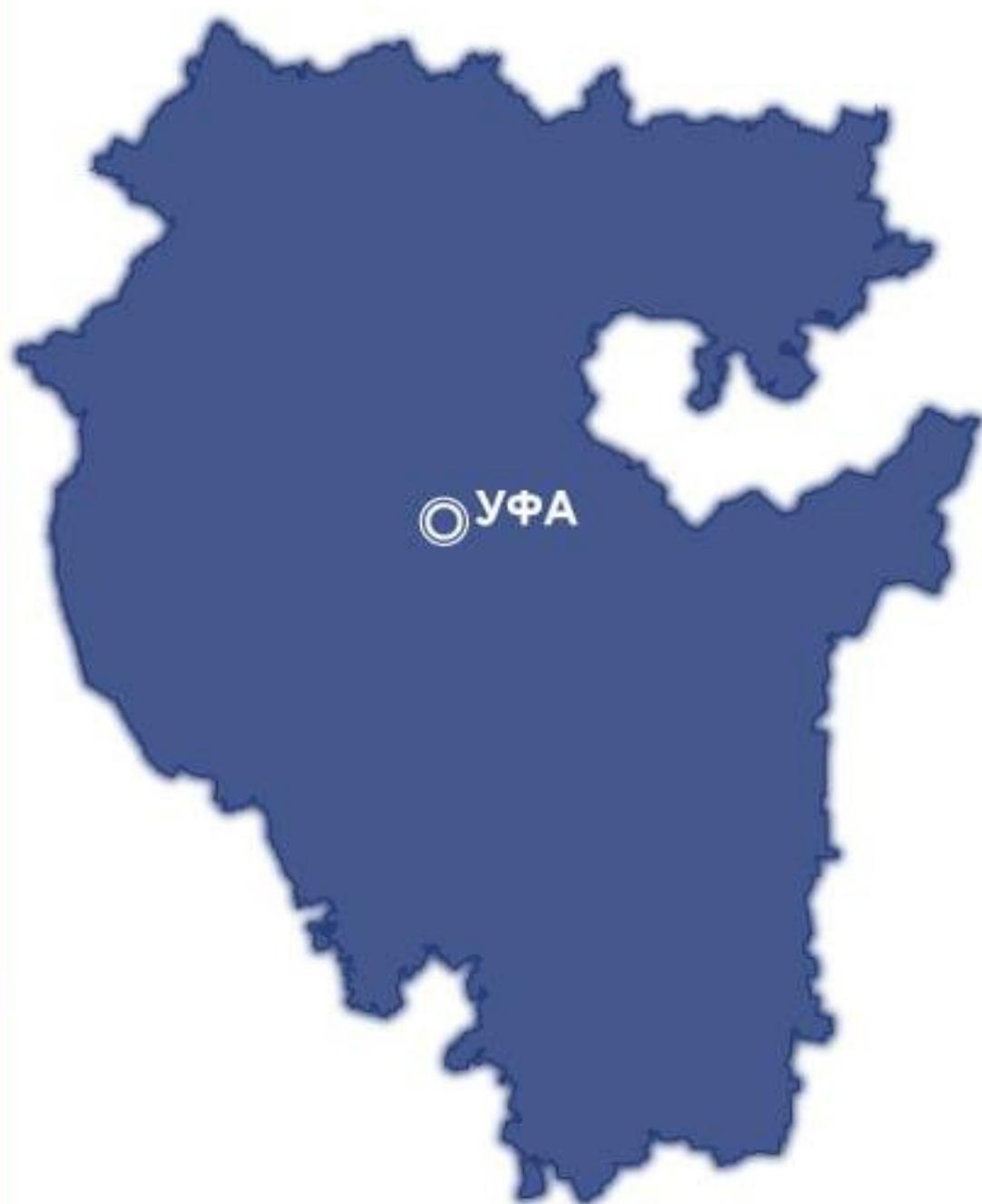


ГЕОЛОГИЯ

**АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**



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

Сетевое издание
Учредитель и издатель:
ГБНУ «Академия наук
Республики Башкортостан»

Online edition
Founder and Publisher:
GBNU "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+

№ 1 (30), 2023
ЭЛ № ФС 77 – 85908 от 18.09.2023
Роскомнадзор (г.Москва)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1

16+

№ 1 (30), 2023
EL No. FS 77 – 85908 dated 09/18/2023
Roskomnadzor (Moscow)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1

**Уфа
2023**

*Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов / Geology.
Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources, 2023, № 1 (30)*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

ВАЛИУЛЛИН Рим Абдуллович, академик-секретарь Отделения наук о Земле и нефтегазовых технологий ГБНУ «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 ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», доктор экономических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация

МАСАГУТОВ Рим Хакимович, член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», АО НПФ «Геофизика», доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный геолог Республики Башкортостан, заслуженный геолог Российской Федерации, г. Уфа, Российская Федерация

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АНДРЕЕВ
Вадим Евгеньевич

Член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, ГБНУ «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 Института наук о Земле, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

ВИКЕНТЬЕВ
Илья Владимирович

Главный научный сотрудник ФГБУН 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

Заведующий кафедрой минералогии и петрографии, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Пермь, Российская Федерация

- КАЗАНЦЕВА**
Тамара Тимофеевна
Академик Академии наук Республики Башкортостан, ГБНУ «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, ФГБУН Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской Академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация
- КИСЛОВ**
Евгений
Владимирович
Ведущий научный сотрудник ФГБУН Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук, кандидат геолого-минералогических наук, г. Улан-Уде, 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
Директор Института геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Уфа, Российская Федерация
- КОТЕНЕВ**
Юрий Алексеевич
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 технических 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
- ПРИЩЕПА**
Олег Михайлович
Заведующий кафедрой геологии нефти и газа, ФГБОУ ВО «Санкт-петербургский горный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
- ПУЧКОВ**
Виктор Николаевич
Главный научный сотрудник Института геологии и геохимии Уральского Отделения Российской академии наук, член-корреспондент Российской Академии наук, доктор геолого-минералогических наук, г.Екатеринбург, Российская Федерация
член

САВЕЛЬЕВ
Виктор Алексеевич

Заведующий кафедрой «Геология нефти и газа», Институт нефти и газа им. М.С. Гущериева, доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Ижевск, Российская Федерация

УСПЕНСКИЙ
Борис Вадимович

Заведующий кафедрой геологии нефти, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Казань, Российская Федерация

ЧАЙКОВСКИЙ
Илья Иванович

Заведующий лабораторией геологии месторождений полезных ископаемых, ФГБУН «Горный институт» Уральского отделения Российской академии наук доктор геолого-минералогических наук, профессор, 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
Профессор кафедры геофизики, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», доктор технических наук, профессор, г. Пермь, Российская Федерация

ШУМИЛОВ
Александр
Владимирович

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, профессор, г. Атырау, Республика Казахстан

ЖОЛТАЕВ Герой
Жолтаевич

Директор ТОО «Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева», доктор геолого-минералогических наук, профессор, г. Алматы, Республика Казахстан

Технический редактор Курманова Л.И.

Журнал выходит 4 раза в год.

Адрес учредителя, редакции и издателя: 450008, г. Уфа, ул. Кирова, 15.

Тел./Факс: +7 (347) 276-40-77.

Электронная почта: geology-akademia@vandex.ru

© ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», 2023

∞ ∞ ∞

**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 Abdulloovich, Academician-Secretary of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies, GBNU "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, GBNU "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Economics, Professor, Ufa, Russian Federation

Deputy Editor-in-Chief: **MASAGUTOV** Rim Khakimovich, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, GBNU "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Honored Geologist of the Republic of Bashkortostan, Honored Geologist of the Russian Federation, 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, GBNU "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 Geocology 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 Head of the Department of Mineralogy and Petrography, Perm State National Research University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Perm, Russian Federation

KAZANTSEVA Tamara Timofeevna Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, GBNU "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 Head of the Laboratory of Geochemistry and Ore Forming Processes, Institute of Geology and Geochemistry named after V.I. acad. A.N. Zavaritsky Ural

Alexander Yurievich KISLOV Evgeny Vladimirovich KNELLER Leonid Efimovich	Branch of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation Leading Researcher, Geological Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Ulan-Ude, Russian Federation 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 MUSTAFIN Sabir Kabirovich	Professor of the Department of Geophysical Methods of Research, FSBEI HE "Ufa State Petroleum Technological University", Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation 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 SNACHEV Aleksandr Vladimirovich USPENSKY Boris Vadimovich	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 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 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 Geophysics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher

SHUMILOV
Aleksandr
Vladimirovich

Education "National Research Tomsk State University", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Tomsk, Russian Federation
Professor of the Department of Geophysics, Perm State National Research University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm, Russian Federation

AZH GALIEV
Dulat Kalimovich

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:
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

Technical editor Kurmanova L.I.

The scientific journal is published 4 times a year.

Editorial office: 450008, Ufa, ul. Kirova, 15. Tel. / Fax: +7 (347) 276-40-77.

E-mail: geology-akademia@yandex.ru

© GBNU "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", 2023

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

СОДЕРЖАНИЕ № 1 (30) 2023

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Знаменский Сергей Евгеньевич, Знаменская Нина Михайловна***
Типоморфизм хлорита метасоматических пород Вознесенского месторождения золота (Южный Урал)
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-11-21 **11**
- Казанцева Тамара Тимофеевна***
Предкрымский краевой прогиб. К особенностям строения Майкопской зоны
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-22-40 **22**
- Масагутов Рим Хакимович***
Мьянма: представления о геологии и перспективы нефтегазоносности запада бассейна Руау (Prome) Embayment
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-41-62 **41**
- Махмутов Алмаз Аксанович, Шабрин Никита Владиславович, Малярченко Алина Михайловна, Халиков Альмир Наилевич, Мухутдинов Вадим Касымович***
Совершенствование построения трехмерных геологических моделей нефтяных месторождений сложного строения
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80 **62**
- Попков Василий Иванович, Попков Иван Васильевич***
Вторичные резервуары углеводородов в триасовой вулканогенно-карбонатной формации, связанные с складчато-надвиговыми дислокациями Южно-Мангышлакского прогиба
DOI 10.24412/2949-4052_2023-1-81-92 **81**
- Савельев Дмитрий Евгеньевич***
Об эволюции взглядов на генезис подиформных хромититов
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-93-108 **93**

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

- Жизнь, посвященная служению российской науке и образованию** **109**

ONLINE EDITION
**"Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences
and Natural Resources"**
CONTENTS № 1 (30) 2023

EARTH SCIENCES

- Znamensky Sergey Evgenievich, Znamenskaya Nina Mikhailovna***
Chlorite typomorphism of metasomatic rocks of the Voznesensky gold deposit
(Southern Urals)
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-11-21 **11**
- Kazantseva Tamara Timofeevna***
Pre-Crimean marginal foredeep. to the structural features of the Maikop zone
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-22-40 **22**
- Masagutov Rim Khakimovich***
Myanmar: understanding of the geology and prospects of oil and gas potential in
the west of the Pyay (Prome) Basin Embayment
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-41-62 **41**
- Makhmutov Almaz Aksanovich, Shabrin Nikita Vladislavovich, Malyarenko
Alina Mikhailovna, Khalikov Almir Nailevich, Mukhutdinov Vadim
Kasymovich***
Improving the construction of three-dimensional geological models of oil fields
of complex structure
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80 **62**
- Popkov Vasily Ivanovich, Popkov Ivan Vasilievich***
Secondary reservoirs of hydrocarbons in the Triassic volcanogenic-carbonate
formation associated with fold-thrust dislocations of the South Mangyshlak
trough
DOI 10.24412/2949-4052_2023-1-81-92 **81**
- Saveliev Dmitry Evgenievich***
On the evolution of views on the genesis of subdifform chromitites
DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-93-108 **93**

SCIENTIFIC LIFE

- A life dedicated to serving Russian science and education** **109**

DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-11-21

УДК 553.2

ТИПОМОРФИЗМ ХЛОРИТА МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ВОЗНЕСЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

© *Знаменский Сергей Евгеньевич, Знаменская Нина Михайловна*

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

Аннотация. Изучен химический состав и температурные условия образования хлорита метасоматических пород Вознесенского месторождения золота, расположенного в зоне Главного Уральского разлома на Южном Урале. Состав хлорита определялся на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments. Температура образования оценена с помощью хлоритового геотермометра. Показано, что хлорит пропицитов, слагающих внешние зоны окolorудного метасоматического ореола, представлен рипидолитом (5.53–5.59 а.ф.е. Si, 0.46–0.53 Fe/(Fe+Mg)). Температура его кристаллизации составляет 307–313°C, что соответствует диапазону температур образования пропицитов альбит-актинолитовой фации. Хлорит березит-лиственитов, распространенных во внутренних зонах метасоматического ореола, по химическому составу и времени кристаллизации разделяется на две разновидности, ранняя из которых относится к железистому рипидолиту (5.46–5.5 а.ф.е. Si, 0.47–0.65 Fe/(Fe+Mg)), а поздняя – к пикнохлориту (5.75–6.09 а.ф.е. Si, 0.44–0.51 Fe/(Fe+Mg)), обедненному Fe и обогащенному Si. По всей вероятности, изменения состава хлорита связано с падением температуры в процессе минералообразования, а также с ростом активности сульфидной серы. В пикнохлорите по мере удаления от рудных тел увеличивается содержание Si и уменьшается количество Al в тетраэдрической позиции. Вариации состава пикнохлорита по латерали обусловлены снижением температуры минералообразования. Температура кристаллизации рипидолита составляет 333–338°C, пикнохлориты рудных зон – 287–293°C, пикнохлорита, развитого в безрудных интервалах березит-лиственитов – 255–280°C. Полученные данные по температуре свидетельствуют о формировании Вознесенского месторождения на уровне мезозоны.

Ключевые слова: Южный Урал, месторождение золота, рипидолит, пикнохлорит, температура кристаллизации.

TYPMORPHISM OF CHLORITE IN THE METASOMATIC ROCKS OF THE VOZNESENSKOE GOLD DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

© *Znamensky Sergey Evgenievich, Znamenskaya Nina Mikhailovna*

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

Summary. The chemical composition and temperature conditions for the formation of chlorite from metasomatic rocks of the Voznesenskoye gold deposit located in the zone of the Main Ural Fault in the Southern Urals have been studied. The composition of chlorite was studied using a Tescan Vega Compact scanning electron microscope with an Oxford Instruments Xplorer 15 energy dispersive analyzer. The formation temperature was estimated using a chlorite geothermometer. It

has been shown that the chlorite of propylites composing the outer zones of the near-ore metasomatic aureole is represented by ripidolite (5.53–5.59 a.f.u. Si, 0.46–0.53 Fe/(Fe+Mg)). Its crystallization temperature is 307–313 °C, which corresponds to the temperature range for the formation of propylites of the albite-actinolite facies. The chlorite of beresite-listvenites occurring in the inner zones of the metasomatic aureole is divided into two varieties according to the chemical composition and time of crystallization, the earliest of which belongs to ferruginous ripidolite (5.46–5.5 a.f.u. Si, 0.47–0.65 Fe/(Fe +Mg)), and the later one, to pycnochlorite (5.75–6.09 a.f.u. Si, 0.44–0.51 Fe/(Fe+Mg)) depleted in Fe and enriched in Si. In all likelihood, changes in the composition of chlorite are associated with a drop in temperature during mineral formation, as well as with an increase in the activity of sulfide sulfur. In pycnochlorite, as the distance from the ore bodies increases, the content of Si increases and the amount of Al decreases in the tetrahedral position. Lateral variations in the composition of pycnochlorite are due to a decrease in the temperature of mineral formation. The temperature of crystallization of ripidolite is 333–338°C, pycnochlorites of ore zones – 287–293°C, pycnochlorite developed in barren intervals of beresite–listvenites – 255–280°C. The temperature data obtained indicate the formation of the Voznesenskoye deposit at the mesozone level.

Key words: Southern Urals, gold deposit, ripidolite, pycnochlorite, crystallization temperature.

Введение. Вознесенское месторождение золота, известное в архивных материалах также как Калканское [Бородаевский, 1938ф], расположено в зоне Главного Уральского разлома на северном замыкании Магнитогорской мегазоны Южного Урала, в 10 км северо-западнее города Учалы Республики Башкортостан (рис. 1). Золоторудная минерализация месторождения ассоциирует с комплексом параллельных даек, который входит в состав островодужной офиолитовой ассоциации гарцбургитового типа [Знаменский, Знаменская, 2022]. Такая геодинамическая обстановка является необычной для месторождений золота Южного Урала и не описана в опубликованной литературе [Сазонов и др., 2001; Знаменский, 2009; и др.].

Условия образования Вознесенского месторождения изучены слабо. Специальных исследований, направленных на изучение минералогеохимических особенностей руд и околорудных метасоматитов, источников и физико-химических параметров минералообразующих флюидов месторождения, до настоящего времени не проводилось. В опубликованной работе [Знаменский, Знаменская, 2022] нами рассмотрены геологическое строение, геохимия и геодинамические условия образования рудовмещающих пород месторождения.

Цель настоящей статьи – рассмотреть типоморфные свойства хлорита метасоматических пород месторождения.

Краткая геологическая характеристика месторождения. Вознесенское месторождение расположено в зоне серпентинитового меланжа, обрамляющего с востока Калканский гарцбургитовый массив. В этой зоне оно приурочено к блоку вулканогенных и интрузивных пород, слагающих фрагмент коровой части офиолитового разреза гарцбургитового типа (рис. 1). Блок состоит из нескольких

тектонических пластин, которые ограничены разломами, крутопадающими на юго-восток. Разрез офиолитов в рудоносном блоке формируют такситовые габброиды и вулканогенные породы, интродуцированные серией субпараллельных даек. В зоне контакта вулканитов и габброидов часто присутствуют линзы серпентинитов. Габброиды, как правило, сильно дислоцированы. Вулканиты и породы дайковой серии деформированы значительно слабее.

