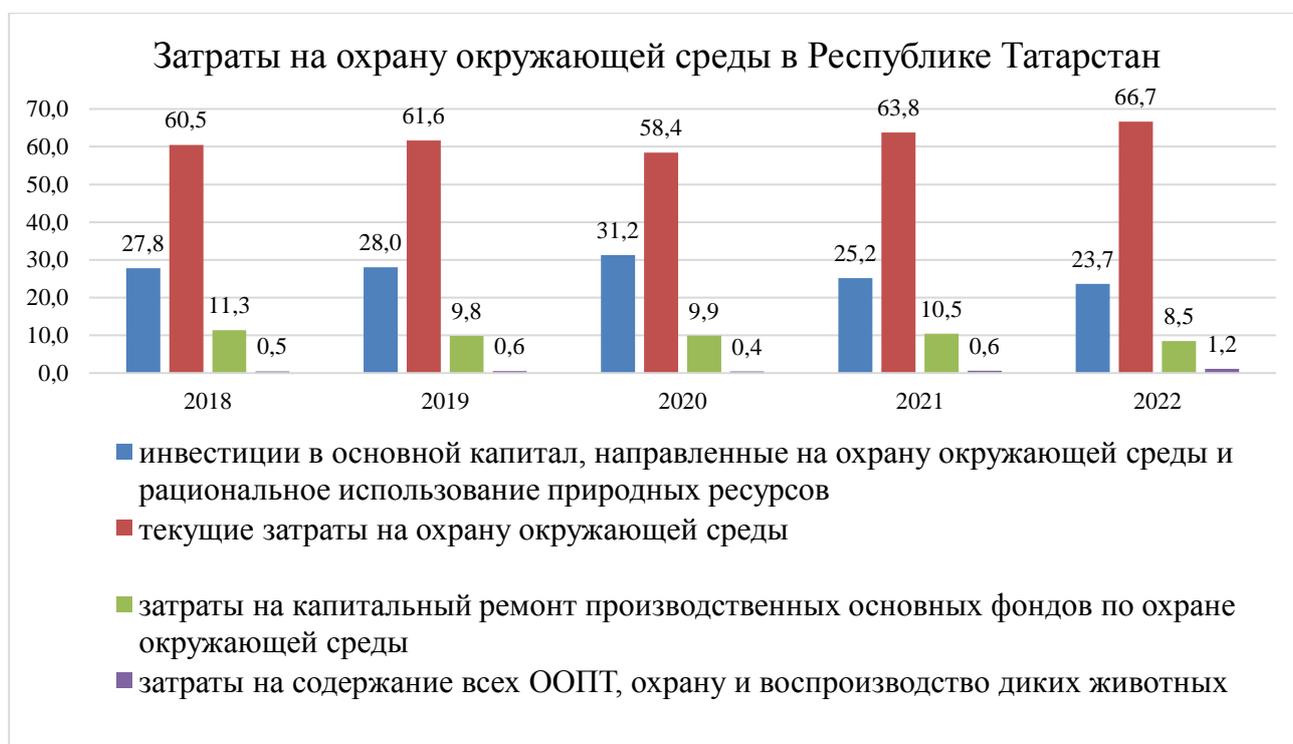


Рисунок 1 – Структура затрат на охрану окружающей среды в Республике Татарстан (в процентах) [18, С.19]

В 2018 г. наибольший удельный вес в структуре затрат принадлежал текущим затратам на окружающую среду и составил 60,5%, затем инвестициям в основной капитал, направленным на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов – 27,8%, доле затрат на капитальный ремонт производственных основных фондов по охране окружающей среды – 11,3%, доле затрат на содержание всех особо охраняемых природных территорий, охрану и воспроизводство диких животных – 0,5%.

К 2022 году структура затрат на охрану окружающей среды в Татарстане осталась примерно прежней, в том числе: удельный вес текущих затрат на окружающую среду составил 66,7%, доля инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов – 23,7%, доля затрат на капитальный ремонт производственных основных фондов по охране окружающей среды составила 8,5%, доля затрат на содержание всех особо охраняемых природных территорий, охрану и воспроизводство диких животных была равной 1,2%.

Немаловажное значение в сохранении природных ресурсов и экологической защите принадлежит соответствующим инвестициям (рисунок 2).



Рисунок 2 – Структура инвестиций в основной капитал на охрану окружающей среды в Республике Татарстан (в процентах) [18, С.19-20]

В структуре инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, за период с 2018 по 2022 гг. произошли определенные изменения. Если в 2018 г. наибольший удельный вес принадлежал инвестициям на охрану атмосферного воздуха (51,3%), инвестициям на охрану и рациональное использование водных ресурсов – 42,3%, инвестициям на другие мероприятия принадлежало 3,5%, инвестициям на охрану и рациональное использование земель – лишь 2,9%. То к 2022 г. наибольший удельный вес стал принадлежать инвестициям на охрану и рациональное использование водных ресурсов – 76,1%, затем инвестициям на охрану атмосферного воздуха – 18,3%, инвестициям на охрану и рациональное использование земель – 4,5%, на другие мероприятия – 1,1%.

Значительный приоритет по охране и рациональному использованию водных ресурсов Татарстана определяется тем, что «во многих регионах Республики Татарстан воды сильно загрязнены нитратами, аммонийным азотом, фенолами. СПАВ, медью, хромом, марганцем и др. загрязняющими веществами»[15]. В этой связи важное значение для охраны окружающей среды имеет ввод в действие производственных мощностей по очистке сточных вод, систем водоснабжения, установок по улавливанию и обезвреживанию вредных веществ из отходящих газов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Структура затрат на охрану окружающей среды в Республике Татарстан (в процентах) [18, С.19-21]

За период с 2018 по 2022 гг. ввод в действие мощностей по охране окружающей среды для очистки сточных вод в Республике Татарстан суммарно составил 282,3 тыс.куб.м. воды в сутки, систем оборотного водоснабжения – на 682,3 тыс.куб.м.; установок для улавливания и обезвреживания вредных веществ из отходящих газов – введено га 83,5 тыс.куб.м. газа в час.

