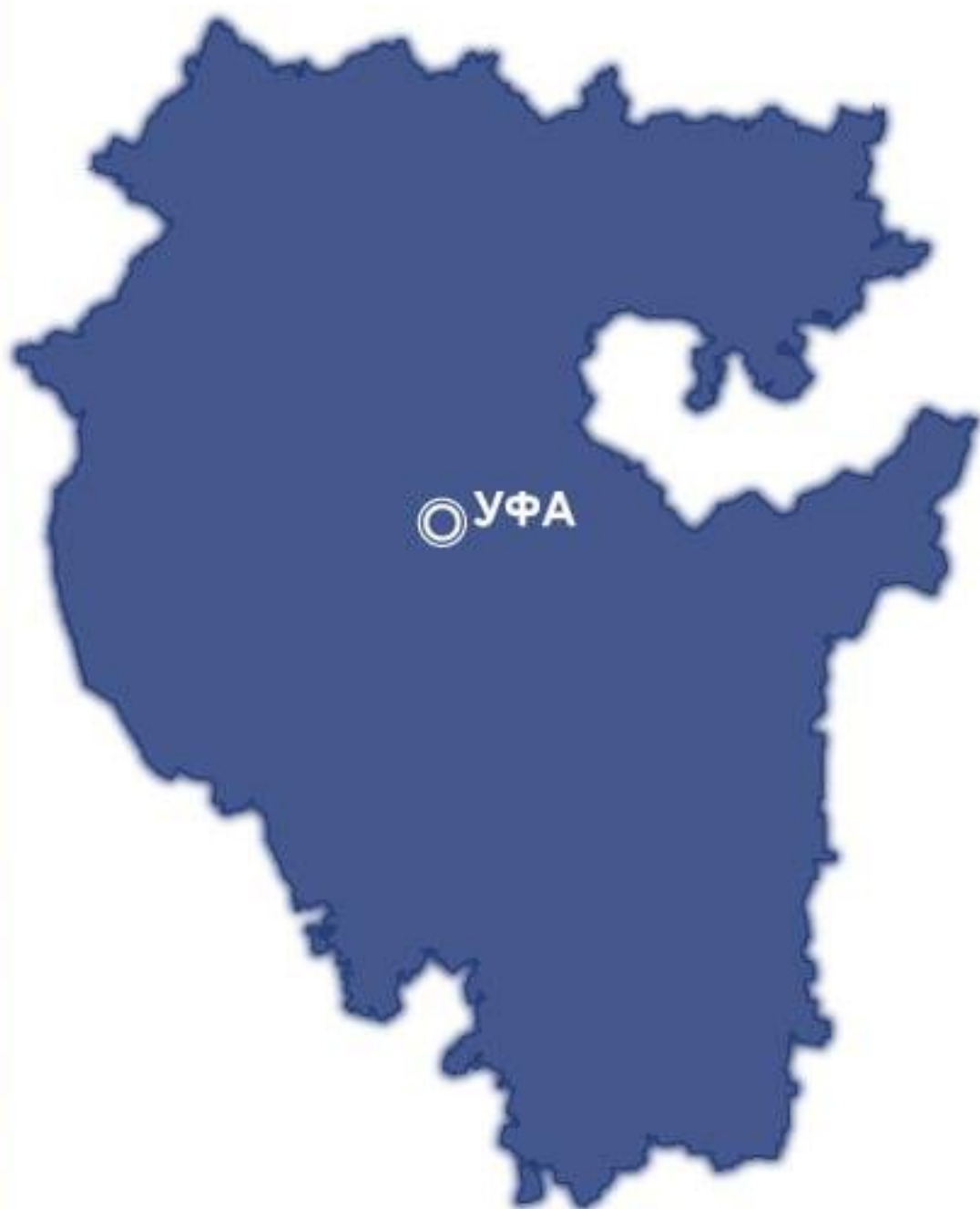


ГЕОЛОГИЯ

**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+

№ 3 (36), 2024
ЭЛ № ФС 77 – 85908 от 18.09.2023
Роскомнадзор (г.Москва)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3

16+

№ 3 (36), 2024
EL No. FS 77 – 85908 dated 09/18/2023
Roskomnadzor (Moscow)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3

**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, ФГБНУ «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.

Тел./Факс: +7 (347) 276-40-77.

Электронная почта: geology-akademia@vandex.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.

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 № 3 (36) 2024
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Гатауллин Руслан Азатович, Шабутдинов Тимур Денисович*
МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМИТИТОВ
МАССИВА СЕВЕРНЫЙ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-12-25 12
- Савельев Дмитрий Евгеньевич*
МИКРОСТРУКТУРА ОЛИВИНА ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ ЮГО-
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАССИВА РАЙ-ИЗ (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) ПО
ДАНЫМ ИЗУЧЕНИЯ МЕТОДОМ EBSD
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-26-37 26
- Закиров Марат Финатович, Валиуллин Рим Абдуллович*
АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ
ПРОГНОЗНЫХ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В
ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-38-52 38
- Пинчук Татьяна Николаевна, Белуженко Евгений Васильевич*
ИСТОРИЯ СТРАТИФИКАЦИИ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
СЕВЕРНОГО КАВКАЗА
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-53-65 53
- Шабрин Никита Владиславович, Никифоров Виталий Викторович,*
Шарафутдинов Айдар Рафисович, Климин Руслан Валерикович
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
НЕФТИ СО СЛОЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ
DOI 10.24412/249-4052-2024-3-66-76 66
- Ахметьянова Альбина Ильшатовна, Кузнецов Александр Игоревич*
ИНВЕСТИЦИИ В ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА
ОХРАНУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ
БАШКОРТОСТАН
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-77-89 77

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

EARTH SCIENCES

- Gataullin Ruslan Azatovich, Shabutdinov Timur Denisovich*
MINERALOGICAL FEATURES OF CHROMITITES FROM THE
NORTHERN KRAKA MASSIF (SOUTHERN URALS)
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-12-25 12
- Savelyev Dmitry Evgenievich*
MICROSTRUCTURAL FEATURES OF OLIVINE FROM ULTRAMAFIC
ROCKS OF SOUTH-WESTERN PART OF RAI-IZ MASSIF (POLAR
URALS) ACCORDING STUDY BY EBSD METHOD
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-26-37 26
- Zakirov Marat Finatovich, Valiullin Rim Abdullovich*
ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION USING PREDICTIVE
GEOTHERMAL DISTRIBUTIONS IN THE PRODUCING WELL
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-38-52 38
- Pinchuk Tatyana Nikolaevna, Beluzhenko Evgeny Vasilyevich*
THE HISTORY OF THE STRATIFICATION OF THE NEOGENE DEPOSITS
OF THE NORTH CAUCASUS
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-53-65 53
- Shabrin Nikita Vladislavovich, Kotenev Yuriy Alekseevich, Nikiforov Vitaly
Viktorovich, Sharafutdinov Aidar Rafisovich*
GEOLOGICAL AND HYDRODYNAMIC MODELING OF AN OIL
FIELD WITH A COMPLEX GEOLOGICAL STRUCTURE
DOI 10.24412/249-4052-2024-3-66-76 66
- Akhmetyanova Albina Ilshatovna, Kuznetsov Alexander Igorevich*
INVESTMENTS IN FIXED CAPITAL AIMED AT ENVIRONMENTAL
PROTECTION IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN
DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-77-89 77

**МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ХРОМИТИТОВ МАССИВА
СЕВЕРНЫЙ КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

© Гатауллин Руслан Азатович, © Шабутдинов Тимур Денисович

Институт геологии

ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр

Российской Академии наук»,

г. Уфа, Российская Федерация

© Савельев Дмитрий Евгеньевич

Государственное бюджетное научное учреждение

«Академия наук Республики Башкортостан»

Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр

Российской Академии наук»,

г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация: В статье описаны минералогические особенности пяти хромититовых рудопроявлений массива Северный Крака. Рудопроявления восточной части массива представляют собой типичные подформные тела, отделенные от окружающих перидотитов маломощной дунитовой оторочкой, либо залегающие в полностью серпентинизированных породах. Размеры тел: длина от 5 до 20 м, ширина от 1 до 5 м, мощность от 30 см до 1.5 м. Особняком стоит рудопроявление Верхне-Сарангинское в центральной части массива. Здесь густофрапленные хромититы цементируются пироксенитами, в составе которых преобладает ортопироксен (энстатит), подчиненное значение имеет клинопироксен (диопсид). Дуниты присутствуют в виде полос мощностью до 1 м среди преобладающих на участке лерцолитов. Главными минералами хромититов всех проявлений являются хромшпинелиды, отношение Cr/Al в которых довольно значительно изменяется, что связано как со средними значениями по рудопроявлениям, так и с неоднородным распределением элементов в рудных зернах, то есть с геохимической зональностью. Наименее хромистые шпинелиды встречены в хромититах Верхне-Сарангинского рудопроявления, параметр Cr# ($Cr/(Cr+Al)$) в них изменяется в пределах 0.5–0.75. Зональность зерен наиболее ярко проявлена в рудах проявлений из юго-восточной части массива. Минералы платиновой группы (МПГ) в хромититах представлены тугоплавким подтипом, причем характерной чертой изученных рудопроявлений является доминирование рутения в их составе. Первичные МПГ представлены преимущественно лауритом с незначительной примесью осмия и иридия. При замещении лаурита образовались оксидные (?) фазы, близкие к нему по составу ЭПГ. Наилучшая сохранность первичных парагенезисов характерна для проявлений Шигаевской группы. Вероятнее всего, образование рудопроявлений в восточной части массива происходило по механизму реоморфической дифференциации в рестите. Генезис хромититов Верхне-Сарангинского рудопроявления в настоящее время представляется дискуссионным, требующим дополнительных исследований.

Ключевые слова: хромититы, офиолиты, хромшпинелиды, ультрамафиты, Южный Урал, Северный Крака

MINERALOGICAL FEATURES OF CHROMITITES FROM THE NORTHERN KRAKA MASSIF (SOUTHERN URALS)

© Gataullin Ruslan Azatovich, © Shabutdinov Timur Denisovich

Institute of Geology, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences,
Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Summary: The article describes the mineralogical features of five chromitite occurrences of the Northern Kraka massif. Occurrences in the eastern part of the massif are typical podiform bodies separated from the surrounding peridotites by a thin dunite rim or occurring in completely serpentinized rocks. The sizes of the bodies are: length from 5 to 20 m, width from 1 to 5 m, thickness from 30 cm to 1.5 m. The Verkhne-Saranginskoye occurrence in the central part of the massif stands apart. Here, densely disseminated chromitites are cemented by pyroxenites, which are dominated by orthopyroxene (enstatite), with clinopyroxene (diopside) of subordinate importance. Dunites are present in the form of bands up to 1 m thick among the lherzolites prevailing in the area. The main mineral of chromitites of all occurrences is Cr-spinel, the Cr/Al ratio in which varies quite significantly, which is associated with both the average values for ore occurrences and the non-uniform distribution of elements in ore grains, i.e. with geochemical zoning. The low-Cr spinels are found in chromitites of the Verkhne-Saranginskoye occurrence, the Cr# parameter ($\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$) in them varies within 0.5–0.75. Zoning of Cr-spinel grain is most clearly expressed in ores of occurrences from the southeastern part of the massif. Platinum group minerals (PGM) in chromitites are represented by a refractory subtype, and a characteristic feature of the studied occurrences is the dominance of ruthenium in their composition. Primary PGMs are represented mainly by laurite with an insignificant admixture of osmium and iridium. When replacing laurite, oxide (?) phases were formed, close to it in the PGE composition. The best preservation of primary parageneses is characteristic of the Shigaevskoe group of occurrences. Most likely, the formation of occurrences in the eastern part of the massif occurred by the mechanism of rheomorphic differentiation in restite. The genesis of the chromitites of the Verkhne-Saranginskoye occurrence currently seems debatable, requiring additional research.

Key words: chromitites, ophiolites, Cr-spinel, ultramafic rock, Southern Urals, Northern Kraka

Введение. Хромшпинелиды являются типичными акцессорными минералами ультрамафитов офиолитовых массивов. Наблюдаемая зависимость между химическим составом и термодинамическими условиями формирования хромшпинелидов позволяет использовать их в качестве индикаторов петрогенеза [1–6]. Локализуясь в мантийных тектонитах в качестве рудных тел, формируют подиформный тип месторождений хромитов. Помимо хромшпинелида, выступающего главным пороодообразующим минералом, в хромититах встречаются разнообразные включения, в том числе силикаты, сульфиды «основных металлов» (base metal sulfides, BMS), минералы платиновой группы (МПГ), а также в последние десятилетия участились находки различных «экзотических» для ультрамафитов минералов [7–10].

Особый интерес представляет изучение включений платиноидов в хромититах. Элементы платиновой группы (ЭПГ) тяготеют к магматическим комплексам мантийного происхождения. Концентрируясь в комплексах пород

основного и ультраосновного состава, ЭПГ подразделяют на две подгруппы: относительно низкоплавкие платиноиды (Pt, Pd и Rh), образующие Pt-подгруппу (PPGE), и тугоплавкие платиноиды (Ru, Ir и Os), составляющие Ir-подгруппу (IPGE).

Подиформные хромититы, связанные с офиолитовыми массивами и содержащиеся в них ЭПГ широко распространены в Уральском складчатом поясе [11]. Изучению ЭПГ в массивах Крака посвящено несколько работ [12–15]. В данной работе изучен новый материал, отобранный из 5 рудопроявлений в ходе полевых маршрутов 2016-2023 на массиве Северный Крака.

Геологическая обстановка. Северный Крака является вторым по площади среди массивов кракинской группы после Южного. Представляет собой изометричное в плане тело с размерами 15–18 км. Геологическое строение массива Северный Крака определяется преобладанием лерцолитов массивной либо полосчатой текстуры. На пониженных участках рельефа преобладают серпентиниты и гидротермально измененные мафиты (родингиты). В обнажениях на гребневой части хребтов и в глубоко врезанных руслах р. Саргая и ее притоков встречается довольно много выходов свежих ультрамафитов, что является довольно редким явлением для массивов Крака.

Ультрамафиты внутренней части массива Северный Крака подвержены низкотемпературной петельчатой серпентинизации. Количество серпентина варьирует от 60 об.% в дунитах и гарцбургитах до 20–30 об.% в массивных лерцолитах. Наблюдаются обнажения лерцолитов, в которых практически отсутствует серпентин (2–5 об.%). Свежие породы также встречаются в виде отпрепарированных галек в аллювии ручьев. Массив характеризуется довольно простым строением: в центральной части ультрамафиты представлены преимущественно лерцолитами (оливин – 65–70%, ортопироксен – 10–25%, клинопироксен – 5–10%, хромшпинелид 0.5–3%), среди которых встречаются участки гарцбургитов, а также полосовидные, линзовидные либо столбообразные тела дунитов (рис.1). Лерцолиты представлены шпинелевыми и шпинель-плагиоклазовыми разновидностями [16].

Методы исследования. Электронно-микроскопические исследования и изучение состава минералов хромититов проводились в аншлифах и эпоксидных шашках на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энергодисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments (ИГ УФИЦ РАН, Уфа) и электронном микроскопе Tescan Vega 3 (ИПСМ РАН).

Спектры химического состава обрабатывали с помощью программного пакета AzTec One. При съемке использовались следующие настройки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА, время накопления спектра в точке 60 с в режиме Point&ID.

Формулы хромшпинелидов и оливина рассчитывались на 4, пироксенов – на 6 атомов кислорода, соответственно. В формуле хромшпинелидов количество

двух- и трехвалентного железа определялось по стехиометрии минерала. Содержания минералов в составе оливина и пироксенов определены следующим образом: форстерита ($Fo = Mg / (Mg + Fe)$, ат.%), энстатита ($En = Mg / (Mg + Fe + Ca)$, ат.%), ферросилита ($Fs = Fe / (Mg + Fe + Ca)$, ат.%), волластонита ($Wo = Ca / (Mg + Fe + Ca)$, ат.%). Аббревиатуры минералов, использованные нами на рисунках, соответствуют таковым, рекомендованным в работе [18], либо минералы обозначены формулой, примерно соответствующей их химическому составу.

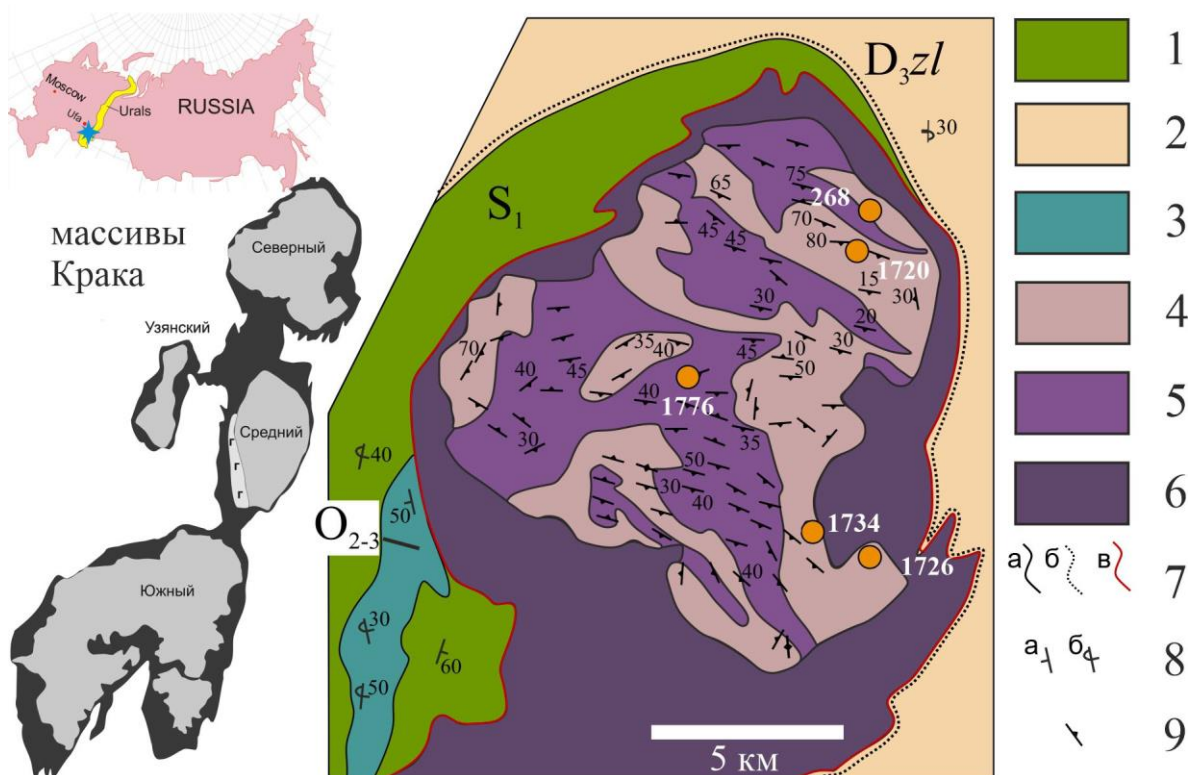


Рисунок 1 – Геологическая схема массива Северный Крака,

где: 1 – вмещающие породы Зилаирской мегазоны (песчаники, алевролиты, кремнистые и глинистые сланцы), 2 – вмещающие породы зоны Уралтау (кварциты, кварцево-серицитовые и кварцево-серицит-гранатовые сланцы), 3 – габброиды, 4 – преимущественно лерцолиты, 5 – преимущественно гарцбургиты, 6 – серпентинитовый меланж, 7 – геологические границы (а – стратиграфические нормальные, б – несогласные, в – тектонические), 8 – элементы залегания стратифицированных пород (а – нормальное, б – опрокинутое), 9 – элементы залегания полосчатости в ультрамафитах. Оранжевые точки – места отбора рудных хромититов, изученных в ходе данной работы. По [17] с незначительными изменениями.

Результаты исследования. В ходе данной работы были изучены хромититы с пяти рудопроявлений, находящихся в пределах мантийного комплекса массива Северный Крака, отобранных в ходе полевых работ 2016–2023 гг. (рис.1): Шигаево-1 (Сек-268), Шигаево-2 (Сек-1720), Верхне-Сарангинское (Сек-1776), точки Сек-1734 и Сек-1726. Рудопроявления

Шигаевской группы и точек 1734 и 1726 представляют собой типичные подиформные тела, отделенные от окружающих перидотитов маломощной дунитовой оторочкой (Сек-268), либо залегающие в полностью серпентинизированных породах (Сек-1720, 1726, 1734). Размеры тел: длина от 5 до 20 м, ширина от 1 до 5 м, мощность от 30 см до 1.5 м. Особняком стоит рудопроявление Верхне-Сарангинское. Здесь густоврапленные хромититы цементируются пироксенитами, в составе которых преобладает ортопироксен (энстатит), подчиненное значение имеет клинопироксен (диопсид). Дуниты присутствуют в виде полос мощностью до 1 м среди преобладающих на участке лерцолитов.

На основе изученных спектров химического состава дана обобщенная минералогическая характеристика хромититов массива Северный Крака (таблица 1). Основным пороодообразующим минералом является хромшпинелид, слагающий до 95 об.% породы. Промежутки между зёрнами сложены, главным образом, серпентином, в меньшей степени – хлоритом. Первичные минералы вмещающих пород – пироксены, оливин, амфибол редки и находятся во включениях в хромшпинелиде. Гранаты уграндитового ряда встречены в хромититах проявлений 1726 и 1734. Они представлены тонкими (до 50 μm) каймами на зёрнах хромшпинелида. Сульфиды (пентландит, хизлевудит, Cu-Ni-Fe-сульфиды переходного состава), а также минералы платиновой группы – лаурит и оксиды тугоплавких платиноидов представлены мелкими выделениями внутри зёрен хромшпинелидов, близкими к идиоморфному облику.

Хромшпинелиды, представлены главным образом хромпикотитом, субферрихромпикотитом, субферриалюмохромитом, алюмохромитом и хромитом (рис.2а). Они характеризуются высокой хромистостью ($\text{Cr}\# > 0.5$), с концентрацией значений преимущественно около $\text{Cr}\# = 0.8$, магниальностью ($\text{Mg}\#$) в пределах 0.4–0.8 (рис 2а,б).

Помимо хромшпинелидов в породе были встречены оливин, пироксены и гранаты. Оливин представлен единичные включения в хромитите размером 50–100 μm . Доля форстеритового минала оливина доходит до $\text{Fo} = 0.95\text{--}0.96$. Ортопироксены представлены зёрнами ксеноморфной формы размером 100–200 μm . Клинопироксен был встречен: 1) в виде зерен ксеноморфной формы, достигающих в длину до 1 мм (образец СЕК-1776-13-01-1); 2) в качестве ламелей в зёрнах ортопироксена (образец СЕК-1776-13-01-1). На диаграмме (рис. 3А) спектры химического состава ортопироксенов соответствуют энстатиту, клинопироксены – диопсиду.

Встреченные включения гранатов характеризуются повышенным содержанием СаО (33–35.7 мас. %) и по химическому составу соответствуют минералам ряда уваровит-гроссуляр-андрадит (рис. 3Б).

Среди минералов платиноидов резко преобладают тугоплавкие ЭПГ, особенно рутений. Минералы представлены лауритом и оксидом рутения (рис.4), наблюдается отдельные включения сплавов переменного состава Pt-Fe и Fe-Ru-S.

Таблица 1 – Породообразующие и аксессуарные минералы в хромититах массива Северный Крака

№ п/п	минерал	Формула	распространение
1	хромшпинелид	$(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$	+++++
2	серпентин	$\text{Mg}_3(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$	++++
3	хлорит (клинохлор)	$\text{Mg}_5\text{Al}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_8$	++++
4	аваруит	Ni_3Fe	+++
5	пентландит	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$	++
6	хизлевудит	Ni_3S_2	++
7	карбонаты	$(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$	++
8	Оксиды (?) платиноидов	$(\text{Ru,Os,Ir,Pt,Fe,Ni,Cu...})\text{O}$	++
9	лаурит	$(\text{Ru,Os,Ir})\text{S}_2$	++
10	ортопироксен (энстатит)	$\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$	++
11	клинопироксен (диопсид)	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	++
12	гранат (уваровит-андрадит)	$\text{Ca}_3(\text{Cr,Fe,Al})_2(\text{SiO}_4)_3$	+
13	оливин	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	+

Примечание: +++++ - главный минерал (>50%), +++++ - второстепенный минерал (10- 50%), +++ - типичный аксессуарный минерал, ++ - редкий минерал, + - единичные находки.

Обсуждение и выводы

Главными минералами хромититов являются хромшпинелиды, отношение Cr/Al в которых довольно значительно изменяется, что связано как со средними значениями по рудопроявлениям, так и с неоднородным распределением элементов в рудных зернах, то есть с геохимической зональностью. Наименее хромистые шпинелиды встречены в хромититах Верхне-Сарангинского рудопроявления, в них Cr# изменяется в пределах 0.5–0.75. Зональность наиболее ярко проявлена в рудах проявлений из юго-восточной части массива (1726, 1734) и в том же Верхне-Сарангинском проявлении.

В целом, составы хромшпинелиды соответствуют типичному офиолитовому тренду, протягивающемуся вдоль стороны Al–Cr треугольной диаграммы Н.В.Павлова. Большая глиноземистой хромшпинелидов Верхне-Сарангинского рудопроявления может быть вызвана двумя причинами: 1)

кумулятивной (магматической) природой в случае, если они кристаллизовались из расплава, остатки которого представлены в настоящее время пироксенами; 2) недостаточной твердофазной дифференциацией мантийного материала (рестита), когда новообразованный при деформационном распаде пироксенов хромит не был отделен от источника.