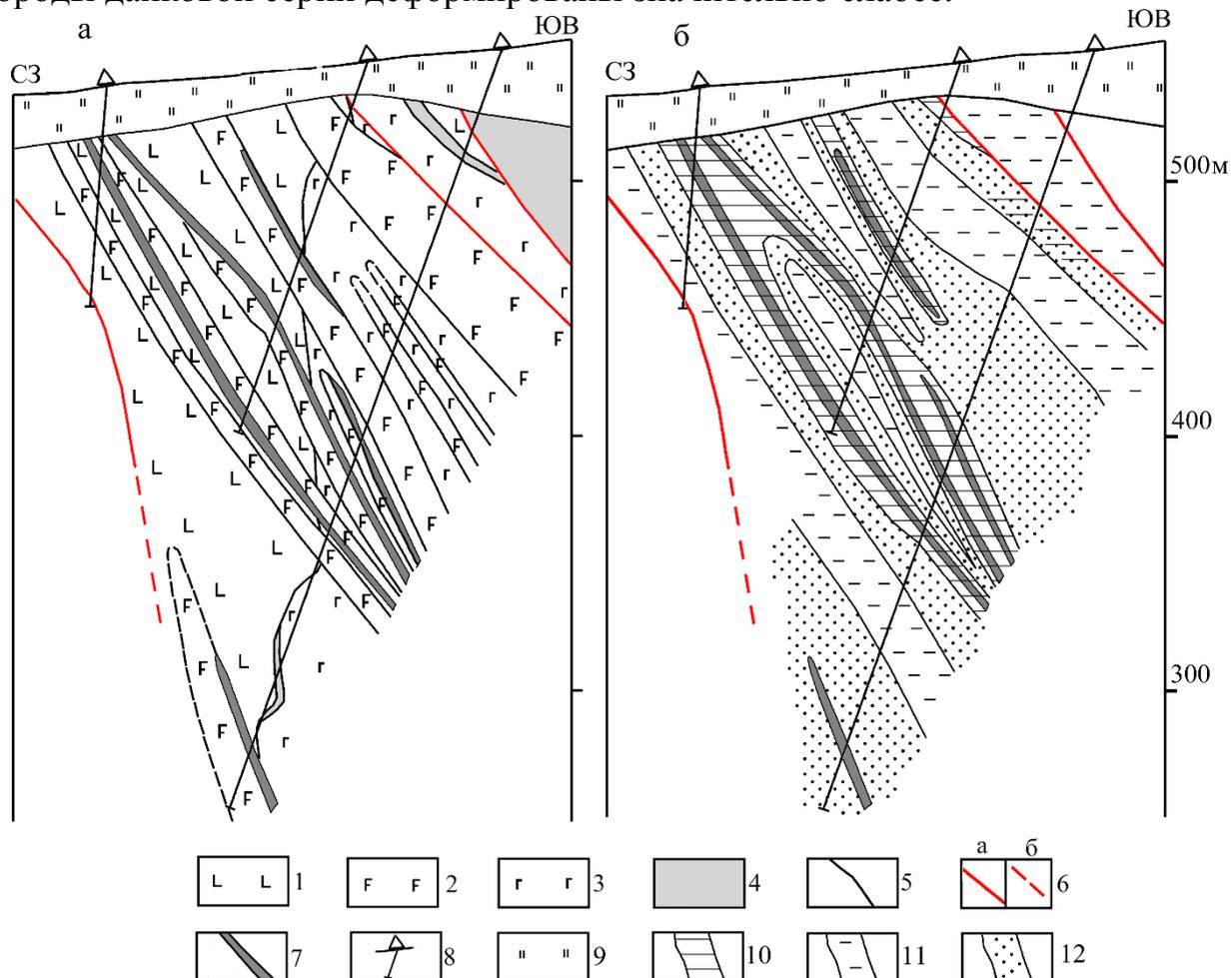


Рис. 1. Геологический разрез (а) Вознесенского месторождения [Знаменский, Знаменская, 2022] и схема метасоматической зональности (б) по профилю 204, где: 1 – долериты, базальты, андезибазальты и их туфы; 2 – габбро-долериты, габбро-диориты и диориты; 3 – такситовые габброиды; 4 – серпентинизированные гарцбургиты и дуниты; 5 – геологические границы установленные (а) и предполагаемые (б); 6 – разломы установленные (а) и предполагаемые (б); 7 – рудные тела; 8 – скважины; 9 – зона окисления; 10 – березит-листвениты; 11 – пропилиты; 12 – пропилиты, содержащие гнезда и прожилки березит-лиственитов.

Габброиды имеют неоднородное шпирово-полосчатое строение, обусловленное чередованием полос и наличием включений, которые сложены габбро-норитами, габбро и их роговообманковые разновидности, а также плагиоклазовыми клинопироксенитами. Такситовые габброиды изучены во

многих гарцбургитовых массивах Урала, где они занимают нижнекоровую часть офиолитового разреза [Савельева, 1987].

Вулканогенные породы представлены афировыми и преобладающими плагиофировыми и пироксен-плагиофировыми базальтами и андезибазальтами, а также гравийно-псаммитовыми литокристаллокластическими туфами основного состава. По данным бурения, мощность толщи эффузивных и пирокластических пород составляет 150 м.

Комплекс субпараллельных даек представлен плагиофировыми и пироксен-плагиофировыми габбро-долеритами, габбро-диоритами и крайне редко кварцевыми диоритами. Мощность отдельных даек достигает 30 м.

Вулканыты и породы даек имеют нормальную щелочность и в основном толеитовый состав. На Южном Урале по геохимическим характеристикам они сопоставимы с вулканогенными породами баймак-бурибаевской свиты (D_{1e_2}), образующими в пределах Магнитогорской палеоостровной системы фронтальную островную дугу [Серавкин и др., 1992]. Предполагается, что рудовмещающая офиолитовая ассоциация сформировалась в задуговом бассейне [Знаменский, Знаменская, 2022].

На месторождении разведано несколько рудных тел, представляющих собой линейные зоны прожилково-вкрапленной сульфидной (рис. 1) и прожилковой сульфидно-кварцевой минерализации, которая концентрируется в дайках и их экзоконтактовых зонах. Контакты даек часто нарушены синрудными разрывами. Количество сульфидов в рудных интервалах не превышает 5–7 об.%. Основными рудными минералами являются пирит (преобладает) и арсенопирит. В незначительных количествах присутствуют также молибденит, халькопирит, тетраэдрит, сфалерит и самородное золото. Содержание Au в рудах не высокое.

По данным геологов ОАО «Башкиргеология», проводивших в 2012–2014 г.г. на месторождении поисковые работы, оно не превышает 3,5 г/т.

По нашим данным, на месторождении распространены метасоматические породы двух типов: 1) пропилиты, слагающие внешние зоны околорудного ореола, и 2) березит-листвениты, распространенные в его внутренних частях (рис. 4). Значительную часть объема метасоматического ореола составляют переходные зоны, в пределах которых развиты минеральные ассоциации как пропилитов, так и березит-лиственитов. Золоторудная минерализация локализована в березит-лиственитах, которые образуют линейные крутопадающие зоны мощностью до 30 м, имеющие длину по простиранию до 1.5 км и по падению до 350 м. Хлорит присутствует как в пропилитах, так и березит-лиственитах.

Методы исследований. Электронно-микроскопические исследования минералов и определение их химического состава проводились в Институте геологии УФИЦ РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact с энерго-дисперсионным анализатором Xplorer 15 Oxford Instruments

(аналитик С.С. Ковалев). Обработка спектров производилась автоматически при помощи программного пакета Az Tec One с использованием методики TrueQ. При съемке использованы следующие установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда ЧНА, время накопления спектра в точке 60 секунд в режиме «Point & ID», диаметр пучка составлял ≈ 3 мкм. При анализе использовался встроенный комплект эталонов Oxford Instruments Standards, представленный природными и синтетическими соединениями.

Результаты исследований. По результатам оптических и электронно-микроскопических исследований, в ореоле пропиловых изменений установлены следующие минералы: амфибол (актинолитовая роговая обманка и актинолит), хлорит, ортоклаз и альбит (рис. 2). В незначительных количествах присутствуют также кварц, титанит, рутил, ильменит, иногда пирит, кобальтин, апатит и карбонат.

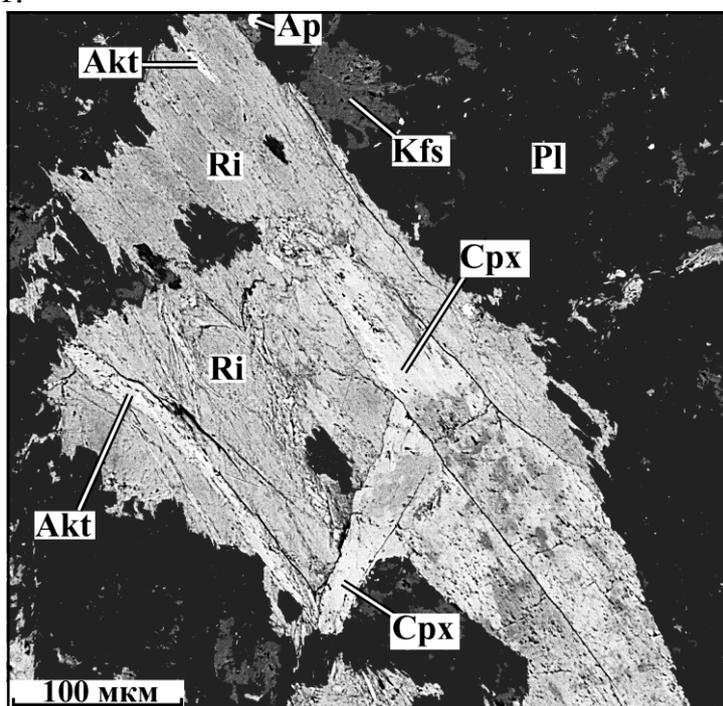


Рис. 2. Минералы пропилов, образовавшиеся в габбро-диорите

по клинопироксену и плагиоклазу. Изображение в обратно рассеянных электронах, где: на рис. 2 и 4: Cpx – клинопироксен, Pl – альбитизированный плагиоклаз, Akt – актинолит, Ab – альбит, Kfs – калиевый полевой шпат, Ri – рипидолит, Pi – пикнохлорит, Ap – апатит, Py – пирит.

Хлорит замещает в пропилах темноцветные минералы протолита, роговую обманку, стекло эффузивных и цемент вулканогенно-обломочных пород и выполняет прожилки. Он образует главным образом мелкочешуйчатые агрегаты. По химическому составу хлорит относится к рипидолиту (5.53–5.59 а.ф.е. Si, 0.46–0.53 Fe/(Fe+Mg)) (табл., рис.3).

Таблица 1 – Химический состав (масс.%) хлорита пропицитов и березит-лиственитов и его кристаллохимические характеристики

Компонент	Пропилиты		Березит-листвениты					
			В пределах рудных тел				В безрудных зонах	
	Рипидолит		Рипидолит		Пикнохлорит		Пикнохлорит	
	Пределы содержаний и значений	Среднее (n=5 ан.)	Пределы содержаний и значений	Среднее (n=5 ан.)	Пределы Содержаний и значений	Среднее (n=6 ан.)	Пределы содержаний и значений	Среднее (n=8 ан.)
SiO ₂	25.0–26.63	26.06	24.15–24.56	24.4	26.58–27.12	27.02	28.08–28.87	28.46
TiO ₂	0–0.41	0.22	-	-	-	-	0–0.4	0.08
Al ₂ O ₃	17.74–19.69	19.25	18.8–20.68	19.63	17.9–18.71	18.26	15.83–19.4	18.13
Cr ₂ O ₃	0–0,13	0.03	-	-	-	-	-	-
FeO	24.18–28.61	25.87	30.98–34.87	3.36	24.93–26.17	25.52	23.45–26.85	24.91
MnO	0.21–0.38	0.29	0.37–0.66	0.48	0.22–0.43	0.32	0.37–0.71	0.58
MgO	13.72–16.08	15.08	8.32–9.55	8.92	15.2–16.22	15.56	14.39–17.69	16.42
CaO	0.09–0.14	0.11	0–0.11	0.02			0–0.11	0.01
V ₂ O ₃	0–0.16	0.06	-	-	0–0.21	0.11	0–0.14	0.05
Сумма	84.22–89.2	86.96	85.53–87.79	86.81	85.62–87.84	86.82	85.62–90.77	88.89
Si	5.53–5.59	5.58	5.46–5.5	5.48	5.75–5.81	5.79	5.85–6.09	5.94
Fe ²⁺	4.35–5.04	4.62	5.77–6.5	6.25	4.47–4.68	4.56	4.08–4.69	4.34
Mg	4.36–5.06	4.81	2.77–3.18	2.99	4.85–5.1	4.96	4.48–5.42	5.09
Al ^{IV}	2.4–2.47	2.42	2.5–2.54	2.52	2.25–2.48	2.38	1.91–2.14	2.06
Fe/(Fe+Mg)	0.46–0.53	0,49	0.65–0.7	0.68	0.47–0.49	0.48	0.44–0.51	0.47
T, °C	307–313	311	333–338	336	287–293	289	255–280	271

Примечание. Формульные коэффициенты рассчитаны на 10(O). $T (^{\circ}\text{C})=106\text{Al}_c^{\text{IV}}+18$, где $\text{Al}_c^{\text{IV}} = \text{Al}^{\text{IV}}_{014} + 0.1(\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}))$ [Kranidiotis, MacLean, 1987].

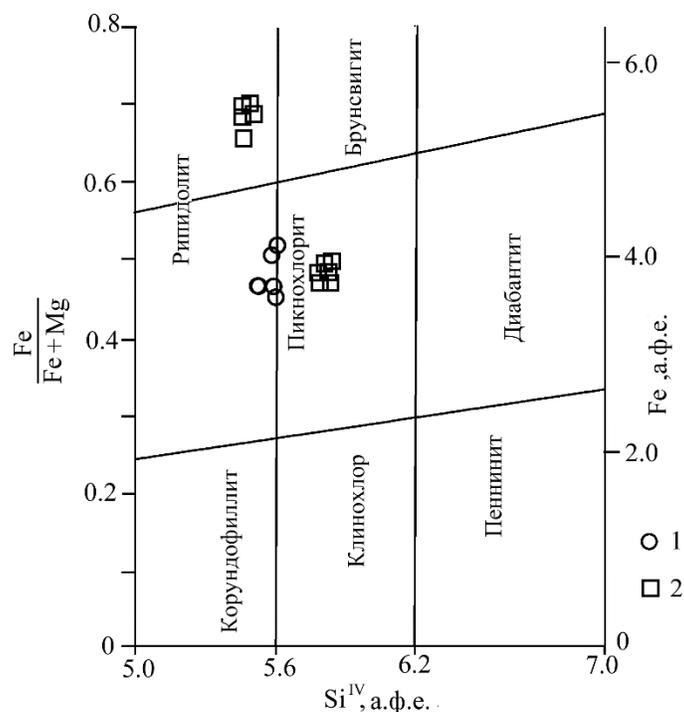


Рис. 3. Классификационная диаграмма [Неу, 1954] для хлорита пропилитов и березит-лишвенитов.

где: хлорит пропилитов (1) и березит-лишвенитов (2).

В небольших количествах в нем присутствуют хром, марганец, кальций и ванадий. Температура образования рипидолита, рассчитанная с помощью хлоритового геотермометра [Kranidiotis., MacLean, 1987], составляет 307–313°C ($T_{\text{средн.}}=311^{\circ}\text{C}$, $n=5$). Основными породообразующими минералами березит-лишвенитов являются хлорит, светлая слюда мусковит-фенгитового ряда, карбонат, альбит и кварц. В виде редких мелких чешуек присутствует биотит. Акцессорные минералы также как и в пропилитах представлены титанитом, апатитом, рутилом и ильменитом. Кроме того, здесь появляется монацит. Апатит содержится в березит-лишвенитах в значительно большем количестве.

Хлорит по химическому составу и времени кристаллизации разделяется на две разновидности, ранняя из которых относится к рипидолиту (5.46—5.5 а.ф.е. Si, 0.47–0.65 Fe/(Fe+Mg)), а поздняя – к пикнохлориту (5.75—6.09 а.ф.е. Si, 0.44–0.51 Fe/(Fe+Mg)) (табл., рис.3). Рипидолит обнаружен только в пределах рудных тел, где он образует редкие гнезда, сложенные агрегатами с мелкочешуйчатым или радиально-лучистым строением (рис. 4).

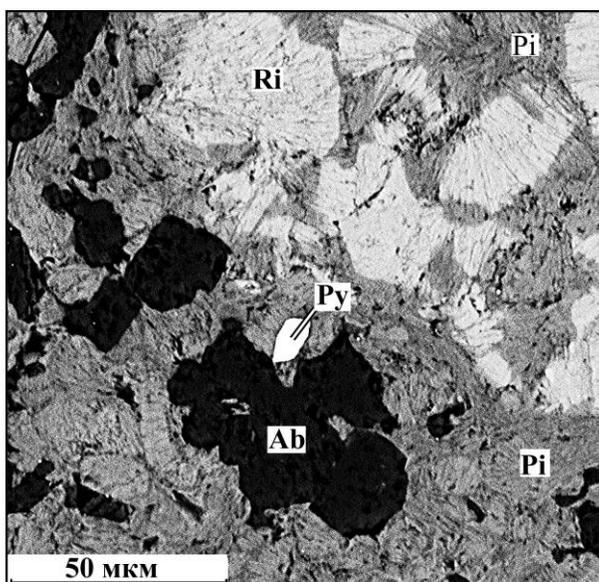


Рис. 4. Сферолитоподобные и радиально-лучистые выделения рипидолита и замещающего его пикнохлорита в березит-лиственитах. Изображение в обратно рассеянных электронах

Обычно рипидолит в той или иной степени замещен пикнохлоритом, карбонатом и светлой слюдой.