Размеры выбросов в атмосферу веществ за период с 2018 по 2022 гг. в Республике Татарстан уменьшились на 18,5%, составив 319,9 тыс.тонн (рисунок 4).



Рисунок 4 – Размеры выбросов и улавливание загрязняющих атмосферу веществ в Республике Татарстан) [18, С.18)]

Объем уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ сократился с 391,6 до 190,4 тыс.тонн, т.е. на 51,4%. Удельный вес уловленных и обезвреженных загрязняющих веществ в Республике Татарстан сократился с 99,5 до 59,5%. Данный факт объясняется, в первую очередь тем, что приоритет в выделении инвестиций за последние пять лет был направлен на охрану и рациональное использование водных ресурсов, а инвестиции на охрану атмосферного воздуха сократились с 2984,5 до 1001 млн.руб., т.е. сократились на 66,5%.

Выбросы наиболее распространенных загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, подразделяются на твердые и газообразные (рисунок 5).



Рисунок 5 – Выбросы распространенных загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников в Республике Татарстан (тысяч тонн) [18, С.18]]

На протяжении исследуемого периода удельный вес газообразных и жидких выбросов составлял свыше 95%. остальное – это твердые выбросы. Если в 2018 г. размеры выбросов газообразных и жидких веществ превышали размеры твердых выбросов в 21 раз, то в 2022 г. эта разница стала составлять 22,7 раза.

В Республике Татарстан ведется планомерная работа по снижению размеров выбросов, о чем свидетельствует сокращение объемов твердых выбросов почти на 25%: с 17,9 до 13,5 тыс.тонн; а также газообразных и жидких выбросов – на 18,4%: с 375,7 до 306,4 тыс.тонн.

За период с 2018 по 2022 гг. размеры выбросов диоксида серы увеличились с 34,4 до 35,6 тыс.тонн, т.е. на 3,5% (рисунок 6).

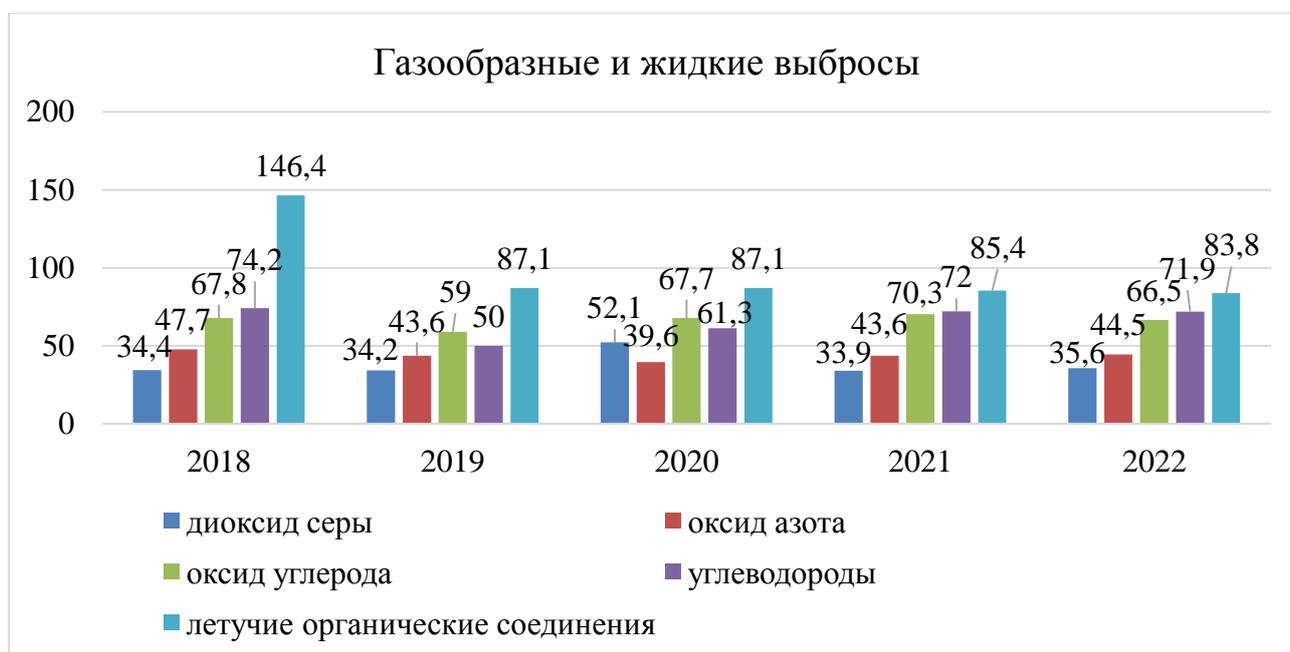


Рисунок 6 – Газообразные и жидкие выбросы от стационарных источников в Республике Татарстан (тысяч тонн) [18, С.18]]

Согласно имеющимся данным, основным источником появления диоксида серы является промышленная деятельность человека. Данный вид выбросов «считается непрямым парниковым газом наряду с оксидами азота, монооксидами углерода, неметановыми летучими органическими соединениями»[6].

Согласно данным официальной статистики, в Республике Татарстан в 2018 г. наибольшие объемы выбросов представляли летучие органические соединения. Их размеры уменьшились со 146,4 до 83,8 тыс.тонн, т.е. на 42,8%. К летучим органическим соединениям относятся те, в состав которых входит углерод, они имеют различную степень токсичности (в том числе ацетон, бензол, формальдегид, стирол, тетрахлорэтилен, толуол, ксилол и другие).