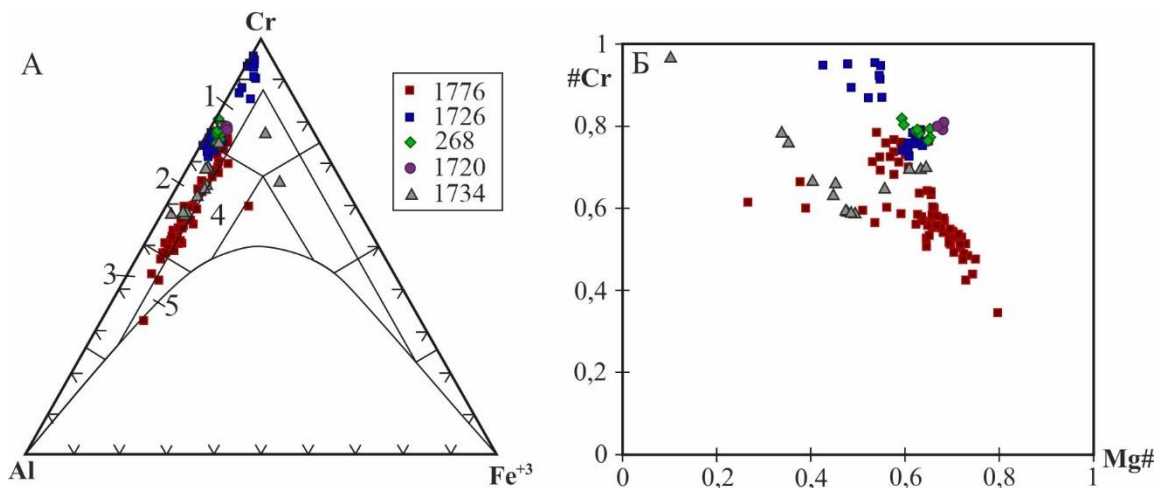


Рисунок 2 – Диаграммы состава хромшпинелидов,

где А – треугольная классификационная диаграмма хромшпинелидов по [19], 1 — хромит, 2 — алюмохромит, 3 — хромпикотит, 4 — субферриалюмохромит, 5 - субферрихромпикотит; Б – бинарная диаграмма #Cr–#Mg для хромшпинелидов.

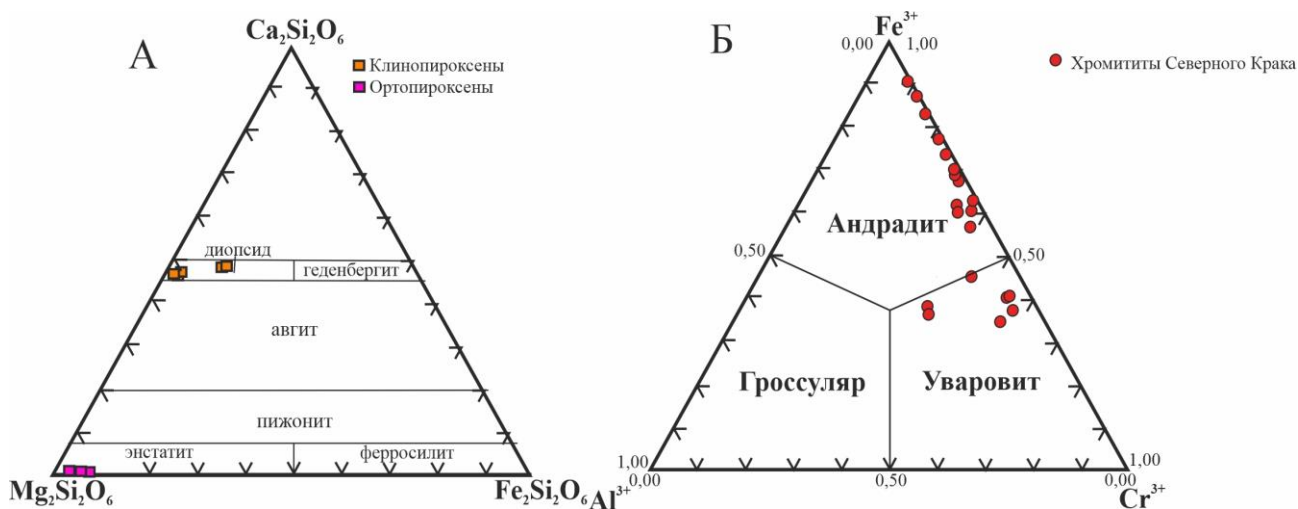


Рисунок 3 – Диаграммы состава аксессуарных минералов хромиттов,

где А – треугольная классификационная диаграмма пироксенов по [20], Б – треугольная диаграмма составов гранатов уграндитового ряда.

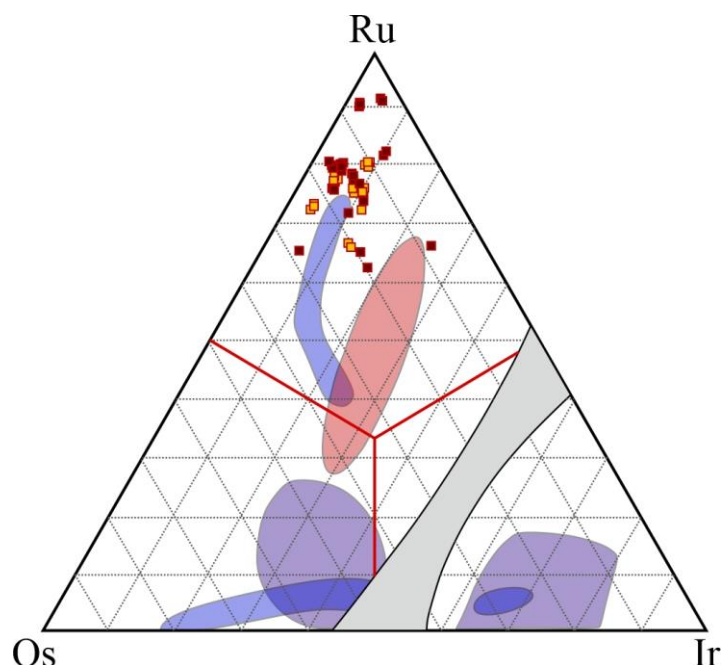


Рисунок 4 – Диаграмма составов включений, представленных минералами тугоплавких платиноидов из хромититов мантийного разреза,

где зона несовместности в сплавах Os-Ir-Ru состава дана по [21]. Поля: фиолетовые – поля составов природных сплавов из офиолитовых хромититов по данным [22–25], синий – составы сплавов из хромититов офиолита Bou Azzer, Марокко, красное – валовые соотношения Ru, Os и Ir в хромититах офиолита Bou Azzer, Марокко [26]. Жёлтые точки — сульфидные МПГ, коричневые — оксидные.

На рудопроявлениях 1726 и 1734 зональность выражена в увеличении на краях зерен содержания хрома и железа за счет снижения концентрации алюминия и магния. Это скорее всего обусловлено специфическими условиями метаморфических преобразований и/или гидротермальной проработкой пород. Последний вариант подтверждается наличием (в обоих рудопроявлениях) в интерстициальном пространстве хромититов значительного количества хромистых гранатов (андрадит, уваровит). Кроме того, в интерстициальном пространстве хромититов присутствуют и другие минералы, указывающие на гидротермальное воздействие, в частности, карбонаты, оксидные фазы платиноидов.

На рудопроявлениях Шигаевской группы выявлены единичные включения оливина, который является высокомагнезиальным ($Fo=0.95$) и по составу соответствуют оливину из сильно деплетированных мантийных реститов, что вместе с высокохромистым составом рудообразующего шпинелида указывает на реститовое происхождение оруденения.

Минералы платиновой группы (МПГ) в хромититах представлены тугоплавким подтипом, причем характерной чертой изученных рудопроявлений является доминирование рутения в их составе. Первичные МПГ представлены дисульфидами ряда лаурит-эрликманит, все обнаруженные зерна относятся к

лауриту с незначительной примесью осмия и иридия. Лаурит как правило обнаруживается во внутренних частях зерен хромита, часто обладает кристалломорфным обликом. Наилучшей сохранностью отличаются лауристы из проявлений Шигаевской группы, а вот в других рудопроявлениях анализы тугоплавких МПГ демонстрируют практическое отсутствие серы и высокие концентрации кислорода. Вместе с тем, при нанесении составов всех изученных зерен МПГ на треугольную диаграмму Os-Ru-Ir можно видеть, что все точки располагаются в виде единого компактного поля. Это скорее всего свидетельствует о том, что оксидные фазы, обнаруженные в рудопроявлениях Сек-1726 и 1734 первоначально также были представлены лауритом, но в результате гидротермальной проработки хромититов были замещены вторичными фазами (оксидами?).

Таким образом, проведенные исследования позволили расширить знания о минералогии пяти хромититовых рудопроявлений массива Северный Крака, охарактеризовать вариации состава главных минералов – хромшпинелидов, состав минералов из включений в них и минералов из интерстициального пространства. Вероятнее всего, образование рудопроявлений Шигаевской группы, точек 1726 и 1734 происходило по механизму реоморфической дифференциации в рестите. Генезис хромититов Верхне-Сарангинского рудопроявления в настоящее время представляется дискуссионным, требующим дополнительных исследований.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания № FMRS-2022-0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arai S. (1980) Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan // *Journal of Petrology*. V. 21, pp.141–165.
2. Arai S. (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // *Chemical Geology*. V. 113, pp.191–204.
3. Barnes S., Roeder P. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks // *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 279–2302. doi.org/10.1093/petrology/42.12.2279
4. Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas // *Contributon to Mineralogy and Petrology*. V. 86, pp. 54–76.
5. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks // *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 655–671.

6. Morishita T., Andal E.S., Arai S., Ishida Y. (2006) Podiform chromitites in the lherzolite-dominant mantle section of the Isabela ophiolite, the Philippines // *The Island Arc*. V. 15, pp. 84–101. doi:10.1111/j.1440-1738.2006.00511.x
7. Borisova A.Y., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S., Arai S., Béjina F., Abily B., Bindeman I.N., Polvé M., De Parseval P., Aigouy T., Pokrovski G.S. (2012) A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions // *Journal of Petrology*. V. 53, pp.2411–2440.
8. Johan Z., Martin R.F., Ettler V. (2017) Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits // *European Journal of Mineralogy*. V. 29, pp. 543–555.
9. McElduff B., Stumpfl E.F. (1991) The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation // *Mineralium Deposita*. V. 26, pp. 307–318.
10. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite // *Journal of Asian Earth Science*. V. 59, pp.52–61.
11. Перевозчиков Б.В., Булыкин Л.Д., Попов И.И., Орфаницкий В.Л., Андреев М.И., Сначев В.И., Даниленко С.А., Черкасов В.Л., Ченцов А.М., Жарикова Л.Н., Клочко А.А. (2000) Реестр хромитопоявлений в альпинотипных гипербазитах Урала. Под ред. Перевозчиков Б.В. Камариксди, Пермь. 474 с.
12. Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Зайков В.В., Сначев В.И., Котляров В.А., Блинов И.А. (2015) Первые проявления ЭПГ-минерализации в ультраосновных породах Среднего Крака (Южный Урал) // *Доклады академии наук*. 460 (2). С. 103–105.
13. Garuti G., Pushkarev E.V., Gottman I.A., Zaccarini F. (2021) Chromite-PGM Mineralization in the Lherzolite Mantle Tectonite of the Kraka Ophiolite Complex (Southern Urals, Russia) // *Minerals*. 11, 1287. <https://doi.org/10.3390/min11111287>
14. Рахимов И.Р., Савельев Д.Е., Вишневецкий А.В. (2021) Платинометалльная минерализация магматических комплексов Южного Урала: геолого-геодинамическая характеристика формаций, проблемы их генезиса и перспективы // *Геодинамика и тектонофизика*. 12 (2). С. 409–434. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0531.
15. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. (2023). Акцессорная минерализация в лерцолитах массива Северный Крака (Южный Урал) // *Георесурсы*. V. 25(3), pp. 22-35. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.2>
16. Савельев Д.Е., Гатауллин Р.А. (2021) Лерцолиты Азнагуловской площади (Южный Урал): состав и P-T- fO₂ условия образования // *Вестник Академии наук Республики Башкортостан*. Т. 40, №3(103). С.15–25.

17. Савельев Д.Е. (2018) Ультрамафитовые массивы Крака (Южный Урал): особенности строения и состава перидотит-дунит-хромититовых ассоциаций. Уфа: Башк. энцикл. 204 с.
18. Whitney D. L., Evans B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*. V. 95 (1), pp. 185–187.
19. Павлов Н.В. (1949) Химический состав хромшпинелидов в связи с петрографическим составом пород ультраосновных интрузивов // *Труды института геологических наук АН СССР*. № 13. С. 10–35.
20. Morimoto N. (1989) Nomenclature of pyroxenes // *Canadian mineralogist*. V. 27, pp. 143-156.
21. Harris D.C., Cabri L.J. (1991) Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // *Canadian Mineralogist*. V. 29, pp. 231–237.
22. Zaccarini F., Proenza J. A., Ortega-Gutierrez F., Garuti G. (2005) Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuitzingo (Acatlan complex, southern Mexico): implications for post-magmatic modification // *Mineralogy and Petrology*. 84, pp. 147–168 DOI 10.1007/s00710-005-0075-7
23. Garuti G., Zaccarini F., Economou-Eliopoulos M. (1999) Paragenesis and composition of laurite from chromitites of Othrys (Greece): implications for Os-Ru fractionation in ophiolitic upper mantle of the Balkan peninsula // *Mineralium Deposita*. V. 34, pp. 312±319.
24. Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F. (1997) Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // *Journal of Petrology*. V. 38, pp. 1419–1458.
25. Vatin-Perignon N., Amosse J., Radelli L., Keller F., Castro Leyva T. (2000) Platinum-group elements behaviour and thermochemical constraints in the ultrabasic-basic complex of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico // *Lithos*. V.53, pp. 59–80.
26. El Ghorfi M., Melcher F., Oberthur T., Boukhari A. E., Maacha L., Maddi A., Mhaili M. (2008) Platinum group minerals in podiform chromitites of the Bou Azzer ophiolite, Anti Atlas, Central Morocco // *Mineralogy and Petrology*. V. 92, pp. 59–80 DOI 10.1007/s00710-007-0208-2

REFERENCES

1. Arai S. (1980) Dunite-harzburgite-chromitite complexes as refractory residue in the Sangun-Yamaguchi zone, western Japan. *Journal of Petrology*. V. 21, pp.141–165.
2. Arai S. (1994) Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology*. V. 113, pp.191–204.

3. Barnes S., Roeder P. (2001) The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 279–2302. doi.org/10.1093/petrology/42.12.2279
4. Dick H.J.B., Bullen T. (1984) Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and Alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributon to Mineralogy and Petrology*. V. 86, pp. 54–76.
5. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*. V. 42, pp. 655–671.
6. Morishita T., Andal E.S., Arai S., Ishida Y. (2006) Podiform chromitites in the lherzolite-dominant mantle section of the Isabela ophiolite, the Philippines. *The Island Arc*. V. 15, pp. 84–101. doi:10.1111/j.1440-1738.2006.00511.x
7. Borisova A.Y., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S., Arai S., Béjina F., Abily B., Bindeman I.N., Polvé M., De Parseval P., Aigouy T., Pokrovski G.S. (2012) A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions. *Journal of Petrology*. V. 53, pp.2411–2440.
8. Johan Z., Martin R.F., Ettler V. (2017) Fluids are bound to be involved in the formation of ophiolitic chromite deposits. *European Journal of Mineralogy*. V. 29, pp. 543–555.
9. McElduff B., Stumpfl E.F. (1991) The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation. *Mineralium Deposita*. V. 26, pp. 307–318.
10. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. (2012) Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite. *Journal of Asian Earth Science*. V. 59, pp.52–61.
11. Perevozchikov B.V., Bulykin L.D., Popov I.I., Orfanitsky V.L., Andreev M.I., Snachev V.I., Danilenko S.A., Cherkasov V.L., Chentsov A.M., Zharikova L.N., Klochko A.A. Register manifestations of chromium in peridotites of the Alpine type of the Urals. Edited by Perevozchikov B.V. Kamariksdi, Perm. 2000, 474 p.
12. Saveliev D.E., Belogub E.V., Zaikov V.V., Snachev V.I., Kotlyarov V.A., Blinov I.A. First manifestations of PGE-mineralisation in ultrabasic rocks of the Middle Kraka massif (Southern Urals). *Earth Science Reports*, 2015, 460 (2), P. 103-105.
13. Garuti G., Pushkarev E.V., Gottman I.A., Zaccarini F. Chromite-PGM Mineralization in the Lherzolite Mantle Tectonite of the Kraka Ophiolite Complex (Southern Urals, Russia). *Minerals*, 2021, 11, 1287. <https://doi.org/10.3390/min11111287>
14. Rakhimov I.R., Saveliev D.E., Vishnevskiy A.V. Platinum-metal mineralisation of magmatic complexes of the Southern Urals: geological and geodynamic characteristics of formations, problems of their genesis and prospects.

Geodynamics and Tectonophysics, 2021, 12 (2), pp. 409-434. doi:10.5800/GT-2021-12-2-0531.

15. Saveliev, D.E.; Gataullin, R.A. (2023). Accessor mineralisations in lherzolites of the Severnaya Kraka massif (Southern Urals). *Georesources*, 2023, 25(3), P. 22-35. <https://doi.org/10.18599/grs.2023.3.2>

16. Saveliev D.E., Gataullin R.A. Lherzolites of the Aznagulovo area (Southern Urals): composition and P-T-fO₂ formation conditions // *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2021, Vol. 40, No.3(103). P.15-25.

17. Saveliev D.E. Ultramafic Kraka massifs (Southern Urals): peculiarities of structure and composition of peridotite-dunite-chromitite associations. - Ufa: Bashk. encykl., 2018, 204 p.

18. Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*, 2010, 95 (1): 185–187.

19. Pavlov N.V. Chemical composition of chromspinelides in connection with the petrographic composition of rocks of ultramafic intrusions // *Proceedings of the Institute of Geological Sciences of the USSR Academy of Sciences*, 1949, No. 13. P. 10-35.

20. Morimoto N. Nomenclature of pyroxenes // *Canadian mineralogist*, 1989, V. 27, P. 143-156.

21. Harris D.C., Cabri L.J. Nomenclature of platinum-group-elementalloys: review and revision // *Can Miner*, 1991, 29:231–237

22. Zaccarini F., Proenza J. A., Ortega-Gutierrez F., Garuti G. Platinum group minerals in ophiolitic chromitites from Tehuizingo (Acatlan complex, southern Mexico): implications for post-magmatic modification // *Mineralogy and Petrology*, 2005, 84: 147–168 DOI 10.1007/s00710-005-0075-7

23. Garuti G., Zaccarini F., Economou-Eliopoulos M. Paragenesis and composition of laurite from chromitites of Othrys (Greece): implications for Os-Ru fractionation in ophiolitic upper mantle of the Balkan peninsula // *Mineralium Deposita*, 1999, 34: 312±319

24. Melcher F., Grum W., Simon G., Thalhammer T.V., Stumpfl E.F. Petrogenesis of the ophiolitic giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan: a study of solid and fluid inclusions in chromite // *J Petrol*, 1997, 38: 1419–1458

25. Vatin-Perignon N., Amosse J., Radelli L., Keller F., Castro Leyva T. Platinum-group elements behaviour and thermochemical constraints in the ultrabasic-basic complex of the Vizcaino Peninsula, Baja California Sur, Mexico // *Lithos*, 2000 53: 59–80

26. El Ghorfi M., Melcher F., Oberthur T., Boukhari A. E., Maacha L., Maddi A., Mhaili M. Platinum group minerals in podiform chromitites of the Bou Azzer ophiolite, Anti Atlas, Central Morocco // *Mineralogy and Petrology*, 2008, 92: 59–80 DOI 10.1007/s00710-007-0208-2

Сведения об авторах:

Гатауллин Руслан Азатович, младший научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа, 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: rusgatln97@gmail.ru

Шабутдинов Тимур Денисович, инженер-исследователь, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), г. Уфа. 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: timurgeolog11@gmail.com

Савельев Дмитрий Евгеньевич, член Отделения Наук о Земле и нефтегазовых технологий Академии наук Республики Башкортостан; 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.

Authors' personal details

Gataullin Ruslan Azatovich, junior researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: rusgatln97@gmail.ru

Shabutdinov Timur Denisovich, research engineer, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: timurgeolog11@gmail.com

Savelyev Dmitry Evgenievich, member of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan; Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Гатауллин Р.А., Шабутдинов Т.Д., Савельев Д.Е.

**МИКРОСТРУКТУРА ОЛИВИНА
ИЗ УЛЬТРАМАФИТОВ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МАССИВА РАЙ-ИЗ
(ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ) ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ
МЕТОДОМ EBSD**

© Савельев Дмитрий Евгеньевич

Институт геологии

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

Аннотация. Микроструктурные особенности оливина из рудовмещающих ультрамафитов юго-западного рудного поля массива Рай-Из изучены количественно методом дифракции отраженных электронов (ДОЭ = EBSD). Метод EBSD все более широко используется в науках о Земле во всем мире. Он позволяет получать количественные данные о кристаллографической ориентировке кристаллических материалов с высокой разрешающей способностью, что делает его предпочтительным инструментом микроструктурных исследований по сравнению с традиционным петрографическим методом, основанным на применении универсального Федоровского столика. Петрографическое изучение шлифов показало, что дуниты и гарцбургиты обладают довольно свежим обликом, доля петельчатого серпентина (либо антигорита) составляет от 30 до 50 об.%, наиболее типичными структурами ультрамафитов изученной территории являются порфирокластическая и мозаичная. При изучении препаратов методом EBSD получены микроструктурные карты в кодировке углов Эйлера и обратных полюсных фигур. Интенсивность предпочтительной кристаллографической ориентировки была оценена при помощи индексов J и M. В результате изучения микроструктурных особенностей ультрамафитов Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из выявлена сильная предпочтительная кристаллографическая ориентировка оливина в гарцбургитах, дунитах и вкрапленных хромититах, что обусловлено интенсивной пластической деформацией в режиме дислокационной ползучести. Вероятно, она играла определяющую роль в становлении ультрамафитового разреза и образовании хромититов. Переход основного направления течения от оси [100] к [001] может быть связан с глубинным уровнем перехода от верхней мантии к нижней коре. Для более точной оценки P-T-условий, окислительно-восстановительного и флюидного режима деформации необходимо проведение более детальных исследований.

Ключевые слова: EBSD, оливин, пластическая деформация, рекристаллизация, офиолиты, ультрамафиты, Рай-Из

MICROSTRUCTURAL FEATURES OF OLIVINE FROM ULTRAMAFIC ROCKS OF SOUTH-WESTERN PART OF RAI-IZ MASSIF (POLAR URALS) ACCORDING STUDY BY EBSD METHOD

© Savelyev Dmitry Evgenievich

Institute of Geology
FGBNU "Ufa Federal Research Center"
Ufa, Russian Federation

Summary. Microstructural features of olivine from ore-hosting ultramafic rocks of the South-Western Ore Field of the Rai-Iz massif were studied quantitatively by the electron backscatter diffraction (EBSD) method. EBSD is increasingly used in earth sciences worldwide. It provides high-resolution quantitative data on the crystallographic orientation of crystalline materials, making it a preferable tool for microstructural studies compared to the traditional petrographic method based on the universal Fedorovsky stage. Petrographic study of thin sections showed that dunites and harzburgites have a fairly fresh appearance, the proportion of mesh serpentine (or antigorite) is from 30 to 50 vol.%, the most typical structures of ultramafic rocks in the studied area are porphyroclastic and mosaic. When studying the preparations by the EBSD method, microstructural maps were obtained in the Euler angle and inverse pole figure encoding. The intensity of the crystallographic preferred orientation was estimated using the J and M indices. As a result of studying the microstructural features of the ultramafic rocks of the South-West Ore Field of the Rai-Iz massif, a strong crystallographic preferred orientation of olivine in harzburgites, dunites and disseminated chromitites was revealed, which is due to intense plastic deformation in the dislocation creep regime. Probably, it played a decisive role in the formation of the ultramafic rocks and chromitites. The transition of the main flow direction from the [100] to [001] axis may be associated with the deep level of the transition from the upper mantle to the lower crust. More detailed studies are required for a more accurate assessment of the PT conditions, oxidation-reduction and fluid deformation regime.

Keywords: EBSD, olivine, plastic deformation, recrystallization, ultramafic rocks, ophiolite, Rai-Iz

Введение. Метод дифракции отраженных электронов (ДОЭ = EBSD) все более широко используется в науках о Земле во всем мире [15,20,22]. Он позволяет получать количественные данные о кристаллографической ориентировке кристаллических материалов с высокой разрешающей способностью, что делает его предпочтительным инструментом микроструктурных исследований по сравнению с традиционным

петрографическим методом, основанным на применении универсального Федоровского столика [7,11].

Массив Рай-Из расположен в зоне Главного Уральского разлома на Полярном Урале, между метаморфическими образованиями Харбейского и Хараматолоуского комплексов (рис.1). Он является одним из ярких представителей мантийного разреза офиолитовой ассоциации в пределах Уральского складчатого пояса и привлекает исследователей на протяжении почти сто лет [1,4,6,9,12]. После распада СССР резко возросла роль массива как одного из наиболее хромитоносных офиолитовых комплексов Урала и всей России. Именно здесь находится единственное разрабатываемое в настоящее время месторождение хромовых руд металлургического типа, которые сложены высокохромистыми хромшпинелидами (месторождение Центральное).

Помимо данного месторождения, на массиве довольно широко развита хромититовая минерализация, выделено значительное количество рудопроявлений с различной степенью изученности [10]. Одним из перспективных на хромититы является так называемое Юго-Западное рудное поле, включающее несколько перспективных объектов. Целью данного исследования является изучение микроструктуры вмещающих ультрамафитов некоторых рудопроявлений Юго-Западного рудного поля методом EBSD и сравнительный анализ полученных данных с теми, что были получены ранее классическим Федоровским методом.

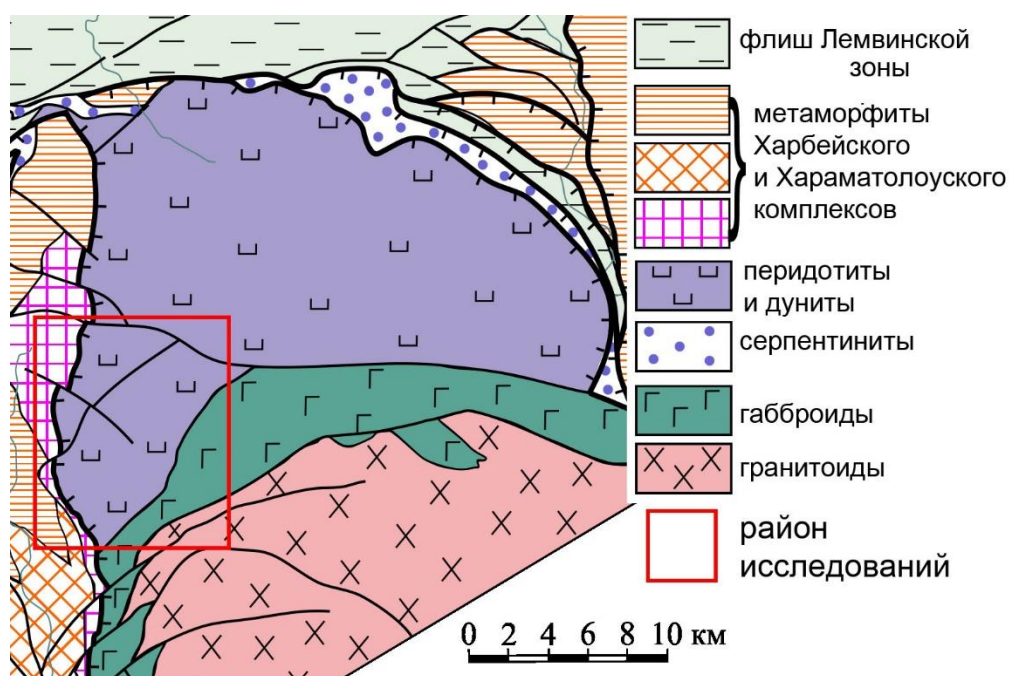


Рисунок 1 – Обзорная геологическая карта района исследований
По Н.В.Вахрушевой и др., 2017 [1]

Методы исследований. Для изучения были выбраны несколько образцов дунитов и гарцбургитов из керна поисковых скважин, отобранные в ходе полевого выезда 2022 г. на массиве Рай-Из. В частности, образцы были отобраны на рудопроявлениях Юго-Западное-III (R-909), Юго-Западное-IV (R-911), Западное-II (R-916), Западное (R-921, R-922), Юго-Западное I (R-923).