Пикнохлорит, распространенный как в рудных телах, так и за их пределами, слагает мелкочешуйчатые, иногда радиально-лучистые агрегаты, которые развиваются по темноцветным минералам протолита, биотиту, рипидолиту, основной массе эффузивных и цементу обломочных пород. Кроме того, он образует включения в пирите. Его состав варьирует по латерали. Пикнохлорит, кристаллизовавшийся за пределами рудных тел, по сравнению с пикнохлоритом рудных зон характеризуется более высокими содержаниями Si и меньшими значениями Al^{IV} (табл.). Температура образования рипидолита, оцененная с помощью хлоритового геотермометра [Kranidiotis., MacLean, 1987], составляет 333–338°C ($T_{\text{средн.}}=336^\circ\text{C}$), пикнохлориты рудных зон – 287–293 °C ($T_{\text{средн.}}=287^\circ\text{C}$), пикнохлорита, развитого в безрудных интервалах березит-лиственитов – 255–280°C ($T_{\text{средн.}}=271^\circ\text{C}$).

Обсуждение результатов. Хлорит пропилитов, по химическому составу отвечающий рипидолиту, образовался при температуре 307–313°C, что соответствует диапазону температур образования пропилитов альбит-актинолитовой фации [Метасоматизм..., 1998].

Хлорит березит-лиственитов по химическому составу и времени кристаллизации разделяется на две разновидности, ранняя из которых представлена железистым рипидолитом, а поздняя – пикнохлоритом, обедненным Fe и обогащенным Si. Скорее всего, такое изменение состава хлорита объясняется падением температуры в процессе минералообразования и, возможно, ростом активности сульфидной серы во флюиде, обусловившем преимущественное

вхождение Fe не в хлорит, а в сульфидные минералы. С ростом активности сульфидной серы в минералообразующем флюиде Л.И. Марушенко с соавторами [2015] связывают эволюцию состава хлорита от шамозита к клинохлору в серицит-кварцевых метасоматитах порфиривого месторождения Песчанка.

По сравнению с хлоритом пропицитов рипидолит березит-лиственитов существенно обогащен Fe и обеднен Mg и имеет более высокую температуру формирования. Химический состав рипидолита, по-видимому, может использоваться на Вознесенском месторождении в качестве индикатора типа метасоматических изменений. Установлены вариации состава пикнохлорита по латерали, выражающиеся в увеличении в нем по мере удаления от рудных тел содержания Si и в уменьшении количества Al в тетраэдрической позиции. Похожие изменения химического состава хлорита выявлены Э.М. Спиридоновым [1991] для метасоматитов березит-лиственитовой формации плутоногенных месторождений золота северной части Центрального Казахстана. Латеральная зональность по составу пикнохлорита связана с падением температуры на периферии ореолов березит-лиственитовых изменений. Температура образования хлорита (рипидолита и пикнохлорита), распространенного в пределах рудных тел, оценивается в 287–333°C, тогда как пикнохлорита, развитого за пределами рудных интервалов –255–280°C.

Выводы. По результатам исследований установлено, что хлорит в пропилитах Вознесенского месторождения (ассоциация: амфибол, ортоклаз, альбит и хлорит) относится к рипидолиту. Температура его кристаллизации составляет 307–313°C, что соответствует диапазону температур образования пропицитов альбит-актинолитовой фации.

Хлорит березит-лиственитов по химическому составу и времени кристаллизации разделяется на две разновидности, ранняя из которых относится к железистому рипидолиту, а поздняя – к пикнохлориту, обедненному Fe и обогащенному Si. По всей вероятности, изменения состава хлорита связано с падением температуры в процессе минералообразования, а также с ростом активности сульфидной серы. В пикнохлорите по мере удаления от рудных тел увеличивается содержание Si и уменьшается количество Al в тетраэдрической позиции. Вариации состава пикнохлорита по латерали обусловлены снижением температуры минералообразования. Полученные данные по температуре и давлению свидетельствуют о формировании Вознесенского месторождения на уровне мезозоны.

Финансирование: работа выполнена в рамках программы государственного заказа ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2022-0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородаевский Н.И. Материалы по геологии месторождений золота и меди Учалинского и Миасского районов. Башкирский РГФ, 1933. 144 с.
2. Знаменский С.Е. Структурные условия формирования коллизионных месторождений золота восточного склона Южного Урала. Уфа: Гилем, 2009. 348 с.
3. Знаменский С.Е., Знаменская Н.М. Вознесенское золоторудное месторождение (Южный Урал): геологическое строение, геохимия рудовмещающих пород, геодинамические условия образования // Литосфера. 2022. №3. С. 391-403. DOI: 10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403.
4. Марушенко Л.И. Минералогия пропилитов крупного медно-молибден-порфирирового месторождения Песчанка (Западная Чукотка) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2013. № 4. С. 22-30.
5. Метасоматизм и метасоматические породы // Под ред. В.А. Жарикова. Москва: Научный мир, 1998. 492 с.
6. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: ГИН АН СССР, 1987. 246 с.
7. Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: УГГГА, 2001. 622 с.
8. Серавкин И.Б., Косарев А.М., Салихов Д.Н., Знаменский С.Е., Родичева З.И., Рыкус М.В., Сначев В.И. Вулканизм Южного Урала М.: Наука, 1992. 197 с.
9. Спиридонов Э.М. Закономерность формирования и размещения плутоногенных месторождений золота в северной части Центрального Казахстана: Автореф. дисс. (в форме научного доклада) М., 1991. 78 с.
10. Hey M.H. A new review of the chlorites // Mineralogical Magazine. 1954. V. 30. P. 277-292. DOI: 10.1180/MINMAG.1954.030.224.01
11. Kranidiotis P., MacLean W.H. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec // Econ. Geol., 1987. V. 82. P. 1898-1911. DOI: 10.2113/GSECONGEO.82.7.1898

REFERENCES

1. Borodaevsky N.I. Materials on the geology of gold and copper deposits of the Uchalinsky and Miass regions. Bashkir RHF, 1933. 144 p.
2. Znamensky S.E. Structural conditions for the formation of collisional gold deposits on the eastern slope of the Southern Urals. Ufa: Gilem, 2009. 348 p.
3. Znamensky S.E., Znamenskaya N.M. Voznesenskoye gold deposit (Southern Urals): geological structure, geochemistry of ore-bearing rocks, geodynamic conditions of formation // Lithosphere. 2022. №3. pp. 391-403. Source: <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2022-22-3-391-403>.

4. Marushenko L.I. Mineralogy of propylites of the large copper-molybdenum-porphyry deposit Peschanka (Western Chukotka) // Vestn. Moscow university Ser. 4. Geology. 2013. No. 4. pp. 22-30.
5. Metasomatism and Metasomatic Rocks, Ed. V.A. Zharikov. Moscow: Scientific world, 1998. 492 p.
6. Savelyeva G.N. Gabbro-ultramafic complexes of Ural ophiolites and their analogues in modern oceanic crust. M.: GIN AN SSSR, 1987. 246 p.
7. Sazonov V.N., Ogorodnikov V.N., Koroteev V.A., Polenov Yu.A. Deposits of gold in the Urals. Ekaterinburg: UGGGA, 2001. 622 p.
8. Seravkin I.B., Kosarev A.M., Salikhov D.N., Znamensky S.E., Rodicheva Z.I., Rykus M.V., Snachev V.I. Volcanism of the Southern Urals, Moscow: Nauka, 1992. 197 p.
9. Spiridonov E.M. Pattern of formation and placement of plutogenic gold deposits in the northern part of Central Kazakhstan: Abstract of the thesis. diss. (in the form of a scientific report) M., 1991. 78 p.
10. Hey M.H. A new review of the chlorites // Mineralogical Magazine. 1954. V. 30. Pp. 277-292. DOI: 10.1180/MINMAG.1954.030.224.01
11. Kranidiotis P., MacLean W.H. (1987) Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec// Econ. Geol., 1987. V. 82. Pp. 1898-1911. DOI:10.2113/GSECONGEO.82.7.1898.

Сведения об авторах:

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. E-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

Знаменская Нина Михайловна, младший научный сотрудник, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: ninaznam@mail.ru

Author's personal details

Znamensky Sergey Evgenievich, Head of the Laboratory of Paleovolcanology and Metallogeny, Institute of Geology, Federal State Budgetary Scientific Institution "Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Ufa, Russian Federation, Ufa. E-mail: Znamensky_Sergey@mail.ru

Znamenskaya Nina Mikhailovna, Junior Researcher, Institute of Geology, Federal State Budgetary Scientific Institution "Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences", Ufa, e-mail: ninaznam@mail.ru

© Знаменский С.Е., Знаменская Н.М.

ПРЕДКРЫМСКИЙ КРАЕВОЙ ПРОГИБ. К ОСОБЕННОСТЯМ СТРОЕНИЯ МАЙКОПСКОЙ ЗОНЫ

© Казанцева Тамара Тимофеевна,

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

Памяти Юрия Васильевича Казанцева

Аннотация. Отмечается, что Крым входит в состав крупной линейной Средиземноморской зоны альпийской складчатости. Состоит из равнинной и горной области, различающихся между собой степенью дислоцированности и характером слагающих комплексов. Равнинная часть Крыма с поверхности выполнена мезозойскими и кайнозойскими отложениями платформенного типа. Они осложнены региональными надвигами, расчленяющими структуру на ряд широтно направленных тектонических пластин, смятых в линейные и куполовидные складки. По характеру структурной геологии и особенностям формационного состава это типичный передовой прогиб. По данным бурения прогибные фации сохраняются и в палеозое. Во всяком случае, для пермско-триасового времени такие данные прослеживаются. Горная область, занимающая часть полуострова, сложена такими же по возрасту образованиями, но представленными различными формационными типами пород. Для нее характерно наличие разрывных нарушений, лоскутное, мозаичное в плане размещение фаций разного генезиса, сложные соотношения между отдельными формационными типами. Нередки олистостромы. Особое значение придается Майкопской зоне, где наблюдается отчетливое чешуйчато-надвиговое ее строение и известное распространение нефтегазоносных пород сланцевого типа. Установлены новые надвиговые структуры, уточнены контуры и размеры выявленных прежде тектонических тел, открыто широкое развитие поперечных сдвиговых нарушений, меняющих морфологию складчатых дислокаций. Структура этой части прогиба представляется сейчас в виде системы последовательно надвинутых с юга аллохтонных пластин. Выделены и прослежены в широтном направлении аллохтоны, среди которых такие как Тамбовский, Журавлинский, Феодосийский и другие, в которых полезные ископаемые согласуются со структурно-формационными связями.

Ключевые слова: прогиб, Крым, породы, горная область, складчатость, платформа, бурение, палеозой, разрывные нарушения, генезис.

CIS-CRIMEAN MARGINAL FOREDEEP. TO THE FEATURES OF THE MAIKOP ZONE STRUCTURE

© Kazantseva Tamara Timofeevna,

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

In memory of Yuri Vasilyevich Kazantsev

Summary. It is noted that the Crimea is part of a large linear Mediterranean zone of Alpine folding. It consists of flat and mountainous regions, differing from each other in the degree of dislocation and the nature of the constituent complexes. The plain part of the Crimea from the surface is filled with Mesozoic and Cenozoic deposits of the platform type. They are complicated by regional thrusts, dividing

the structure into a number of latitudinally directed tectonic plates, crumpled into linear and dome-shaped folds. By the nature of the structural geology and the features of the formation composition, this is a typical foredeep. According to drilling data, trough facies are preserved in the Paleozoic. In any case, such data can be traced for the Permian-Triassic time. The mountainous area, which occupies part of the peninsula, is composed of formations of the same age, but represented by different formational types of rocks. It is characterized by the presence of discontinuous faults, patchy, mosaic in terms of placement of facies of different genesis, complex relationships between individual formation types. Uncommon olistostromes. Particular importance is attached to the Maikop zone, where there is a distinct scaly-thrust structure and a well-known distribution of oil and gas bearing rocks of the shale type. New thrust structures have been established, the contours and sizes of previously identified tectonic bodies have been refined, and a wide development of transverse shear faults has been discovered that changes the morphology of folded dislocations. The structure of this part of the trough is now represented as a system of allochthonous plates successively thrust from the south. Allochthons have been identified and traced in the latitudinal direction, among which are such as Tambov, Zhuravlinsky, Feodosiya and others in which minerals are consistent with structural-formational relationships.

Key words: trough, Crimea, rocks, mountainous area, folding, platform, drilling, Paleozoic, faults, genesis.

Введение. Впечатляющей структурой Крымского передового прогиба является Майкопская зона. С юга на нее надвинуты вещественно-структурные массивы мезозоя и палеозоя, частично закрывающие южную, начала 90-х годов прошлого столетия, часть структуры. Проведенные исследования позволили высказать убеждение в целесообразности использования современной мобилистской доктрины при определении сущности развития структурной геологии как всего Предкрымского передового прогиба, так и его крупных зон [1, 2]. Проведенное объединением «Крымгеология» бурение на большие (4,5–5 км) глубины подтвердило идею.

Результаты исследования. В результате установлены новые надвиговые структуры, уточнены контуры и размеры выявленных прежде тектонических тел, поперечных сдвиговых нарушений, меняющих морфологию складчатых дислокаций. Структура этой части прогиба представляется сейчас в виде системы последовательно надвинутых с юга аллохтонных пластин. Описание собранных нами материалов использовано в научном отчете Института геологии Уфимского научного центра РАН «Закономерности строения и развития краевых прогибов Восточно-Европейской платформы». «Особенности структурной геологии Крымского полуострова». Подраздел 4.1. «Предкрымский передовой прогиб. Чешуйчато-надвиговое строение Майкопской зоны»; 4.3. «Шарьяжно-надвиговая и тектоника Горного Крыма» и 4.4 Дискуссия. «Современные представления на структурную геологию Крыма». Ответственные исполнители: Ю.В. Казанцев и Т.Т. Казанцева. Уфа 2007-2009. Отчет защищен на заседании Ученого совета в конце декабря 2009 года [3]. Он рекомендован Ученым советом к опубликованию.

Это последняя прижизненная разработка Юрия Васильевича.

Обсуждение. Крым является составной частью линейной зоны Средиземноморской альпийской складчатости. Состоит из равнинной и горной области, различающихся (рис.1, 2 и 3) дислокациями и характером слагающих их формаций.

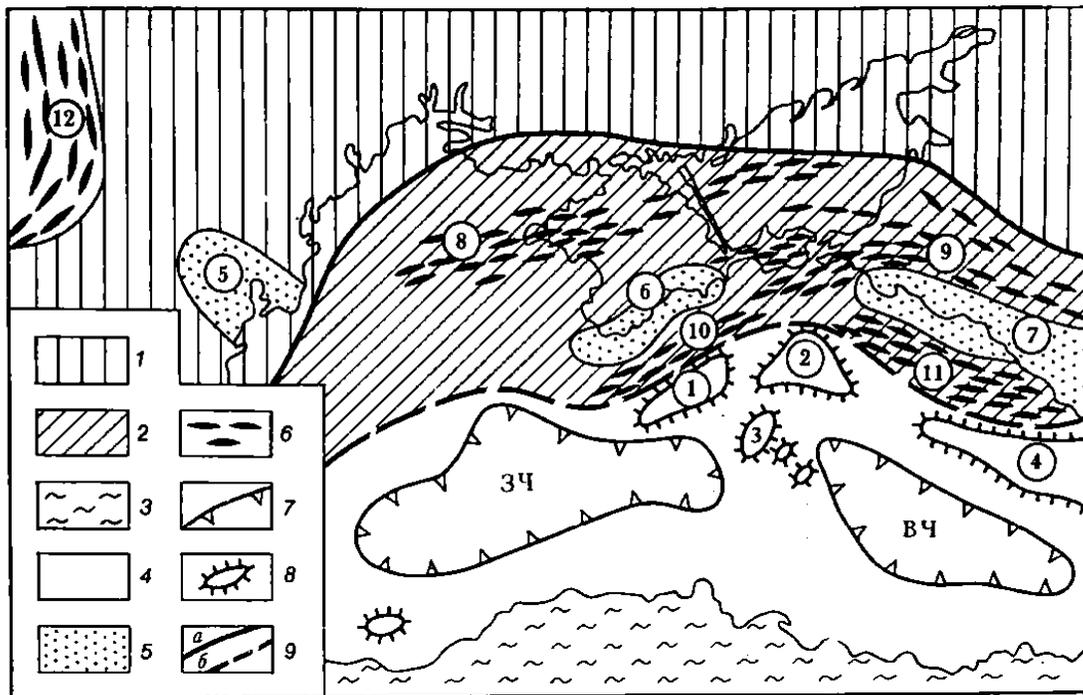


Рис. 1. Схема структуры дна Черного моря и прилегающей суши к концу альпийского периода (по А.Л. Яншину) [4, 8]

где: 1 – аллохтон горного Крыма; 2 – молассовые отложения перми-триаса; 3 – образования рифея-палеозоя; 4 – границы; 5 – поверхность домеловых отложений; 6 – надвиги; 7 – фронтальный надвиг; 8 – скважины.