Второе место по объему выбросов в Татарстане принадлежит углеводородам, их количество уменьшилось с 74,2 до 71,9 тыс.тонн, т.е. на 3,1%. К углеводородам относят газы (в т.ч. метан, пропан и др.), жидкости (гексан, бензол), легкоплавкие твердые вещества (парафин, нафталин и др.), полимеры (полиэтилен, полистирол и др.).

На третьем месте – оксид углерода, размеры его выбросов уменьшились с 67,8 до 66,5 тыс.тонн, т.е. на 2%. Оксид углерода – это газ, который образуется при не полном сгорании топлива, является очень ядовитым; это химическое соединение углерода с кислородом, различают угарный и углекислый газы.

На четвертом месте – выбросы оксида азота, их размеры поступления в атмосферу сократились с 47,7 до 44,5 тыс.тонн, т.е. на 6,7%. Оксид азота

синтезируется в результате окисления аминокислоты аргинина с одновременным синтезом другой аминокислоты цитрулина под влиянием фермента синтазы.

Размеры выбросов диоксида серы в окружающую среду от стационарных источников, расположенных на территории Республики Татарстан, увеличились с 34,4 до 35,6%, т.е. на 3,5%. Диоксид серы образуется при сжигании топлива, при обжиге сульфидных руд, в ряде металлургических производств, при производстве цветных металлов, при сжигании каменного угля и др.

В 2022 г. в Республике Татарстан был объявлен год цифровизации, одним из главных документов в рамках реализации обозначенного проекта выступила Стратегия цифровой трансформации Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан (рисунок 7).



Рисунок 7 - Стратегия цифровой трансформации Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан [14]

Согласно государственному Докладу Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году», «на территории Республики Татарстан выбросы загрязняющих веществ осуществлялись 4172 хозяйствующими субъектами, что на 2,7% больше по сравнению с 2022 г.; количество стационарных источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу увеличилось на 14,2% и составило 79437 единиц»[3].

Важно отметить, что «В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 08.02.2021 г. №76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений» постановлением Кабинета Министром

Республики Татарстан от 22.12.2022 г. №1390 утвержден План осуществления на территории Республики Татарстан научно-технической деятельности в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2022-2030 гг.»[3]. В рамках данного плана предусмотрена работа карбонового полигона – «Карбон Поволжье», площадь которого составляет 60 га.

Согласно данным официальной статистики, удельный вес площади лесного фонда в Республике Татарстан составляет почти 18% от общей площади земель. Охране и защите лесов в регионе уделяется немаловажное значение (таблица 2).

Таблица 2 – Охрана и защита лесов в Республике Татарстан [18, С.208]

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022	2022 в % к 2018
Лесовосстановление, га	2406	2374	4688	3955	3540	147,1
Искусственное лесовосстановление (создание лесных культур), га	1826	1797	2199	1620	1438	78,8
Естественное лесовосстановление, га	542	542	2480	2328	2098	в 3,9 раза
Создание противозерозионных лесонасаждений на землях сельскохозяйственного назначения, га	1647	2456	3154	2584	1542	93,6
Ввод молодых насаждений в категорию ценных лесных насаждений, га	2602	2300	2272	2521	3470	133,4
Площадь рубок ухода и выборочных санитарных рубок леса, га	19827	11944	11132	11133	10185	51,4

Площадь восстановления в Республике Татарстан за период с 2018 по 2022 гг. увеличилась с 2406 до 3540 га, т.е. на 47%. Площадь естественного лесовосстановления увеличилась с 542 до 2098 га, т.е. в 3,9 раза. Ввод молодых насаждений в категорию ценных лесных насаждений увеличился с 2602 до 3470 га, т.е. на 33,4%. Сокращение искусственного лесовосстановления за анализируемый период в Республике Татарстан составило 21,2%: с 1826 до 1478 га. В регионе уменьшилось создание противозерозионных лесонасаждений на землях сельскохозяйственного назначения с 1647 до 1542 га, т.е. на 6,4%. Площадь рубок ухода и выборочных санитарных рубок леса сократилось с 19827 до 10185 га, т.е. на 48,6%.

Согласно официальным данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, все мероприятия, запланированные к выполнению в рамках федеральных проектов национального проекта «Экология» на 2019-2022 годы являются полностью выполненными, а значения целевых показателей, установленные Республике Татарстан на 2019-2022 годы, достигнуты.

Выводы. В Республике Татарстан ведется планомерная работа по

мониторингу и защите окружающей среды. В регионе создан и пополняется банк данных геологических информационных ресурсов, создана экологическая карта Республики Татарстан. С целью непрерывного круглосуточного и автоматизированного мониторинга за состоянием окружающей среды и обеспечения достоверной информацией применяется система экологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закон Республики Татарстан от 28.06.2004 г. №38-РТ «Об охране окружающей среды в Республике Татарстан. Источник: <https://docs.cntd.ru/document/917016015> (Дата обращения: 12.05.2024).
2. Информационная справка о реализации национального проекта «Экология» на территории Республики Татарстан. Источник: mert.tatarstan.ru>rus/file/pub/pub_1855750.docx (Дата обращения: 12.05.2024)
3. Государственный Доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году». Казань: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2024. 402 с. Источник: [https://tatarstan.ru/file/File/Tatarstan_Doklad%202024%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%207-2%20\(1\).pdf](https://tatarstan.ru/file/File/Tatarstan_Doklad%202024%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%207-2%20(1).pdf) (Дата обращения: 08.06.2024).
4. Государственный Доклад «О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2023 году». Казань: Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, 2024. 402 с. Источник: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4211473.pdf (Дата обращения: 08.06.2024).
5. Дегтярев А.Н., Кузнецова А.Р. Карбоновые выбросы и мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в Российской Федерации и Республике Башкортостан // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. 2021. № 4(38). С. 15-23. DOI 10.17122/2541-8904-2021-4-38-14-23. EDN ABQXNS.
6. Дегтярев А.Н., Кузнецова А.Р., Сафиуллин М.Р. Эколого-экономические проблемы развития агломераций Башкирии // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 68-73. DOI 10.17513/use.37539. EDN WXVFER.
7. Диоксид серы. Источник: <https://www.iqair.com/ru/newsroom/sulphur-dioxide> (Дата обращения: 10.05.2024).
8. Казанцева Т.Т. Дискуссия. К проблеме цикличности геологических процессов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 31. С. 25-35. DOI 10.24412/1728-7634-2023-2-25-35. EDN CLNRIX.