Из керна были сделаны шлифы в трех взаимно перпендикулярных плоскостях и затем, по возможности, определялась макроструктура, включающая минеральную листоватость (и/или полосчатость) и линейность. В дальнейшем по возможности вырезались шлифы в плоскости, перпендикулярной к минеральной уплотненности и содержащие линейность, либо изучались срезы из плоскостей, наиболее близкие к данной ориентировке.

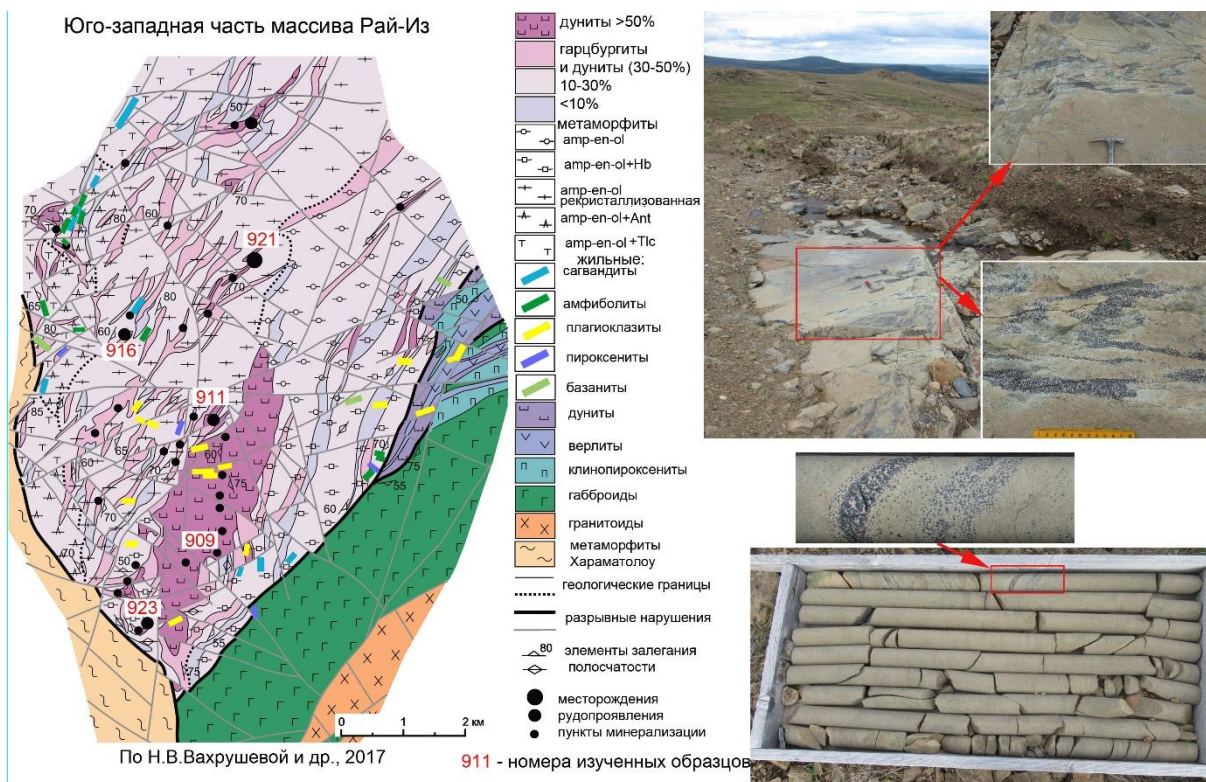


Рисунок 2 – Геологическое строение массива Рай-Из по [1] и точки отбора образцов

Рудопроявления: Юго-Западное-III (R-909), Юго-Западное-IV (R-911), Западное-II (R-916), Западное (R-921, R-922), Юго-Западное I (R-923)

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 [3,20,21].

Результаты исследований. На массиве Рай-Из нами были изучены редковкрапленные хромититы, дуниты и гарцбургиты нескольких рудопроявлений юго-западного блока (рис.2). В некоторых обнажениях хорошо видна складчатость вкрапленных хромититов. Петрографическое изучение шлифов показало, что дуниты и гарцбургиты обладают довольно свежим обликом, доля петельчатого серпентина (либо антигорита) составляет от 30 до 50 об.%, что позволяет идентифицировать первичные структуры пород. Как ранее отмечалось предшественниками, наиболее типичными структурами ультрамафитов изученной территории являются порфирокластическая и мозаичная [2]. Для оливина и ортопироксена характерно широкое развитие признаков высокотемпературного пластического течения и динамической рекристаллизации: кинк-бандов, полос пластического излома, необластов вблизи крупных деформированных зерен.

При изучении препаратов методом EBSD получены микроструктурные карты в кодировке углов Эйлера и обратных полюсных фигур. Интенсивность предпочтительной кристаллографической ориентировки была оценена при помощи индексов J [13] и M [23]. Полученные цифры говорят о том, что оливин имеет интенсивно развитую предпочтительную ориентировку, тогда как ортопироксен — довольно умеренную.

На картах в кодировке обратных полюсных фигур (рис.3) отражено удлинение зерен оливина, которые часто разделены на блоки субпараллельными диагональными линиями, представленными малоугловыми границами (тонкие белые либо черные линии). При этом большеугловые границы зерен на этих картах показаны более широкими черными линиями.

На основе EBSD-сканирования нескольких участков для каждого образца (обычно 4-6 с шагом 15-25 мкм), нами были построены интегральные, или «синоптические» круговые диаграммы [5] (рис.4). Они показывают, что оливин имеет во всех образцах сильную предпочтительную кристаллографическую ориентировку, обусловленную трансляционным скольжением по разным системам: плоскостью скольжения почти всегда является (010), а вот направление варьирует – [100] либо [001].

Обсуждение результатов. Проведенные петрографические и микроструктурные исследования позволили установить, что в ультрамафитах, вмещающих хромитовое оруденение, а также во вкрапленных хромититах, широко проявлены структуры и текстуры, свидетельствующие о формировании рудоносного разреза в условиях высокотемпературного пластического течения.

Ранее микроструктурные особенности ультрамафитов массива были изучены оптическим методом с применением универсального Федоровского

столика [2, 8]. В результате было установлено, что наиболее типичными петроструктурными узорами являются следующие: тип 1 – с максимумом оси [100] и поясовым расположением двух других осей, при этом в подтипе 1 максимум оси [100] совпадает с линейностью, в подтипе 2 образует с ней различные углы; тип 2 – с четким максимумом оси [010] и в различной степени поясовым расположением двух других осей. Наши результаты в целом подтверждают наличие данных типов ориентировки, а дополнением к ним является выявление в отдельных случаях четких максимумов оси [001], о чем сказано ниже.

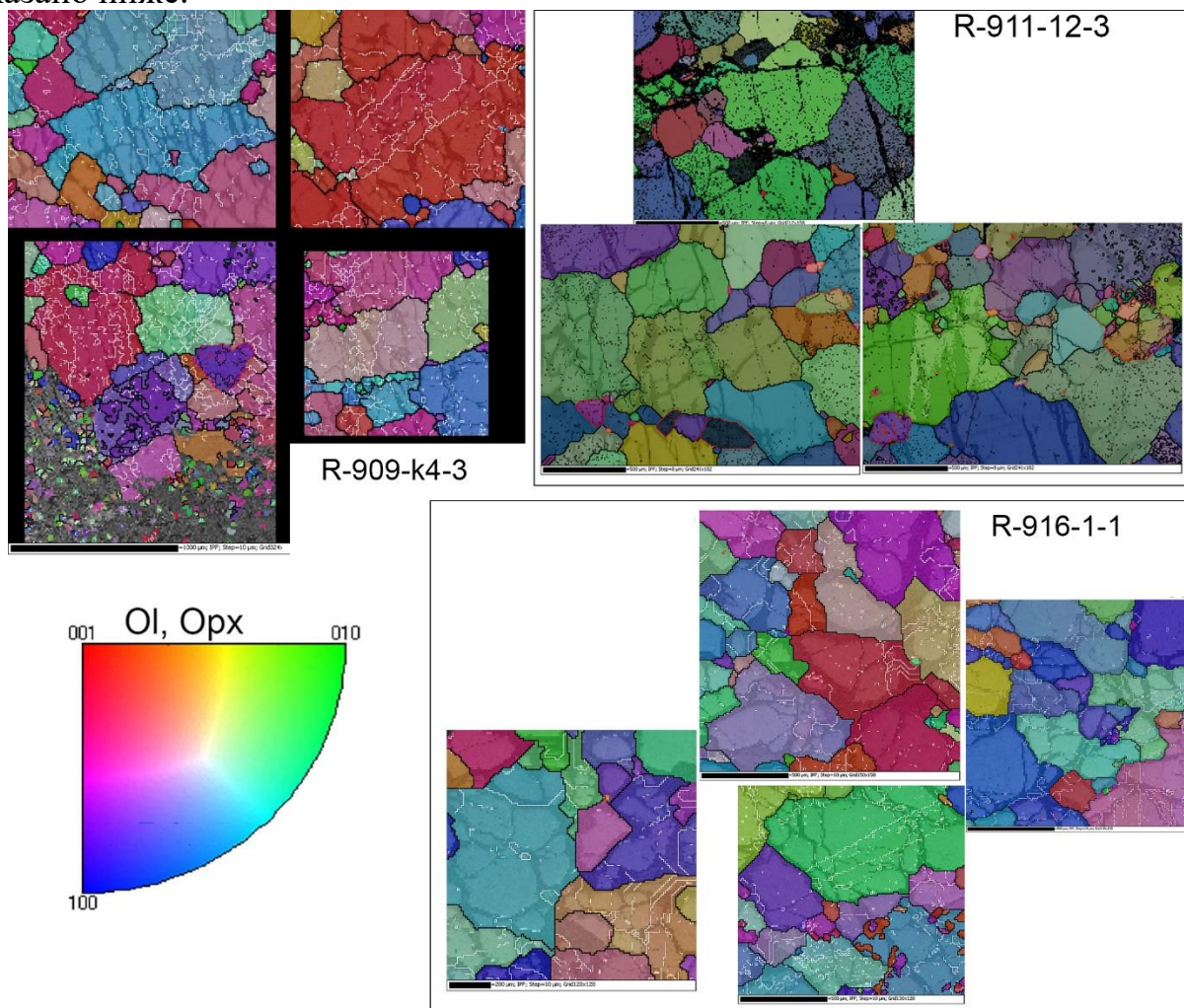


Рисунок 3 – Микроструктура изученных ультрамафитов на картах в кодировке обратных полюсных фигур

Примечание: в левой нижней части – цветовой ключ для карт кристаллов ромбической сингонии

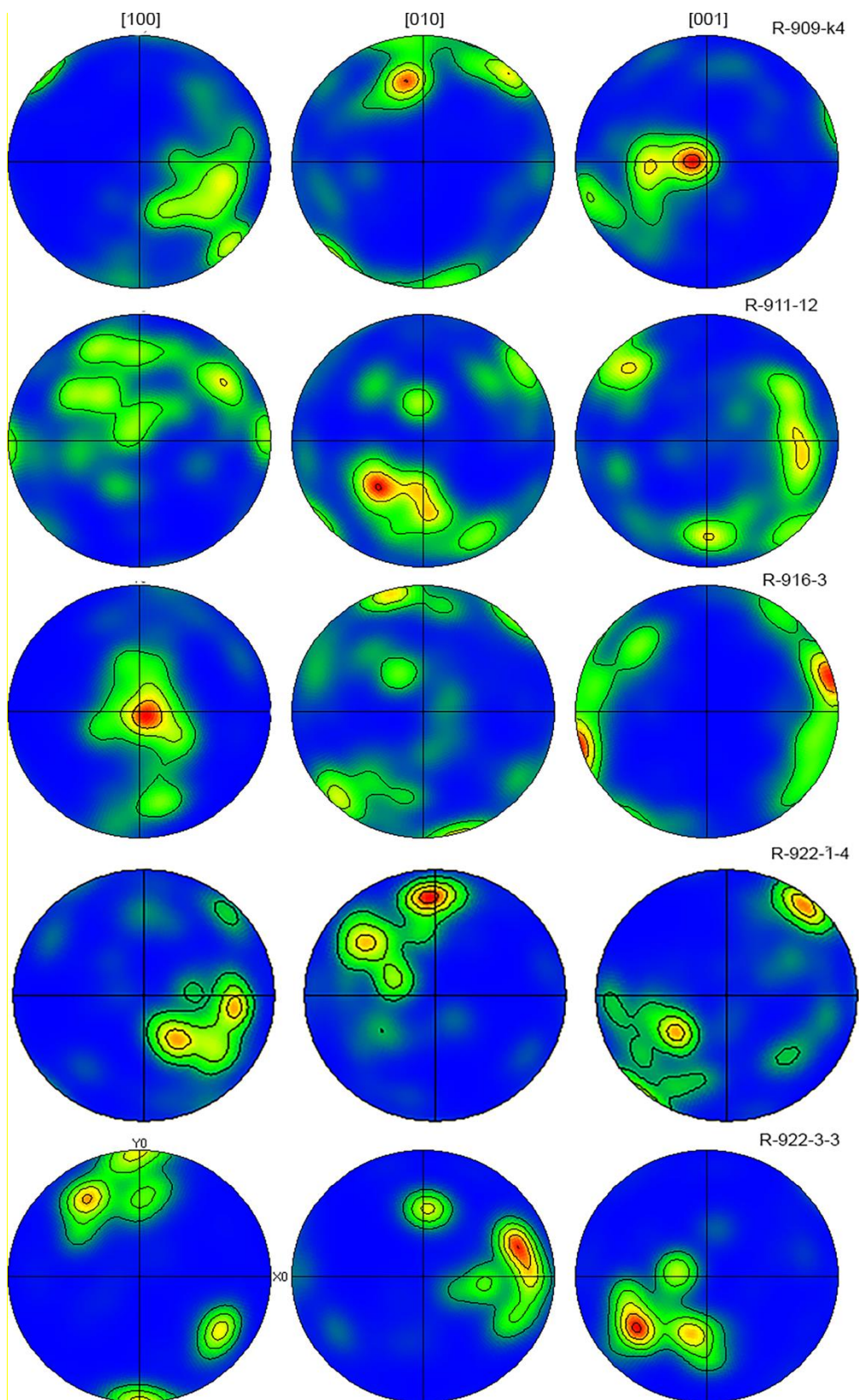


Рисунок 4 – Интегральные (синоптические) круговые диаграммы для главных кристаллографических направлений оливина изученных образцов

Наличие от умеренной до сильной предпочтительной кристаллографической ориентировки в оливиновых агрегатах указывает на пластическую деформацию в режиме дислокационной ползучести [16, 19]. Основным механизмом деформации являлось трансляционное скольжение, но также проявлена и динамическая рекристаллизация, что отражено в присутствии необластов и усложнении петроструктурных узоров на интегральных диаграммах. При этом в разных образцах проявлены различные системы трансляционного скольжения. Только в образце R-909-k4 проявлена наиболее типичная для офиолитов система (010)[100] или тип А, здесь и далее типизация проводится по работе [15]. Во всех остальных образцах направлением предпочтительного скольжения являлась ось [001], а плоскости скольжения изменялись: R-916-3 и R-922-3 – система (010)[001] или тип В, R-911-12 и R-922-1 – система (100)[001], тип С. Считается, что направление [001] становится более легким в более «влажных» условиях, тогда как направление [100] является предпочтительным в «сухой» обстановке [15, 17]. Кроме того, направление [001] становится более предпочтительным при более низкой температуре [14, 18]. В целом, предлагаемая нами интерпретация близка к таковой, предложенной в работе [2], где разнообразие наблюдаемых микроструктурных типов оливина связывается с длительной метаморфической эволюцией массива.

Заключение. В результате изучения микроструктурных особенностей ультрамафитов Юго-Западного рудного поля массива Рай-Из выявлена сильная предпочтительная кристаллографическая ориентировка оливина в гарцбургитах, дунитах и вкрапленных хромититах, что обусловлено интенсивной пластической деформацией в режиме дислокационной ползучести. Вероятно, она играла определяющую роль в становлении ультрамафитового разреза и образовании хромититов. Переход основного направления течения от оси [100] к [001] может быть связан с глубинным уровнем перехода от верхней мантии к нижней коре. Для более точной оценки РТ-условий, окислительно-восстановительного и флюидного режима деформации необходимо проведение более детальных исследований.

Финансирование. Исследования выполнены за счет гранта РФФ (Соглашение № 22–17–00019). Аналитические исследования проведены на базе ЦКП ИПСМ РАН «Структурные и физико-механические исследования материалов» и в Ресурсном центре СПбГУ «Геомодель». Автор признателен И.И.Мусабирову и Н.Власенко за проведение аналитических работ методом EBSD.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
2. Гончаренко А.И., Чернышов А.И., Шмелев В.Р. Петроструктурные особенности гипербазитов и габбро / Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 228 с.
3. Даниленко В.Н., Миронов С.Ю., Беляков А.Н., Жиляев А.П. Применение EBSD анализа в физическом материаловедении (обзор) // Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2012. Т. 78. №2. С. 28–46.
4. Добрецов Н.Л., Молдаванцев Ю.Е., Казак А.П., Пономарева Л.Г., Савельева Г.Н., Савельев А.А. Петрология и метаморфизм древних офиолитов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 220 с.
5. Добржинецкая Л.Ф. Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. М.: Наука, 1989. 288 с.
6. Заварицкий А.Н. Перидотитовый массив Рай-Из в Полярном Урале. М.: ГОНТ ГРИ, 1932. 221 с.
7. Казаков А.Н. Динамический анализ микроструктурных ориентировок минералов. Л.: Наука, 1987. 272 с.
8. Кашинцев Г.Л., Кузнецов И.Е., Рудник Г.Б. Типы пространственной ориентировки оливинов в гипербазитах массива Рай-Из (Полярный Урал) // Вестник МГУ. Сер. геол., 1971, №2. С.195–199.
9. Макеев А. Б., Брянчанинова Н. И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. СПб.: Наука, 1999. 252 с.
10. Перевозчиков Б.В., Булыкин Л.Д., Попов И.И., Орфаницкий В.Л., Андреев М.И., Сначев В.И., Даниленко С.А., Черкасов В.Л., Ченцов А.М., Жарикова Л.Н., Ключко А.А. Реестр хромитопоявлений в альпинотипных гипербазитах Урала. Пермь: КамНИИКИГС. 2000. 474 с.
11. Саранчина Г.М., Кожевников В.Н. Фёдоровский метод (определение минералов, микроструктурный анализ). Л., Недра, 1985. 208 с.
12. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из /отв ред. В.Н.Пучкова, Д.С.Штейнберг. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. 228 с.
13. Bunge H. Texture Analysis in Materials Science: Mathematical Models. London: Butterworths, 1982. 593 p.
14. Carter N.L. Steady state flow of rocks. Rev. Geophys. and Space Phys. 1976, V.14, Pp. 301–360.
15. 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>

16. 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>

17. 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.

18. Nicolas A., Poirier J.P. *Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks*. Wiley – Interscience, London, 1976. 444 p.

19. Poirier J.-P. *Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals*. London, Cambridge University Press, 1985. 287 p.

20. 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.

21. 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.

22. Schwartz J., Kumar M., Adams B.L., Field D.P. *Electron backscattered diffraction in Material Science*. Springer Science+Business Media. 2009. 528 p.

23. 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.

REFERENCES

1. Vakhrusheva N.V., Shiryaev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. *Petrology and chromite content of the Rai-Iz ultramafic massif (Polar Urals)*. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2017. 265 p. (in Russian)

2. Goncharenko A.I., Chernyshov A.I., Shmelev V.R. *Petrostructural features of hyperbasites and gabbro / Structure, evolution and minerageny of the Rai-Iz hyperbasite massif*. Sverdlovsk: Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990. 228 p. (in Russian)

3. 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.

4. Dobretsov N.L., Moldavantsev Yu.Ye., Kazak A.P., Ponomareva L.G., Savel'yeva G.N., Savel'yev A.A. Petrology and metamorphism of ancient ophiolites. Novosibirsk: Nauka. SB AS USSR, 1977. 220 p. (in Russian)
5. Dobrzhinetskaya L.F. Deformations of igneous rocks at the condition of deep tectogenesis. Moscow: Nauka, 1989. 288 p. (in Russian)
6. Zavaritskiy A.N. Rai-Iz peridotite massif in the Polar Urals. M.: GONT GRI, 1932. 221 p. (in Russian)
7. Kazakov A.N. Dynamical analysis of microstructural orientation of minerals. Leningrad: Nauka, 1987. 272 p. (in Russian)
8. Kashintsev G.L., Kuznetsov I.E., Rudnik G.B. Types of spatial orientation of olivines in hyperbasites of the Rai-Iz massif (Polar Urals) // Bulletin of Moscow State University. Geological Series, 1971, No. 2. P. 195–199. (in Russian)
9. Makeev A. B., Bryanchaninova N. I. Topominerology of ultramafic rocks of the Polar Urals. SPb: Nauka, 1999. 252 p. (in Russian)
10. Perevozchikov B.V., Bulykin L.D., Popov I.I., Orfanitskiy V.L., Andreev M.I., Snachev V.I., Danilenko S.A., Cherkasov V.L., Chentsov A.M., Zharikova L.N., Klochko A.A., 2000. The register shows of chrome in the alpine-type peridotites of Urals. Ed. Perevozchikov B.V. KamaRICSDI, Perm. 474 p. (in Russian).
11. Saranchina G.M., Kozhevnikov V.N. Fedorov's method (mineral definition, microstructural analysis). Leningrad: Nedra, 1985. 208 p. (in Russian)
12. Structure, evolution and minerageny of the Rai-Iz hyperbasite massif / edited by V.N.Puchkova, D.S.Shteinberg. – Sverdlovsk: Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, 1990. 228 p. (in Russian)
13. Bunge H. Texture Analysis in Materials Science: Mathematical Models. London: Butterworths, 1982. 593 p.
14. Carter N.L. Steady state flow of rocks. Rev. Geophys. and Space Phys. 1976, V.14, Pp. 301–360.
15. 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>
16. 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>
17. 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.
18. Nicolas A., Poirier J.P. Crystalline plasticity and solid state flow in metamorphic rocks. Wiley – Interscience, London, 1976. 444 p.
19. Poirier J.-P. Creep of crystals. High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals. London, Cambridge University Press, 1985. 287 p.

20. 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.

21. 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.

22. Schwartz J., Kumar M., Adams B.L., Field D.P. *Electron backscattered diffraction in Material Science*. Springer Science+Business Media. 2009. 528 p.

23. 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.

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: sav171@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: sav171@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Савельев Д.Е.

**АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ
ПРОГНОЗНЫХ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ
В ДОБЫВАЮЩЕЙ СКВАЖИНЫ**

© Закиров Марат Финатович

© Валиуллин Рим Абдуллович

Уфимский государственный нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Для эффективной разработки нефтяных и газовых месторождений используется комплекс геофизических методов. Одним их эффективных методов исследования эксплуатационных скважин является термометрия. Проявление термодинамических эффектов в процессе эксплуатации скважины приводит к изменению теплового поля и поэтому позволяет решить множество задач контроля технического состояния. Это, в свою очередь, добавляет новые требования геофизическим службам – получение количественных параметров для оценки характера разработки месторождений. В данной работе предлагается метод для определения геотермического распределения в стволе добывающей скважины. Сложность данной задачи обусловлена тем, что современные способы разработки месторождений предполагают всего лишь кратковременную остановку скважины. Тогда как по отношению к фоновому, (геотермическому) распределению температуры анализируются термодинамические эффекты при работе скважины. В результате этого геотермическое распределение восстанавливают из дополнительных предположений, например, в интервале зумпфа и при условии квазистационарности работы скважины. Целью исследования является предложить еще один способ определения и верификации геотермического распределения при анализе реальных промысловых термограмм. В качестве демонстрационной задачи были определены серия геотермических распределений и рассчитан функционал невязки разницы с промысловой термограммой. Установлено, что при совпадении модельного геотермического распределения с промысловой термограммой в зумпфе скважины функционал невязки имеет овражный вид с характерным локализованным минимумом. Использование такого подхода позволяет повысить точность по определению геотермического распределения и повысить информативность интерпретации термограмм для работающей скважины при геофизических исследованиях. Из результатов приведенного моделирования также можно оценить геотермический градиент, который необходим для дальнейшего анализа термометрических исследований. Полученное геотермическое распределение также используется для получения количественных параметров по результатам математического моделирования. Дополнительно из предлагаемого метода можно оценить диапазон изменения геотермического градиента и составить алгоритм верификации полученного количественного параметра. Практически значимыми результатами данного исследования является получение распределения температуры по глубине в режиме остановленной скважины и величина геотермического градиента. Наличие данных параметров позволит повысить качество получаемых результатов при использовании программ-симуляторов добывающей скважины.