Равнинная часть Крыма с поверхности выполнена мезозойскими и кайнозойскими отложениями платформенного типа. Они осложнены региональными надвигами, расчленяющими структуру на ряд широтно-вытянутых тектонических пластин, смятых в линейные и куполовидные складки. По характеру структурной геологии и особенностям формационного состава это типичный передовой прогиб. По данным бурения «прогибные» фации сохраняются и в палеозое.

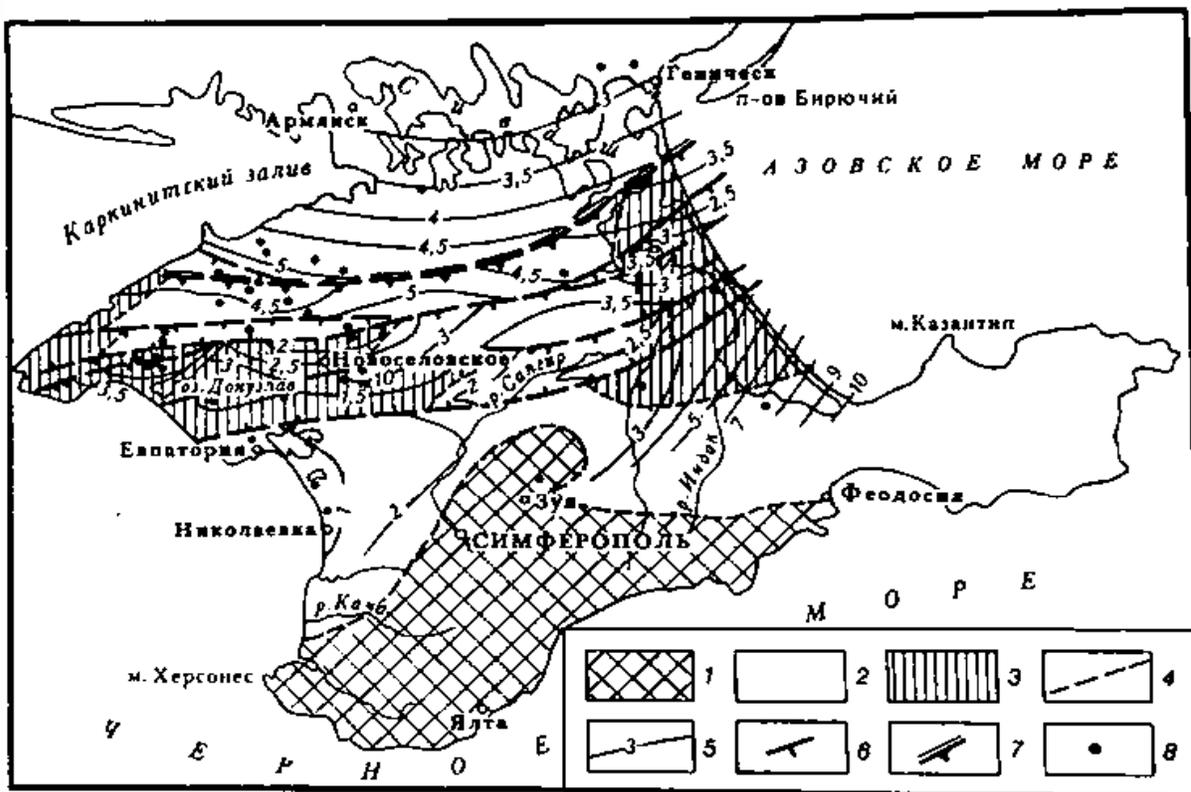


Рис. 2. Структурная схема поверхности домеловых отложений
(по Казанцеву, 2009 г.) [3]

где: 1 – аллохтон горного Крыма; 2 – молассовые отл.; 3 – отл. пермо-триаса; 4 – рифейско-палеозойский комплекс; 5 – границы; 6 – поверхность домеловых отложений; 7 – линии надвигов; 8 – скважины.

Горная область, занимающая южную часть полуострова, сложена преимущественно такими же по возрасту образованиями, но, как правило, представленными различными формационными типами пород. Для нее характерно наличие многочисленных разрывных нарушений, лоскутное, мозаичное в плане размещение фаций разного генезиса, сложные соотношения между отдельными формационными типами пород, широкое развитие аллохтонных структур. Однако на фоне такой раздробленности довольно уверенно выделяются крупные тектонические пластины широтного простирания, представляющие собой, по сути, самостоятельные структурно-формационные зоны, последовательно надвинутые друг на друга. Из-под них выступают, а иногда на них залегают размерные аллохтоны различного возраста и состава. В основании пластин встречены олистолиты (рисунок 3).

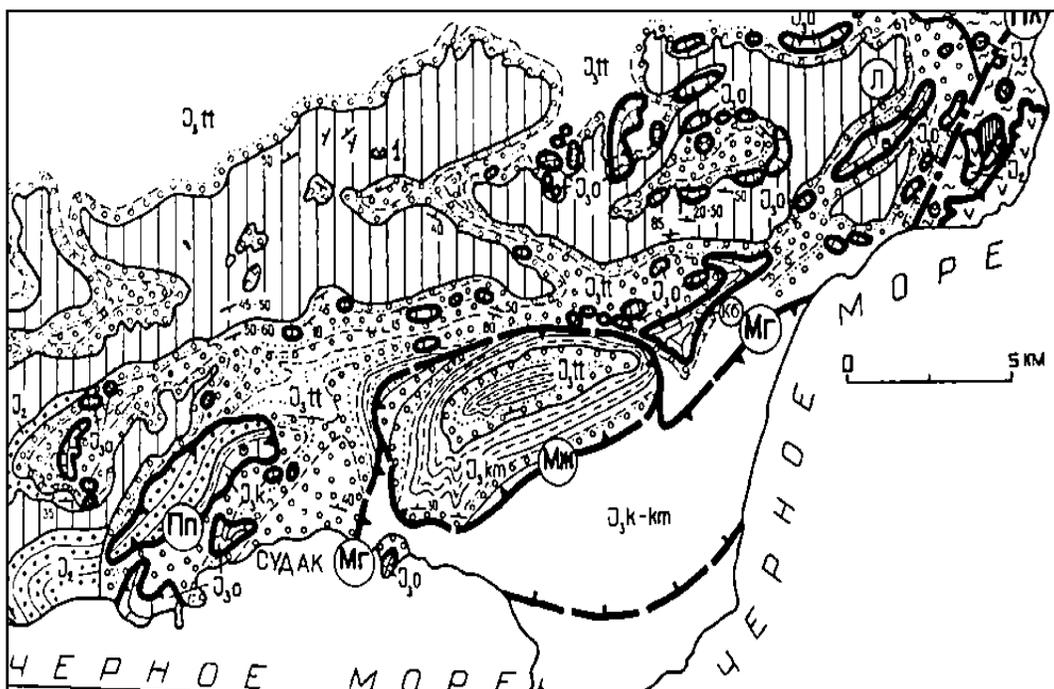


Рис. 3. Олистостромовый характер южной части пластины. Судакский район (по Казанцеву Ю.В., со ссылкой на Добровольскую Т.И., Сальман) [5]

где: 1 – выход вулканитов средней юры в тектоническом окне. Пп – Перчемский, Мж – Минджилкайский, Мг – Меганомский, Кб – Караобинский, Л – Легенерский покров, Пл – Планер.

К структурной геологии Крыма. Показало, что мезозойские и кайнозойские отложения платформенного типа равнинной части Крыма осложнены региональными надвигами, расчленяющими структуру на ряд широтно-вытянутых тектонических пластин, смятых в линейные и куполовидные складки. По характеру структурной геологии и особенностям формационного состава они приближаются к краевой зоне передового прогиба. По данным бурения подобные фации сохраняются здесь и в палеозое.

Майкопская зона в Предгорье Крыма и на территории Керченского полуострова имеет отчетливое чешуйчато-надвиговое строение. Выделенные здесь Тамбовский, Журавлинский, Феодосийский и Гончаровский аллохтоны прослеживаются в субширотном направлении на десятки километров.

Формационный состав слагающих Предкрымский прогиб образований типичен для передовых прогибов. Анализ встречающихся в Крыму породных ассоциаций показал, что, начиная с верхней части нижнего карбона и кончая неогеном, здесь существовали шельфовые условия накопления осадков. Последние представлены маломощными пачками терригенных и карбонатных пород, часть из которых присутствует в рифовых фациях. Наиболее полно шельфовые отложения изучены в пределах равнинной части Крыма. В горном Крыму такие породы обнажаются

лишь на отдельных участках, причем из них палеозойские, а частью и мезозойские слагают лишь изолированные глыбы и валуны, встречающиеся среди флиша мезозойских образований.

Типичные прогибные фации палеозойского возраста (рифовые, мелководные, депрессионные, флишевые и молассовые) располагались примерно в пределах тех же территориальных зон Предкрымского прогиба, что и мезокайнозойские. Они в постгерцинские геологические эпохи подверглись тектоническому разрушению и переотложению, так что в современном структурном плане часто встречаются в виде различных размеров глыб и клипов.

Основное содержание. Особенности строения разрывных и пликативных дислокаций показано Ю.В.Казанцевым на примере села Горностаевки, охватывающего Фонтановскую, Западно-Фонтановскую, Горностаевскую и Алексеевскую разведочные площади, расположенные в пределах Индоло-Кубанской части прогиба. На структурной карте, построенной по подошве олигоцена, выделяются Горностаевая, Фонтановская, Репьевская, Соколинская, Апагольская и восточная периклиналь Слюсаревской антиклинальнали. Связаны с надвигами: Горностаевским на севере (рис.5), на юге – Тамбовским.

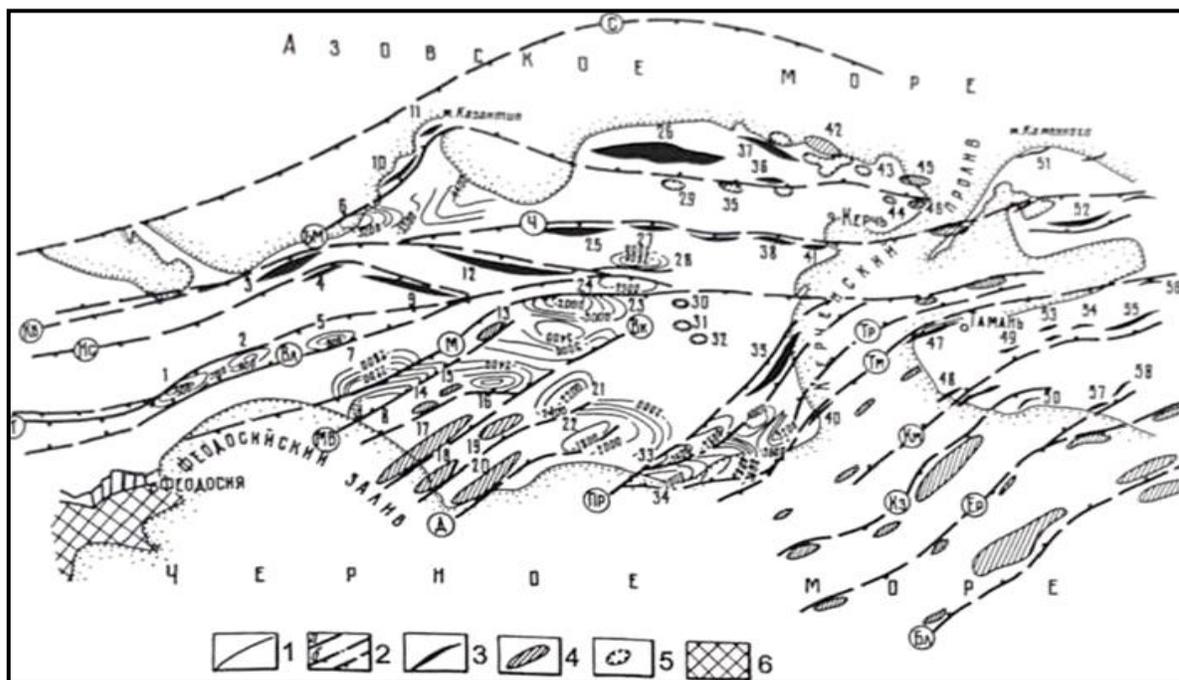


Рис. 4. Структурная карта Керченского полуострова

(по данным бурения и геолого-геофизических исследований объединений Крымморгеология и Южморгео),

где: 1 – изогипсы (в м) подошвы майкопской серии; 2 – надвиги, выявленные бурением (а), данными геофизических исследований (б) и предполагаемые (в); 3, 4 – антиклинальнали: 3 –

картируемые геологической съемкой, 4 - выявленные геофизическими исследованиями; 5 – диапировые структуры; 6 – аллохтон горного Крыма; 1 – 58 – названия антиклиналей

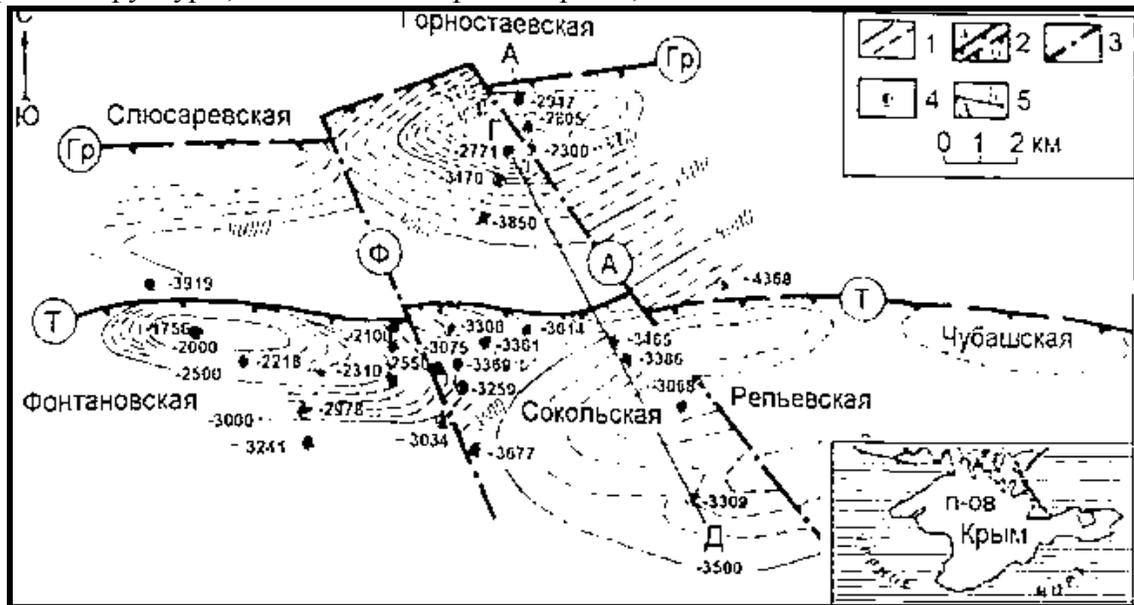


Рис. 5. Схема структуры района с Горностаевки

(по Казанцеву Ю.В., 1982; частично по Смирнову С.Е., 1997) [1, 6, 9],

где: 1 – изогипсы подошвы олигоцена (м); 2 - надвиги установленные (а) и предполагаемые (б): Гр – Горностаевский, Т – Тамбовский; 3 - сдвиги: А – Алексеевский, Ф – Фонтановский; 4 – скважины; 5 – линии разрезов.

Тамбовский надвиг на Фонтановской структуре обнаружен сейсморазведкой в 1975 г. Сейсмическими профилями, пройденными вкрест простирания складки, было отмечено смещение к северу пластов мела-палеоцена по разлому, наклоненному под углами 45-50° к югу [1]. Достоверность геофизических материалов, полученных при анализе территории, оказалась высокой. Бурением подтверждены размеры и общий контур антиклинали, залегание в ней всех маркирующих горизонтов мела, палеогена и неогена (рис. 6).