9. Казанцева Т.Т. Структурный фактор в теоретической геологии к методологическим аспектам // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 33. С. 12-23. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-12-23. EDN DAYCYO.
10. Кислов Е.В., Кислов А.Е., Базарова Л.Д. Памятники природы проектируемого геопарка «Долина Селенги» / Е. В. Кислов, А. Е. Кислов, Л. Д. Базарова // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 33. С. 24-51. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-24-51. EDN FGBZXG.
11. Крестовских Т.С., Беляев В. Н., Шамков Ю.В. Эколого-экономические проблемы в нефтедобывающей промышленности северных территорий / Т. С. Крестовских, // Экономика региона. 2013. № 1(33). С. 143-149. DOI 10.17059/2013-1-13. EDN PXHSMТ.
12. Кузнецов А.И. Формирование отходов производства и потребления по видам экономической деятельности в Российской Федерации и их Утилизация // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 32. С. 82-97. DOI 10.24412/2949-4052-2023-3-82-97. EDN RPNVVO.
13. Кузнецова А.Р., Кузнецов А.И. Тенденции выбросов парниковых газов в Российской Федерации // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. №1(34). С. 104-132. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-104-132. EDN EICLYV.
14. Кузнецова А.Р., Каримова Н.Т. Анализ затрат на охрану окружающей среды в Российской Федерации // Уфимский гуманитарный научный форум : Сборник статей V международного научного форума, Уфа, 14 апреля – 31 2023 года / Под редакцией А.Н. Дегтярева. Уфа: Академия наук Республики Башкортостан, 2023. С. 437-440. EDN MNFGZH.
15. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Татарстан. Итоги 2021 г. Источник: https://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_3096225.pdf?ysclid=ly16bh97cw333496292 (Дата обращения: 10.05.2024).
16. Митина Н.Н. Экологическое состояние водных ресурсов Республики Татарстан // Вода: химия и экология, 2009. №9. С.26-31. Источник: https://istina.msu.ru/media/publications/article/e14/f34/8966154/MITINA_GARIFULLINA___Water_ChemEc_0909_pp_26-31.pdf (Дата обращения: 11.05.2024).
17. Мударисова Р.А., Лукьянова Р.Г. Особенности геохимического состава карбонатных пород Камышлинского горизонта Казанского яруса Горского поднятия // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. № 1(34). С. 52-64. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-52-64. EDN

YRNQIS.

18. Попков В.И., Попков И.В, Тектонический контроль формирования скоплений углеводородов в зоне сочленения Северо-Запада Туранской плиты и Прикаспийской синеклизы // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. № 1(34). С. 92-103. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-92-103. EDN ROOIPT.
19. Республика Татарстан. Статистический сборник. Казань: Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Татарстан, 2023. С. 19. (294 с.).
20. Савельев Д.Е. Об эволюции взглядов на генезис подиформных хромититов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 30. С. 93-108. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-93-108. EDN VUIMKE.
21. Смакова, М. А. Литология и особенности формирования продуктивных горизонтов нижнепермского карбонатного комплекса на территории Южно-Татарского свода Республики Башкортостан / М. А. Смакова, Е. О. Шиянова, Л. Н. Чанышева // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2024. № 1(34). С. 65-77. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-65-77. EDN LIJSGP.
22. Субботина Е.В. Оценка эффективности управления эколого-экономической системой, сформировавшейся под влиянием горнопромышленного комплекса // В мире научных открытий. 2013. № 12(48). С. 357-368. EDN RGPCJZ.
23. Эколого-экономические проблемы эффективного использования городских земель с накопленным экологическим ущербом / Б. А. Анфилофьев, М. Н. Баранова, Д. И. Васильева [и др.] // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 7. С. 59-65. DOI 10.18412/1816-0395-2018-7-59-65. EDN UTCKHR.
24. Ensuring the security and sustainability of the food system in the face of climate change / S. Golovina, A. Kuznetsova, L. Zubareva [et al.] // BIO Web of Conferences. 2024. Vol. 108. P. 25010. DOI 10.1051/bioconf/202410825010. EDN ZQPXJX.
25. Thiago Alexandre das NevesAlmeidaa, Luis Cruzb, Eduardo Baratab, Isabel-Maria Garcнa-Sбnchezc Economic growth and environmental impacts: An analysis based on a composite index of environmental damage. Ecological Indicators. Volume 76. May 2017. Pages 119-130. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16307233?via%3Dihub> (дата обращения: 10.06.2024).
26. Shengnan Li A, Haixing Chang B, Shiyu Zhang A, Shih-Hsin Ho. Production of

sustainable biofuels from microalgae with CO₂ bio-sequestration and life cycle assessment. *Environmental Research*. Volume 227, 15 June 2023, 115730. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115730>.