Ключевые слова: скважина, термограмма, геотермическое распределение, геотермический градиент, теплообмен

ANALYSIS OF TEMPERATURE DISTRIBUTION USING PREDICTIVE GEOTHERMAL DISTRIBUTIONS IN THE PRODUCING WELL

© **Zakirov Marat Finatovich**

© **Valiullin Rim Abdullovich**

FGBOU VO "Ufa University of Science and Technology", Ufa, Russian Federation

A complex of geophysical methods is used for the effective development of oil and gas fields. Thermometry is one of the most effective methods of exploration of production wells. The manifestation of thermodynamic effects during the operation of the well leads to a change in the thermal field and therefore allows you to solve many problems of monitoring the technical condition. This, in turn, adds new requirements to geophysical services – obtaining quantitative parameters to assess the nature of field development. In this paper, a method is proposed for determining the geothermal distribution in the trunk of a producing well. The complexity of this task is due to the fact that modern methods of field development involve only a short-term shutdown of the well. Whereas, in relation to the background (geothermal) temperature distribution, thermodynamic effects during well operation are analyzed. As a result, the geothermal distribution is restored from additional assumptions, for example, in the Zumpf interval and under the condition of quasi-stationary well operation. The aim of the study is to propose another way to determine and verify the geothermal distribution when analyzing real field thermograms. As a demonstration task, a series of geothermal distributions were determined and the functional of the discrepancy between the difference and the field thermogram was calculated. It was found that when the model geothermal distribution coincides with the field thermogram in the well sump, the residual functional has a gully appearance with a characteristic localized minimum. Using this approach makes it possible to increase the accuracy of determining the geothermal distribution and increase the informative interpretation of thermograms for an operating well during geophysical studies. From the results of the above modeling, it is also possible to estimate the geothermal gradient, which is necessary for further analysis of thermometric studies. The resulting geothermal distribution is also used to obtain quantitative parameters based on the results of mathematical modeling. Additionally, from the proposed method, it is possible to estimate the range of changes in the geothermal gradient and create an algorithm for verifying the obtained quantitative parameter. Practically significant results of this study are obtaining the temperature distribution over depth in the mode of a stopped well and the magnitude of the geothermal gradient. The availability of these parameters will improve the quality of the results obtained when using production well simulation programs.

Keywords: well, thermogramm, geothermal distribution, geothermal gradient, heat exchange

Введение. При оценке технического состояния добывающей нефтяной и нагнетательной скважины важную роль играет регистрация теплового поля. В результате комплексного воздействия возникающих термодинамических эффектов [1] на фоне естественного теплового поля возникают тепловые аномалии. Анализ природы возникновения термоаномалий [2,3] при скважинных исследованиях позволяет решить задачи об определении работающих интервалов, оценить производительность и состав притока. В промышленной практике для решения данных задач используется интервал глубин где

происходит сравнение невозмущенной температуры (т.н. геотермическое распределение) с аномалиями, возникшими в возмущенной скважине[4-6]. Таким образом корректное определение геотермического распределения и его параметров является первостепенной задачей температурных исследований. Кроме того современная тенденция обработки геофизических исследований требует определения количественных параметров продуктивности скважин (дебит, состав продукции и положение работающего интервала[4,6]). Это в свою очередь повышает ответственность при определении естественного геотермического распределения температуры. Сложность интерпретации термометрических исследований также связана с внедрением новых способов регистрации, например, оптико-волоконным кабелем и выбором непрерывного мониторинга как вида исследований[7-9]. В этом случае могут отсутствовать периоды остановки скважины, в течении которых была возможность зарегистрировать невозмущенное естественное тепловое поле. Другой современной тенденцией при обработке термометрических исследований является использование термосимуляторов для количественного определения параметров работы системы “скважина-пласт” [6,7,10,11,12]. Т.к. само геотермическое распределение является входным и начальным распределением при математическом моделировании теплового поля поэтому и повышается роль качественного прогноза естественного геотермического распределения [11, 13, 16]. Разработанная методика данной работы позволит уточнить первоначальное, невозмущенное тепловыми аномалиями, геотермическое распределение и оценить один из его количественных параметров – геотермический градиент.

Постановка задачи. При анализе промысловых термограмм важное значение имеют способы определения линейной зависимости на графиках. Наличие линейного тренда и возрастающей с глубиной температуры может свидетельствовать о наличии геотермического распределения. Прогноз геотермического распределения позволит эффективно решать задачи по выделению работающих интервалов и диагностике процессов, происходящих в системе “скважина-пласт”. Цель данной работы составить методику по определению участков геотермического распределения на показаниях термометрии.

Для практической реализации построим четыре различных распределений температуры, заданных в виде линейной зависимости, но с отличающимися наклонами (градиенты $\Gamma=0.005; 0.02; 0.03; 0.04\text{K/m}$) соответственно. Для функционального описания используем закономерность для температуры в виде геотермического распределения [2, 13, 16]:

$$T_g(z) = T_{заб} - \Gamma * (z_{заб} - z) \quad (1)$$

где Γ – геотермический градиент; $T_{заб}, z_{заб}$ – температура на забое и глубина забоя; z – вертикальная координата.

За счет проявления различных термодинамических процессов происходит формирование распределения температуры по стволу скважины. Так для описания квазистационарного случая теплообмена [6,12,14, 15] используют:

$$T(z) = T_0 - \Gamma z + B\Gamma(1 - e^{-z/B}) + (T_1 - T_0) \cdot e^{-z/B}. \quad (2)$$

Как видно из уравнения (2) зависимость от геотермического градиента Γ в уравнении (2) имеет линейный характер и связан с комплексным параметр B , (коэффициент затухания температурного сигнала). То есть характер изменения температуры с глубиной (градиент температуры) зависит от дебита, от скорости движения жидкости и условий теплообмена [12, 14]. Т.е. и в интервалах движения жидкости также необходимо корректное определение геотермического распределения.

Для определения температуры флюида в интервале калориметрического смешивания применяется формула [2, 14, 15]:

$$T(z) = T_1 - \gamma(T_g + \Delta T)z - \frac{\gamma z^2}{2} \Gamma / 1 + \gamma z \quad (3)$$

где Γ – геотермический градиент; $\gamma = q_2 c_2 / Q_1 c_1$; $q_2 = Q_2 / \Delta z$ – удельный дебит притока; $c_1 = C_1 \rho_1$, $c_2 = C_2 \rho_2$ – объемная теплоемкость флюида потока из пласта 1 и 2; T_1 – температура флюида, притекающего пласта 1; $(T_g + \Delta T)$ – температура флюида притекающего из пласта 2; Q – дебит, объемный расход жидкости; T_g – невозмущенная температура пород; z – вертикальная координата.

Как видно из формул (1-3) правильное определение геотермического распределения позволит снизить ошибки по оценки температуры как в интервалах притока флюида, так и в интервалах движения флюида. Поэтому ключевой задачей ставится корректное определение параметров геотермического распределения (геотермический градиент; температура на забое и глубина забоя). Рассмотрим ключевые особенности предлагаемой методики, по оценке данных параметров.

Методика решения. В рамках предлагаемого метода для всех четырех модельных термограмм (T_{g1} - T_{g4}) значения забойной температуры и глубина забоя будут фиксированы, отличие будет только в геотермических градиентах Γ . Для краткости изложения обозначим их как “Прогнозные геотермы” в связи с характерным геотермическим распределением (1). Суть метода будет заключаться в том, что создается сеть распределений температуры и анализируется пересечение с реальной термограммой. Задача методики определить интервалы линейного изменения температуры т.н. геотермического распределения. В интервалах, где происходит совпадение прогнозной и реальной термограмм делается вывод о преимущественном линейном распределении на данном участке. Для количественного анализа совпадений введем функцию невязки (отклонения)[4,5]:

$$F(z, \Gamma) = (T - T_g)^2 \quad (4)$$

где T – исходная (промысловая) температура; T_g – “прогнозная геотерма”.

Таким образом в интервалах, где будет происходить совпадение промысловой и одной из прогнозных геотерм функционал невязки будет стремиться к нулю. При расчете функционала отклонения температур могут достигать нескольких градусов поэтому введем максимальный уровень равный 0.003K^2 выше которого происходит отсечение отрицательных результатов совпадения промысловой и модельной термограмм. Такой уровень отсечки также может быть пересмотрен в сторону увеличения, например, из-за присутствия в полезном сигнале реальной термометрии случайных шумов, например, связанных с процессом регистрации сигнала.

Следует отметить, что в процессе вычислений может возникнуть ситуация, когда функционал будет равен нулю в очень узком по ширине интервале глубин, который необязательно будет являться искомым участком. Например, если пересечение модельной с промысловой термограммой произошло, но прогнозная геотерма и реальная термограмма имеют существенно различное качественное поведение (различные наклоны, форма и пр.) то в этом случае это дает отрицательный результат и должен быть исключен из дальнейшего анализа. Поэтому для анализа выбирается широкий диапазон изменения геотермического градиента (в нашем случае от 0.005 до 0.04 К/м). Расчетными примерами выделяется верифицированное и с наилучшим совпадением с промысловой термограммой модельное распределение температуры. Рассмотрим практическую реализацию применения прогнозных геотермических распределений.

Пусть дана реально зарегистрированная термограмма по стволу скважины, например, в режиме притока. Построим сеть модельных геотермических распределений (геотерм) используя формулу (1) и проанализируем возможные пересечения с промысловой термограммой. Для анализа используем как сами распределения температур по глубине, так и значения рассчитанного функционала (4). Для количественного анализа рассчитаем функционал для каждой “прогнозной термограммы” и проанализируем значения на выбранных глубинах (в зумпфе – целевой интервал и выше кровли). Т.к. было использовано четыре значения геотермического градиента термограмм проанализируем разницу термограмм (2) в зависимости от него (рис. 1,2).

Результаты моделирования. Рассмотрим применение данного метода для анализа реальных промысловых данных. В данной скважине проведено компрессорное освоение (рис.1). Были зарегистрированы замеры в остановленной скважине (рис.1 кривая “а”); “b” при компрессировании; остальные замеры на притоке: при прорыве первой пусковой муфты “с,d”, “e” –

сравнение и “Г” – восстановление. Согласно первичной качественной интерпретации, перфорированный интервал “i” работает с середины и до кровли. Согласно методу состава (кривая “r”) происходит незначительное уменьшение удельного сопротивления относительно показаний в зумпфе и можно сделать вывод о преимущественном притоке слабоминерализованной воды. По промысловым показаниям максимальный дебит скважины составляет 25 м³/сут что соответствует слабому темпу восстановления давления на промысловых исследованиях (рис.1). Для демонстрации метода была выбрана термограмма на режиме притока “с”.

Для моделирования используем следующие параметры: четыре варианта изменения геотермического градиента $\Gamma=0.005; 0.02; 0.03; 0.04\text{K/м}$. Для варьирования забойной температуры на глубине 1871м используем значение 80.1С с изменением в левую и правую сторону на 0.1С.

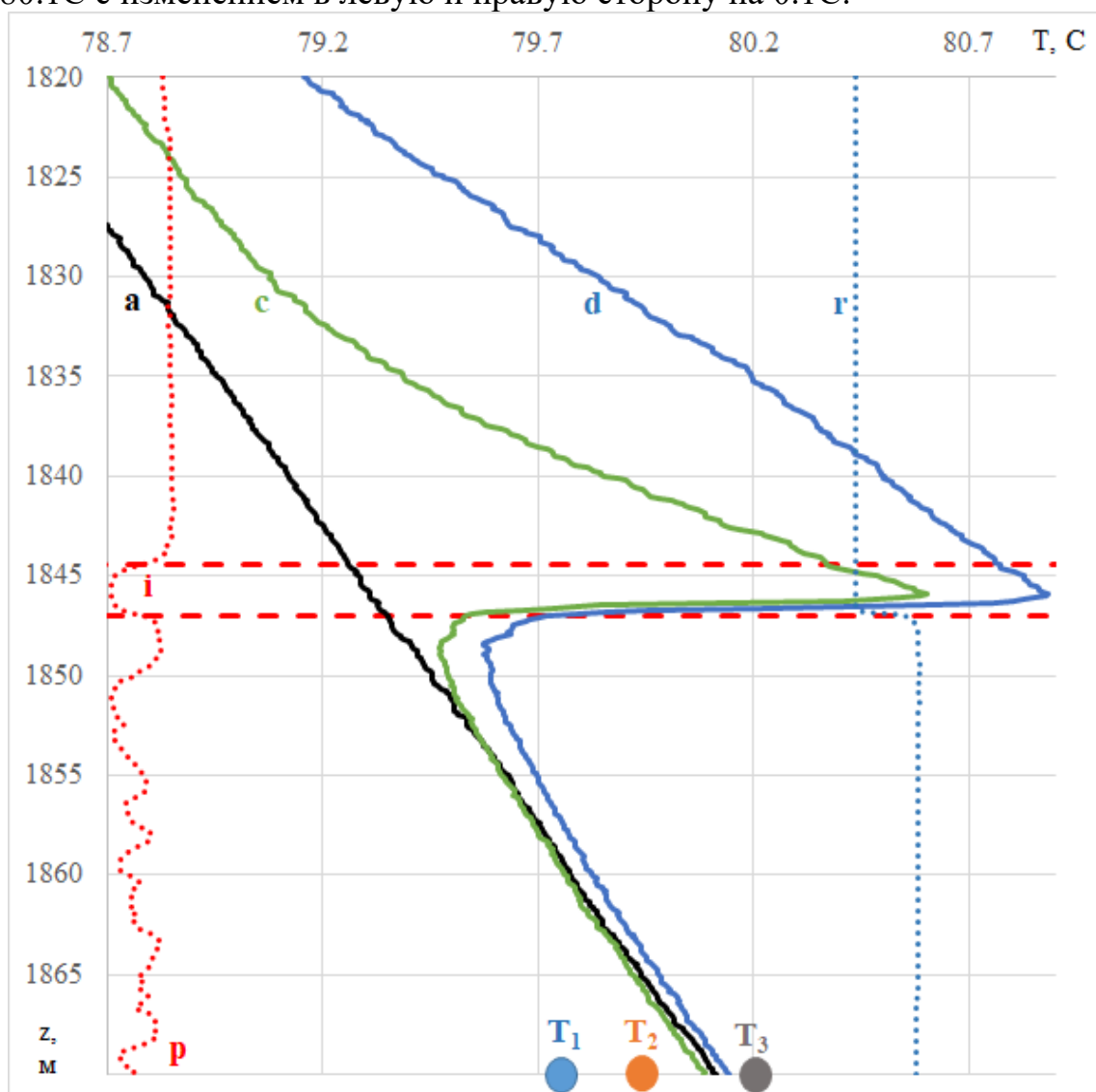


Рисунок 1 – Планшет реальных термограмм выполненных в скважине при освоении и динамика давления (a – остановленная скважина; c,d – на притоке

через 5 и 6ч после начала компрессирования; r – резистивиметрия; p – потенциал собственной поляризации; T_1, T_2, T_3 – прогнозные забойные температуры)

Построим геотермические распределения по формуле (1) с приведенными выше четырьмя значениями градиента. Проанализируем также разницу (4) между модельной и промысловой термограммами.

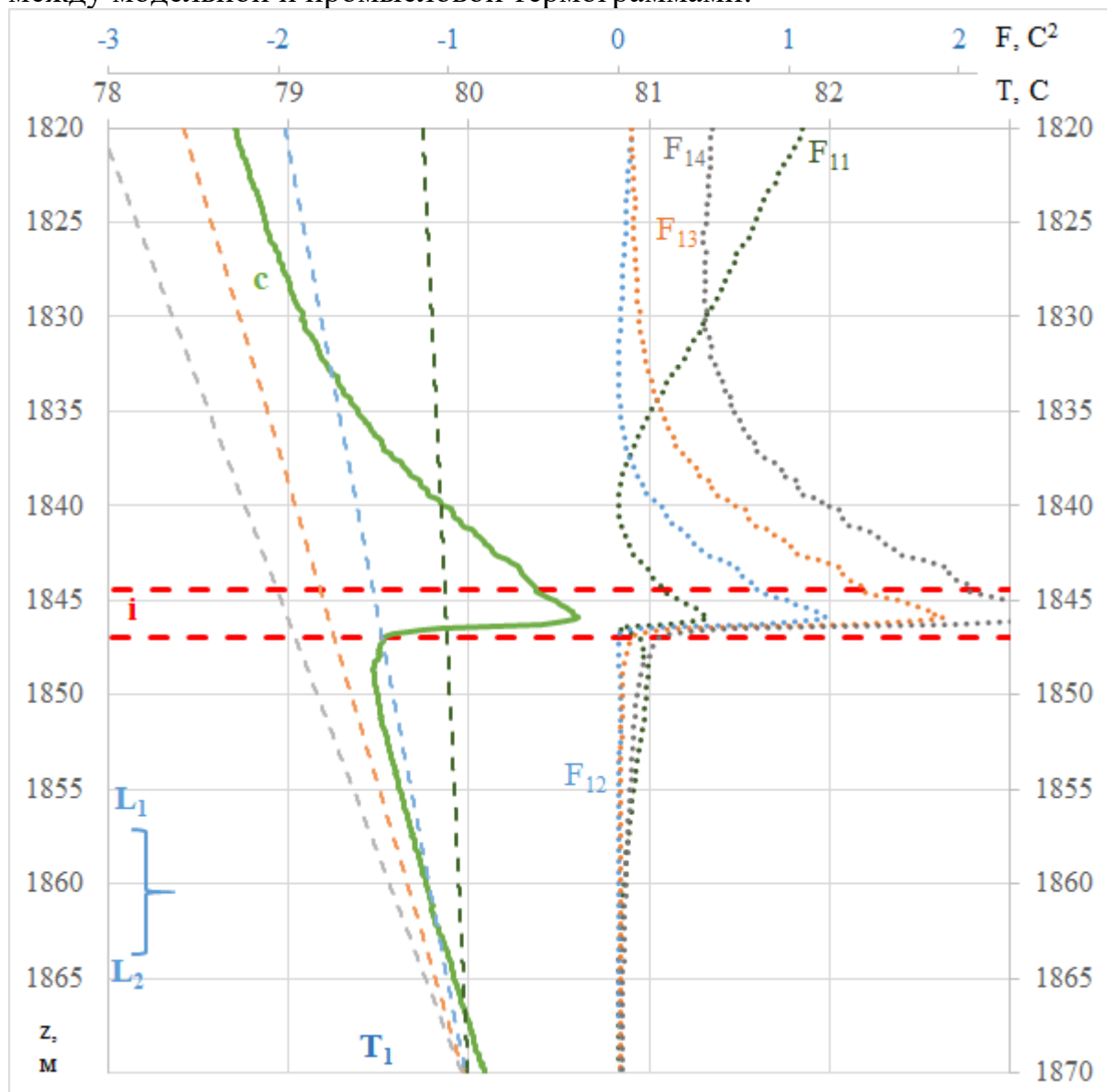


Рисунок 2 – Сравнение модельных термограмм с промысловой (“с” – промысловая термограмма; пунктирные прямые ($\Gamma=0.005; 0.02; 0.03; 0.04\text{K/м}$); $F_{11}-F_{14}$ – разностная между промысловой и модельной; L_1-L_2 – интервал совпадения модельной и промысловой термограммы)

Как видно из рисунка 2. наилучшее совпадение наблюдается в интервале “ L_1-L_2 ”. Из всех функционалов F_{12} в данном интервале будет показывать наименьшее значение. Полученный интервал мал по глубине и имеет совпадение

при градиенте равном $\Gamma=0.005$ К/м, что является слишком малым значением для реально наблюдаемого геотермического распределения в скважинах в интервалах отсутствия движения жидкости. Аналогично можно построить варианты при увеличении модельной забойной температуры, как равной исходной промысловой, так и больше ее (рис.1 маркеры T_2 , T_3).

Рассмотрим следующий вариант моделирования, когда значение забойной температуры было использовано непосредственно из промыслового результата - забойная температура совпадает с промысловой $T_{заб}=80.1$ С.

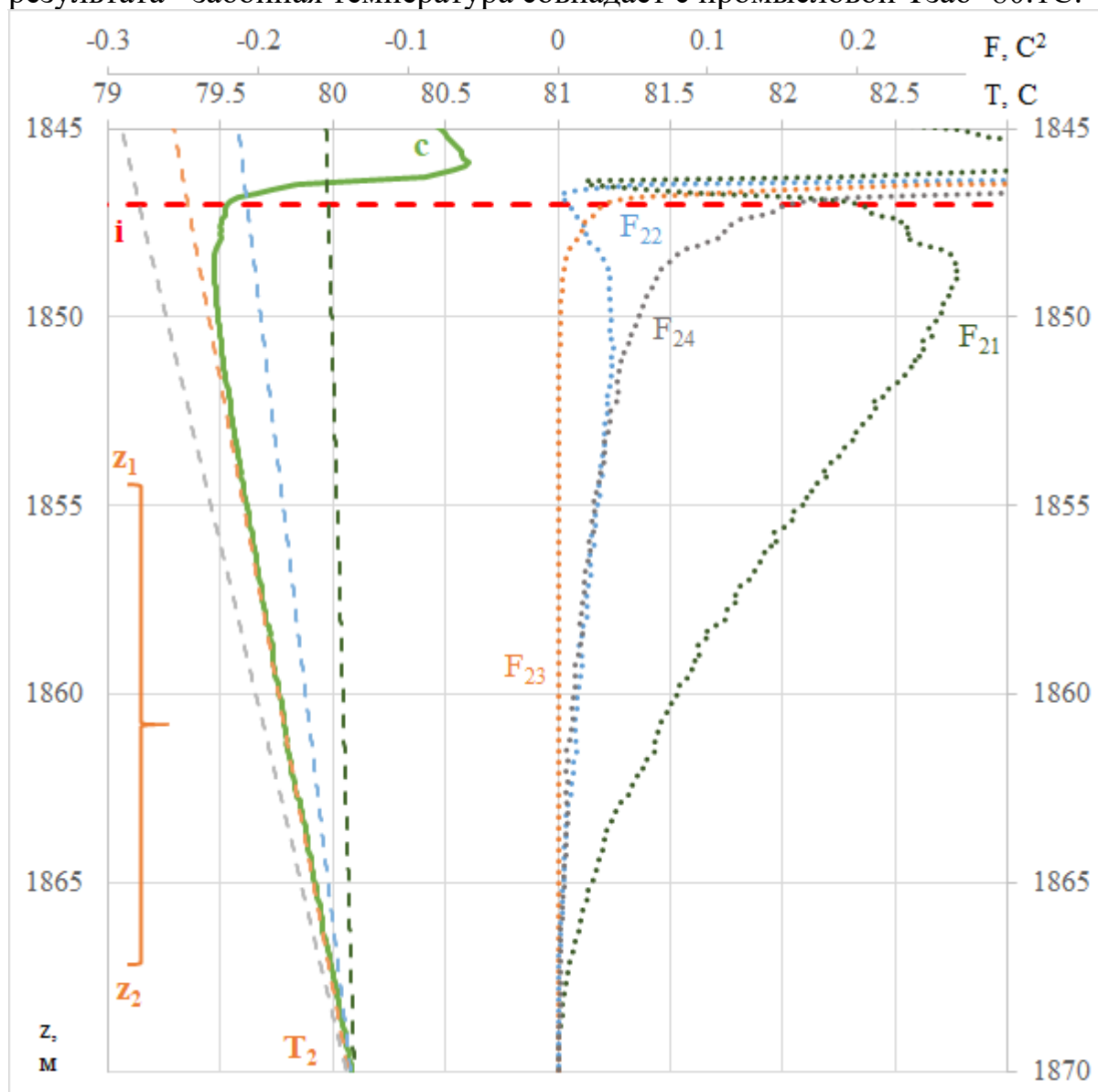


Рисунок 3 – Сравнение модельных термограмм с промысловой (“с” – промысловая термограмма; пунктирные прямые ($\Gamma=0.005$; 0.02 ; 0.03 ; 0.04 К/м); F_{21} - F_{24} – разностная между промысловой и модельной; z_1 - z_2 – интервал совпадения модельной и промысловой термограммы).

В приведенных примерах (рисунки 2, 3) рассматривались фиксированные значения геотермического градиента и забойной температуры. Если проанализировать значения функционала (4) в используемом диапазоне изменений этих параметров тогда можно построить следующие виды функционалов (рис.3). Здесь для обозначения функционалов приняты два индекса F_{ij} (i – номер варианта для забойной температуры; j – номер варианта для геотермического градиента). Т.к. образовалась система для вариации функционала (4) от двух параметров (градиента и забойной температуры) удобнее всего это представить в виде двумерной карты (рис.4).

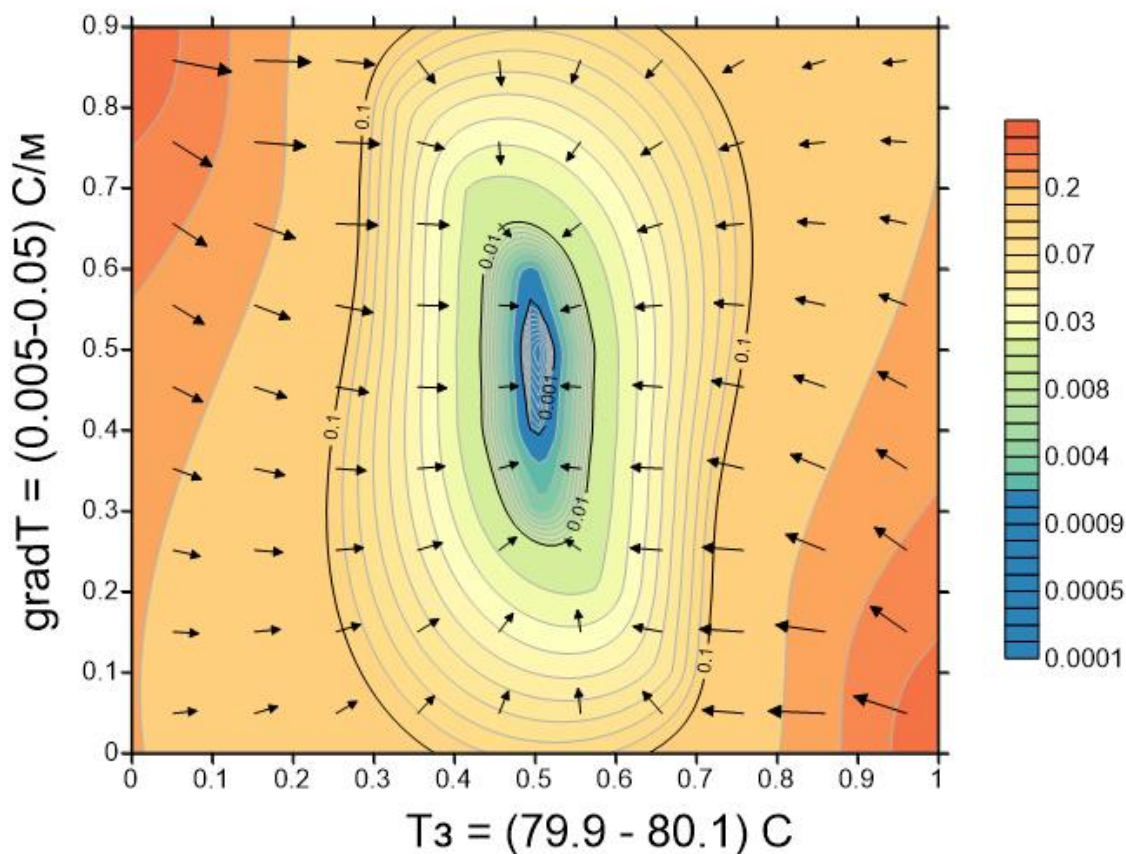


Рисунок 4 – Значение функционала в зависимости от забойной температуры (T_z) и геотермического градиента ($gradT$) на глубине 1855м.