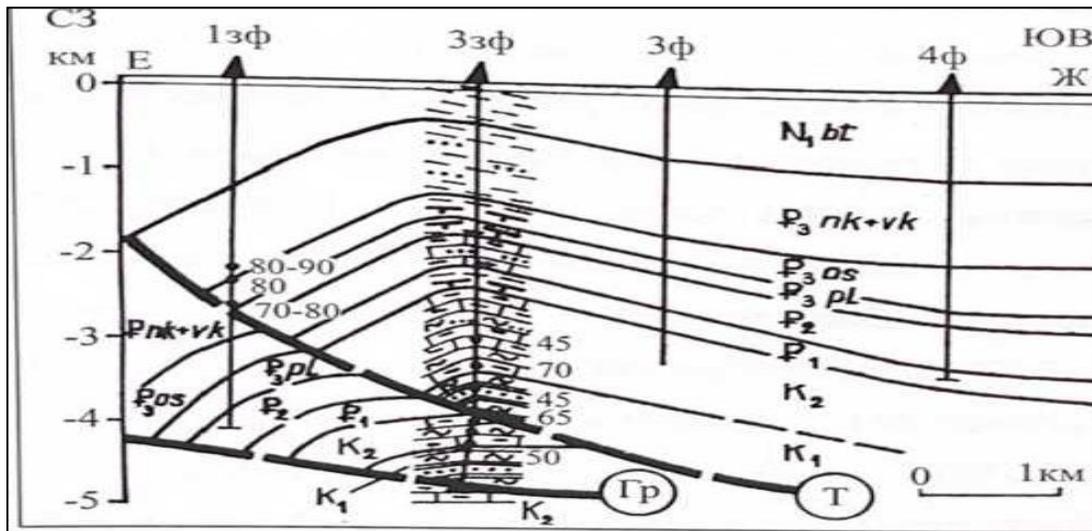


Рис. 6. Фонтановская антиклиналь

Фонтановская антиклиналь расположена в наиболее прогнутой Индоло-Кубанской части Майкопского прогиба. По подошве олигоцена (изогипса 2500 м) она вытянута в широтном направлении на 8,5 км. Имеет ширину 1,8 км и высоту около 800 м. Породы ее северного крыла падают под углами 50-60°, южного - 35-40°. По-видимому, глинистые толщи нижнего мела, олигоцена и нижнего миоцена в ядре структуры при тектонических движениях осложнялись дисгармонично по отношению к более жестким породам, т.е. были вовлечены в диапировую тектонику. В пределах Фонтановской антиклинали пробурен ряд скважин, подтвердивших Тамбовский надвиг. Сква. 3 Западно-Фонтановской площади до глубины 3910 м прошла сверху нижнемиоценовые (батисифоновый горизонт), олигоценовые (верхне- и нижне-керлеутский, остракодовый, планоробеловый горизонты), эоценовые, палеоценовые, верхне- и нижнемеловые отложения в нормальной стратиграфической последовательности, а ниже встретила палеонтологически охарактеризованные осадки верхнего мела, после чего повторился разрез нижней части верхнего и верхней части нижнего мела, примерно в тех же фациях» что и выше. С глубины 4858 м под нижнемеловыми туфогенно-осадочными породами скважина вновь обнаружила верхнемеловые мергели и известняки с фауной кампанского яруса, которые прослеживались затем до забоя (4900 м). То есть, сква. 3 на глубине 4858 м пересекла новый надвиг – Горностаевский, обнаруженный затем на Горностаевской антиклинали, расположенной севернее. В сква. 1 Западно-Фонтановской площади зона Тамбовского надвига вскрыта внутри толщи аргиллитов олигоцена. Скважина прошла нижнемиоценовые (0-1303 м), верхне- и нижнекерлеутские (1303-2402 м) и остракодовые (2402-2834 м) слои, а ниже, в

интервале 2834-2844 м, интенсивно перемятые тектонизированные аргиллиты. С глубины 3020 м вновь встречены глины, содержащие микрофауну остракодового горизонта, после чего скважина вошла в отложения планоробелового горизонта и остановлена в мергелях и аргиллитах эоцена. Таким образом, одновозрастные толщи олигоцена оказались надвинутыми друг на друга, чем и объясняется увеличенная в полтора раза их мощность по сравнению с мощностью в скважинах, расположенных рядом. В интервале 2300-2844 м надвинутые породы керлеутского и остракодового горизонтов интенсивно смяты и раздроблены, т.е. значительно более дислоцированы, чем расположенные ниже этого интервала, под надвигом. Слои по керну в аллохтоне имеют наклоны 70-90°, тогда как ниже глубины 2850 м приобретают более пологое залегание. По данным скважинам, погружение Тамбовского надвига ориентировано на юг под углом 40-45°.

Аналогичный угол наклона устанавливается, как уже отмечалось, данными сейсморазведки. Фонтановская структура осложнена сдвиговым нарушением, по которому восточная периклиналь оказалась смещенной на 0,5 км к северу и опущенной на 200 м по сравнению с западной частью. Назван он *Фонтановским*. Поверхность сдвига по данным сейсморазведки субвертикальная, либо очень круто (около 80°) наклонена на восток. В плане ее выход прослеживается в северо-западном направлении в виде отрезка прямой линии, ограниченной на севере Горностаевским надвигом. Фонтановская антиклинальная складка является типичной линейной ассиметричной (северное крыло наклонено круче южного) структурой. Такие антиклинали выделены во фронтальный тип складок и широко известны во многих краевых прогибах земного шара [1]. Для них установлена тесная генетическая зависимость морфологии от поведения надвиговой поверхности. Обнаружено также, что лобовые зоны надвигов по всей длине осложнены фронтальными антиклиналями. Потому и Тамбовский надвиг, так же, как и Горностаевский, сопровождается валом линейных структур, из которых закартированы Владиславовско-Фронтальная, Харченковская и Фонтановская. Восточнее и западнее Фонтановской, а также западнее Владиславовско-Фронтальной вдоль фронта Тамбовского надвига следует ожидать появления новых структур Тамбовского вала. Репьевская, очевидно, является первой из них, продолжающей вал к востоку от Фонтановской антиклинали. Она выделена геологической съемкой по отложениям среднего миоцена, слагающим ее крылья. В своде обнажены глины майкопской свиты олигоцена-нижнего миоцена. Структура вытянута с запада на восток на 4,5 при ширине около 2 км. Восточнее Репьевской намечается новая антиклиналь, названная Чубашской, имеющая, примерно, одинаковые с первой размеры. Обе структуры характеризуются линейной формой с крутыми северными и сравнительно пологими южными крыльями. Располагаются они вдоль фронта Тамбовского надвига, продолжение которого обнаружено здесь скв. 3 Горностаевской площади. Пройдя сверху до глубины 3 180 м толщу глин с

прослоями алевролитов и песчаников майкопской свиты вплоть до остракодовых слоев нижнего Майкопа, скважина в интервале 3202-3212 м обнаружила фаунистически охарактеризованные породы нижнекерлеутского горизонта среднего Майкопа, после чего вновь встретила остракодовые слои, подтвержденные фораминиферами. При этом мощность последних оказалась более 300 м, что выше, чем вскрытая в соседних скважинах. В 5-7 км севернее выделяется новый антиклинальный вал, представлений на рассматриваемой территории Слюсаревской и Горностаевской структурой. Развита она в лобовой части Горностаевого надвига, слагая фронт одноименной чешуи. Горностаевская антиклиналь имеет вытянутую в широтном направлении форму длиной 9, шириной 5 и высотой около 1 км. Стратиграфический разрез кайнозойских отложений в целом аналогичен Фонтановской площади, устанавливается лишь небольшое увеличение мощности остракодового и планоробелового горизонтов нижней части майкопской свиты. Верхнемеловые же породы оказываются, напротив, резко сокращенными в мощности. Последнее, однако, не вызвано выпадением части их разреза: по находкам фораминифер, определенных А.М. Волошиной, Л.И. Смирновой, М.А. Менкес и Л.М. Голубничей, здесь присутствуют все ярусы верхнего отдела. Горностаевский надвиг встречен скв. 4, пройденной на северном крыле антиклинали. Скважина сверху до глубины 3400 м прошла отложения Майкопа, эоцена и палеоцена в нормальной последовательности с выдержанными на большой площади мощностями стратиграфических подразделений, а на глубине 3450 м обнаружила слои палеоцена вновь начиная с его верхних горизонтов. При этом их мощность под надвигом оказалась увеличенной почти в 2 раза. Ниже пройдены верхнемеловые породы, а у забоя (4956 м), вероятно, вскрыты уже нижнемеловые. В интервале 3400-3450 м пласты пород смяты, раздроблены, частью перетерты и превращены в бесструктурную глинисто-песчаную массу. Именно с этого интервала определены фораминиферы смешанного эоценового и палеоценового возраста. Можно также отметить, что непосредственно ниже зоны нарушения ствол скважины резко искривился к северу. Видимо, долото в этом случае стремилось следовать вдоль напластования пород.

Геологический разрез Репьевской и Горностаевской антиклиналей (Казанцев Ю.В.) представлен на рисунке 7.

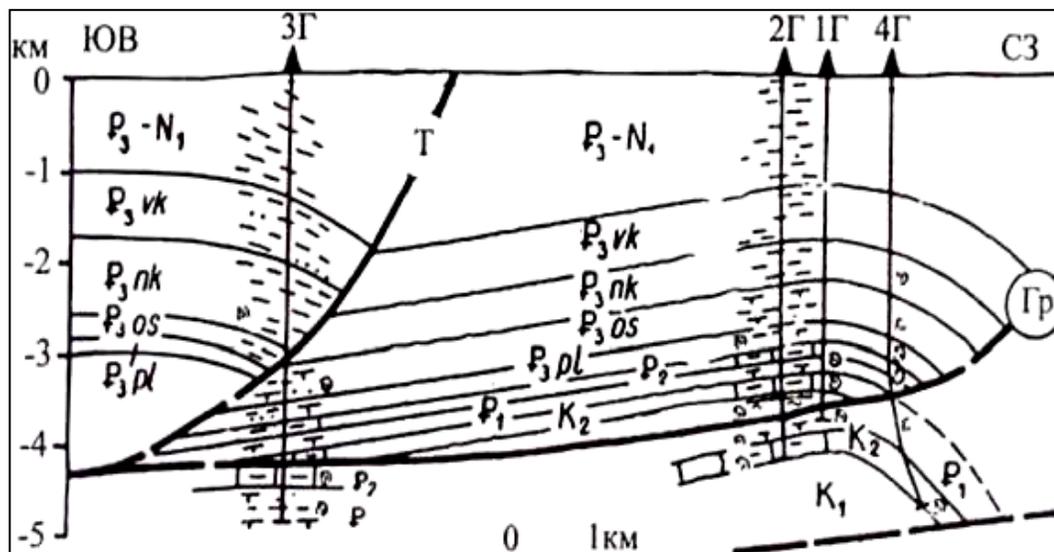


Рис. 7. Геологический разрез Репьевской и Горностаевской антиклиналей (Казанцев Ю.В.)

Забуренная в своде Горностаевской складки, Скв.1, прошла миоцен-олигоценые, эоценовые, палеоценовые и меловые (вплоть до альбских) отложения, а на глубине 3425 м встретила интенсивно дислоцированные образования, прослеживающиеся затем вниз на протяжении более 150 м. В последних встречены органические остатки палеоценового и нижнемелового возраста. В керне интервала 3459-3464 м обломки мергелей с иноцерамами верхнего мела (определения Л.М. Голубничей), свидетельствуют о механическом смешении в результате тектонических движений. Ниже нарушения и до забоя (3817 м) скважиной вскрыты палеоценовые отложения (рисунок 8). В скв. 2, расположенной на южном крыле структуры, зона Горностаевского надвига вскрыта в интервале 3730-3800 м, разделяющим альбские сверху и палеоценовые внизу слои. В перетертых и дробленых породах этого интервала найдена смесь фораминифер из эоценовых, палеоценовых, верхне- (различных ярусов) и нижнемеловых слоев (определения А.М. Волошиной).

Горностаевский надвиг под рассматриваемой антиклиналью имеет волнистую, полого (доли градуса) погружающуюся на юг поверхность. Анализ геологического строения на дневной поверхности и увязка его с данными на глубине по пробуренным скважинам позволяют предположить, что в лобовой части надвиг резко выкручивается, обнажаясь вдоль границы северного крыла антиклинали, то есть он оконтуривает Горностаевскую складку с севера, являясь одновременно границей раздела выходов отложений миоцена и нижнего плиоцена. На глубине 4-4,5 км Горностаевский надвиг установлен под Тамбовским валом складок. Он вскрыт здесь скв. 3г на глубине около 4300 м (ниже верхнемеловых встречены эоценовые, а затем палеоценовые породы), что свидетельствует о горизонтальном простирании (рис. 8.).

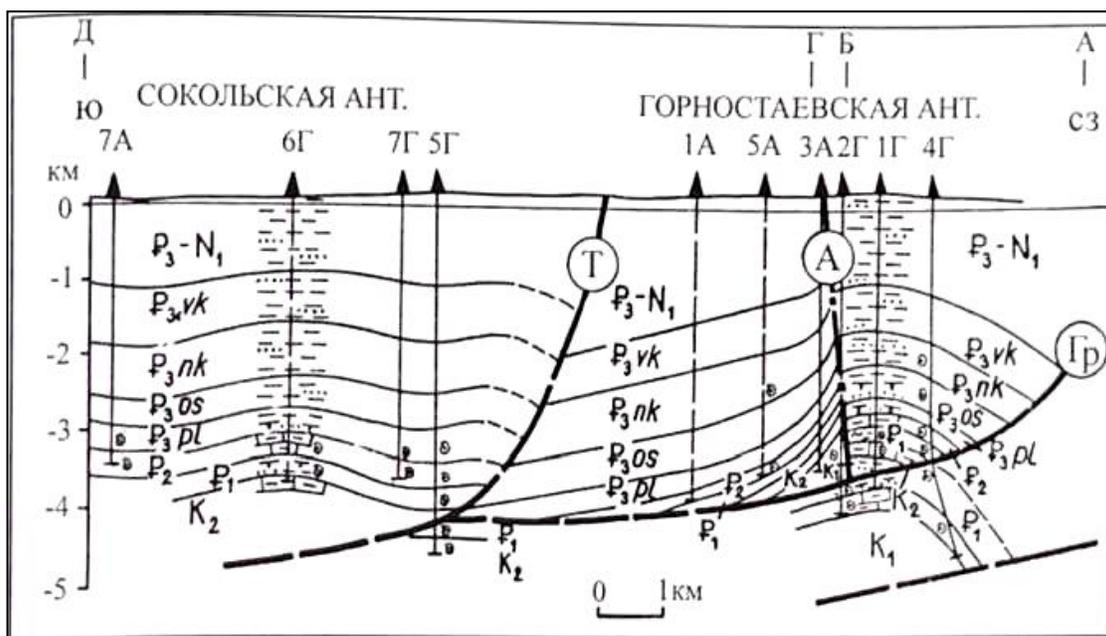


Рис. 8. Геологический разрез Сокольской антиклинали (см. рис. 5)

На серии геологических профилей видно, что на глубине Тамбовский надвиг сливается с Горностаевским, образуя единую поверхность срыва, которая объединяет Тамбовскую и Горностаевскую чешуи в более сложную структурную форму – Горностаевскую тектоническую пластину. Она осложнена двумя сдвигами: Фонтановским и Алексеевским, прослеживающимися в северо-западном направлении, под косым углом к простиранию структуры. Фонтановский из них охарактеризован выше при описании Фонтановской структуры. Отметим только, что на севере он не продолжается за пределы Горностаевского надвига, а ограничивается им. В плане он изучен на протяжении 10 км. Алексеевский сдвиг расположен в 4 км восточнее Фонтановского и параллельно ему выделен сейсморазведочными исследованиями, а затем подтвержден скв. 2г, вскрывшей нарушение в интервале 2780-2810 м. Скважина сверху прошла отложения верхнего,

среднего и нижнего Майкопа, а с глубины 2810 м, палеоцена, причем его самых нижних частей. Далее встречены верхне- и нижнемеловые породы. Выпадение из разреза эоценовых и частью палеоценовых слоев по скв. 2г обусловлено сдвиговым нарушением, с помощью которого западный блок оказался перемещенным на 600 м на север по отношению к восточному. В результате скважина, забурившаяся в восточном блоке, прошла зону нарушения и вошла в западный. При этом в первом она пересекла южное крыло Горностаевской антиклинали, а во втором – ее сводовую часть. Поверхность сместителя сдвига, обрывающегося на глубине Горностаевским надвигом, наклонена на северо-восток под углом 85°. Заканчивая характеристику Горностаевской аллохтонной структуры, следует отметить смятие пород и под ней. Это позволяет высказать предположение о существовании на глубине 5 км новой надвиговой дислокации, подстилающей рассмотренную. Аналогично построен Журавлинский покров на Керченском полуострове у феодосийского залива. Рассматривается строение территории, охватывающей Андреевскую и Мошкаревскую разведочные площади, расположенные в пределах равнинной области юго-запада Керченского полуострова. Сейсморазведочными исследованиями здесь выявлены и подтверждены бурением две антиклинальные складки: Андреевская и Мошкаревская (рис. 9.).

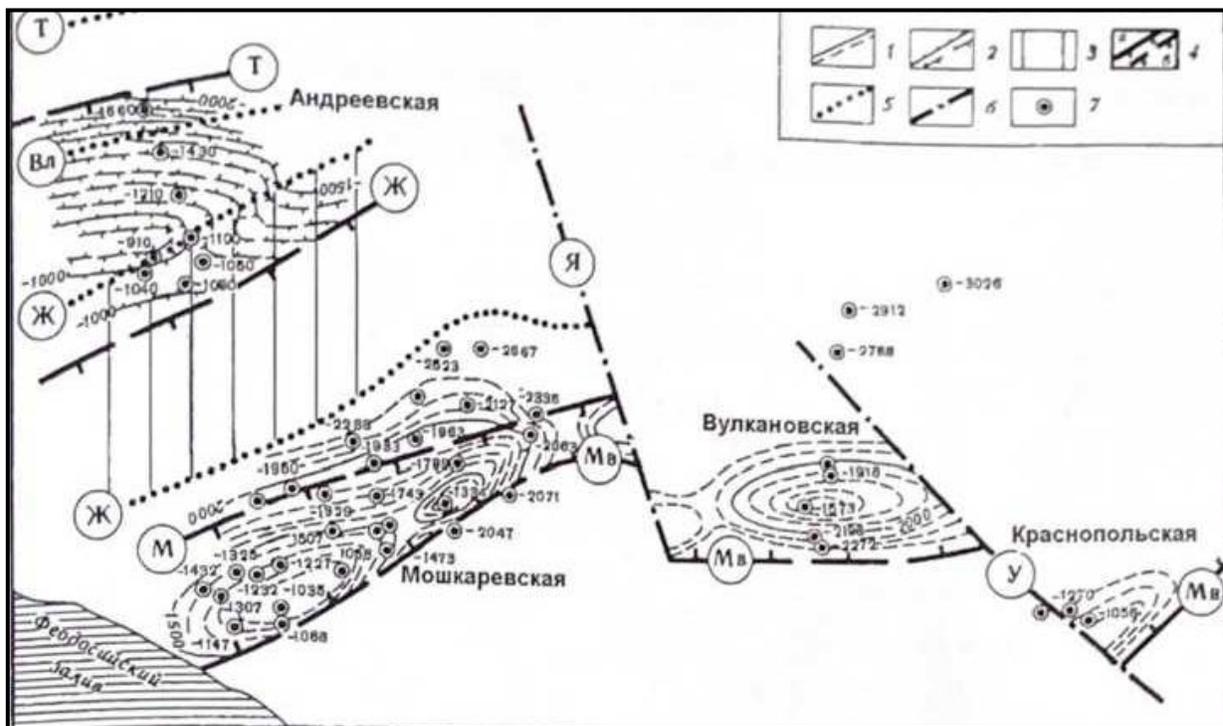


Рис. 9. Схема структуры района Андреевско-Мошкаревских складок [1]

где: 1 - изогипсы подошвы олигоцена (м); 2 - изогипсы псаммитовых пачек керле- утского горизонта (в м); 3 - область Журавлинского покрова; 4 - надвиги установленные (а) и предполагаемые (б): Т- Тамбовский, Вл - Владиславовский, Ж - Журавлинский, М -

Мошкаревский, МВ - Мошкаревский встречный; 5 - выходы надвигов на дневной поверхности; 6 - сдвиги: Я - Ярковский, У - Узунларский; 7 - скважины; 8 - линия разреза.