REFERENCES:

1. Law of the Republic of Tatarstan dated June 28, 2004 No. 38-RT “On environmental protection in the Republic of Tatarstan. Source: <https://docs.cntd.ru/document/917016015> (Date of access: 05/12/2024).
2. Information certificate on the implementation of the national project “Ecology” on the territory of the Republic of Tatarstan. Source: mert.tatarstan.ru>rus/file/pub/pub_1855750.docx (Access date: 05/12/2024)
3. State Report “On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023.” Kazan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, 2024. 402 p. Source: [https://tatarstan.ru/file/File/Tatarstan_Doklad%202024%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%207-2%20\(1\).pdf](https://tatarstan.ru/file/File/Tatarstan_Doklad%202024%20%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BA%D0%B8%207-2%20(1).pdf) (Date of access: 06/08/2024).
4. State Report “On the state of natural resources and environmental protection of the Republic of Tatarstan in 2023.” Kazan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan, 2024. 402 p. Source: https://eco.tatarstan.ru/file/pub/pub_4211473.pdf (Access date: 06/08/2024).
5. Degtyarev A.N., Kuznetsova A.R. Carbon emissions and monitoring of air pollution in the Russian Federation and the Republic of Bashkortostan // *Bulletin of USPTU. Science, education, economics. Series: Economics*. 2021. No. 4(38). pp. 15-23. DOI 10.17122/2541-8904-2021-4-38-14-23. EDN ABQXNS.
6. Degtyarev A.N., Kuznetsova A.R., Safiullin M.R. Ecological and economic problems of development of agglomerations of Bashkiria // *Advances in modern natural science*. 2020. No. 12. pp. 68-73. DOI 10.17513/use.37539. EDN WXVFEP.
7. Sulfur dioxide. Source: <https://www.iqair.com/ru/newsroom/sulfur-dioxide> (Access date: 05/10/2024).
8. Kazantseva T.T. Discussion. On the problem of cyclicity of geological processes // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2023. No. 31. P. 25-35. DOI 10.24412/1728-7634-2023-2-25-35. EDN CLNRIX.
9. Kazantseva T.T. Structural factor in theoretical geology to methodological aspects // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2023. No. 33. pp. 12-23. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-12-23. EDN DAYCYO.
10. Kislov E.V., Kislov A.E., Bazarova L.D. Natural monuments of the projected geopark “Selenga Valley” / E. V. Kislov, A. E. Kislov, L. D. Bazarova // *Geology*.

- Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 33. P. 24-51. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-24-51. EDN FGBZXG.
11. Krestovskikh T.S., Belyaev V.N., Shamkov Yu.V. Environmental and economic problems in the oil industry of the northern territories / T. S. Krestovskikh, // Economics of the region. 2013. No. 1(33). pp. 143-149. DOI 10.17059/2013-1-13. EDN PXHSMT.
 12. Kuznetsov A.I. Formation of production and consumption waste by type of economic activity in the Russian Federation and their disposal // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 32. P. 82-97. DOI 10.24412/2949-4052-2023-3-82-97. EDN RPNVVO.
 13. Kuznetsova A.R., Kuznetsov A.I. Trends in greenhouse gas emissions in the Russian Federation // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2024. No. 1(34). pp. 104-132. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-104-132. EDN EICLYV.
 14. Kuznetsova A.R., Karimova N.T. Analysis of costs for environmental protection in the Russian Federation // Ufa Humanitarian Scientific Forum: Collection of articles of the V International Scientific Forum, Ufa, April 14 - 31, 2023 / Edited by A.N. Degtyareva. Ufa: Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2023. pp. 437-440. EDN MNFGZH.
 15. Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan. Results 2021. Source: https://eco.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_3096225.pdf?ysclid=ly16bh97cw333496292 (Date of access: 05/10/2024).
 16. Mitina N.N. Ecological state of water resources of the Republic of Tatarstan // Water: chemistry and ecology, 2009. No. 9. P.26-31. Source: https://istina.msu.ru/media/publications/article/e14/f34/8966154/MITINA_GARIFULLINA___Water_ChemEc_0909_pp_26-31.pdf (Date of access: 05/11/2024).
 17. Mudarisova R.A., Lukyanova R.G. Features of the geochemical composition of carbonate rocks of the Kamyshlinsky horizon of the Kazan stage of the Gorsky uplift // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2024. No. 1(34). pp. 52-64. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-52-64. EDN YPHQIS.
 18. Popkov V.I., Popkov I.V., Tectonic control of the formation of hydrocarbon accumulations in the junction zone of the North-West Turan Plate and the Caspian syncline // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2024. No. 1(34). pp. 92-103. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-92-103. EDN ROOIP.
 19. Republic of Tatarstan. Statistical collection. Kazan: Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Republic of Tatarstan, 2023. P. 19. (294 pp.).

20. Savelyev D.E. On the evolution of views on the genesis of subdifform chromitites // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2023. No. 30. P. 93-108. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-93-108. EDN VUIMKE.
21. Smakova, M. A. Lithology and features of the formation of productive horizons of the Lower Permian carbonate complex on the territory of the South Tatar arch of the Republic of Bashkortostan / M. A. Smakova, E. O. Shiyanova, L. N. Chanysheva // *Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources*. 2024. No. 1(34). pp. 65-77. DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-65-77. EDN LIJSGP.
22. Subbotina E.V. Assessing the effectiveness of management of the ecological-economic system formed under the influence of the mining complex // *In the world of scientific discoveries*. 2013. No. 12(48). pp. 357-368. EDN RGPCJZ.
23. Ecological and economic problems of effective use of urban lands with accumulated environmental damage / B. A. Anfilofyev, M. N. Baranova, D. I. Vasilyeva [and others] // *Ecology and industry of Russia*. 2018. T. 22, no. 7. pp. 59-65. DOI 10.18412/1816-0395-2018-7-59-65. EDN UTCKHR.
24. Ensuring the security and sustainability of the food system in the face of climate change / S. Golovina, A. Kuznetsova, L. Zubareva [et al.] // *BIO Web of Conferences*. 2024. Vol. 108. P. 25010. DOI 10.1051/bioconf/202410825010. EDN ZQPXJX.
25. Thiago Alexandre das NevesAlmeidaa, Luis Cruzb, Eduardo Baratab, Isabel-Maria Garcá-Sbnchezc Economic growth and environmental impacts: An analysis based on a composite index of environmental damage. *Ecological Indicators*. Volume 76. May 2017. Pages 119-130. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X16307233?via%3Di> hub (accessed 06/10/2024).
26. Shengnan Li a, Haixing Chang b, Shiyu Zhang a, Shih-Hsin Ho. Production of sustainable biofuels from microalgae with CO2 bio-sequestration and life cycle assessment. *Environmental Research*. Volume 227, 15 June 2023, 115730. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115730>.