На рис. 4 приведены значения функционала (4) построенных в зависимости от значения геотермического градиента (в диапазоне 0.005-0.05С/м) и забойной температуры (79.9-80.1С) на двух глубинах ниже подошвы перфорации. Как видно из рис.4 наблюдается локальная область минимальных значений функционала, в которой как отмечается наилучшее совпадение модельной и промысловой термограммы. При этом поисковое значение забойной температуры узко локализовано в области значения 80С, а геотермический градиент имеет более широкую область вариаций (рис.4). Для

уточнения и сужения диапазона поиска рассмотрим детально показания функционала (4) по глубине (рис.5). В приведенном результате наилучшее совпадение или минимальный функционал наблюдается для F_{23} в интервале z_1-z_2 . Для общего сравнения из представленных модельных вариантов выделим три лучших из них и сравним (рис. 5).

Как видно из рисунка 5 наименьшее значение функционала в зумпфе представлено на зависимости F_{23} . Интервал совпадения также имеет более протяженную часть (z_1-z_2) больше чем остальные (L_1-L_2 и h_1-h_2). Значение прогнозного градиента по используемому в зависимости F_{23} получается $\Gamma=0.03\text{K/м}$.

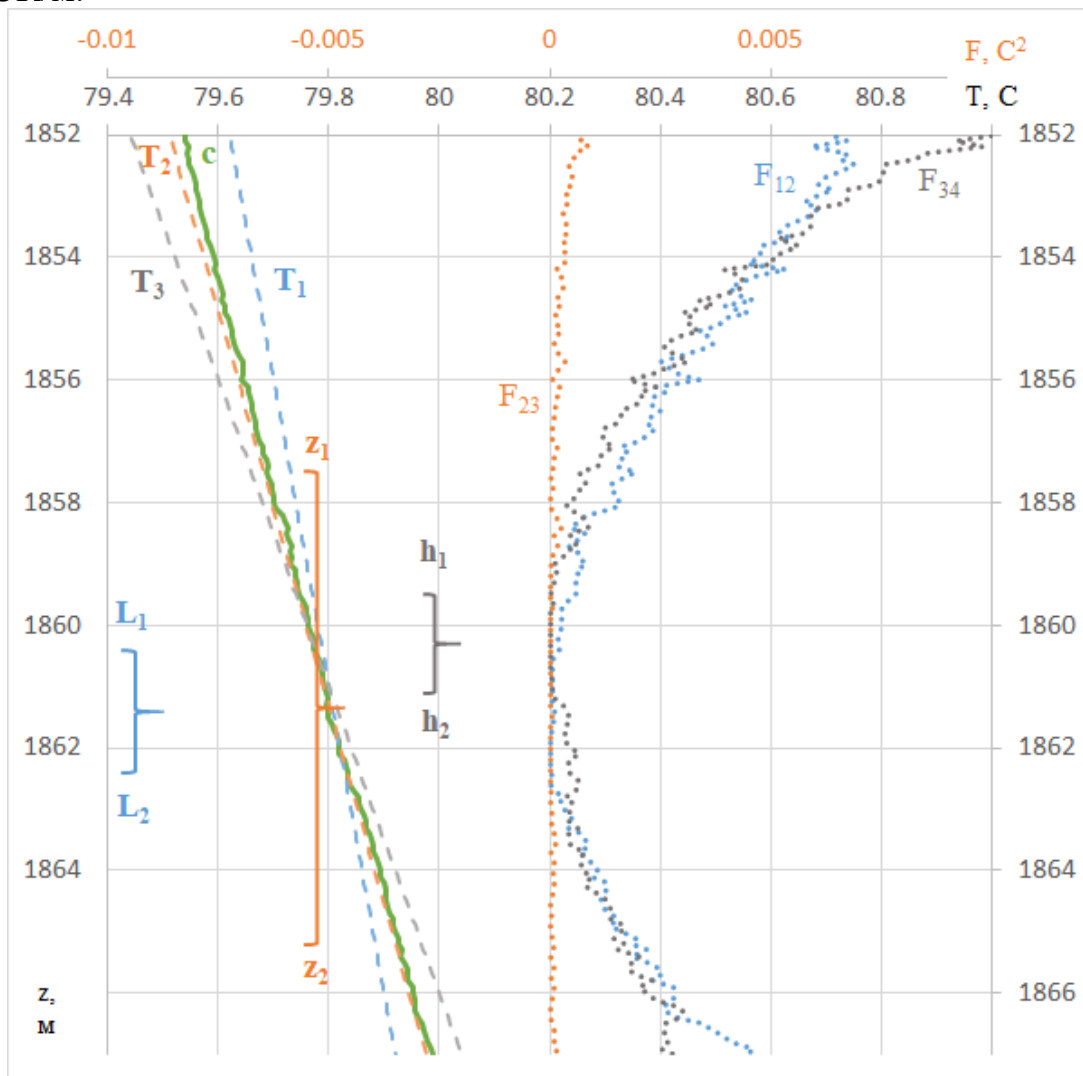


Рисунок 5 – Сравнение модельных термограмм с промышленной (“с” – промышленная термограмма; пунктирные прямые ($\Gamma=0.005; 0.03; 0.04\text{K/м}$); $F_{11}-F_{34}$ – разностная между промышленной и модельной; (L_1-L_2), (h_1-h_2), (z_1-z_2) – интервал совпадения модельной и промышленной термограммы)

Значение геотермического градиента рассчитанное по промышленным кривым “а,с” рис. 1 составляет 0.031К/м. Как мы видим качественное и количественное совпадение результатов моделирования и промышленных данных позволяет утверждать о эффективности метода “прогнозных геотерм”.

Заключение. Таким образом, «прогнозные геотермы» позволяют восстановить геотермическое распределение температуры в зумпфе по результатам промышленных исследований в скважине. Полученные количественные параметры (геотермический градиент, забойная температура) могут служить для решения последующих задач о работающих интервалах и диагностики состояния системы “скважина-пласт”.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда по теме: "Разработка инновационной технологии на основе метода активной термометрии для решения задач экологии пресноводных горизонтов», соглашение № 23-17-20017- от 20 апреля 2023 г.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Валиуллин Р.А., Вахитова Г.Р., Назаров В.Ф., Рамазанов А.Ш., Федотов В.Я., Яруллин Р.К. Термогидродинамические исследования пластов и скважин нефтяных месторождений. Учебное пособие. Уфа: Изд-во БашГУ, 2015. 250 с.
2. Рамазанов А.Ш. Теоретические основы скважинной термометрии: учебное пособие. Уфа: РИЦ БашГУ, 2017. 114с.
3. Буянов А. В., Дементьева М. А., Ипатов А. И. и др. Концепция интерпретационного подхода к нестационарной термометрии добывающих газонефтяных и газовых скважин со сложным заканчиванием // Научный журнал Российского газового общества. 2022. № 2(34). С. 6-13. doi 10.55557/2412-6497-2022-2-6-13.
4. Валиуллин Р. А., Шарафутдинов Р. Ф., Рамазанов А. Ш. [и др.] Количественная интерпретация данных термогидродинамических исследований скважин при многофазных потоках // Нефтяное хозяйство. 2022. № 3. С. 61-65. DOI 10.24887/0028-2448-2022-3-61-65.
5. Валиуллин Р. А., Рамазанов А. Ш., Хабиров Т. Р., Садретдинов А.А., Закиров М.Ф. и др. Опыт использования симуляторов при интерпретации термических и термогидродинамических исследований // PRОнефть. Профессионально о нефти. 2022. Т. 7. № 1. С. 99-109. doi 10.51890/2587-7399-2022-7-1-99-109.
6. Валиуллин Р.А., Рамазанов А.Ш., Закиров М.Ф. Симулятор “Ansim” для расчета распределения температуры в многопластовой скважине по аналитическим моделям. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022614547, 23.03.2022. Заявка № 2022613425 от 10.03.2022.

7. Ипатов А. И., Кременецкий М. И., Андриановский А. В. [и др.]. Цифровые решения в области инструментального контроля разработки месторождений на основе распределенных оптоволоконных измерительных систем // Нефтяное хозяйство. 2022. № 3. С. 54-60. doi 10.24887/0028-2448-2022-3-54-60.
8. Ипатов А. И., Кременецкий М. И., Каешков И. С. и др. Мониторинг выработки коллектора в горизонтальных стволах по результатам нестационарной термометрии распределенными оптоволоконными датчиками // ПРОнефть. Профессионально о нефти. 2021. Т. 6. № 4. С. 81-91. doi 10.51890/2587-7399-2021-6-4-81-91.
9. Способ мониторинга добывающих или нагнетательных горизонтальных или наклонно направленных скважин. Журавлев О.Н., Щелушкин Р.В. Патент на изобретение RU 2622974 С3, 21.06.2017. Заявка № 2015134680 от 19.08.2015.
10. Исламов Д. Ф., Рамазанов А. Ш. Моделирование переходных температурных процессов в пласте при отборе и закачке жидкости // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2017, Т.24, № 3(87). С. 84-91.
11. Закиров М.Ф., Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А. Оценка влияния дебита потока на теплообмен в стволе скважины по квазистационарной термограмме. // Материалы международной конференции TNS293 "Themed Collection of Papers from the International Scientific Conferences by HNRI "National development" (ГНИИ "Нацразвитие" г. С.Петербург), 2020 С.12-14, DOI 10.37539/TNS293.2020.88.61.002
12. Закиров М. Ф., Валиуллин Р. А., Рамазанов А. Ш. Влияние обводнения продуктивного интервала на распределение термограммы по стволу добывающей скважины // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2023, Т.47, №2(110). С. 24-33, DOI 10.24412/1728-5283_2023_2_24_33.
13. Ramazanov A.Sh., Chekhonin E.M., Akchurin R.Z., Vakhitova G.R., Valiullin R.A., Popov Yu.A. Determination of geothermal temperature and temperature gradient via measurements in the production well sump. // Geoenergy Science and Engineering. 2023. V.229, article 212163. DOI 10.1016/j.geoen.2023.212163.
14. Hasan A.R. Fluid flow and heat transfer in wellbores / A.R. Hasan, C.S. Kabir // Society of Petroleum Engineers. Richardson. TX. 2002, 181p.
15. Charles Y.O., Igbokoyi A.O. Temperature prediction model for flowing distribution in wellbores and pipelines // SPE Nigerian Annual International Conference and Exhibition held, Abuja. Nigeria. 2012. SPE-163038.
16. Popov Y., Spasennykh M., Shakirov A., Chekhonin E., Romushkevich R., Savelev E., Gabova A., Zagranovskaya D., Valiullin R., Yuarullin R., Golovanova I., Sal'manova R. Advanced Determination of Heat Flow Density on an Example of a West Russian Oil Field. // Geosciences (Switzerland). 2021. V. 11. N 8. P. 346. DOI: 10.3390/geosciences11080346.

REFERENCES:

1. Valiullin R.A., Vahitova G.R., Nazarov V.F., Ramazanov A.SH., Fedotov V.YA., YArullin R.K. Termogidrodinamicheskie issledovaniya plastov i skvazhin neftyanyh mestorozhdenij. Uchebnoe posobie. Ufa: Izd-vo BashGU, 2015. 250p. (In Russian)
2. Ramazanov A.SH. Teoreticheskie osnovy skvazhinnoj termometrii: uchebnoe posobie. Ufa: RIC BashGU, 2017. 114p. (In Russian)
3. Buyanov A. V., Dement'eva M. A., Ipatov A. I. i dr. Konceptsiya interpretacionnogo podhoda k nestacionarnej termometrii dobyvayushchih gazoneftyanyh i gazovyh skvazhin so slozhnym zakanchivaniem. Nauchnyj zhurnal Rossijskogo gazovogo obshchestva. 2022. № 2(34). pp. 6-13. doi 10.55557/2412-6497-2022-2-6-13. (In Russian)
4. Valiullin R. A., Sharafutdinov R. F., Ramazanov A. SH. [i dr.] Kolichestvennaya interpretaciya dannyh termogidrodinamicheskikh issledovanij skvazhin pri mnogofaznyh potokah. Moscow: Neftyanoje hozyajstvo. 2022. № 3. pp. 61-65. doi 10.24887/0028-2448-2022-3-61-65. (In Russian)
5. Valiullin R. A., Ramazanov A. SH., Habirov T. R., Sadretdinov A.A., Zakirov M.F. i dr. Opyt ispol'zovaniya simulyatorov pri interpretacii termicheskikh i termogidrodinamicheskikh issledovanij. s.Sankt-Peterburg: PROneft. Professional'no o nefti. 2022. vol. 7. № 1. pp. 99-109. doi 10.51890/2587-7399-2022-7-1-99-109. (In Russian)
6. Valiullin R.A., Ramazanov A.SH., Zakirov M.F. Simulyator “Ansim” dlya rascheta raspredeleniya temperatury v mnogoplastovoj skvazhine po analiticheskim modelyam. Svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM 2022614547, 23.03.2022. Zayavka № 2022613425 ot 10.03.2022. (In Russian)
7. Ipatov A. I., Kremeneckij M. I., Andrianovskij A. V. [i dr.]. Cifrovye resheniya v oblasti instrumental'nogo kontrolya razrabotki mestorozhdenij na osnove raspredelennyh optovolokonnyh izmeritel'nyh system. Moscow: Neftyanoje hozyajstvo. 2022. № 3. pp. 54-60. doi 10.24887/0028-2448-2022-3-54-60. (In Russian)
8. Ipatov A. I., Kremeneckij M. I., Kaeshkov I. S. i dr. Monitoring vyrabotki kollektora v gorizontaľnyh stvolah po rezul'tatam nestacionarnej termometrii raspredelennymi optovolokonnyimi datchikami. . s.Sankt-Peterburg: PROneft. Professional'no o nefti. 2021. vol. 6. № 4. pp. 81-91. doi 10.51890/2587-7399-2021-6-4-81-91. (In Russian)
9. Sposob monitoringa dobyvayushchih ili nagnetatel'nyh gorizontaľnyh ili naklonno napravlennyh skvazhin. ZHuravlev O.N., SHCHelushkin R.V. Patent na izobretenie RU 2622974 C3, 21.06.2017. Zayavka № 2015134680 ot 19.08.2015. (In Russian)

10. Islamov D. F., Ramazanov A. SH. Modelirovanie perekhodnyh temperaturnyh processov v plaste pri otbore i zakachke zhidkosti. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. 2017, vol.24, № 3(87). pp. 84-91. (In Russian)
11. Zakirov M.F., Ramazanov A.SH., Valiullin R.A Ocenka vliyaniya debita potoka na teploobmen v stvole skvazhiny po kvazistacionarnej termogramme. Materialy mezhdunarodnoj konferencii TNS293 "Themed Collection of Papers from the International Scientific Conferences by HNRI "National development" s.Sankt-Peterburg: GNI "Nacrazvitie", 2020 pp.12-14, DOI 10.37539/TNS293.2020.88.61.002 (In Russian)
12. Zakirov M.F., Valiullin R.A, Ramazanov A.SH. Vliyanie obvodneniya produktivnogo intervala na raspredelenie termogrammy po stvolu dobyvayushchej skvazhiny. Vestnik Akademii nauk Respubliki Bashkortostan. 2023, vol.47, № 2(110). pp. 24-33. , DOI 10.24412/1728-5283_2023_2_24_33. (In Russian)
13. Ramazanov A.Sh., Chekhonin E.M., Akchurin R.Z., Vakhitova G.R., Valiullin R.A., Popov Yu.A. Determination of geothermal temperature and temperature gradient via measurements in the production well sump. // Geoenergy Science and Engineering. 2023. V.229, article 212163. DOI 10.1016/j.geoen.2023.212163.
14. Hasan A.R. Fluid flow and heat transfer in wellbores / A.R. Hasan, C.S. Kabir // Society of Petroleum Engineers. Richardson. TX. 2002, 181p.
15. Charles Y.O., Igbokoyi A.O. Temperature prediction model for flowing distribution in wellbores and pipelines // SPE Nigerian Annual International Conference and Exhibition held, Abuja. Nigeria. 2012. SPE-163038.
16. Popov Y., Spasennykh M., Shakirov A., Chekhonin E., Romushkevich R., Savelev E., Gabova A., Zagranovskaya D., Valiullin R., Yuarullin R., Golovanova I., Sal'manova R. Advanced Determination of Heat Flow Density on an Example of a West Russian Oil Field. // Geosciences (Switzerland). 2021. V. 11. N 8. P. 346. DOI: 10.3390/geosciences11080346.

Сведения об авторах:

Закиров Марат Финатович, кандидат технических наук, доцент. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», ул. Заки Валиди, 32. 450074, г. Уфа, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0002-1674-2899. Эл. почта: zakirovmf@mail.ru

Валиуллин Рим Абдуллович, доктор технических наук, профессор. ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», ул. Заки Валиди, 32. 450074, г. Уфа, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0002-3705-8260. Эл. почта: valra@geotec.ru

Authors' personal details

Zakirov Marat Finatovich. Ph.D. of Technical Science, associate professor. FGBOU VO "Ufa University of Science and Technology", st. Zaki Validi, 32. 450074, Ufa, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0002-1674-2899. Email: zakirovmf@mail.ru

Valiullin Rim Abdullovich, Doctor of Technical Science, Professor. FGBOU VO "Ufa University of Science and Technology", st. Zaki Validi, 32. 450074, Ufa, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0002-3705-8260. Email: valra@geotec.ru

© Закиров М.Ф., Валиуллин Р.А.

ИСТОРИЯ СТРАТИФИКАЦИИ НЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

© Пинчук Татьяна Николаевна, © Белуженко Евгений Васильевич
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
г. Краснодар, Российская федерация

Аннотация. Основы стратификации неогеновых отложений Северного Кавказа заложены фундаментальными исследованиями Н.И. Андрусова и его последователей в конце XIX- начале XX века. Они выделили в Понто-Каспийской области ряд горизонтов, которые в настоящее время имеют статус региоярусов (горизонтов, выделенных на биостратиграфической основе) для всей области Восточного Паратетиса (Богданович А.К., Буряк В.Н., 1986; Невесская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко Е.В. и др., 2004). В частности, в Понто-Каспийской области был выделен ряд горизонтов: тархан, чокрак, караган, конка, мэотис, киммерий, акчагыл. Немного ранее, в 1866-69 гг. Барбот де Марни выделил здесь сармат и понт. Эти горизонты в настоящее время приняты в ранге региоярусов для всего Восточного Паратетиса. Позже были выделены региоярусы в отложениях майкопской серии (нижний миоцен): сакараульский и коцахурский (Давиташвили, 1933) и, наконец, кавказский (Богданович, Носовский, 1975-80). Региональная шкала неогеновых отложений Восточного Паратетиса в современном состоянии была утверждена Неогеновой Комиссией МСК в 1983 году. Горизонты были выделены по наличию в отложениях определенной фауны моллюсков, а некоторые из них имели названия по руководящей фауне («спаниодонтовые слои» – караган; спириалисовые слои – чокрак). Таким образом, в основу расчленения неогена, в отличие от подстилающих майкопских и палеогеновых отложений, первоначально был положен биостратиграфический, а не литостратиграфический принцип.

Ключевые слова: Северный Кавказ, Восточный Паратетис, неоген, миоцен, свиты, горизонты, региоярусы.

THE HISTORY OF THE STRATIFICATION OF THE NEOGENE DEPOSITS OF THE NORTH CAUCASUS

© Pinchuk Tatyana Nikolaevna, © Beluzhenko Evgeny Vasilyevich
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kuban State
University", Krasnodar, Russian Federation

Summary. The foundations of the stratification of the Neogene deposits of the North Caucasus were laid by the fundamental research of N.I. Andrusov and his

followers in the late XIX- early XX century. They identified a number of horizons in the Ponto-Caspian region, which currently have the status of regional stages (horizons allocated on a biostratigraphic basis) for the entire area of the Eastern Paratethys (Bogdanovich A.K., Buryak V.N., 1986; Neveeskaya L.A., Kovalenko E.I., Beluzhenko E.V. et al., 2004). In particular, a number of horizons were identified in the Ponto-Caspian region: Tarchanian, Chokrakian, Karaganian, Konkian, Meotian, Kimmerian, Akchagylian. A little earlier, in 1866-69, Barbot de Marny singled out Sarmatian and Pontus here. These horizons are currently accepted in the rank of regionaries for the entire Eastern Paratethys. Later, the regionaries were identified in the sediments of the Maikopian series (Lower Miocene): Sakaraulian and Kozakhurian (Davitashvili, 1933) and, finally, the Caucasian (Bogdanovich, Nosovsky, 1975-80). Regional scale of Neogene deposits of the Eastern Paratethys in its current state, it was approved by the Neogene Commission of the MSC in 1983. The horizons were distinguished by the presence of a certain mollusk fauna in the sediments, and some of them had names for the guiding fauna ("spaniodontel layers" – Karaganian; spirialis layers – Chokrakian). Thus, the basis for the dismemberment of the Neogene, unlike the underlying Maikopian and Paleogene deposits, was originally based on a biostratigraphic, rather than a lithostratigraphic principle.

Keywords: North Caucasus, Eastern Parathesis, Neogene, Miocene, formations, horizons, regionaries.

Введение. У картирования ярусами (региоярусами) был и остается один существенный недостаток – они не отражали литологию и генезис отложений. Глубоководные глины и разновозрастные им прибрежные пески и ракушечники на всех картах показывались как единое подразделение. Попытки разделения отложений также строились на фауне. Например, в среднем сармате на площади Центрального Предкавказья выделялись слои: *с типичной среднесарматской фауной* и *криптомактровые*. Впоследствии здесь были выделены свиты, имеющие четкие литологические признаки (Резников, Семенов, 1994 г.; Рудянов, 1999-2001 г.), которые определяли приуроченность к ним определенных полезных ископаемых (титан-циркониевых россыпей Бешпагирского района).

В то же время, на многочисленных литологических и фациальных схемах, составленных различными авторами (от Н.И. Андрусова до наших дней) для отдельных возрастных срезов неогена, показано многообразие фациальных обстановок и различная литология пород. Однако, на стратиграфических схемах и геологических картах эти литологические и фациальные особенности практически не находили своего графического отражения. Литологически и фациально «обезличенные» разновозрастные подразделения (ярусы и региоярусы) протягивались на геологических картах от Черного до Каспийского моря, не отображая особенностей внутреннего строения и генезиса отложений. Отсутствие местных подразделений в неогене не позволяло показывать на картах

важнейшие лито-фациальные границы, приуроченность к ним полезных ископаемых и особенности отложений.

Результаты исследований. При описании отложений авторы геологических карт пытались найти выход из положения путем выделения в тексте “Объяснительных записки” разнофациальных отложений одного и того же региона. Например, при описании мезотических отложений листа L-37-XXXIV (Апшеронск) в тексте выделялись и описывались глубоководные (глинистые), мелководные (песчано-известковистые) и континентальные (песчано-глинистые) отложения, распространенные в разных районах планшета (Хаин, 1964). Однако, совершенно очевидно, что удобнее и нагляднее показать данные фации на геологической карте в виде самостоятельных местных подразделений – свит и толщ, а не как единый по цвету и индексу регионарус! Именно так они и показаны на Госгеолкарте 200 второго издания (Корсаков и др., 2001).

В то же время, для отдельных регионов и стратиграфических интервалов неогена свиты, литологические толщи и слои все-таки выделялись. Анализируя причины, по которым в неогеновых отложениях выделялись свиты, можно сгруппировать эти отложения таким образом:

1. **Континентальные отложения** неогена Северного Кавказа и Предкавказья (свита Рухс-Дзуар, лысогорская, назрановская свиты Центрально Кавказа, «песчано-охристая» толща р. Белой, армавирская свита р. Кубани, надпонтическая толща (после 1961 г. - азово-кубанская свита) Азово-Кубанской равнины и др.

В этой группе отложений местные подразделения выделялись наиболее часто и охотно и явно преобладали в стратификации. Причина очевидна, морские и полуморские отложения неогена Восточного Паратетиса почти повсеместно хорошо охарактеризованы фауной моллюсков и фораминифер. Это и позволяет достаточно легко выделять в них регионарусы, каждый из которых характеризуется определенной фауной. Континентальные и переходные от моря к суше отложения неогена практически не содержат характерной фауны неогеновых ярусов. В этом случае для расчленения этих отложений использовались литологические отличия и выделялись свиты. Возрастная привязка этих подразделений была достаточно условной, но литологические особенности отложений своеобразны, что и позволяло их картировать и прослеживались достаточно уверенно. Хотя внешняя схожесть явно разновозрастных континентальных отложений, образовавшихся в сходных условиях, иногда приводила к путанице, как, например, это произошло с армавирской свитой, выделенной первоначально В.П. Колесниковым (1933) в районе г. Армавира. Имелось также пять разновозрастных горизонтов красноцветных «скифских» глин (Лебедевой, 1973).

Рассмотрим историю *стратификации континентальных отложений неогена* Западного и Центрального Кавказа и Предкавказья несколько подробнее. Условно в ней можно выделить три этапа.

На первоначальном этапе изучения (начало-середина прошлого века) неогеновые отложения континентального генезиса делились на толщи (свиты): «песчано-охристая» толща р. Белой, *армавирская свита* р. Кубани, *надпонтическая толща* (после 1961 г. – *азово-кубанская свита*) Азово-Кубанской равнины (Богданович А.К., Буряк В.Н., 1986; Буряк, 1965). Возрастная привязка этих подразделений была, иногда, достаточно условной, но литологические особенности отложений своеобразны, что и позволяло прослеживались и картировать их.

Во время второго этапа изучения данных отложений (середина-конец прошлого века) общая тенденция сводилась к тому, чтобы подразделять неоген не на местные, а на региональные подразделения – ярусы (региоярусы) Восточного Паратетиса (Буряк, 1965). В то же время, при расчленении и описании континентальных отложений, выделялись стратоны с самыми разнообразными названиями, как литолого-стратиграфическими, так и географическими (например: «*верхнеплиоценовые континентальные отложения*», «*пестроцветная континентальная*» толща, «*краснодарский горизонт*», «*скифские глины*» и др.). При этом стратиграфический смысл этих терминов иногда был расплывчатым и понимался не всегда однозначно, поскольку вольность терминов не предопределяла наличие стратотипа и четкие границы распространения (в отличие от местных и вспомогательных стратонов свит и толщ). Неопределенность терминов, отсутствие стратотипических разрезов подразделений не способствовали однозначности их понимания. Например, различные авторы по-своему понимали, что такое «*скифские глины*».