Мошкаревская антиклиналь по подошве олигоцена вытянута с юго-запада на северо-восток почти на 13 км, имеет ширину 2-3 км и высоту более 300 м. Ее крылья симметричны и падают под углами 22-26°. Мошкаревский надвиг, с которым связана структура, обнаружен скважинами.

Заметим, что для полуострова чрезвычайно характерно присутствие сдвиговых дислокаций. Многие из них малоамплитудные, как, например в Мошкаревской антиклинали. Но есть сдвиги, смещение по которым измеряется километрами. Порой они настолько осложняют пликативные формы, что трудным бывает найти их концы, чтобы увязать друг с другом. Однако, для нефтеразведчиков это крайне необходимо, так как антиклинальные формы являются ловушками скоплений углеводородов и, следовательно, объектами прямых поисков. Аналогичным образом в предгорье Крыма, к северу от Белогорска и Феодосии, построены Тамбовские и Феодосийские дислокации (рис. 10).

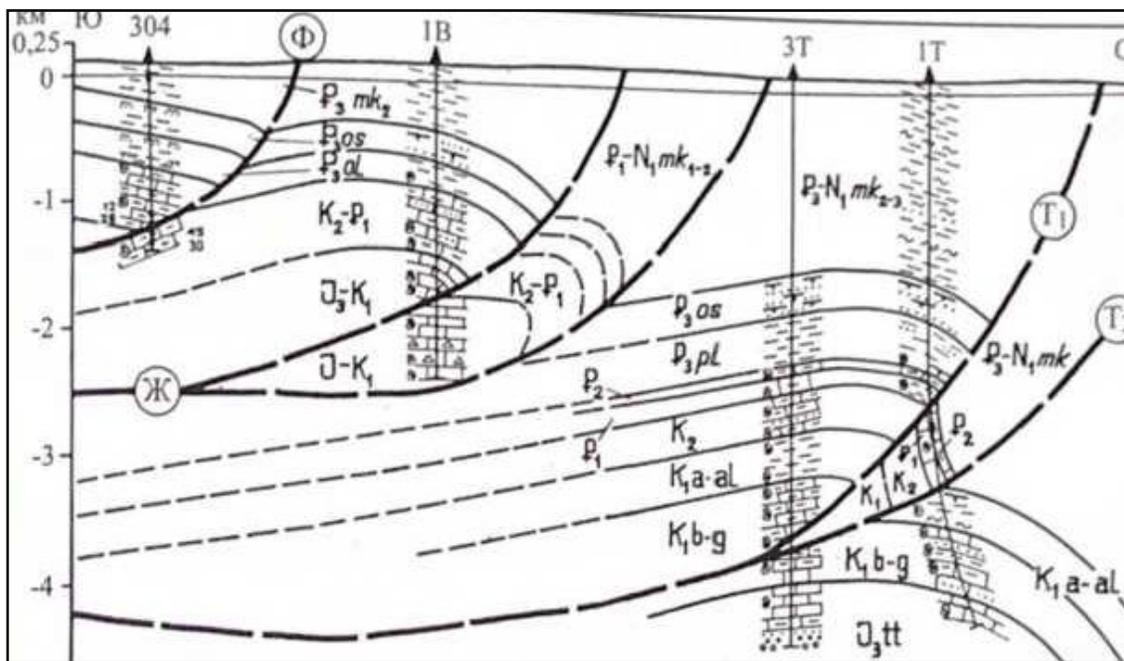


Рис. 10. Геологический разрез по скважинам Тамбовской и Предгориенской площади

К особенностям тектоники Горного Крыма. В архитектурном ансамбле горного сооружения Крыма хорошо проявлена доминирующая роль пластинчатых тел, располагающихся закономерно друг над другом. Эти геологические тела, разграниченные поверхностями надвигов, являются теми структурными формами, совокупность которых создает каркас складчатой области Крыма [2].

Первоначальными ячейками оставались тектонические пластины, как созданные в начале всего процесса, так и возникающие в конце каждого из них (рис. 11).

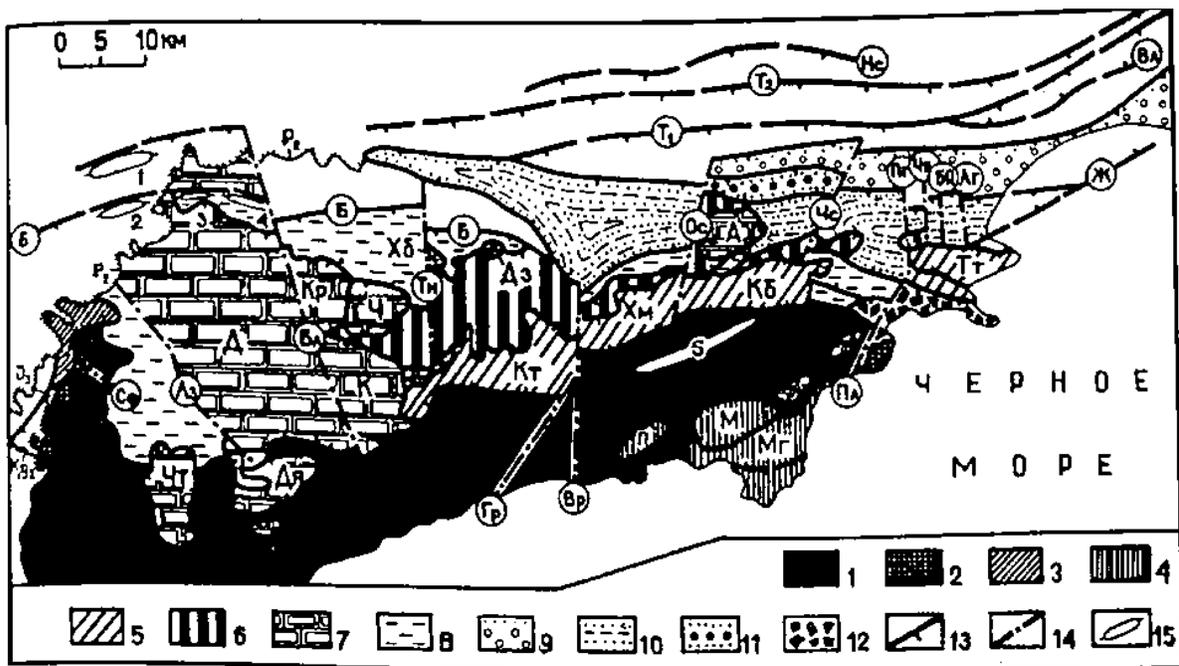


Рис. 11. Тектоническая схема Горного Крыма
(по Ю.В. Казанцеву и Т.Т.Казанцевой) [3],

где: 1 - Алуштинско-Щебетовская пластина; 2 - Карадагская пластина, 3 - Строгановский покров; 4 - Меганомская группа покровов (М - Манджилкайский, Мг - Меганомский, И - Перчемский); 5 - Ортасыртский покров (аллохтонные структуры: Кт - Караултепенская, Хи - Камбалская, Кб - Карабурунская, Ит - Тетеобинская); 6 - Белогорско-Старокрымская пластина; 7 - покровы Крымских яйл, сложенные преимущественно верхнегорскими известняками (Чт - Чатырдагский, Д - Долгоруковский, Кр - Караобинский, К - Карабиялинский, Ч - Чомбайский, Хб - Халычбурукский, Дз - Дозорный, А - Агармышский); 8 - Зуйско-Салгирская пластина; 9-11 - тектонические покровы предгорий Крыма (9 - Журавлинский, 10 - Феодосийский, 11 - Гончаровский); 12 - зоны тектонитов; 13 - надвиги (Б - Белогорский, Нс - Насырский, Т, и Т2 - Тамбовские, Вл - Владиславовский, Ж - Журавлинский); 14 - сдвиги (Лз - Лазаревский, Бл - Балкинский, Тн - Тонасский, Гр - Громовский, Вр - Воронский, Ос - Ос-манчикский, Чс - Чуруксуйский; Пг - Подгорновский, Пл - Планерский, Чя - Чернойарский, Бя - Белоярский, Лг - Лысогорский, Сф - Симферопольский); 15 - антиклинальные складки (1 - Давыдовская, 2 - Краснокрымская, 3 - Дмитровская, 4 - Масличная, 5 - Чокаташская)

Среди перечисленных отметим два покрова. В Алуштинско-Щебетовской пластине структура представлена пликативными дислокациями, более сложными в породах верхнего триаса – нижней юры, чем в средне- и верхнеюрских породах. В Чатырдагском покрове (рис. 12) показан геологический разрез и через Зуйско-Салгирскую пластину, и Строгановский покров. Породы здесь значительно

дислоцированы, нарушены продольными надвигами и субпоперечными сдвигами и смяты в складки различной амплитуды перемещения.

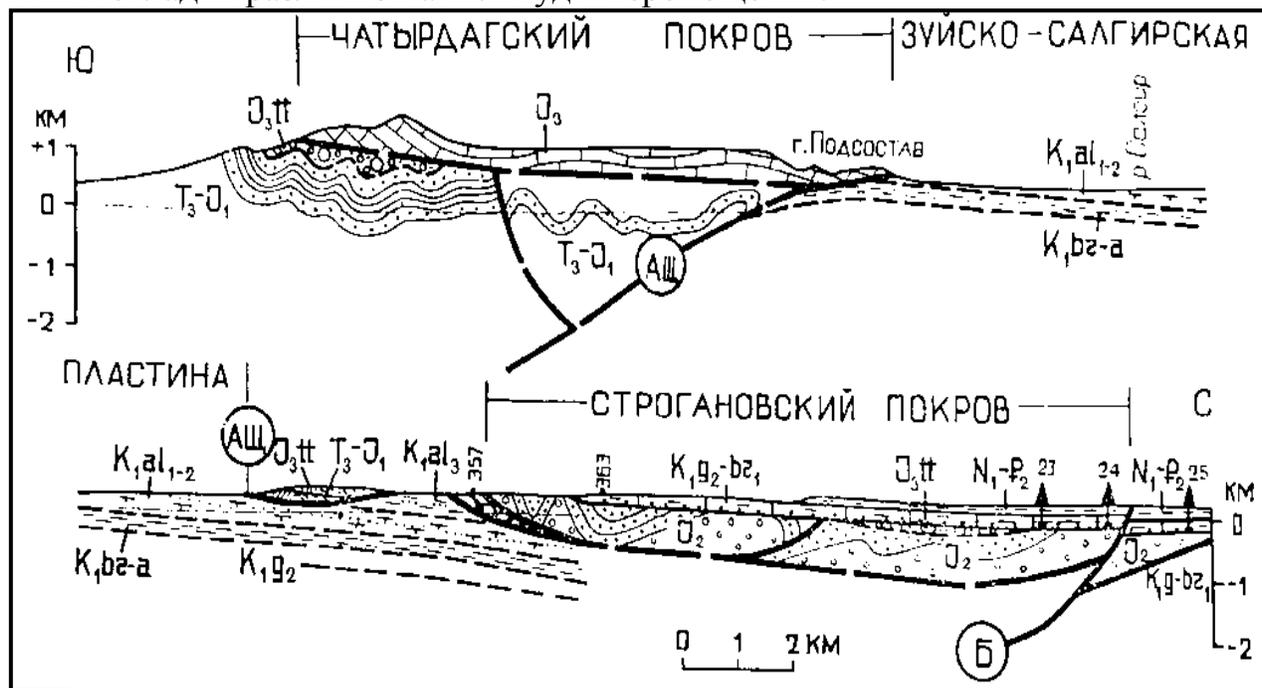


Рис. 12. Схематический геологический разрез через Чатырдагский покров

Выводы. 1. Майкопская краевая зона в Предгорье Крыма и на территории Керченского полуострова имеет отчетливое чешуйчато-надвиговое строение. Выделенные здесь Тамбовский, Журавлинский, Феодосийский и Гончаровский аллохтоны прослеживаются в субширотном направлении на многие десятки километров [10, 11, 12, 13]. 2. Формационный состав слагающих Предкрымский прогиб образований типичен для передовых прогибов. [14, 15, 16] 3. Ни одна скважина из числа пробуренных в Предгорье или на Керченском полуострове не обнаружила на глубине флишевые и субфлишевые формации юры и нижнего мела, слагающие аллохтоны Крымской складчатой области. 4. Перспективы нефтегазоносности Крыма Ю.В. Казанцев рассматривал в «Тектонике и нефтегазоносность», 2008 г. [7] и «Тектоника Крыма» 1982 г [1, 17, 18]. Уже в 2012 году И.А. Гусарова, А.А. Сагдеева и Е.Н. Парфирьева опубликовали материал о перспективах освоения нефтегазовых ресурсов Крыма, где привели много примеров развития нефтегазогенерирующих сланцевых толщ в пределах Майкопского краевого прогиба. Этот материал анализировался нами при изучении нефтегазоносности региона.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Казанцев Ю.В. Тектоника Крыма. М., 1982. 112 с.
2. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Аржавитина М.Ю., Аржавитин П.В., Бехер Н.И. Терехов А.А., Попович С.В. Структурная геология Горного Крыма. Уфа Башкирский научный центр. Уральское Отделение, АН СССР, 1989. 152 с.
3. Казанцева Т. Т., Казанцев Ю. В. Научный отчет по теме 2007-2009. Закономерности строения и развития краевых прогибов Восточно-Европейской платформы. Уфа, 2009. 283 с.
4. Яншин А.Л. Взгляды А.Д. Архангельского на характер юго-восточного обрамления Русской платформы /Вопросы литологии и стратиграфии СССР. М., 1951. С. 253-328.
5. Добровольская Т.И., Сальман Г.Б. О готерив-барремских конгломератах восточного Крыма// Доклады АН СССР.1960. 133 № 6. С.1405-1408
6. Смирнов С.Е., Попадюк И.В. Проблема возраста таврической серии Крыма. В сб.: Геодинамика Крымско-Черноморского региона. Симферополь, 1997. С. 3.
7. Казанцев Ю.В. Краевые прогибы. Структура, тектонические формы и районирование. Тектоника и нефтегазоносность. Уфа: Гилем, 2008. №13. С. 43-57.
8. Гарецкий Р.Г., Шлизенгер А.Е., Яншин А.Л. Глубинное строение района Южно-Эмбенского гравитационного максимума в свете новейших геологических и геофизических данных /Геология и нефтегазоносность восточной части Прикаспийской впадины и её обрамлений. М.: Гостоптехиздат, 1962. С. 299-307.
9. Попадюк И.В., Смирнов С.Е. Крымский ороген: покровная интерпретация. В сб. Геодинамика Крымско-Черноморского региона, Симферополь, 1997. С. 27–30.
10. Муратов М.В., Бондаренко В.Г., Плахотный Л.Г., Черняк Н.И. Строение складчатого основания равнинного Крыма //Геотектоника. № 4. 1968. С. 54-64.
11. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАЙПИ, Министерство образования и науки Украинский государственный Институт, 2011. С.36.
12. Юдин В.В. К дискуссии о тектонике Крыма. Бюлл. МОИП. Отд. Геологии, 1999. Т. 74. Выпуск 6. С. 52-58.
13. Милановский Е.Е. Геология СССР. Ч. 1. М.: МГУ, 1987. 416 с.

14. Хаин В.Е., Попков В.И., Юдин В.В., Чехович П.А. Основные этапы тектонического развития Черноморско-Каспийского региона // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2006. №2. С.98-106.
15. Хаин В.Е., Попков В.И., Юдин В.В. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской. платформы (Объяснит. записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. М- 1: 2500000). Под ред. В.Е. Хаина. Краснодар: РАН ГИН, Кубанский государственный университет, 2009. 213 с.
16. Попков В.И. Складчато-надвиговые дислокации в осадочном чехле Азовского моря //Геотектоника. 2009. №4. С. 84-93.
17. Казанцев Ю.В. Складчато-надвиговые структуры равнинного Крыма. Уфа, 1979. 59 с.
- 18.Казанцев Ю.В. Аллохтонные структуры горного Крыма и перспективы нефтегазоносности Крымского полуострова. Уфа 1979. 47 с.