Сведения об авторах:

Ахметьянова Альбина Ильшатовна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий». 450076, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. ORCID ID: 0000-0002-5739-769X. E-mail: ai-albina@mail.ru.

Кузнецов Александр Игоревич, студент, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий». 450076, Российская Федерация г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32. ORCID ID: 0009-0008-6364-2867. E-mail: aleksander2055@mail.ru.

Author's personal details:

Akhmetyanova Albina Ilshatovna, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology». 450076, g. Ufa, ul. Zaki Validi, 32. ORCID ID: 0000-0002-5739-769X. E-mail: ai-albina@mail.ru.

Kuznetsov Aleksandr Igorevich, student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ufa University of Science and Technology». 450076, g. Ufa, ul. Zaki Validi, 32. ORCID ID: 0009-0008-6364-2867. E-mail: aleksander2055@mail.ru.

© Ахметьянова А.И., Кузнецов А.И.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ
ГОРОДА МОСКВА**

© Неркаряян Алина Евгеньевна,

© Харченко Владимир Михайлович,

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»,
г. Ставрополь, Российская Федерация

Аннотация: Целью исследования является проведение геодинамического анализа на территориях с важными народнохозяйственными объектами для возможного прогноза негативных физико-геологических процессов с целью возможности их предотвращения. При проведении исследования был использован комплексный подход, включающий анализ, систематизацию и обобщение геолого-промысловых данных, применение системно-аэрокосмического метода, а также малоизвестного метода интерпретации структур центрального типа (СЦТ) в глобальном, региональном и локальном планах. В ходе работы был проведен геодинамический анализ территории города Москва. Полученные результаты позволят дать рекомендацию для составления картографической основы как на предмет выделения перспективных участков с полезными ископаемыми, так и прогнозировать территории с повышенной опасностью проявления негативных физико-геологических процессов.

Ключевые слова: геодинамические условия, космическая съемка, структуры центрального типа (СЦТ), геодинамические центры, зоны сжатия, зоны разряжения, суперрезонансные зоны, рудонефтегазоносное районирование, сейсмическое районирование, геодинамический анализ.

**USING SPACE IMAGING TO CARRY OUT GEODYNAMIC ANALYSIS
ON THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF THE CITY OF MOSCOW**

© Nerkararyan Alina Evgenievna,

© Kharchenko Vladimir Mikhailovich,

North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Summary: The purpose of the study is to conduct a geodynamic analysis in territories with important economic objects for the possible prediction of negative physical and geological processes in order to prevent them. Research methods. When conducting the study, an integrated approach was used, including analysis, systematization and generalization of geological and field data, the use of the system-aerospace method, as well as a little-known method for interpreting central type structures (CTS) in global, regional and local terms. Results of the work. During the

work, a geodynamic analysis of the territory of the city of Moscow was carried out. The results obtained will make it possible to make recommendations for drawing up a cartographic basis both for identifying promising areas with mineral resources, and for predicting areas with an increased risk of negative physical and geological processes.

Keywords: Geodynamic conditions; space photography, central type structures (CTS), geodynamic centers, compression and rarefaction (extension) zones, super-resonant zones, ore-oil-gas-bearing and seismic zoning, geodynamic analysis.

Введение. В настоящее время, отмечается заметное истощение запасов полезных ископаемых, проблемы экологии, где особое значение приобретают постоянные проявления процессов затопления, подтопления, оползневые и возможные риски катастрофических землетрясений и т.д. Поэтому оперативное обеспечение картографической основы на базе космической съемки, которые позволяют не только оценить перспективы полезных ископаемых, но и сделать прогноз проявления негативных физико-геологических процессов на исследуемых территориях, является актуальным и жизненно необходимым. Нами предлагаются новые представления по технологии использования космической съемки для составления карт нефтегазогеологического и сейсмического районирования различного масштаба. В качестве объекта исследования был выбран город – столица России – Москва.

Методология научных исследований в основном построена на известных традиционных и малоизвестных нетрадиционных методах: подобия и аналогии, аксиоматическому методу, системно-аэрокосмическому методу, методу групповой геологической съемки, а также на новом методе рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования на основе дешифрирования космических снимков с выявлением структур центрального типа (СЦТ) различного ранга и их интерпретацией (с выделением геодинамических центров, зон сжатия и растяжения (разрядки) и суперрезонансных зон) [2, 3].

Исходными материалами для выполнения работы служат космические снимки различных масштабов, геологические карты, топографические карты, контурные карты, а также схемы распространения известных месторождений полезных ископаемых, структурные карты и карты сейсмической активности.

объектом исследования был выбран город Москва – один из основных охраняемых объектов в России. С геодинамических позиций приурочивается довольно точно к геодинамическому центру мантийного заложения на различных глубинах заложения: $R_1=2000$ км, $R_2 = 1000$ км и $R_3 = 600$ км. Это трактуется как своеобразное наложение гидроразрывов пластов на различных глубинах, с возможным суммированием энергией при одновременной разрядке тектонических напряжений, что может привести к своеобразному

катастрофическому землетрясению, подобному на известной Чернобыльской АЭС в конце XX века, но без таких последствий, как на ЧАЭС.