Отношение к выделению местных подразделений в неогене было, в целом, негативным, а иногда они вообще воспринимались как временное явление, от которого в будущем появится возможность отказаться. Причем все это происходило при наличии Стратиграфического кодекса, который всегда однозначно определял понятие свиты и ее роль. Создается ощущение, что иногда на Кодекс просто не обращали внимание! Попытки же описания континентальных отложений путем объединения их в ярусы выглядели не очень убедительно, тем более что обоснование их возраста были явно недостаточны (Буряк, 1965).

Во время третьего этапа (конец прошлого - начало нынешнего века) свитное членение для всего неогена, а не только континентального, стало применяться в отдельных регионах Северного Кавказа. Первым примером стало стратиграфическое расчленение неогена Центрального Ставрополя (Резников В.И., Семенов В.М., 1994). Впоследствии оно было доработано для всего Центрального Предкавказья И.Ф. Рудяновым и др. (1995); Рудяновым И.Ф.,

Печенюком В.Ф. и др. (2000) и вошло в стратиграфическую схему неогена юга России, утвержденную в 2002 г. (Невесская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко Е.В. и др., 2004, 2005).

2. Вторую группу образуют *отложения морского генезиса, но обладающие яркими литологическими особенностями*, обуславливающими их маркирующее положение («червячковая» свита Тамани Н.И. Андрусова, «каротажная» свита Западного Кавказа Н.Б. Вассоевича; дубовский, мутнянский, мамынский и др. пласты-маркеры сармата Центрального Предкавказья С.Т. Короткова и др.). Все эти свиты и пласты-маркеры (которые можно рассматривать, как маркирующие горизонты или подсвиты) были выделены опять-таки в начале-середине прошлого века.

3. Третья группа отложений характеризуется *наличием полезных ископаемых*, опять-таки связанным с литологическими особенностями отложений. В качестве примера можно привести свитное членение Н.Б. Вассоевича и В.А. Гроссгейма (1959) для среднемиоценовых отложений Восточного Кавказа. В отложениях чокрака и карагана ими были выделены махачкалинская, серноводская, сунженская и манасская свиты, которые характеризуются наличием большого количества прослоев и пачек песчаников (промысловые горизонты - коллекторы нефти) среди глин. Эти пачки были объединены авторами в подсвиты и свиты. Другой пример связан с выделением в плиоценовых отложениях Тамани и прилегающих районов так называемых «рудных» и «надрудных» слоев (Стратиграфия СССР. Неогеновая система ..., 1986). Рудные слои относятся к нижней-средней части киммерия, к ним приурочены железные руды Керчи и Тамани. В настоящее время они относятся к железнороговской свите (Невесская и др., 2004, 2005). К надрудным слоям относились вышележащие отложения, в том числе и «надрудные пески» (в настоящее время – это сенновская свита).

Таким образом, в стратификации неогена преобладал сугубо практический, но «двойной стандарт»: там, где можно было выделить биостратиграфические ярусы, они и выделялись, там, где это было затруднено, выделялись литологические свиты.

При этом, все эти случаи выделения местных стратонов в неогене происходили преимущественно в первоначальный период изучения отложений, когда данных о возрасте отложений было еще очень мало. Но даже эти малочисленные свиты не всегда показывались на геологических картах 200 000 масштаба, изданных в это время. Их описания приводились лишь в тексте объяснительных записок или в стратиграфических колонках. В большинстве же случаев на геологических картах картировались и описывались региональные подразделения неогена: ярусы или слои преимущественно с палеонтологическими названиями (например – криптомактровые слои среднего сармата Центрального Предкавказья).

В последующем, по мере изучения неогеновых отложений, свитная стратификация получала все меньшее распространение. Это связано с тем, что морские и полуморские отложения неогена Восточного Паратетиса почти повсеместно хорошо охарактеризованы фауной моллюсков. Это и позволяло достаточно легко выделять в литологически однообразных (преимущественно песчано-глинистых) толщах ярусы (впоследствии - региоярусы), каждый из которых характеризуется определенной, легко узнаваемой и достаточно распространенной фауной. К тому же, часто, границы между ярусами обозначены стратиграфическими несогласиями или хорошо выражены литологически. Эти факторы, на первый взгляд, устраняли необходимость выделения полноценных свит.

Таким образом, ярусы неогена выполняли роль своеобразных биостратиграфических региональных «свит», которые хорошо отражали возраст отложений, но не учитывали их литологию, а, следовательно, и генезис. Что и привело в итоге к отсутствию полноценных свит в надмайкопском неогене. Такой подход при крупно- и среднемасштабном геологическом картировании не отображал фациальных изменений по латерали.

Понимая несовершенство чисто биостратиграфического подхода в вопросе стратификации неогена, авторы Госгеолкарт-200 Западного Кавказа первого издания послевоенных лет, пытались найти выход из положения путем выделения в текстах «Объяснительных записок» разнофациальных отложений неогеновых ярусов. При этом выделялись глубоководные (глинистые), мелководные (песчано-известковистые) и континентальные (гравийно-песчано-глинистые) отложения как, например, это сделано для мэотических отложений междуручья Псекупс-Белая (лист L-37-XXXIV, Хаин, 1964). Однако, совершенно очевидно, что удобнее и нагляднее показать данные фации на геологической карте в виде самостоятельных местных подразделений – свит и толщ.

При этом безликие неогеновые региоярусы, часто с совершенно условными границами (попробуйте найти границу нижнего, среднего и верхнего сармата, допустим, на р. Пшехе), тянулись от моря до моря, совершенно не отражая никакие фациальные и литологические границы, а, следовательно, и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. о., карты 1-го издания в своей неогеновой части были формальными, однобокими, непрактичными, подстроенными под биостратиграфов, а не под поиски полезных ископаемых. Кстати, при создании нового варианта стратиграфической схемы в конце прошлого века поступали предложения (Застрожнов А.С., Попов С.В и др.) выделять местные стратоны только в континентальных отложениях, а морские картировать региоярусами. Но, как было сказано выше, такой путь явно неприемлем, т.к. нарушается единый принцип стратификации отложений.

Обсуждение результатов. В составлении схемы неогена Юга России в том числе и Северного Кавказа и Предкавказья в конце прошлого века принимали участие представители многих научных и производственных организаций. К началу составления первых вариантов этой схемы ее составители подошли с различными представлениями и грузом накопленных противоречий. Поэтому при составлении этой стратиграфической схемы вопрос о необходимости выделения местных подразделений стал предметом наиболее острых противоречий и жарких дискуссий.

Большую роль в налаживании сотрудничества геологов научных и производственных организаций сыграл семинар, который был проведен по инициативе московских и волгоградских геологов (С.В. Попова, А.С. Застрожнова и др.) летом 1998 г. на Таманском полуострове в пос. Волна. Там присутствовали многие геологи как центральных (Геологический и Палеонтологический институты РАН, ВСЕГЕИ и др.), так и Северо-Кавказских и Южнороссийских производственных геологических организаций (ФГУП «Кавказгеолсъемка», Волгоградская ГРЭ и др.). Многие геологи, активно занимающиеся изучением стратиграфии неогена юга России, там впервые познакомились друг с другом и наладили тесное сотрудничество. На этом семинаре впервые был продемонстрирован и обсужден первый вариант новой стратиграфической схемы неогеновых отложений, предложенный С.В. Поповым (палеонтологический институт РАН), А.С. Застрожновым (Волгоградская ГРЭ) и др. Поскольку схема составлялась в традиционной манере, на ней практически отсутствовали местные стратиграфические подразделения: свиты и толщи, даже те из них, которые были выделены давно. Что и вызвало решительные возражения со стороны северо-кавказских геологов. Схема неоднократно обсуждалась и дорабатывалась в течение 1998-2002 г.г. (рис.1, 2).

По первоначальному мнению представителей некоторых научных организаций (С.В. Попов и др. – Палеонтологический институт РАН и др.), а также части производственных организаций («Южгеология», г. Ростов-на-Дону) выделение свит в неогене не всегда обосновано, в ряде случаев преждевременно, а неоген вполне можно картировать региональными подразделениями – региоярусами (горизонтами). Не отрицая свитного членения в целом, тем не менее, они считали, что для неогеновых отложений более привычно традиционное ярусное (региоярусное) деление. В качестве альтернативы нашими оппонентами предлагалось производить картирование морских отложений неогена привычными региоярусами или их частями, а континентальных – свитами и толщами (легенды к Госгеолкартам – 200 Донецкой и Волжской серий, 1998-99 гг.; Решение Таманского семинара, 1998 г. и др.)

СТРАТОТИПИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ СВИТ:

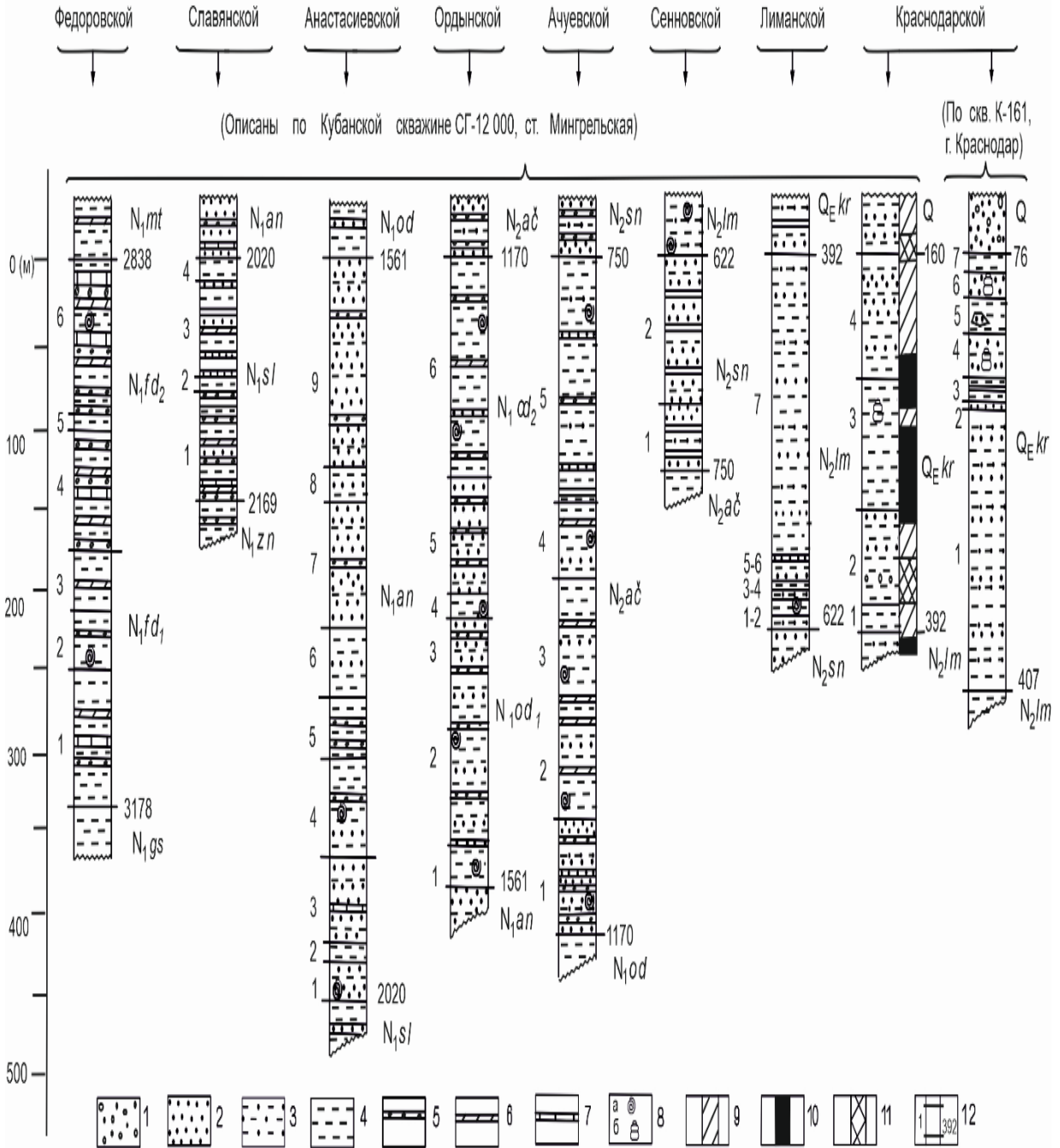


Рисунок 1 – Стратотипические разрезы неогена свит Западно-Кубанского краевого прогиба (по Белуженко, Пинчук, 2006)

СИСТЕМА	ОТДЕЛ	РЕГИОНАРУС	РЕГИО-ПОДЪЯРУС	ПРОДУКТИВНЫЙ ГОРИЗОНТ	ПУБЛИКА (М)	ИНДЕКС СВИТ	СВИТА, ПОДСВИТА	МОЩНОСТЬ (М)	
КВАРТЕР	неоген-плейстоцен				160			160	
	Соплейстоцен	Ашшерон			392	$Q_E kr$	КРАСНОДАРСКАЯ	232	
НЕОГЕНОВАЯ	Плиоцен	Акчагыл			622	$N_2 lm$	ЛИМАНСКАЯ	230	
		Киммерий			750	$N_2 sn$	СЕННОВСКАЯ	128	
							$N_2 a\check{c}$	АЧУЕВСКАЯ	420
	Миоцен	Понт	верх-ний	I	1170	$N_1 od_2$	ВЕРХНЕОРДЫНСКАЯ П. СВ.	135	
			нижний	II III	1305	$N_1 od_1$	НИЖНЕОРДЫНСКАЯ П. СВ.	256	
		Мэотис		IV V VI VII	2020	$N_1 an$	АНАСТАСИЕВСКАЯ	459	
			Сармат	вер-хний	VIIIa IX	2169	$N_1 sl$	СЛАВЯНСКАЯ	149
				средний	XI	2442	$N_1 z n_2$	ВЕРХНЕЗЕЛЕНСКАЯ П. СВ.	273
		Сармат	ниж-ний	XII XIII	2606	$N_1 z n_1$	НИЖНЕЗЕЛЕНСКАЯ П. СВ.	164	
			Каратан	XIV XV XVI	2838	$N_1 mt$	МАТРОССКАЯ	232	
		Чокрак		XVII XVII	3018	$N_1 fd_2$	ВЕРХНЕФЕДОРОВСКАЯ П. СВ.	180	
			Тар-хан		3178	$N_1 fd_1$	НИЖНЕФЕДОРОВСКАЯ П. СВ.	160	
		Коджаур			3465	$N_1 gs$	""ГЛИНИСТО - СИДЕРИТОВАЯ""	287	

Рисунок 2 – Стратиграфическая колонка неогеновых отложений по разрезу скважины по Кубанской скважине СГ-12 000 (по Белуженко, Пинчук, 2006)

Другая часть составителей схемы (прежде всего, представители производственной организации «Кавказгеолсъёмка») считали выделение местных подразделений (свит) в неогене необходимой и актуальной задачей, как того и требовала инструкция к Геологическому доизучению площадей масштаба 1:200 000 (ГДП-200) и Стратиграфический кодекс России (второе издание, 1996 г.). (Е.И. Коваленко, Е.В. Белуженко, 2001; Белуженко, 2005). Поэтому совместная работа большого коллектива специалистов, под руководством Л.А. Невесской (Палеонтологический институт РАН) и Е.И. Коваленко (председатель неогеновой секции Северо-Кавказского РМСК), сопровождалась спорами и дискуссиями, подчас весьма острыми. Реальная практическая работа по выделению свит осложнялась тем обстоятельством, что понимание смысла термина «свита» далеко не однозначно. Формулировка, приведенная в

Стратиграфическом кодексе (2006, 2019) трактуется по-разному различными исследователями, что, очевидно, неизбежно в таком сложном и творческом процессе, как выделение местных стратонов. Например, каков должен быть объем свиты? Однако, несмотря на возникшие противоречия, сотрудничество производственных и научных организаций привело к созданию качественной стратиграфической схемы неогена Северного Кавказа, удовлетворявшей требованиям Стратиграфического кодекса, практическим потребностям геологов-съемщиков и, главное – требованиям здравого смысла (Невеская и др., 2004, 2005).

Заключение. Совместная многолетняя работа большого коллектива специалистов в конечном итоге увенчалась в 2002 г. созданием стратиграфической схемы неогеновых отложений Юга России, которая была утверждена в качестве унифицированной бюро МСК России, а затем и опубликована (Невеская и др., 2004, 2005). В ее правой части: «Корреляция местных стратиграфических подразделений», в соответствии с требованиями Стратиграфического кодекса России (второе издание, 1996 г.) для всего северного Кавказа были приведены местные и вспомогательные стратоны – свиты или толщи, привязанные к регионарусам.

В настоящее время нефтегазовыми организациями уже принято местное свитное расчленение неогеновых отложений Северного Кавказа, при оформлении геологических отчетов, что указывает на жизнеспособность новой стратификации неогеновых отложений юга России.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-17-00047.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрусов Н.И. Избранные труды. Т. I, II. Изд. АН СССР, М., 1963. 644 с.
2. Ахметьев М.А., Беньямовский В.Н. Стратиграфическая схема морского палеогена Юга Европейской России // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 2003. Т. 78. Вып. 5. С. 40-51.
3. Белуженко Е.В., Коваленко Е.И., Попов С.В. Схема корреляции местных стратиграфических разрезов неогена Северного Кавказа и Предкавказья // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа. Материалы IV Международной научной конференции, 4 – 6 февраля 2004. Т. 1. Актуальные проблемы геологического изучения южного региона. Юж.- Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск, ООО НПО «ТЕМП», 2004. С.135-138.
4. Белуженко Е.В., Пинчук Т.Н. Стратиграфия среднемиоценовых-эоплейстоценовых отложений Западно-Кубанского краевого прогиба // Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении Юга России и Кавказа /

- Материалы V Междунар. научн. конф., 28 апреля 2006 г. Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ООО НПО «Темп». 2006. Т. 1. С. 59-78.
5. Богданович А.К. Стратиграфическое и фациальное распределение фораминифер в миоцене Западного Предкавказья и вопросы их генезиса. // Фауна, стратиграфия и литология мезозойских и кайнозойских отложений Краснодарского края. Тр. КФ ВНИИ, вып. 16. Л. Недра, 1965. С. 300 – 351.
 6. Буряк В.Н. О стратиграфическом подразделении неогеновых отложений Западного Предкавказья. (Тр. Краснодар.фил ВНИГНИ, вып. 16). Л. Недра, 1965. С. 351-382
 7. Корсаков С.Г., Семенуха И.Н., Белуженко Е.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Изд. 2-е. Серия Кавказская. Лист L-37- XXXV (Майкоп). Объяснительная записка. 2004
 8. Лебедева Н.А. Стратиграфия континентальных неогеново-четвертичных отложений высокого правобережья р. Кубани от Армавира до Краснодара // Тр. геол. ин-та АН СССР, вып. 32, 1959. С. 170-185.
 9. Невеская Л. А., Гончаров И. А., Ильина Л. Б. и др. Региональная стратиграфическая шкала неогена Восточного Паратетиса. Сов. геология, № 9, 1984.
 10. Невеская Л.А., Коваленко Е.И., Белуженко Е.В. и др. Объяснительная записка к региональной стратиграфической схеме неогеновых отложений Южных регионов Европейской части России. М. ПИН РАН, 2004, 83 с.
 11. Попов С.В., Застрожнов А.С. Опорные разрезы неогена Восточного Паратетиса (Таманский полуостров). Путеводитель экскурсии. Волгоград- Тамань. 1998. 27 с.
 12. Рудянов И.Ф., Печенюк В.Ф. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Серия Кавказская. Лист L-38- XXXVI. (Черкесск), 2002. (СК ТГФ).
 13. Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб. Изд-во ВСЕГЕИ. 2006. 96 с.
 14. Стратиграфический кодекс России. Издание третье. Исправленное и дополненное. СПб. Изд-во ВСЕГЕИ. 2019. 96 с.

REFERENCES

1. Andrusov N.I. Selected works. Vol. I, II. Ed. of the USSR Academy of Sciences, M., 1963. 644 p.
2. Akhmetiev M.A., Benyamovsky V.N. Stratigraphic scheme of the marine Paleogene of Southern European Russia // Byull. MOIP. Ed. geol. 2003. Vol. 78. Issue 5. pp. 40-51.

3. Beluzhenko E.V., Kovalenko E.I., Popov S.V. Correlation scheme of local stratigraphic sections of the Neogene of the North Caucasus and the Pre-Caucasus // Problems of geology, minerals and ecology of the South of Russia and the Caucasus. Proceedings of the IV International Scientific Conference, February 4-6, 2004. Vol. 1. Actual problems of geological study of the southern region. South-Russian State Technical University UN-t (NPI). Novocherkassk, NPO TEMP LLC, 2004. pp.135-138.
4. Beluzhenko E.V., Pinchuk T.N. Stratigraphy of the Middle Miocene-Eopleistocene deposits of the West Kuban regional trough // Problems of geology, geoecology and minerageny of the South of Russia and the Caucasus / Materials of the V International Scientific Conference, April 28, 2006 South-Russian State Technical University UN-t (NPI). – Novocherkassk: NPO Temp LLC. 2006. Vol. 1. pp. 59-78.
5. Bogdanovich A.K. Stratigraphic and facies distribution of foraminifera in the Miocene of the Western Caucasus and questions of their genesis. // Fauna, stratigraphy and lithology of Mesozoic and Cenozoic deposits of the Krasnodar Territory. Tr. CF VNII, issue, 16. L. Nedra, 1965. pp. 300-351.
7. Buryak V.N. On the stratigraphic subdivision of the Neogene deposits of the Western Caucasus. //(Tr.Krasnodar.phil VNIGNI,issue 16). L.Nedra, 1965. pp. 351-382
8. Korsakov S.G., Semenukha I.N., Beluzhenko E.V. and others. State Geological Map of the Russian Federation scale 1:200 000. Ed. 2nd. The Caucasian series. Sheet L-37- XXXV (Maikop). An explanatory note. 2004
9. Lebedeva N.A. Stratigraphy of continental Neogene-Quaternary deposits of the high right bank of the Kuban River from Armavir to Krasnodar // Tr. geol. Institute of the USSR Academy of Sciences, issue 32, 1959. pp. 170-185.
10. Nevesskaya L. A., Goncharov I. A., Ilyina L. B. and others. Regional stratigraphic scale of the Neogene of the Eastern Paratethys. Soviet Geology, No. 9, 1984.
11. Nevesskaya L.A., Kovalenko E.I., Beluzhenko E.V. et al. Explanatory note to the regional stratigraphic scheme of Neogene deposits of the Southern regions of the European part of Russia. M. PIN RAS, 2004, 83 p.
12. Popov S.V., Zastrozhnov A.S. Supporting sections of the Neogene of the Eastern Paratethys (Taman Peninsula). The tour guide. Volgograd-Taman. 1998. 27 p.
13. Rudyanov I.F., Pechenyuk V.F. and others. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 200,000. The Caucasian series. Sheet L-38-XXXVI. (Cherkessk), 2002. (SK TGF).
14. The Stratigraphic Code of Russia. The third edition. St. Petersburg. Publishing house VSEGEI. 2006. 96 p.
15. The Stratigraphic Code of Russia. The third edition. Corrected and expanded. St. Petersburg. Publishing house of VSEGEI. 2019. 96 p.

Сведения об авторах:

Пинчук Татьяна Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ул. Ставропольская, 149, 350049, г. Краснодар, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2386-661, эл. почта: E-mail, pinchukt@mail.ru

Белуженко Евгений Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ул. Ставропольская, 149, 350049, г. Краснодар, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2386-661, E-mail beluzhenkoev@yandex.ru

Author's personal details

Pinchuk Tatyana Nikolaevna, candidate of geological and mineralogical sciences, assistant professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State University", st. Stavropolskaya, 149, 350049, Krasnodar, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-2386-6611. E-mail pinchukt@mail.ru

Beluzhenko Evgeny Vasilyevich, candidate of geological and mineralogical sciences, assistant professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State University", st. Stavropolskaya, 149, 350049, Krasnodar, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2386-661 E-mail beluzhenkoev@yandex.ru

© Пинчук Т.Н., Белуженко Е.В.

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ
СО СЛОЖНЫМ ГЕОЛОГИЧЕСКИМ СТРОЕНИЕМ**

© Шабрин Никита Владиславович, © Никифоров Виталий Викторович, ©
Шарафутдинов Айдар Рафисович, © Климин Руслан Валерикович
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация: Одной из ключевых задач при проектировании системы разработки и планировании мероприятий по извлечению текущих остаточных запасов является геолого-гидродинамическое моделирование. Учёт всех особенностей геологического строения, в том числе фациального и тектонического – ключ к успешному освоению запасов углеводородов. В связи с этим необходимо внимательно подходить к вопросу качества исходных данных и построению геологических моделей в целом. В данной статье на примере одного из месторождений Западной Сибири представлен подход к построению геологической модели с учётом сложного строения продуктивных отложений. В географическом отношении месторождение расположено в западной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями тюменской свиты. Литологически данная свита представлена неравномерным чередованием аргиллитов, песчаников и алевролитов, содержащих прослойки глин и углистых пропластков. В тектоническом плане месторождение связано со структурой морфологически представленной антиклинальной складкой сложной формы северо-западного простирания, образованной над структурно-эрозионным выступом фундамента. В связи с этим на изучаемой территории широко распространены тектонические нарушения и зоны разуплотнения пород, что способствует образованию трещинных коллекторов во всех продуктивных отложениях. В свою очередь развитие вертикальной трещиноватости способствует объединению нескольких пластовых залежей в единую гидродинамическую систему. Исходя из этого, можно утверждать, что месторождение характеризуется сложным геологическим строением, связанным с наличием тектонических нарушений, зон выклинивания, а также невыдержанностью толщин. Для уточнения строения интерпретировались результаты сейсморазведочных работ последних годов. На их основе получены новые представления о строении структурных поверхностей продуктивных отложений, а также обновлена разломная модель месторождения.

Ключевые слова: геологическая модель, структурная модель, тектонические нарушения, юрские отложения, тюменская свита.