R E F E R E N C E S

1. Kazantsev Yu.V. Tectonics of Crimea. M., 1982. 112 p.
2. Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T., Arzhavitina M.Yu., Arzhavitin P.V., Bekher N.I. Terekhov A.A., Popovich S.V. Structural geology of the Crimean Mountains. Ufa Bashkir Scientific Center. Ural Branch, USSR Academy of Sciences, 1989. 152 p.
3. Kazantseva T. T., Kazantsev Yu. V. Scientific report on the topic 2007-2009. Regularities of the structure and development of marginal troughs of the East European Platform. Ufa, 2009. 283 p.
4. Yanshin A.L. Views of A.D. Arkhangelsky on the nature of the southeastern framing of the Russian Platform / Issues of lithology and stratigraphy of the USSR. M., 1951. Pp. 253-328.
5. Dobrovolskaya T.I., Salman G.B. About the Hauterivian-Barremian conglomerates of the eastern Crimea // Reports of the USSR Academy of Sciences. 1960. 133 No. 6. Pp.1405-1408
6. Smirnov S.E., Popadyuk I.V. The problem of the age of the Tauride series of Crimea. In: Geodynamics of the Crimean-Black Sea region. Simferopol, 1997. P. 3.
7. Kazantsev Yu.V. Edge deflections. Structure, tectonic forms and zoning. Tectonics and oil and gas potential. Ufa: Gilem, 2008. No. 13. Pp. 43-57.
8. Garetsky R.G., Shlizenger A.E., Yanshin A.L. Deep structure of the region of the South Emba gravity maximum in the light of the latest geological and geophysical data / Geology and oil and gas potential of the eastern part of the

- Caspian depression and its surroundings. M.: Gostoptekhizdat, 1962. Pp. 299-307.
9. Popadyuk I.V., Smirnov S.E. Crimean orogen: nappe interpretation. On Sat. Geodynamics of the Crimean-Black Sea region, Simferopol, 1997. Pp. 27–30.
 10. Muratov M.V., Bondarenko V.G., Plakhotny L.G., Chernyak N.I. The structure of the folded base of the Crimean plain // Geotectonics. No. 4. 1968. Pp. 54-64.
 11. Yudin V.V. Geodynamics of Crimea. Simferopol: DIAIP, Ministry of Education and Science Ukrainian State Institute, 2011. P.36.
 12. Yudin V.V. To the discussion about the tectonics of Crimea. Bulletin MOIP. Dept. Geology, 1999. T. 74. Issue 6. Pp. 52-58.
 13. Milanovsky E.E. Geology of the USSR. Part 1. M.: MSU, 1987. 416 p.
 14. Khain V.E., Popkov V.I., Yudin V.V., Chekhovich P.A. The main stages of tectonic development of the Black Sea-Caspian region // Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation. 2006. No. 2. Pp. 98-106.
 15. Khain V.E., Popkov V.I., Yudin V.V. Tectonics of the southern framing of the East European. platforms (Explanatory note to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. M-1: 2500000). Ed. V.E. Khaina. Krasnodar: RAS GIN, Kuban State University, 2009. 213 p.
 16. Popkov V.I. Fold-thrust dislocations in the sedimentary cover of the Sea of Azov // Geotectonics. 2009. No. 4. Pp. 84-93.
 17. Kazantsev Yu.V. Fold-thrust structures of the Crimean plain. Ufa, 1979. 59 p.
 18. Kazantsev Yu.V. Allochthonous structures of the mountainous Crimea and prospects for oil and gas content of the Crimean Peninsula. Ufa 1979. 47 p.

Сведения об авторах:

Казанцева Тамара Тимофеевна, доктор геолого-минералогических наук, академик Академии наук Республики Башкортостан, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН, 450006, Уфа, Российская Федерация. ORCID ID: 0000-0002-9227-9218. E-mail: tt.kazantseva@gmail.com.

Author's personal details

Kazantseva Tamara Timofeevna, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Chief Researcher, Institute of Geology, UFRC RAS, 450006, Ufa, Russian Federation. ORCID ID: 0000-0002-9227-9218. E-mail: tt.kazantseva@gmail.com.

© Казанцева Т.Т.

DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-41-62

УДК 553.9(591)

**МЬЯНМА: ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ
НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДА БАСЕЙНА РYAY (PROME)
ЕМБАУМЕНТ**

© **Масагутов Рим Хакимович**

ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан»; АО НПФ «Геофизика»
г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье кратко изложены по ранее опубликованным работам основные сведения о современном геологическом строении крупных тектонических элементов Мьянмы: Индо-Бирманской (Араканской) складчатой системы, Иравадийского центрального пояса и плато Шан. Иравадийский центральный пояс представляет крупнейший осадочный бассейн, выполненный, преимущественно, песчаными и глинистыми формациями третичного возраста, толщиной около 10 км в осевой зоне. Он имеет субмеридиональную ориентировку и протяженность около 1300 км. Пояс на всем своем протяжении отделяется от соседних тектонических элементов сбросо-надвигами. С привлечением новых данных, приведены сведения по литологии и их условиям образования по бассейну Рyay (Prome) Embayment, расположенного в средней, слабоизученной части Центрального Бирманского Пояса. Определенный интерес в отношении оценки перспектив нефтегазоносности западной части бассейна имеют результаты хроматографического изучения пробы нефти, отобранной в одной кустарной скважине, пробуренной недалеко от скважины ВОС. Проба нефти ниже будет фигурировать под названием нефть района ВОС. Сопоставление результатов интерпретации полученных хроматографических параметров по методике, предложенной зарубежными исследователями Конноном Дж. и Кессоу К. с уже имеющимися по открытым месторождениям показало, что органическое вещество, из которого образовалась нефть района ВОС, сходна по типу, палеогеографическим условиям захоронения в осадочных породах и степени катагенетического преобразования в углеводороды, с органическим веществом нефтегазоконденсатного месторождения Htantabin (Хтантабин). В районе отобранной и проанализированной нефти ранее проведенными гравиметрическими съемками были выявлены две крупные аномалии, которые могут соответствовать на глубине рифовым массивам, обладающими хорошими коллекторскими свойствами. Таким образом, проведенный анализ и обобщение старых и новых геолого-геофизических материалов позволил сделать вывод о возможном открытии новых месторождений углеводородов на западе рассматриваемого бассейна.

Ключевые слова: складчатая система, пояс, плато, формация, коллектор, нефть, месторождение, хроматограмма, пристан, фитан, съемка, перспективы.

**MYANMAR: UNDERSTANDING OF THE GEOLOGY AND PROSPECTS OF OIL
AND GAS POTENTIAL IN THE WEST OF THE PYAY (PROME) EMBAYMENT
BASIN**

© **Masagutov Rim Khakimovich**

GBNU "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan";
Joint Stock Company "Scientific and Production Company «Geofizika»,
Ufa, Russian Federation

Summary. Based on previously published works, the article briefly outlines the basic information about the modern geological structure of large tectonic elements of Myanmar: the Indo-Burman (Arakan) folded system, the Irrawaddy central belt and the Shan plateau. The Irrawaddy central belt represents the largest sedimentary basin, made mainly of sand and clay formations of the Tertiary age, about 10 km thick in the axial zone. It has a submeridional orientation and a length of about 1300 km. The belt along its entire length is separated from neighboring tectonic elements by fault-thrusts. With the involvement of new data, information is given on lithology and their formation conditions for the Pyay (Prome) Embayment basin, located in the middle, poorly studied part of the Central Burmese Belt. Of particular interest in assessing the prospects for oil and gas potential in the western part of the basin are the results of a chromatographic study of an oil sample taken in one artisanal well drilled near the WTP well. The oil sample below will appear under the name WTP area oil. Comparison of the results of the interpretation of the obtained chromatographic parameters according to the method proposed by foreign researchers Connon J. and Kessow K. with those already available for open deposits showed that the organic matter from which the oil of the VOS region was formed is similar in type, paleogeographic conditions burials in sedimentary rocks and the degree of catagenetic transformation into hydrocarbons, with organic matter of the Htantabin oil and gas condensate field. In the area of the sampled and analyzed oil, earlier gravity surveys revealed two large anomalies that may correspond at depth to reef massifs with good reservoir properties. Thus, the analysis and generalization of old and new geological and geophysical materials made it possible to draw a conclusion about the possible discovery of new hydrocarbon deposits in the west of the considered basin.

Key words: folded system, belt, plateau, formation, reservoir, oil, field, chromatogram, wharf, phytane, survey, perspectives.

Введение. Современное тектоническое строение Республики Союз Мьянма, расположенной на востоке Альпийско-Гималайского подвижного пояса, в которую входят Индийская плита, микроплита Бирмы и плато Шан (Сино-Бирманский массив или Бирманское Нагорье), сформировались в результате длительного развития и характеризуется весьма сложным строением [1; 2; 3; 4 и др.]. На западе континентальной части республики, с запада на восток, выделяются Индо-Бирманская (Араканская) складчатая система, затем (Иравадийский центральный пояс) и плато Шан. Ниже приведена их краткая характеристика.

Основные сведения по крупным тектоническим элементам Мьянмы. Индо-Бирманская (Араканская) складчатая система длиной более 1300 км и шириной, достигающей до 100 и более километров, сформировалась при продвижении Индийской плиты под Бирманскую и представляет аккреционную призму из верхнемеловых и палеогеновых отложений, включающих фрагменты древней океанической коры, интенсивно затронутых надвигами, нарушенными продольными и поперечными нарушениями. В рельефе земной поверхности они выражены горами Лита, Чин и хребтом Аракан – Йома, последний южнее переходит в цепочку островов в Андаманском море. С востока складчатая система на всем своем протяжении отделяется от Центрального Бирманского Третичного Пояса крупным разломом Sagaing.

Центральный Бирманский Пояс – это впадина шириной от 80 до 200 км, расположенная между Индо-Бирманской складчатой системы и плато Шан, выполненная терригенными осадками позднего мела и эоцен-плейстоцена толщиной до 10 км, лежащими на метаморфических и вулканических породах мелового возраста. В поперечном сечении имеет асимметричное строение, наиболее глубокая часть ее смещена на запад. По длинной оси пояс погружается в южном направлении и на юге открывается в Андаманское море. Субмеридиональной прерывистой грядой вулканов Monywa, Pora, Myenettaung и We (Central Volcanic Arc) он делится на западную (преддуговую) и восточную (задуговую) части, выраженных в дневном ландшафте. Вулканическая гряда маркирует положение зоны Бенъофа-Заварицкого. В западной части Пояса с севера на юг выделено 5 бассейнов, Hukawng, Chindwing, Salin, Pyau (Prome) Embayment и Ayearwady Delta, восточной, 2, Shwebo и Bago Yoma. Узловые моменты геодинамического развития бассейнов и его роли в формировании современного структурного плана [5].

Плато Шан, это блок земной коры, возвышающийся над Иравадийским центральным поясом по разлому Shan Scarp, представляющим собой 600 метровый сбросо-сдвиг и по которому проходит граница между ними. По сбросовой составляющей дизъюнктива плато смещается относительно центрального пояса в северном направлении и в настоящее время является причиной возникновения землетрясений, происходящих в этой части Мьянмы. Сложен архей-кембрийскими ортогнейсами с прослоями сланцев, кварцитов, поверх которых залегают карбонаты осадочного чехла.

Литология, стратиграфия, обстановки и условия формирования осадочного чехла бассейна Pyau (Prome) Embayment. Первоначальная информация по литологии и стратиграфии бассейна Pyau (Prome) Embayment, как и всего Центрального Бирманского Третичного Пояса, была получена при изучении вещественного состава, возраста и других параметров выведенных на дневную поверхность пород. Уточнение и пополнение ее проходило по мере получения новых результатов по горным выработкам, а также геохимическим и другим видам съемок. Полученная информация, удовлетворительная до формации Okhmintaung верхнего эоцена осадочного чехла, недостаточна по нижним и поэтому по ним не определены толщины и не проведено более подробное расчленению отложений нижнего и среднего эоцена. Также не выделены в них потенциально нефтегазоносные комплексы, несмотря на присутствие в их разрезе песчаных коллекторов и глинистых покрышек. Остались под вопросом выделение нефтегазоносных комплексов и в олигоцене (рисунок 1).

Согласно фондовым источникам и опубликованных работ в основании осадочного разреза бассейна залегает кристаллический фундамент среднего мела, сложенный ультраосновными магматическими породами и серпентинитами темно-зелеными и зеленоватыми. Верхнемеловые породы занимают по толщине незначительную часть осадочной толщи. Из-за более длительного перерыва и размыва отложений в верхней части осадочного чехла северо-западной части бассейна Руау (Prome) Embayment, разрез его юго-востока отличается большей стратиграфической полнотой и толщиной.

Верхнемеловые отложения с перерывом залегают на фундамент. Они, выведенные в западной части бассейна на поверхность вдоль подножья хребта Аракан-Йома Индо-Бирманской складчатой системы и изученные при проведении геологических съемок, представлены известняками светло-серыми до серых, очень крепкими, мелкокристаллическими, с хорошо выраженной слоистостью по 10-15 см, фораминиферовыми, с руководящими формами *Helgerella* sp. Полости раковин заполнены шпатовидным кальцитом. Фораминиферовые известняки формировались в обстановке теплого моря. Перекрыты аргиллитами, с прослоями песчаника, которые отлагались в прибрежных условиях этого же моря, так как содержат аналогичные формы фораминифер.

Нижнеэоценовые образования, нерасчлененные на формации, с перерывом ложатся на меловые. Перерыв диагностируется по наличию в ее подошвенной части эоцена прослоя конгломератов, на 80% состоящих из окатанных и полуокатанных кварцевых галек размерностью от 2 мм до 15 см, заключенных в коричневатый песчаный матрикс. Поверх них залегают песчаники беловато-серые до светло-серых, крепкие, тонко- до мелкозернистых, со знаками волновой ряби, с явно выраженной слоистостью от 0,6 до 1,2 м, затем аргиллиты темно-серые, местами рыхлые, песчаные, хрупкие, с узловатой текстурой, с высоким содержанием углеродистого вещества вдоль плоскостей напластования. Они сформировались после вывода в конце верхнего мела территории на поверхность с континентальной обстановкой осадконакопления.

Среднеэоценовая толща, также нерасчлененная, согласно залегает на нижнеэоценовой и представлена двумя пачками. Нижняя пачка состоит из голубовато-серых песчаных глин с высоким содержанием углеродистого вещества вдоль плоскостей напластования. Верхняя пачка состоит из желтовато-коричневого, крепкого, мелко- до среднезернистого тонкослоистого песчаника со следами волновой ряби и диагональным напластованием. Глины предположительно откладывались в мелководно морской обстановке, на что указывают фораминиферовые сообщества Nonions, а косая слоистость песчаников указывает на иные условия осадконакопления, скорее всего на прибрежные.

Верхнеэоценовые отложения (формация Yaw-Pondaung) сложены преимущественно аргиллитами и глинами светло- и зеленовато-серыми, пластичными, тонкослоистыми, с многочисленными включениями углеродистого вещества, ожелезненными. Содержание в них Сорг. достигает по результатам геохимических исследований до 1,19% [18]. Ожелезнение и высокое содержание С орг. указывает на образование аргиллитов и глин в условиях болот и маршей. Перекрывающие терригенные отложения органогенные известняки от беловатого до розоватого цвета, крепкие, с хорошо выраженной слоистостью (0,6 – 1,50 м). В них содержится обильная фауна *Discocyclusina* sp. и *Oreoculina* sp., свидетельствующая об отложении их мелком и теплом море, куда не приносился терригенный материал. Верхняя граница известняков рассматривается в качестве литологического репера и является кровлей формации Pondaung.

Нижнеолигоценовые породы (формация Kyaukpon/Shwezetaw), представленные песчаниками с прослоями глины песчанистой, согласно залегают на верхнеэоценовых породах. Песчаники темно-серые, при выветривании становятся сине-серыми, крепкие, мелко- до среднезернистых, тонкослоистые и массивные. Глины песчанистые зеленовато-серые, темно-серые, пластичные, с узловатой текстурой, алевритистые, слюдистые, с содержанием углефицированных остатков, с буро-серыми сидеритовыми конкрециями. В них определены фораминиферы ассоциаций *Cibicides*, *Bolivina*, *Vagina* и др., которые свидетельствуют о более глубокой внутренней неритовой обстановке в существовавшем в это время море.

Среднеолигоценовая формация Tiyo/Padaung к северу от широты, проходящей примерно через середину месторождения Pyau (Prome Hills), подразделяется на две толщи, нижнюю глинистую и верхнюю, слоистую. Южнее ее она полностью глинистая. Глинистая толща обеих типов разреза сложена глинами темно-серыми и темно-зелеными, мягкими, с узловатой текстурой, песчанистыми и с линзами текстур «конус в конусе», с включениями мергеля. Они чередуются с песчаниками светло-серыми, крепкими, тонкозернистыми, тонкослоистыми (5-20 см), известковистыми, ожелезненными, слабо биотурбированными, с включениями глинистых галек и фрагментов раковин. Верхняя слоистая, представлена чередованием песчаников серых, твердых, мелкозернистых, глинистых, массивных с аргиллитами темно-серыми до сине-серых, пластичными, с узловатой текстурой, слюдистыми и песчанистыми. В целом формация Tiyo/Padaung характеризуется высоким содержанием органических остатков, таких как планктонных *Globigerina Ciproensis*, *Globigerina Ouachitaensis* и др., а также бентосных *Naplophragmoides* 1, *Bathysiphon* 2, средне-олигоценовых

руководящих форм. В зеленоватых глинах содержатся глубоководные разновидности фораминифер *Karrerilla*, *Uvigerina*, *Cibicides* и др).