К городу Москва пространственно приурочивается, так называемый, Московский мантийный плюм. Первые сведения о Московском и Павлодарском плюмах получены из публикаций Харитонов [4], которые он выделял по результатам глубинной геофизики методом сейсмо топографии и т.п., четко обозначая их кольцевые контуры значительных радиусов (тысячи км) и глубинами в пределах мантии (рис. 1)

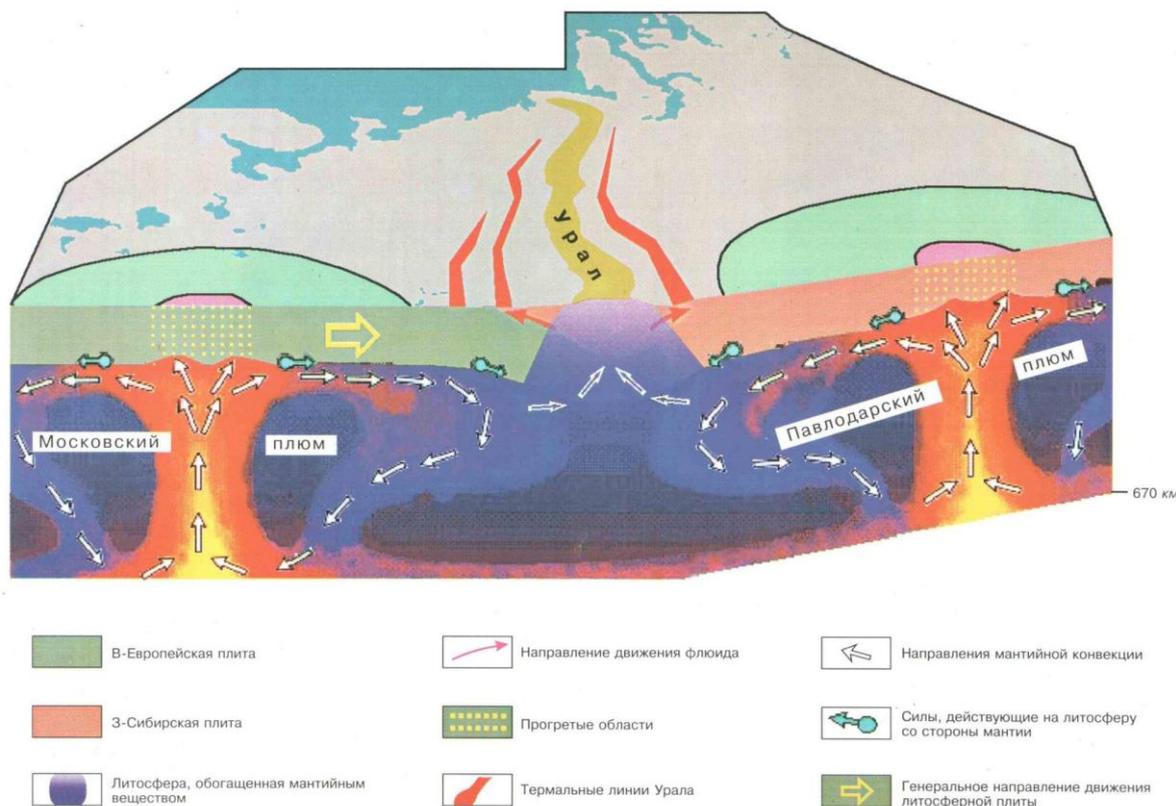


Рис. 1. Схема движения углеводородных флюидов в пределах Московского и Павлодарского плюм-тектонических структур (астеноконов) [1]

Подобные морфоструктуры центрального типа, образованные активными, в настоящее время, термальными плюм-тектоническими структурами, были также детально проанализированы в ряде работ Харитонов А.Л. Изучение геолого-геофизического строения некоторых морфоструктур центрального типа, расположенных на территории Восточно-Европейской платформы [1, 5].

Примерно в это же время авторами данной работы по результатам дешифрирования космических снимков и физико-географических карт различного масштаба на территории бывшего Советского Союза были выделены геодинамические центры и СЦТ, приуроченные также к территориям г. Москвы

и Павлодар (Казахстан), причем контуры Московской СЦТ определяются вполне достоверно по установленному дуговому контуру северной части Скандинавского полуострова, Павлодарская СЦТ выделяется по дальнейшим геометрическим построениям, согласно разработанной методики выделения СЦТ. Особо следует отметить, что при дешифрировании физическим карт различного масштаба более крупного 1: 20000000, геодинамический центр Московской СЦТ совпадает практически с территорией г. Москва и её окрестностей, а вот при более мелко масштабном (в два раза) 1:40000000, геодинамический центр попадает несколько южнее и практически совпадает с известной Курской магнитной аномалией и железорудным месторождением, что свидетельствует или о неточности карты более крупного масштаба или наличием плюма все таки, на территории г. Москва, что в какой-то мере подтверждается и наличием девонского супер вулкана на этой территории. Таким образом, Московский плюм является своеобразным «корнем» рудонефтегазообразования, на глубине 2 тыс. км. с этой позиции объясняется не только известная Курская магнитная аномалия и железорудное месторождение, но и все нефтегазоносные провинции на Восточно-Европейской древней платформе и явно недооценивается нефтегазоносность известных Московской и Мезенской синеклизы (или даже впадины), где нефтегазоносность связывается с глубокозалегающими отложениями девонской системы (доманиками) [6].

Выводы: Проведен геодинамический анализ территории города Москвы, которая представляет собой отдельный феномен. Даны рекомендации по снижению рисков возможных катастрофических землетрясений и расширению перспектив рудонефтегазоносности территорий по результатам составленных карт рудонефтегазогеологического и сейсмического районирования глобального, регионального и локальных планов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горный В.И. и др. Модель мантийно-литосферного взаимодействия по данным комплексирования на геотраверсе Уралсейс сейсморазведки и дистанционного геотермического метода. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала. Тверь. 2001. С. 227-238
2. Корчуганова Н.И., Корсаков А.К. Дистанционные методы геологического картирования: учебник. М.: КДУ, 2009. 288 с.
3. Милосердова Л.В. Аэрокосмические методы в нефтегазовой геологии: Учебник. / Под ред. П.В. Флоренского. М.: ООО «Издательский дом Недра», 2022. 502 с.
4. Харитонов А.Л. Нефтегазоносность морфоструктур центрального типа на территории Восточной Сибири. // Neftegaz.RU. 2019. №4. С. 106-110.