**GEOLOGICAL AND HYDRODYNAMIC MODELING OF AN OIL FIELD
WITH A COMPLEX GEOLOGICAL STRUCTURE**

© Shabrin Nikita Vladislavovich, Kotenev Yuriy Alekseevich, Nikiforov Vitaly
Viktorovich, Sharafutdinov Aidar Rafisovich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State
Petroleum Technological University", Ufa, Russian Federation

Summary: Geological and hydrodynamic modeling is one of the key tasks in the design of the development system and planning of measures for the extraction of current residual reserves. Taking into account all the features of the geological structure, including facies and tectonic, is the key to the successful development of hydrocarbon reserves. In this regard, it is necessary to carefully approach the issue of the quality of the initial data and the construction of geological models in general. Using the example of one of the deposits in Western Siberia, this article presents an approach to building a geological model taking into account the complex structure of productive deposits. Geographically, the field is located in the western part of the West Siberian oil and gas province. The industrial oil content of the field is associated with the deposits of the Tyumen formation. Lithologically, this formation is represented by an uneven alternation of mudstones, sandstones and siltstones containing interlayers of clays and carbonaceous. In tectonic terms, the deposit is associated with the structure of a morphologically represented anticlinal fold of a complex shape of the northwestern strike, formed above a structurally erosive protrusion of the foundation. In this regard, tectonic disturbances and zones of rock decompression are widespread in the studied territory, which contributes to the formation of fractured reservoirs in all productive sediments. In turn, the development of vertical fracturing contributes to the unification of several stratified deposits into a single hydrodynamic system. Based on this, it can be argued that the deposit is characterized by a complex geological structure associated with the presence of tectonic disturbances, wedging zones, as well as incontinence of thicknesses. To clarify the structure, the results of seismic surveys in recent years were interpreted. Based on them, new ideas were obtained about the structure of the structural surfaces of productive deposits, as well as the fault model of the deposit was updated.

Keywords: geological and hydrodynamic model, Shaim PR, Jurassic deposits, Tyumen formation.

Введение. В географическом отношении месторождение расположено в западной части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции [1]. Промышленная нефтеносность месторождения связана с отложениями тюменской свиты: пласты Ю₂, Ю₃, Ю₄, Ю₅, Ю₆ и Ю₇. Этаж нефтеносности – около 150 м. Основными продуктивными пластами на рассматриваемом участке являются пласты Ю₂ и Ю₃, в которых заключено около 76 % начальных геологических запасов нефти месторождения.

Месторождение находится на стадии разбуривания, характеризуется интенсивным и постоянным увеличением добычи нефти, быстрым ростом действующего фонда скважин и резким падением пластового давления. Закачка воды, с целью поддержания пластового давления на месторождении, началась с 2008 года.

В литолого-стратиграфическом строении выделяются породы палеозойского, триасового и мезо-кайнозойского возрастов. По данным глубокого разведочного бурения данные отложения представляют из себя – палеозойский фундамент, триасовый промежуточный этаж и мезозойско-кайнозойский ортоплатформенный чехол [2].

Верхний структурный этаж, с размывов залегающий на породах палеозоя и триаса, состоит из осадков от юрского до четвертичного возраста. Мощность изменяется от 1950 до 2400 м в зонах поднятий и погружений соответственно.

Палеозойские и триасовые отложения объединяются в нижний структурный этаж, который зачастую называют доюрским.

Юрский комплекс отложений, представленный терригенными образованиями континентального и морского генезиса, отличается пестротой изменчивостью, как по разрезу, так и по площади распространения.

Нефтеносность изучаемого месторождения связана с отложениями тюменской свиты. Породы данного возраста с размывов залегают на эродированной поверхности доюрских образований. Литологически данная свита представлена неравномерным чередованием сероцветных аргиллитов, песчаников и алевролитов, содержащих прослой гравелитов и конгломератов, нередко слюдистых, пиритизированных, а также глин и углистых пропластков.

Песчаники и алевролиты мелко-, реже среднезернистые, плохо отсортированные. Цемент глинистый, кремнисто-глинистый, карбонатный. Аргиллиты темно-серые, иногда буровато-серые, плотные, алевролитистые, прослоями сидеритизированные [3, 4].

По данным палинологических исследований в породах тюменской свиты содержатся спорово-пыльцевые комплексы нижней, средней и самых низов верхней юры, поэтому верхняя возрастная граница свиты совмещается с кровлей нижнекембрийского подъяруса. К кровле отложений тюменской толщи приурочен сейсмический отражающий горизонт «Т». Мощность осадков тюменской свиты от 50 до 150 метров.

В тектоническом плане месторождение связано со структурой морфологически представленной антиклинальной складкой сложной формы северо-западного простирания, образованной над структурно-эрозионным выступом фундамента.

Активное формирование доюрского основания, а также осадочных пород юрского периода в Западной Сибири, приводит к широкому распространению тектонических нарушений и зон разуплотнения пород. Этот процесс также способствует образованию трещинных коллекторов во всех продуктивных отложениях. А развитие вертикальной трещиноватости способствует объединению нескольких пластовых залежей в единую гидродинамическую систему.

Система трещин представляет собой совокупность трещин, которые расположены субпараллельно друг другу (имеют близкую пространственную ориентацию) и развиваются в определенном объеме породы. Обычно в породе развивается несколько таких систем трещин, однако также встречаются случаи, когда горные массивы содержат только одну систему трещин или имеют бессистемное, хаотичное распределение трещин.

Интенсивная трещиноватость гранулярных коллекторов, вызванная тектоническими процессами, оказывает значительное влияние на неоднородность фильтрации и анизотропию проницаемости, а также на

показатели продуктивности скважин. Тектонические трещины формируют сложную сеть каналов, по которым происходит перемещение нефти, газа и других флюидов. Это приводит к неоднородному распределению проницаемости внутри резервуара. Более того, направление и ориентация трещин могут создавать предпочтительные пути для потока флюидов. В результате, это влияет на характер распределения давления и фильтрацию внутри залежи и может сказываться на эффективности разработки [5, 6, 7].

Для детального изучения геологического строения месторождения проведена интерпретация данных сейсморазведочных работ с выделением структурных поверхностей продуктивных пластов и тектонических нарушений (рисунок 1).

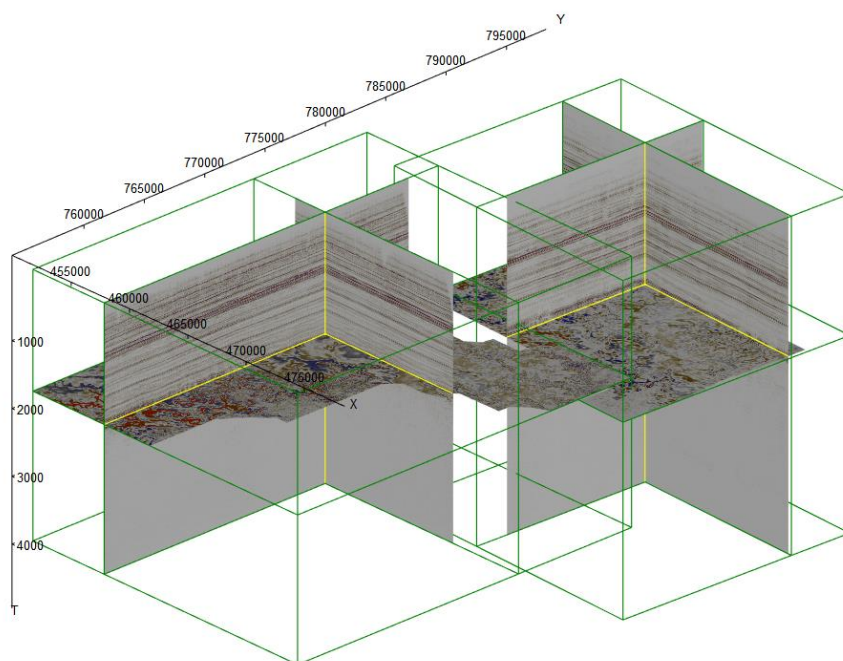


Рисунок 1 – Общий вид кубов 3D сейсмической съемки

Изучаемая территория характеризуется сложным взаимоотношением осадочного чехла и фундамента. В нижней части продуктивного разреза выделяются обширные области выклинивания коллектора, кроме этого, территория имеет разломно-блоковое строение [8, 9].

Тектонические нарушения выделялись в зонах с наибольшей прерывистостью фаз горизонтов, а также в зонах с резкими сдвигами фаз. Вследствие ограничений по вертикальной разрешающей способности исходных кубов амплитуд (в среднем 10 м.), предложенным методом удалось выделить только высокоамплитудные разломы (Рисунок 2).

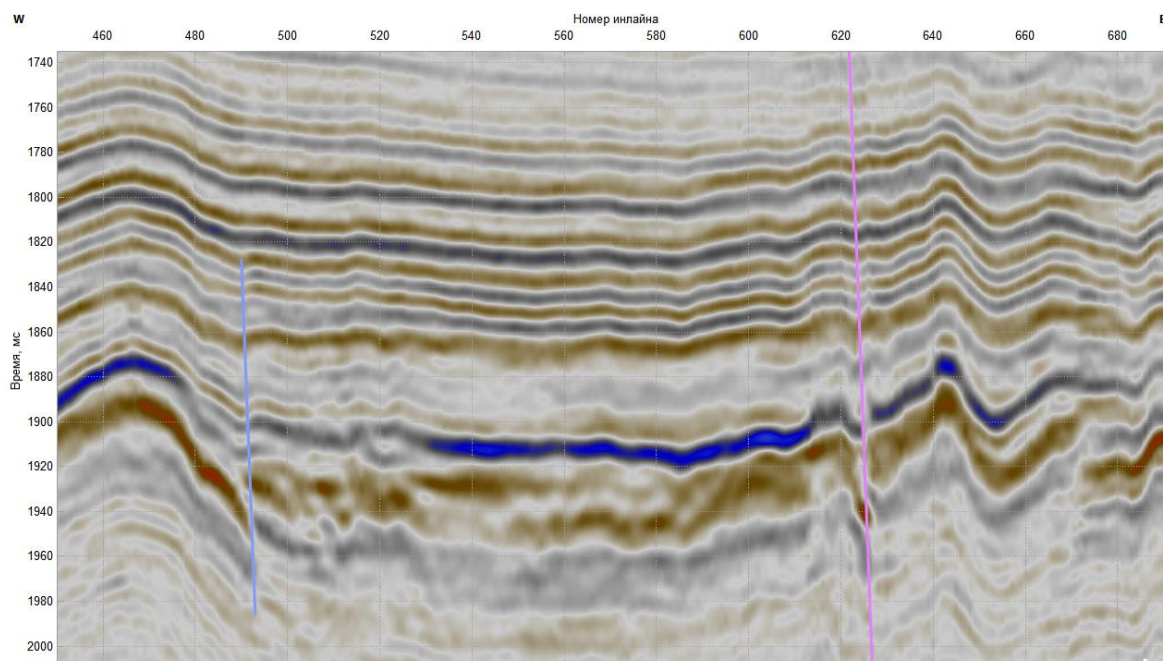


Рисунок 2 – Выделение разрывных нарушений по сейсмическому разрезу

Для выделения малоамплитудных тектонических нарушений в волновом поле использован атрибутный анализ исходных кубов сейсморазведочных работ. По результатам выделения тектонических нарушений в волновом поле и атрибутного анализа получена следующая картина распределения тектонических нарушений (рисунок 3) [10].

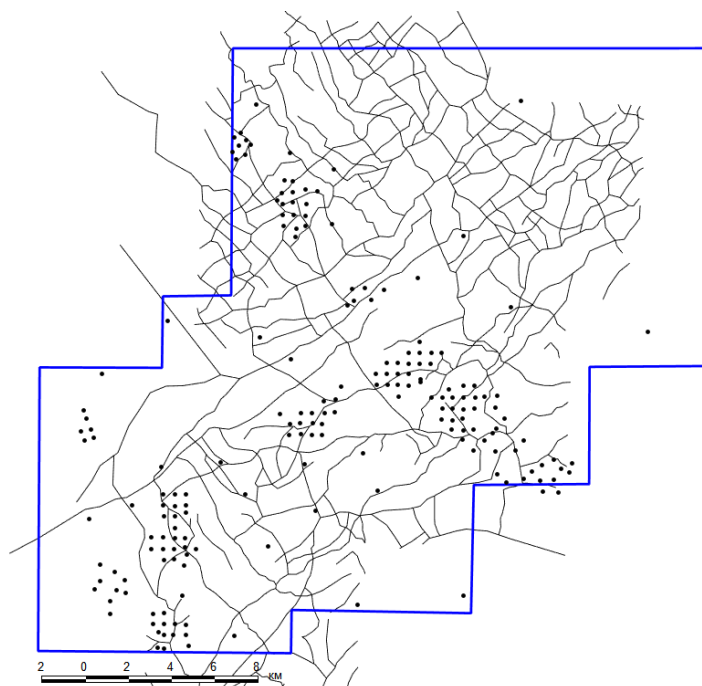


Рисунок 3 – Актуализированная разломная модель месторождения

На основе актуализированных данных построена трехмерная геологическая модель месторождения. Построение выполнялось в программном пакете Roxar IRAP RMS [11]. Моделирование производилось в соответствии с требованиями методических указаний по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений. Модель включает в себя шесть пластов Ю₂, Ю₃, Ю₄, Ю₅, Ю₆, Ю₇. В построении геологической модели участвовала 255 скважин из которых 152 составляют фонд месторождения. При актуализации добавлено 11 новых скважин, пробуренных в период за 2022-2023г.

В строение структурной модели месторождения выделяют восемь поверхностей, которые соответствуют: кровля пласта Ю₂ (U₂), кровля пласта Ю₃ (U₃), кровля пласта Ю₄ (U₄), кровля пласта Ю₅ (U₅), кровля пласта Ю₆ (U₆), кровля пласта Ю₇ (U₇), кровля доюрского фундамента (DUK) (рисунок 4).

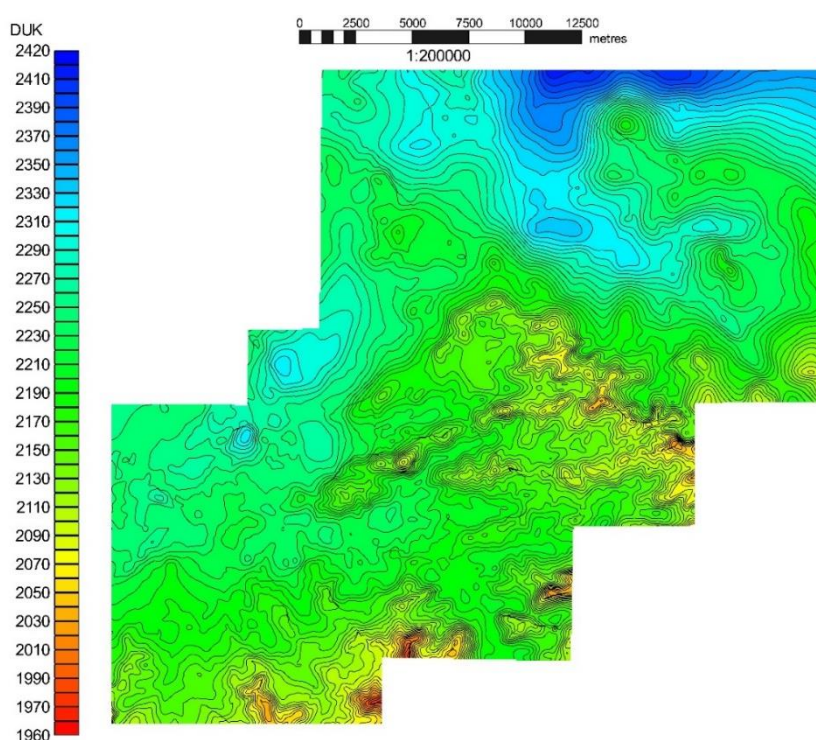


Рисунок 4 – Границы моделируемого участка месторождения (структурная карта горизонта доюрского основания ДЮК)

Для оценки контроля качества увязки горизонтов структурного каркаса со скважинными отбивками анализировалось по точечному графику.

Структурная модель строилась инструментом Structural Model. В качестве исходных данных загружались – сейсмические поверхности, отбивки пластопересечения и разломная модель. При структурном моделировании учтены особенности геологического строения месторождения такие как - зоны

выклинивания продуктивных пластов и замещения коллектора, разрывные нарушения, а также новые скважины.

Большое количество мелких залежей, разделенных тектоническими нарушениями и обширной зоной выклинивания по фундаменту, усложняют построение структурных поверхностей. Поэтому при создании поверхностей учитывалась линия разломов, выклинивания и согласованность с сейсмической поверхностью.

Контроль качества построения поверхностей структурного каркаса проводился визуальным просмотром структурных карт, а также карт углов наклона и гистограммы распределения величин углов наклона. Помимо этого, оценивались распределения общих толщин с учётом выклинивания.

Ввиду сложного геологического строения, при составлении структурной модели месторождения, внимание также уделялось и тектоническим нарушениям, контролирующим уровень ВНК (Рисунок 5) [12, 13].

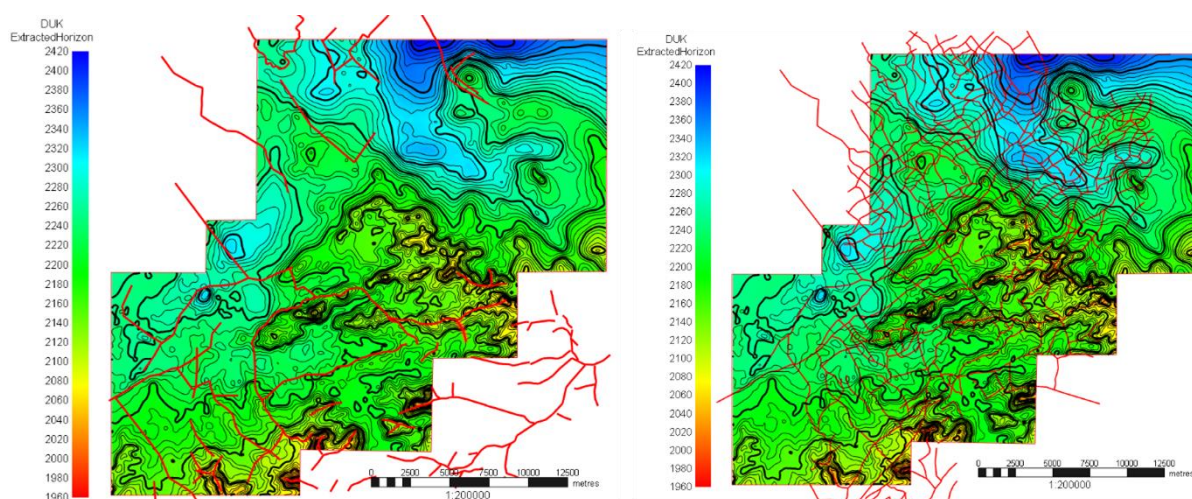


Рисунок 5 – Разломная модель месторождения

В результате изучения регионального геологического строения изучаемой территории, совместно с привлечением актуальных сейсмических данных и современных методов их обработки получено новое представление о тектоническом строении. На основе полученных представлений построена геологическая модель, учитывающая сложную тектоническую обстановку, включающая зоны выклинивания юрских отложений на фундамент, а также тектонические нарушения. Необходимость построения детальных геологических моделей, учитывающих разрывные нарушения, связана с их влиянием на распределение залежей, а также на характер движения флюидов [14].

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас «Геология и нефтегазоносность Ханты-Мансийского автономного округа». Ханты-Мансийск, 2004. 148 с.
2. Стратиграфия и палеогеография мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) / Э. О. Амон, В. П. Алексеев, А. Ф. Глебов, В. А. Савенко, Ю. Н. Федоров; под ред. В. П. Алексеева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2010. – 257 с.
3. Строение и корреляция отложений тюменской свиты Шаимского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) / В. П. Алексеев, Ю. Н. Федоров, В. А. Савенко; под ред. В. П. Алексеева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. – 227 с.
4. Шабрин, Н. В. Особенности условий обстановок осадконакопления северо-восточной части Шаимского нефтегазоносного района / Н. В. Шабрин, В. В. Никифоров, А. Р. Шарафутдинов // Актуальные проблемы науки и техники – 2023: сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов (Уфа, 27-31 марта 2023 г.): в 2 т. /под общ. ред. канд. техн. наук Рабаева Р.У. – Уфа: УНПЦ «Изд-во УГНТУ», 2023. – С. 120-122.
5. Никифоров, В.В. Влияние литолого-фациальных особенностей и тектонического строения на распределения фильтрационно-емкостных свойств коллекторов / В.В. Никифоров, Ш.Х. Султанов, Н.В. Шабрин, А.Р. Шарафутдинов // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2023. № 2. С. 9-15
6. Никифоров, В.В. Геодинамические особенности формирования залежей нефти Шаимского нефтегазоносного района и повышение эффективности нефтеизвлечения / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Нефть. Газ. Новации. 2022. №12(265). С. 16-19.
7. Шабрин, Н. В. Тектонические особенности тюменской свиты / Н. В. Шабрин, В. В. Никифоров // Материалы 72-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых УГНТУ, 2021 – Т. 1. – С. 66.
8. Никифоров, В.В. Геотектонические критерии потенциала нефтегазоносности Шаимского региона / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2022. Т. 42. № 1(105). С. 39-47. DOI 10.24412/1728-5283_2022_1_39_47. EDN VJMCAG.
9. Никифоров, В.В. Геолого-физические особенности формирования и выработки запасов нефти залежей, осложненных разрывными нарушениями / В.В. Никифоров, Ю.А. Котенёв // Нефтегазовое дело. 2019. Т. 17. № 6. С. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019-6-23-30. EDN TFZXDN.

10. Никифоров, В.В. Уточнение литолого-фациального строения юрско-нижнемеловых отложений на основе спектральной декомпозиции / В. В. Никифоров, А. Р. Шарафутдинов, Н. В. Шабрин, А.В. Чибисов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 2(35). – С. 49-65. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65. – EDN AGAJRZ.
11. Махмутов, А.А. Совершенствование построения трехмерных геологических моделей нефтяных месторождений сложного строения / А. А. Махмутов, Н. В. Шабрин, А. М. Маляренко [и др.] // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2023. – № 30. – С. 62-80. – DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80. – EDN SSVVHW.
12. Оценка качества 3D моделей / К.Е. Закревский, Д.М. Майсюк, В.Р. Сыртланов. М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008. 272 с.
13. Методика введения поправок на абсолютные отметки при обосновании положения ВНК / Р.Г. Сарваретдинов, Д.А. Кравец, С.Л. Рыжков, Р.Р. Байгизин // Нефтепромысловое дело. 2010. № 10. С. 7-11.
14. Никифоров, В. В. Методический подход по оптимизации системы разработки месторождений со сложным геологическим строением / В. В. Никифоров, А. Ю. Котенев, Т. А. Набиев // Бурение и нефть. – 2023. – № S1. – С. 54-56. – EDN LCONKD.

REFERENCES

1. Atlas "Geology and oil and gas potential of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug". Khanty-Mansiysk, 2004. 148 p.
2. Stratigraphy and paleogeography of the Mesozoic-Cenozoic sedimentary cover of the Shaimsky oil and gas district (Western Siberia) / E. O. Amon, V. P. Alekseev, A. F. Glebov, V. A. Savenko, Yu. N. Fedorov; edited by V. P. Alekseev. Yekaterinburg: Publishing house of UGSU, 2010. – 257 p.
3. Structure and correlation of deposits of the Tyumen formation of the Shaimsky oil and gas district (Western Siberia) / V. P. Alekseev, Yu. N. Fedorov, V. A. Savenko; edited by V. P. Alekseev. Yekaterinburg: Publishing House of UGSU, 2009. – 227 p.
4. Shabrin, N. V. Features of sedimentation conditions in the northeastern part of the Shaimsky oil and gas bearing region / N. V. Shabrin, V. V. Nikiforov, A. R. Sharafutdinov // Actual problems of science and technology – 2023: collection of materials of the XVI International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Specialists (Ufa, March 27-31, 2023): in 2 volumes /under the general editorship of Candidate of Technical Sciences Rabaeva R.U. – Ufa: UNPC "Publishing House of USPTU", 2023. – Pp. 120-122.
5. Nikiforov, V.V. The influence of lithological-facial features and tectonic structure on the distribution of reservoir properties / V.V. Nikiforov, Sh. Kh. Sultanov,

N.V. Shabrin, A.R. Sharafutdinov // Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR. 2023. No. 2. Pp. 9-15.

6. Nikiforov, V.V. Geodynamic features of the formation of oil deposits in the Shaim oil and gas region and increasing the efficiency of oil recovery / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 12(265). Pp. 16-19.

7. Shabrin, N. V. Tectonic features of the Tyumen formation / N. V. Shabrin, V.V. Nikiforov // Materials of the 72nd Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists of USNTU, 2021 – Vol. 1. – p. 66.

8. Nikiforov, V.V. Geotectonic criteria for the oil and gas potential of the Shaim region / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // 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.

9. Nikiforov, V.V. Geological and physical features of the formation and production of oil reserves of deposits complicated by discontinuities / V.V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev // Oil and Gas Business. 2019. T. 17. No. 6. Pp. 23-30. DOI 10.17122/ngdelo-2019- 6-23-30. EDN TFZXDND.

10. Nikiforov, V.V. Update the lithofacies structure based of spectral decomposition / V.V. Nikiforov, A.R. Sharafutdinov, N.V. Shabrin, A.V. // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. – 2024. – № 2(35). – pp. 49-65. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-2-49-65. – EDN AGAJRZ.

11. Makhmutov, A.A. Improving methods of three-dimensional geological models of oil fields with complex structure / A.A. Makhmutov, N.V. Shabrin, A.M. Malyarenko [oth.] // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. – 2023. – № 30. – pp. 62-80. – DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80. – EDN SSVVHW.

12. Quality assessment of 3D models / K.E. Zakrevsky, D.M. Maysyuk, V.R. Syrtlanov. M.: LLC "IPC Mask", 2008. 272 p.

13. Methodology for introducing corrections for absolute marks when substantiating the position of the VNK / R.G. Sarvaretdinov, D.A. Kravets, S.L. Ryzhkov, R.R. Baigizin // Oilfield business. 2010. No. 10. Pp. 7-11.

14. Nikiforov, V. V. Methodological approach to optimization of the field development system with complex geology / V. V. Nikiforov, Yu. A. Kotenev, T. A. Nabiev // Drilling and Oil. – 2023. – № S1. – pp. 54-56. – EDN LCONKD.

Сведения об авторах:

Шабрин Никита Владиславович, старший преподаватель, 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.

Никифоров Виталий Викторович, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», младший научный сотрудник Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: guk-geo@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-5198-0879.

Шарафутдинов Айдар Рафисович, аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», инженер Научного Центра Международного Уровня «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: aydar.sharafutdinov1999@gmail.com. ORCID ID: 0009-0007-9451-6073.

Климин Руслан Валерикович, аспирант, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация, e-mail: rus.klimin@yandex.ru. ORCID ID: 0009-0008-0334-5887.

Author's personal details

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.

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.

Klimin Ruslan Valerikovich, post-graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Petroleum Technical University", Russian Federation. E-mail: klim-2222@mail.ru. ORCID ID: 0009-0008-0334-5887.