5. Попков В.И., Попков И.В. Складчато-надвиговые дислокации в триасовых отложениях Скифско-Туранской платформы. Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. №1. С. 34–46. DOI 10.46698/VNC.2023.42.57.003.
6. Zavyalova A.P. [Chupakhina V.V.](#), [Stoupakova A.V.](#), [Gatovsky Y.A.](#), [Kalmykov G.A.](#), [Korobova N.I.](#), [Suslova A.A.](#), [Bolshakova M.A.](#), [Sannikova I.A.](#), [Kalmykov A.G.](#) // [Comparison of the Domanic Outcrops in the Volga–Ural and Timan–Pechora Basins](#) [Zavyalova A.P.](#), // [Moscow University Geology Bulletin](#), издательство [Allerton Press Inc.](#) (United States), том 74. № 1. 2019. С. 56-72.
7. Ажгалиев Д.К. Возможности повышения прогнозной оценки мезозойских отложений по результатам комплексной интерпретации данных геофизических исследований / Д. К. Ажгалиев, Ж. Б. Баймурзаева // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 1(34). – С. 12-34. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-12-34. – EDN KDTVCI.
8. Попков В.И. Тектонический контроль формирования скоплений углеводородов в зоне сочленения Северо-Запада Туранской плиты и Прикаспийской синеклизы / В. И. Попков, И. В. Попков // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 1(34). – С. 92-103. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-92-103. – EDN ROOIPT.
9. Зайнетдинов Э.А. Инициаторы создания нефтяной промышленности в республике Башкортостан / Э. А. Зайнетдинов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 1(34). – С. 78-91. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-78-91. – EDN LNTIYD. Казанцева Т.Т. Дискуссия. К проблеме цикличности геологических процессов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 31. С. 25-35. DOI 10.24412/1728-7634-2023-2-25-35. EDN CLNRIX.
10. Казанцева Т.Т. Структурный фактор в теоретической геологии к методологическим аспектам // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 33. С. 12-23. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-12-23. EDN DAYCYO.

REFERENCES:

1. Gorny V.I. et al. Model of mantle-lithosphere interaction based on integration data on the Uralseis geotraverse seismic survey and remote geothermal method. Deep structure and geodynamics of the Southern Urals. Tver. 2001. pp. 227-238
2. Korchuganova N.I., Korsakov A.K. Remote methods of geological mapping: textbook. M.: KDU, 2009. 288 p.
3. Miloserdova L.V. Aerospace methods in oil and gas geology: Textbook. / Ed. P.V. Florensky. M.: Nedra Publishing House LLC, 2022. 502 p.

4. Kharitonov A.L. Oil and gas potential of central type morphostructures in Eastern Siberia. // Neftegaz.RU. 2019. No. 4. pp. 106-110.
5. Popkov V.I., Popkov I.V. Fold-thrust dislocations in the Triassic deposits of the Scythian-Turanian platform. Geology and geophysics of the South of Russia. 2023. T. 13. No. 1. pp. 34–46. DOI 10.46698/VNC.2023.42.57.003.
6. Zavyalova A.P. Chupakhina V.V., Stoupakova A.V., Gatovsky Y.A., Kalmykov G.A., Korobova N.I., Suslova A.A., Bolshakova M.A., Sannikova I.A., Kalmykov A.G. // Comparison of the Domanic Outcrops in the Volga–Ural and Timan–Pechora Basins Zavyalova A.P., // Moscow University Geology Bulletin, Allerton Press Inc. (United States), volume 74. No. 1. 2019. pp. 56-72.
7. Azhgaliev D.K. Possibilities of increasing the predictive assessment of Mesozoic deposits based on the results of a comprehensive interpretation of geophysical research data / D.K. Azhgaliev, Zh.B. Baymurzaeva // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. – 2024. – No. 1(34). – P. 12-34. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-12-34. – EDN KDTBCI.
8. Popkov V.I. Tectonic control of the formation of hydrocarbon accumulations in the junction zone of the North-West Turan Plate and the Caspian syncline / V. I. Popkov, I. V. Popkov // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. – 2024. – No. 1(34). – pp. 92-103. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-92-103. – EDN ROOIPT.
9. Zainetdinov E.A. Initiators of the creation of the oil industry in the Republic of Bashkortostan / E. A. Zainetdinov // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. – 2024. – No. 1(34). – P. 78-91. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-78-91. – EDN LNTIYD. Kazantseva T.T. Discussion. On the problem of cyclicity of geological processes // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 31. pp. 25-35. DOI 10.24412/1728-7634-2023-2-25-35. EDN CLNRIX.
11. Kazantseva T.T. Structural factor in theoretical geology to methodological aspects // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 33. pp. 12-23. DOI 10.24412/2949-4052-2023-4-12-23. EDN DAYCYO.

Сведения об авторах

Неркаряян Алина Евгеньевна, аспирант 2 года обучения, ассистент кафедры геологии нефти и газа ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», alina-domareva@rambler.ru, тел +7 9054452179

Харченко Владимир Михайлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии нефти и газа ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», vkharченко@ncfu.ru, тел +7 (8652) 94-72-38.

Author's personal details

Nerkararyan Alina Evgenievna, 2nd year graduate student, assistant at the Department of Oil and Gas Geology, North Caucasus Federal University, alina-domareva@rambler.ru, tel. +7 9054452179.

Kharchenko Vladimir Mikhailovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of Oil and Gas Geology of the North Caucasus Federal University, vkharchenko@ncfu.ru, tel. +7 (8652) 94-72-38.

© Неркаряян А.Е., Харченко В. М.