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

ИНВЕСТИЦИИ В ОСНОВНОЙ КАПИТАЛ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ОХРАНУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН

© Ахметьянова Альбина Ильшатовна

© Кузнецов Александр Игоревич

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,

г. Уфа, Российский Федерация

Аннотация. В Республике Башкортостан ведется большая и планомерная работа по сохранению и защите окружающей среды. В 2023 г. в структуре текущих затрат на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан наибольший удельный вес принадлежал сбору и очистке сточных вод (50%), обращению с отходами (33%), затратам на охрану атмосферного воздуха (9%), затратам на защиту и реабилитацию земель (4%) и другим. В структуре затрат на капитальный ремонт наибольший удельный вес принадлежал затратам на ремонт сооружений и установок для очистки сточных вод и рациональное использование водных ресурсов (74%), затратам на воздухосооружения, установки, оборудование для улавливания и обезвреживания вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух (15%), затратам на капитальный ремонт сооружений, установок и оборудования для размещения и обезвреживания отходов (8%) и другим. В структуре инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды в регионе наибольший удельный вес принадлежит инвестициям, направленным на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата (55%), затратам на охрану и рациональное использование водных ресурсов (40%), затратам на защиту и экологическую реабилитацию земель, поверхностных и подземных водных объектов (2,3%) и другим. Значительная часть инвестиций, направленных на охрану и рациональное использование принадлежит собственным средствам предприятий. Комплексный подход к реализации мероприятий по защите и охране окружающей среды в Республике Башкортостан дают синергетический эффект.

Ключевые слова: окружающая среда, затраты, капитальный ремонт, текущие затраты, капитальный ремонт, инвестиции.

INVESTMENTS IN FIXED CAPITAL AIMED AT ENVIRONMENTAL PROTECTION IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

© Akhmetyanova Albina Ilshatovna

© Kuznetsov Alexander Igorevich

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education

"Ufa University of Science and Technology",

Ufa, Russian Federation

Summary. In the Republic of Bashkortostan, extensive and systematic work is being carried out to preserve and protect the environment. In 2023, in the structure of current expenditures on environmental protection in the Republic of Bashkortostan, the largest share belonged to the collection and treatment of wastewater (50%), waste management (33%), costs of air protection (9%), costs of land protection and rehabilitation (4%) and others. In the structure of capital repair costs, the largest share belonged to the costs of repair of structures and installations for wastewater treatment and rational use of water resources (74%), costs of air structures, installations, equipment for trapping and neutralizing harmful substances polluting the air (15%), costs of capital repairs of structures, installations and equipment for waste placement and neutralization (8%) and others. In the structure of investments in fixed capital aimed at environmental protection in the region, the largest share belongs to investments aimed at protecting the atmosphere and preventing climate change (55%), costs of protecting and rational use of water resources (40%), costs of protecting and ecological rehabilitation of lands, surface and underground water bodies (2.3%) and others. A significant part of investments aimed at protection and rational use belongs to the enterprises' own funds. An integrated approach to the implementation of measures to protect and preserve the environment in the Republic of Bashkortostan gives a synergistic effect.

Keywords: environment, costs, capital repairs, current costs, major repairs, investments.

Введение. Существует множество научных подходов к исследованию вопросов защиты и сохранения окружающей среды. В работе Л.В. Юн «рассматриваются климатические условия, как факторы изменения окружающей среды, показаны роль и значение норм российского законодательства, в том числе Климатической доктрины Российской Федерации, в решении актуальных климатических проблем»[1].

Вопросы применения цифровых технологий «в обеспечении соблюдения природоохранного законодательства и принятии решений» исследованы в работе Ю. А. Ивановой, М. А. Аливердиевой [2]. В продолжение исследования правовых вопросов М.С. Иваницким «проведен анализ нормативно-правовой базы в области снижения негативного воздействия объектов теплоэнергетики на

окружающую среду и существующих методов расчета выбросов полициклических ароматических углеводородов»[3].

В работе Гаевской Е.Б. «анализируются последние изменения правового регулирования общественных отношений в сфере ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде как одного из индикативных показателей обеспечения экологической безопасности»[5].

В исследованиях Анисимова П.И. и Пичугина Е.А. «представлен подход к оценке площади территории, окружающая среда на которой подвержена негативному воздействию вследствие расположения объекта накопленного вреда окружающей среде (НВОС), с использованием методов геостатистики (методы семейства кригинг)»[6]. В работе Л.В. Маймаковой, Д.Р. Усманова и Р.Е. Семенова приведена классификация видов отходов, в зависимости от степени негативного воздействия: «чрезвычайно-опасные, высокоопасные, умеренно опасные, малоопасные, практически не опасные» [7]. Другие авторы – П.А. Каунг, А.Е. Исакова и И.А. Панфилова отмечают, что «создание экологически чистого и социально ответственного горно-перерабатывающего предприятия формируется на стадии проектирования с учетом принципов устойчивого экологически сбалансированного развития и подлежит корректировке в процессе деятельности»[8].

В работе Г.А. Гулиева «рассмотрена целесообразность разработки месторождения с учетом экологических последствий для окружающей природной среды»[9]. Об ухудшении окружающей среды и процессах миграции населения в экологически благополучные страны пишут в своей работе Д. В. Губеладзе и М. В. Макарова [10]. При этом для сдерживания миграционных перетоков в каждой стране должны быть сформированы элементы экологической культуры.

Об экологической культуре пишут Зеленова Д.А. и Федорова С.К. «Овладение экологической культурой предполагает не только овладение знаниями, навыками, технологиями, опосредующими благоприятное взаимодействие с природной средой, но и приобретение нравственных ценностных установок, предполагающих осознание человеком необходимости такого взаимодействия»[11].

В работе Соколовой Ю.Д. исследуется «взаимосвязь экономического развития и загрязнения окружающей среды в странах БРИКС; гипотеза экологической кривой Кузнеця не подтвердилась, однако Россия и Китай обладают наибольшим потенциалом для достижения того уровня доходов, когда экономический рост способен «позаботиться» о состоянии окружающей среды»[12].

Для решения ключевых задач защиты окружающей среды должны быть созданы условия для реализации концепции экономики замкнутого цикла. В этой связи большинство ученых сходятся во мнении, что «модель экономики

замкнутого цикла на основе модели допустимого устойчивого развития в рамках социо-эколого-экономической системы учитывает роль экосистемных (биосферных) циклов в решении задач обращения с отходами на государственном уровне управления» Долгушин А.Б.[13].

В работе Толстых Т.О, также «исследованы перспективы развития экономики России в условиях замкнутого цикла и выявить возможные стратегии преодоления глобальных экономических вызовов для обеспечения устойчивого экономического роста и развития страны»[14]. В работах Башкортостанских ученых уделено внимание экологическим и геологическим основам природопользования [14, 15, 16]. В последние годы вопросам защиты окружающей среды и соответствующим мерам государственной поддержки уделяется большое внимание.

Цель статьи заключается в исследовании мер государственного регулирования вопросов защиты окружающей среды на территории Республики Башкортостан, анализ структуры текущих, капитальных затрат на воспроизводство основных производственных фондов, а также размеров инвестиций, направляемых на защиту окружающей среды на территории региона.

Материалы и методы. В исследовании использованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики Республики Башкортостан за период с 2018 по 2023 гг. В качестве основных методов использованы графический, табличный и статистический методы исследования.

Результаты исследования. Согласно официальным данным Росстата, в Республике Башкортостан в 2023 году насчитывалось 4953 объекта, осуществлявших выбросы загрязняющих веществ. При этом количество источников выбросов было равным 59109, а размеры выбросов в атмосферу загрязняющих веществ составили 446710 тонн. С целью реализации конструктивных мер, направленных на защиту окружающей среды, в регионе ведется планомерная работа.

Согласно официальным данным Башкортостанстата, в 2023 г. размеры текущих (эксплуатационных) затрат на охрану окружающей среды составили 15889,9 млн.руб., в т.ч. на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата – 1415,5 млн.руб., на сбор и очистку сточных вод – 7910,1 млн.руб., на другие направления деятельности в сфере охраны окружающей среды – 629,5 млн.руб., на обращение с отходами – 5306,9 млн.руб., на защиту и реабилитацию земель, поверхностных и подземных вод – 626,9 млн.руб.

За период с 2018 по 2023 гг. затраты на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан уменьшились с 18,6 до 16,9 млрд.руб., т.е. на 8,8% (рисунок 1).

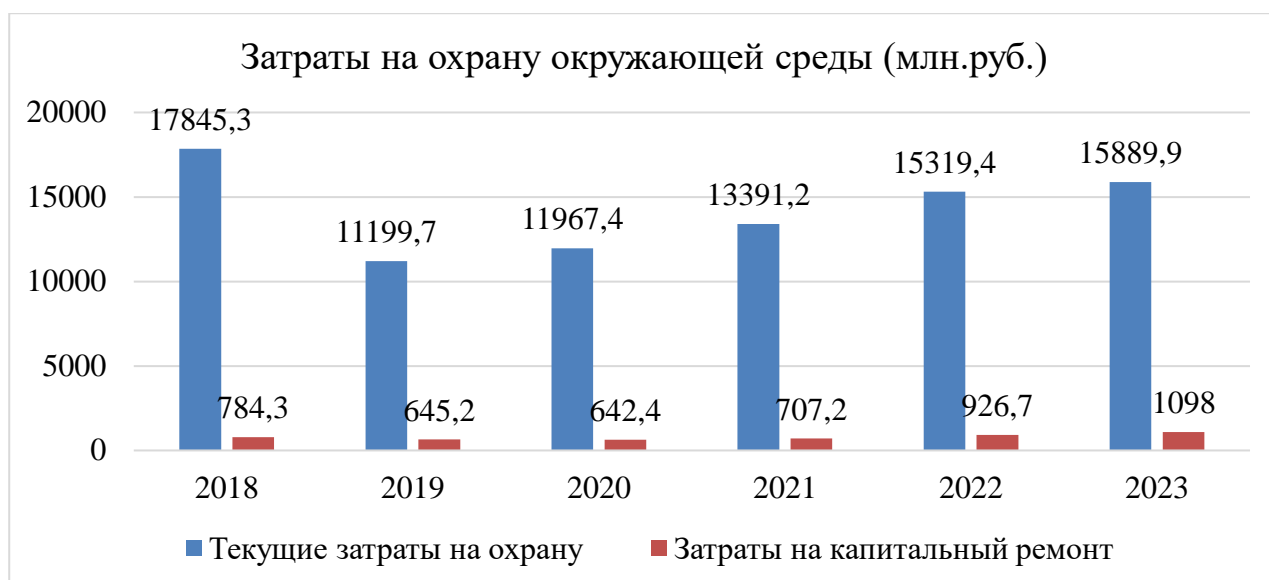


Рисунок 1 – Затраты на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан (млн.руб.) [17]

Одновременно возросли затраты на капитальный ремонт с 784,3 до 1098 млн.руб., т.е. на 40%. Сумма текущих затрат на охрану окружающей среды уменьшилась с 17845,3 до 15889,9 млн.руб., т.е. на 11%.

За период с 2018 по 2023 гг. размеры расходов на сбор и очистку сточных вод сократились на 44%, на охрану атмосферного воздуха – на 12,6%. Важно отметить, что в структуре текущих затрат произошли некоторые изменения (рисунок 2).

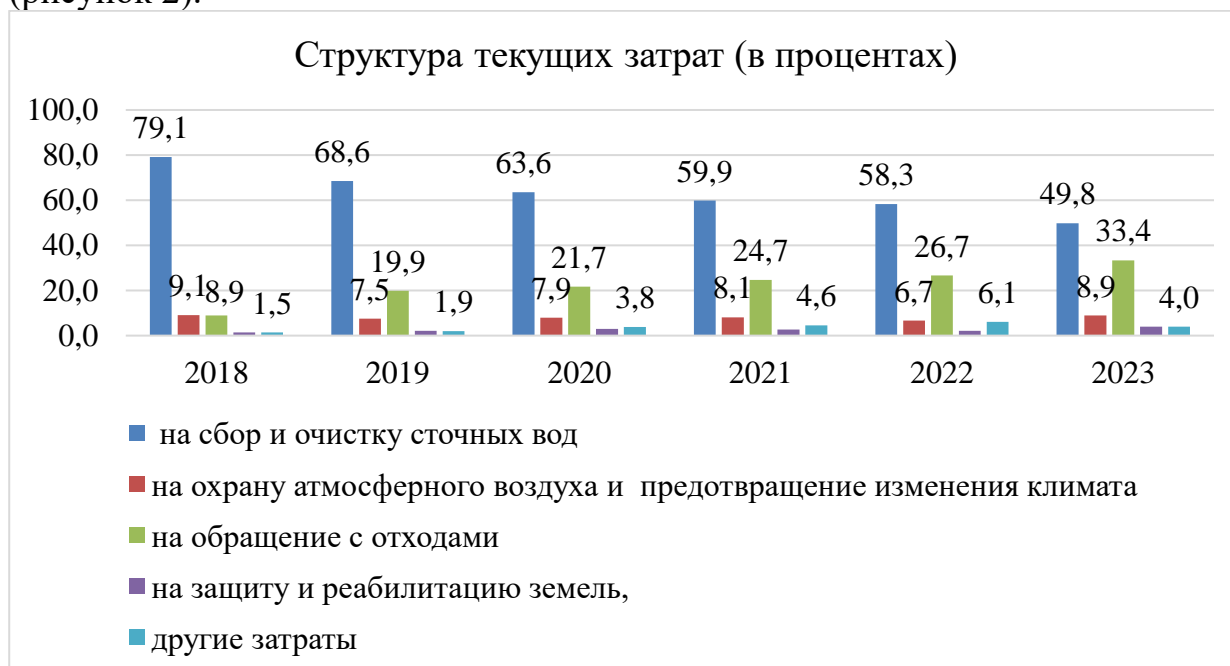


Рисунок 2 – Структура текущих затрат на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан (млн.руб.) [17]

Удельный вес затрат на сбор и очистку сточных вод в Республике Башкортостан уменьшился с 79,1 до 49,8%, удельный вес затрат на обращение с отходами возрос с 8,9 до 33,4%, удельный вес затрат на охрану атмосферного воздуха уменьшился с 9,1 до 8,9%, удельный вес других видов затрат увеличился с 1,5 до 4%, удельный вес затрат на защиту и реабилитацию земель возрос с 1,4 до 3,9%. Таким образом произошло смещение затрат с очистки сточных вод в направлении увеличения переработки отходов.

За период с 2018 по 2023 гг. размеры затрат на капитальный ремонт возросли на 40%, составив 1098 млн.руб., в т.ч. затраты на ремонт сооружений и установок для очистки сточных вод и рационального использования водных ресурсов возросли на 58%, составив 817,1 млн.руб. Размеры затрат на капитальный ремонт загрязняющих атмосферный воздух сооружений, установок и оборудования для улавливания и обезвреживания вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух уменьшились на 15%, составив 168,7 млн., затраты на капитальный ремонт сооружений, установок и оборудования для размещения и обезвреживания отходов возросли в 16,7 раза, составив 90,2 млн.руб. При этом сама структура затрат на капитальный ремонт существенной не изменилась (рисунок 3).



Рисунок 3 – Структура затрат на капитальный ремонт основных производственных фондов для защиты окружающей среды в Республике Башкортостан (млн.руб.) [17]

Удельный вес капитальных затрат на ремонт сооружений и установок для очистки сточных вод и рационального использования водных ресурсов повысился с 65,9 до 74,4%, удельный вес затрат на воздухоосушения, установки, оборудование для улавливания и обезвреживания вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух, уменьшился с 25,3 до 15,4%. Удельный вес затрат на капитальный ремонт сооружений, установок и оборудования для размещения и обезвреживания отходов увеличился с 0,7 до 8,2%.

Общие размеры инвестиций на мероприятия по охране окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в Республике Башкортостан увеличились на 47,5%, составив 7038,6 млн.руб. (таблица 1).

Таблица 1 – Размеры инвестиций на мероприятия по охране окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов в Республике Башкортостан (млн.руб.) [17]

Показатели	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2023 в % к 2018
Инвестиции на мероприятия по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов	4771,8	3342,7	9401,0	5579,1	8800,4	7038,6	147,5
из них:							
инвестиции на охрану и рациональное использование водных ресурсов	3704,0	1789,9	2482,1	2924,2	5194,8	2793,9	75,4
в том числе:							
станции для очистки сточных вод	2614,8	1682,0	2128,1	1435,5	745,8	1379,6	52,8

За анализируемый период общие размеры инвестиций на охрану и рациональное использование водных ресурсов уменьшились на 24,6%, составив 2793,9 млн.руб., в т.ч. на станции для очистки сточных вод – на 47,2%, составив 1379,6 млн.руб.

Рассмотрим структуру инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан (рисунок 4).



Рисунок 4 – Структура инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан (в процентах) [17]

В структуре инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан наибольший удельный вес принадлежит инвестициям, направленным на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата – 54,6%, удельный вес затрат на охрану и рациональное использование водных ресурсов составляет 39,7%, на защиту и экологическую реабилитацию земель, поверхностных и подземных водных объектов – 2,3%, удельный вес других затрат – 3,4%.

Из общей суммы инвестиций, равной 7038,6 млн.руб., всего 95,7% принадлежит собственным средствам предприятий. В составе инвестиций, направленных на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата – доля собственных средств предприятий составила 91,3%, в составе инвестиций, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов доле собственных средств предприятий, принадлежит 99,9%, в составе инвестиций, направленных на защиту и экологическую реабилитацию земель, поверхностных и подземных водных объектов – 94%.

Заключение. В 2023 г. в структуре текущих затрат на охрану окружающей среды в Республике Башкортостан наибольший удельный вес принадлежал

сбору и очистке сточных вод – 50%, обращению с отходами – 33%, затратам на охрану атмосферного воздуха – 9%, затратам на защиту и реабилитацию земель – 4% и другим. В структуре затрат на капитальный ремонт наибольший удельный вес принадлежал затратам на ремонт сооружений и установок для очистки сточных вод и рациональное использование водных ресурсов – 74%, затратам на воздухоосушения, установки, оборудование для улавливания и обезвреживания вредных веществ, загрязняющих атмосферный воздух – 15%, затратам на капитальный ремонт сооружений, установок и оборудования для размещения и обезвреживания отходов – 8% и другим. В структуре инвестиций в основной капитал, направленных на охрану окружающей среды в регионе наибольший удельный вес принадлежит инвестициям, направленным на охрану атмосферного воздуха и предотвращение изменения климата – 55%, затратам на охрану и рациональное использование водных ресурсов – 40%, затратам на защиту и экологическую реабилитацию земель, поверхностных и подземных водных объектов – 2,3% и другим. Системные меры государственной поддержки, целенаправленные на защиту и охрану окружающей среды, успешно реализуемые в Республике Башкортостан дают положительный эффект.

Список литературы:

1. Юн Л. В. Климатические условия как фактор воздействия на окружающую среду // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Серия 4: Государство и право. 2024. № 1. С. 89-103. DOI 10.31249/iajpravo/2024.01.06. EDN HMFBBFF.
2. Иванова Ю.А., Аливердиева М.А. Цифровые технологии и окружающая среда, природопользование // Вестник экономической безопасности. 2024. № 3. С. 71-74. DOI 10.24412/2414-3995-2024-3-71-74. EDN LDNCDD.
3. Иваницкий, М. С. Экологическая безопасность ТЭС: Монография. Волжский: ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», филиал в г. Волжский, 2024. 151 с. ISBN 978-5-94721-174-0. EDN XJEQVT.
4. Гаевская Е.Ю. Ликвидация объектов накопленного вреда окружающей среде как один из индикативных показателей обеспечения экологической безопасности // Бизнес, менеджмент и право. 2024. № 1(61). С. 90-95. EDN CSTXFG.
5. Анисимов П.И., Пичугин Е.А. Оценка площади загрязненной территории вблизи объектов накопленного вреда окружающей среде / П. И. Анисимов, // Экология и промышленность России. 2024. Т. 28, № 8. С. 42-47. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-8-42-47. EDN NNKJEL.
6. Маймакова Л.В., Усманов Д.Р., Семенов Р.Е. Экономические аспекты утилизации отходов // Естественно-гуманитарные исследования. 2024. № 2(52). С. 182-184. EDN LUCFFC.

7. Принципы формирования экологически безопасного и экономически эффективного устойчивого освоения георесурсов / П. А. Каунг, А. Е. Исаков, И. А. Панфилов [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 7-1. С. 159-175. DOI 10.25018/0236_1493_2024_71_0_159. EDN FMFTJS.
8. Гулиева Г.А. Загрязнение окружающей среды в результате геолого-разведочных работ на Филизчайском колчеданно-полиметаллическом месторождении // Горный журнал. 2024. № 7. С. 75-79. DOI 10.17580/gzh.2024.07.12. EDN MSUBYX.
9. Губеладзе Д.В., Макарова М.В. Климатическая миграция как одна из главных проблем современности // Экология урбанизированных территорий. 2024. № 1. С. 31-36. DOI 10.24412/1816-1863-2024-1-31-36. EDN JPXFGQ.
10. Зеленова Д.А., Федорова С.К. Формирование экологической культуры граждан в Российской Федерации // Аграрное и земельное право. 2024. № 5(233). С. 70-72. DOI 10.47643/1815-1329_2024_5_70. EDN YVQNPB.
11. Соколова Ю.Д. Эмпирический анализ влияния экономической деятельности на состояние окружающей среды: пример стран БРИКС // Вестник Института экономики Российской академии наук. 2024. № 1. С. 154-176. DOI 10.52180/2073-6487_2024_1_154_176. EDN WMTNDC.
12. Долгушин А.Б. Принципы экономики замкнутого цикла в системе государственного управления устойчивого социо-эколого-экономического развития // Экономика устойчивого развития. 2024. № 2(58). С. 351-354. EDN NTZWNC.
13. Толстых Т.О., Гераськина А.А., Щелчков К.А. Перспективы экономики замкнутого цикла в России на этапе глобальных вызовов // Экономика устойчивого развития. 2024. № 2(58). С. 252-257. EDN TMEWZC.
14. 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.
15. Казанцева Т.Т. Предкрымский краевой прогиб. К особенностям строения Майкопской зоны // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2023. № 30. С. 22-40. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-22-40. EDN GIUECB.
16. Миркин Б.М., Наумова Л. Г. Экология и устойчивое развитие Республики Башкортостан: учебное пособие. Уфа: ИП Хабибов И. З., 2010. 295 с. ISBN 978-5-904775-02-8. EDN QKJOIH.

17. Охрана окружающей среды в Республике Башкортостан: статистический сборник. Уфа: Башкортостанстат, 2024. 44 с.

REFERENCES

1. Yun L. V. Climatic conditions as a factor influencing the environment // Social and humanitarian sciences. Domestic and foreign literature. Series 4: State and law. 2024. No. 1. P. 89-103. DOI 10.31249/iajpravo/2024.01.06. EDN HMFBBF.
2. Ivanova Yu. A., Aliverdieva M. A. Digital technologies and the environment, nature management // Bulletin of Economic Security. 2024. No. 3. P. 71-74. DOI 10.24412/2414-3995-2024-3-71-74. EDN LDNCDD.
3. Ivanitsky, M. S. Environmental safety of thermal power plants: Monograph. Volzhsky: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "MPEI", Volzhsky Branch, 2024. 151 p. ISBN 978-5-94721-174-0. EDN XJEQVT.
4. Gaevskaya E.Yu. Elimination of Accumulated Environmental Damage Sites as One of the Indicative Indicators of Ensuring Environmental Safety // Business, Management and Law. 2024. No. 1(61). P. 90-95. EDN CSTXFG.
5. Anisimov P.I., Pichugin E.A. Assessment of the Area of Polluted Territory Near Accumulated Environmental Damage Sites / P.I. Anisimov, // Ecology and Industry of Russia. 2024. Vol. 28, No. 8. P. 42-47. – DOI 10.18412/1816-0395-2024-8-42-47. EDN NNKJEL.
6. Maimakova L.V., Usmanov D.R., Semenov R.E. Economic aspects of waste utilization // Research in natural sciences and humanities. 2024. No. 2(52). P. 182-184. EDN LUCFFC.
7. Principles of forming environmentally safe and economically efficient sustainable development of georesources / P.A. Kaung, A.E. Isakov, I.A. Panfilov [et al.] // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2024. No. 7-1. P. 159-175. DOI 10.25018/0236_1493_2024_71_0_159. EDN FMFTJS.
8. Gulieva G.A. Environmental pollution as a result of geological exploration at the Filizchay pyrite-polymetallic deposit // Mining magazine. 2024. No. 7. Pp. 75-79. DOI 10.17580/gzh.2024.07.12. EDN MSUBYX.
9. Gubeladze D.V., Makarova M.V. Climate migration as one of the main problems of our time // Ecology of urbanized territories. 2024. No. 1. Pp. 31-36. DOI 10.24412/1816-1863-2024-1-31-36. EDN JPXFGQ.
10. Zelenova D.A., Fedorova S.K. Formation of environmental culture of citizens in the Russian Federation // Agrarian and land law. 2024. No. 5 (233). P. 70-72. DOI 10.47643/1815-1329_2024_5_70. EDN YVQNPB.

11. Sokolova Yu.D. Empirical analysis of the impact of economic activity on the environment: the example of the BRICS countries // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2024. No. 1. P. 154-176. DOI 10.52180/2073-6487_2024_1_154_176. EDN WMTHDC.
12. Dolgushin A.B. Principles of a Circular Economy in the System of Public Administration of Sustainable Socio-Ecological-Economic Development // Economics of Sustainable Development. 2024. No. 2(58). P. 351-354. EDN NTZWNC.
13. Tolstykh T.O., Geraskina A.A., Shchelchikov K.A. Prospects for a Circular Economy in Russia at the Stage of Global Challenges // Economics of Sustainable Development. 2024. No. 2(58). P. 252-257. EDN TMEWZC.
14. Kazantseva T.T. Discussion. On the Problem of Cyclicity of Geological Processes // Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. 2023. No. 31. P. 25-35. DOI 10.24412/1728-7634-2023-2-25-35. EDN CLNRIX.
15. Kazantseva T.T. Pre-Crimean regional trough. On the structural features of the Maikop zone // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. 2023. No. 30. P. 22-40. DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-22-40. EDN GIUECB.
16. Mirkin B.M., Naumova L.G. Ecology and sustainable development of the Republic of Bashkortostan: textbook. Ufa: IP Khabibov I.Z., 2010. 295 p. ISBN 978-5-904775-02-8. EDN QKJOIH.
17. Environmental protection in the Republic of Bashkortostan: statistical collection. Ufa: Bashkortostanstat, 2024. 44 p.

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.