Верхнеолигоценая формация *Okhmintaung* сложена толщами песчаников, расчлененных аргиллитами. Песчаники, преобладающие в разрезе, серые, желтовато-серые, мелкозернистые, крепкие, глинистые, преимущественно тонкослоистые (15-20 см), иногда массивные, косослоистые, с волноприбойными знаками, с ходами илоедов. Содержат прослой синие-серых глин, содержащих фауну *Rotalia*, *Globigerina*, *Globigerinoides triloba*, указывающую на мелководно-морскую внутреннюю неритовую обстановку осадконакопления. В верхней части формации встречаются раковины двухстворчатых моллюсков рода *Lamellibranchia*, обитающих в прибрежной зоне морского бассейна. В южном направлении песчаники становятся более глинистыми за счет уменьшения песчаности. Аргиллиты алевритистые, темно-серые, рыхлые до крепких, узловатые, местами алевритистые, в них присутствуют раковины двустворчатых моллюсков и другие ископаемые остатки. Местами аргиллиты переслаиваются с тонкими прослоями песчаников.

Миоценовые отложения нижнего неогена, включающие в себя (снизу вверх) формации *Puawbwe*, *Kuaukkok* и *Obogon*, как принято считать, залегают с перерывом на верхнеолигоценых (рисунок 1). Однако, данными скважины *Mayatan* -1, пробуренной на юго-востоке бассейна, в керне из контакта отложений не выявлено изменения в видовом составе фораминифер, что дает повод усомниться о наличии несогласия. Вопрос требует дальнейшего изучения.

Формация *Puawbwe* представлена аргиллитами, зеленовато-серыми до синевато-серых, пластичными, узловатыми, локально песчанистыми с вкраплениями углеродистого вещества и высоким содержанием микрофоссилий. В синевато-серых разностях глины содержатся мелководные фораминиферы *Rotalia* и *Nonion*, указывающие на соответствующие морские условия их обитания. По материалам бурения в разрезах скважин *Mayatan*-1 и *Mayatan*-3 среди глин выявлены локально развитые плотные известняки, а на месторождении *Htantabin* пористые органогенные известняки рифовой постройки. Аргиллиты в верхней части разреза формации переслаиваются с прослоями песчаника серого, мелкозернистого, обладающего неплохими фильтрационно-емкостными свойствами и алевролитами. В них часто встречаются круглые или полукруглые конкреции мергеля. Песчаники в кровле формации *Puawbwe* имеют самые высокие ФЕС (пористость колеблется от 7 до 32 процентов, проницаемость от 0,300 до 0,415 мкм² и характерную «воронкообразную» запись на каротажных кривых (ПС и ГК), что может указывать на их формирование в условиях дельт континентальной равнины. В интервале 1548,4- 1639,7 м нижней части формации в скважине *Mayatan* -3 бурением пересечено 80-метровое андезитовое образование. Андезит,

отобранный из интервала 1618,29-1620,43 м, по макроописанию бледно-серый до беловато-серого, часто темно-зеленый, крепкий, со структурой от микро- до мелкозернистой, массивный, пятнистый, хрупкий, редко сахаровидный, сложен агрегатами беловатого до бесцветного кварца и полевого шпата, а также более темными зернами, наблюдаются бороздки с наблюдаемым падением под углом 55 град. Микро: порфировая структура, агрегаты роговой обманки вкрапленные в полнокристаллический матрикс, состоящего из кварца, полевого шпата и железо-магнезиальных минералов. Микрофоссилий не отмечается. Минеральный скелет представлен преимущественно кварцем, а также полевым шпатом и другими темно-зелеными и мафическими минералами (редко авгит), часто встречаются хорошо выраженные кристаллы роговой обманки. Особо следует подчеркнуть, что при рекогносцировке местности в районе пробуренной в конце 19 века Бирманской нефтяной компанией скважины ВОС Taungbogyi, где местным населением кустарным способом до сих пор бурятся неглубокие скважины и из них добывают нефть, специалистами из Республики Башкортостан в 2015 году были получены по одному образцу керна из формации Pyawbwe с глубин 20 и 25 м, а также проба поверхностной нефти из интервала 30 – 50 м (точная привязка по глубине не имеется). Для удобства дальнейшего изложения проба нефти условно названа нефть района ВОС. Исследования образцов породы и нефти проводились в сертифицированных лабораториях Башкортостана. Микроскопическое изучение срезов пород из образцов показали следующие результаты. Шлиф из образца с глубины 20 м: алевролит глинистый, обломочный материал мелко-среднеалевритовой размерности (0,015-0,05 мм), представлен кварцем (37,4%), реже полевым шпатом (альбитом, 8,2%), встречаются листочки мусковита (6,8%). Глинистый материал состоит из иллита (27,6%) и каолинита (12,8%), встречаются редкие чешуйки хлорита (3,2%), наблюдается очень редкая примесь тонкозернистого кальцита (0,6 %). редкие органические остатки, мелкие неясные сферы (водоросли?) и раковинки, большей частью пиритизированные. Пирит отмечается и в виде вкрапленности. Общее содержание пирита по рентгеноструктурному анализу 3,5%. Шлиф из образца с глубины 25 м представлен алевролитом глинистым. Обломочный материал средне-алевритовой размерности (0,03-0,085 мм) представлен кварцем (43,3%), реже альбитом (11,7%), встречаются листочки мусковита (7,3%). Цемент глинистого состава (каолинит 13,7% и иллит 11%), местами с хлоритом (листочки 3,4%), глинистый материал распределен неравномерно. Высокое содержание каолинита подтверждает мнение о накоплении песчаников и алевролитов в дельтово-озерных условиях суши, существовавшей в конце нижнего миоцена. Пирит отмечается в виде тонкой вкрапленности (1,9%). Наблюдается примесь тонкозернистого кальцита (5,4%) и доломита (2,3%). Встречены единичные мелкие раковинки, частично пиритизированные, четко видные включения микро-тонкозернистого сидерита. Провести корректное

изучение лабораторным способом пористости и проницаемости из-за неравномерной сцементированности породы не удалось.

В отложениях формации встречена многочисленная фауна и в меньшей степени, флора. Фауна: *Nauphragmoides glomeratum*, *Bolivina gesteri*, *Bulimina bleckeri* HEDBERG, *Nonion pompilioides*, *N. elongatus*, *Rotalia annectans*, *R. indica*, *R. umbonata*, *R. koeboeensis*, *Uvigerina multicostata*, *Globigerina praebulloides*, *G. venezuelana*, *Orbulina suturalis*, *O. universa*, *Globorotalia foehsi peripherond*, *Capsydrax dissimilis*, *Helicosphaera ampliaperata*, *H. treumpyi*, *Sphenolithus belemnoides*, *S. conicus*, *S. dissimilis*, *Discoaster druggii*, *Clavulinas*, *Cassidulina oblonga*, pelecypods, gastropods. Флора: *Mereripollis nahakotensis*, *Magnastriatites howardi*, *Marginopollis kutchensis*, *M. concinnus*, *Pinuspollites* sp., *Piceapollenites* sp.

Формации Куауккок представлена в нижней части аргиллитами, переходящими выше в песчаники. Аргиллиты серые до зеленовато-серых, пластичные и умеренно плотные, слоистые, узловатые, содержат углефицированные растительные остатки по плоскостям напластования. В аргиллитах обнаружены фораминиферы *Rotalia*, *Elphidium*, *Quinqueloculina*. Песчаники бурые до желто-коричневых, мелко- и среднезернистые, массивные, неравномерно пористые, с конкрециями кальцита. Пористость их изменяется от 7 до 39 процентов, проницаемость от 0 до 0,350 мкм². Среди них встречаются редкие прослойки песчаника от серого до зеленовато-серого цвета, крепкого, среднезернистого, глауконитового, с волноприбойными знаками и кривой слоистостью. Таким образом, накопление пород формации происходило в двух обстановках: морской (глин) и преимущественно континентальной (песчаников), причем последняя прерывалась прибрежно-морскими условиями, для которых характерны присутствие глауконита, волноприбойных знаков и кривой слоистости. Обнаружена фауна: *Rotalia umbonata*, *R. koeboeensis*, *R. indica*, *Cibicides dorsopustulosus*, *C. bantamensis*, *Uvigerina crassicostata*, *U. multicostata*, *Bolivina gesteri*, *B. sumatrensis*, *Buliminella elegantissima*, *Baggina inflata*, *Lenticulina inornatus*, *Nonion elongatus*, *Saracenaria italica*, *Cancriis auriculus*, *Robulus inornatus*, *Textularia malacaensis*, *Globigerina praebulloides*, *G. triloba immature*, *Globigerinoides obliquus*, *G. trilobus*, *Globorotalia foehsi*, *Globoquadrina dehiscens*, *Thalmanina* cf. *fusa*, *Cassidulina* sp., *Elphidium*, *Quinqueloculina*, *Discoaster braarudii*, *D. variabilis*, *Helicosphaera ampliaperata*, *Reticulofenestra* и флора: *Florscheutzia trilobata*, *F. semilobata*.

Формация Obogon согласно залегает на отложениях формации Куауккок. Представлена преимущественно песчаниками желтовато-коричневыми до коричневатых, средней крепости, средне- до грубозернистыми, косослоистыми, с прослоями песчаных глин и аргиллитов. В них встречены двухстворчатые моллюски р. *Lamellibranchia* и гастроподы. В нижней части формации среди них залегают пласты глин с толщинами от 0,30 до 1,20 м с высоким содержанием органических остатков, в том числе пелагических фораминифер, обитающих

обычно во внутренней неритовой (шельфовой) зоне моря. Совокупность этих факторов указывает на частую смену прибрежно-мелководных морских условий на более глубоководные.

Формация Irrawaddy плиоцен-плейстоценового возраста несогласно залегают на породах палеогена или миоцена. Представлены преимущественно песчаником светло-коричневым, сероватым, средне- до крупнозернистым, с включениями гравия и гальки, которые переслаиваются с зеленовато-серыми аргиллитами и глинами. Накопление пород проходило в континентальной обстановке в условиях дельтовой равнины. В руслах и прирусловых валах накапливались большие толщины песков, в озерах и болотах междурусловых пространств глины, гумусовое и сапропелевое вещество. В северо-западной половине бассейна формация была полностью уничтожена размывом, а на юго-восточной, частично.

Месторождения и фазовые состояния углеводородов. В западных бассейнах Центрального Бирманского Пояса выявлено на поверхности значительное количество проявлений жидких и газовых углеводородов. Открыты и месторождения нефти и газа. Наибольшее число их сосредоточено в бассейне Salin, где нефтеносными являются песчаники и алевролиты формации Pondaung верхнего эоцена, Shwezetaung и Padaung нижнего и Okhmintaung верхнего олигоцена. Непосредственно с юга к бассейну Salin примыкает бассейн Pyau (Prome) Embaument, где также выявлены выходы нефти и газа, приуроченные к отложениям формаций Pyawbwe, Obogon/Куауккок. В этих же формациях открыто 5 месторождений углеводородов, приуроченным в основном к терригенным коллекторам. На одном из них выявлены залежи и в формации Irrawaddy [6]. Кроме жидких и газовых проявлений, УВ в виде содержания битума отмечено в песках формации Padaung (?). На рисунке 2 приведена схема расположения месторождений.

Месторождения различаются размерами и по фазовому составу УВ. По последнему признаку среди них выделяются газонефтяное Pyau (Prome Hills), нефтяное Myanaung, нефтегазоконденсатное Htantabin и газовые Paolo, Shwepyitha. По исследованным образцам нефти месторождений характеризуются как низкосернистые и низкопарафинистые. Западнее месторождения Pyau (Prome Hills) в скважине Mauman -1 был получен непромышленный приток газа из карбонатов формации Pyawbwe. Формации Obogon/Куауккок по данным геологической съемки распространены только в восточной части бассейна, где они выходят на дневную поверхность.

Месторождение Pyau (Prome Hills) приурочено к линейной антиклинальной складке протяженностью 50 км и шириной около 1 км, нарушенной взбросо-надвигом и поперечными нарушениями. Оно состоит из двух участков, North Pyau и South Pyau. В автохтонных частях участков месторождения выявлены нефтяные залежи, в аллохтонных, нефтяные и

газовые. Нефтяные залежи связаны с мелкозернистыми песчаниками и алевролитами формаций Pyawbwe и Kyaukkok/Obogon, чередующимися с внутриформационными глинами. На первом из перечисленных участков месторождения выявлено 5 нефтенасыщенных пластов с суммарной толщиной 44 м, а на втором, 7 и 80 м, соответственно. Удельная плотность нефти участка South Pyaw изменяется в диапазоне от 0,890 до ~0,830 г/см³ (27 до 38° API). Нефти участка North Pyaw характеризуются более высокими значениями плотности. Газоносность установлена в песчаниках формации Irrawaddy.

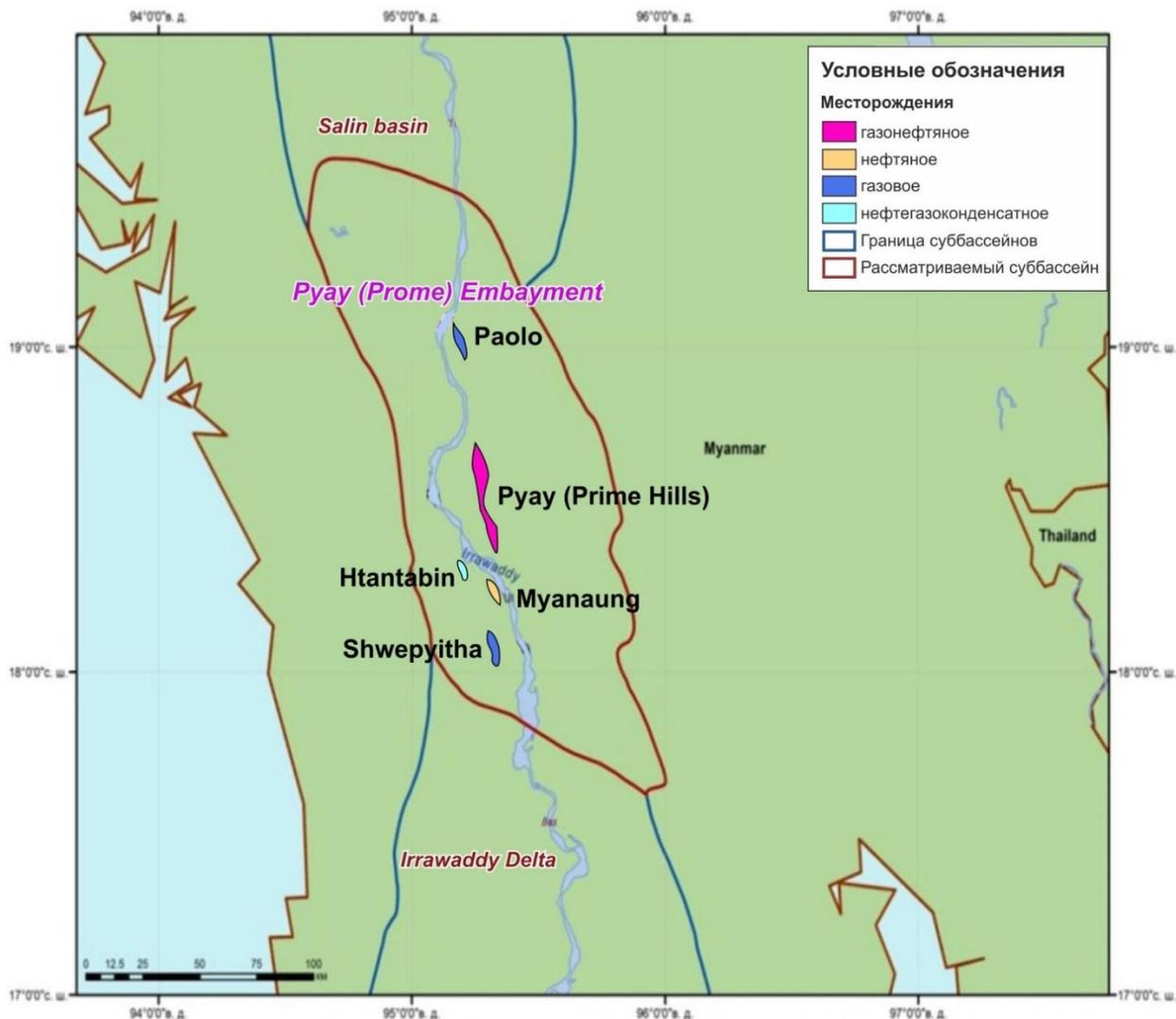


Рис. 2. Схема расположения месторождений в бассейне Pyaw (Prome) Embayment

Месторождение Myanaung. Расположено южнее месторождения Pyaw (Prome Hills). В тектоническом плане месторождение связано асимметричной антиклиналью субмеридионального простирания. Нарушенная взбросо-надвиговой дислокацией складка дополнительно осложнена серией поперечных и продольных разломов, которые определяют блоковое строение месторождения. Длина складки достигает 8 км, ширина 2,5 км. Восточное крыло

ее, при сравнении с западным, более пологое (углы падения около 9° и от 9 до 27°). Разрез миоценовых формаций Куауккок/Обогон и Руауэ в самой глубокой скважине №1 (3520 м) на месторождении до глубины 1800 м представлен преимущественно переслаиванием песчаников, алевролитов и глин, ниже монотонной толщей аргиллитов. Песчаники и алевролиты формации Куауккок/Обогон промышленно нефтеносны в десяти из двенадцати пластов, залегающих в интервале глубин от 580 до 1066 м. Толщина отдельных нефтенасыщенных пластов, чередующихся с тонкими глинистыми породами, изменяется от менее 4 до более 30 м.

Месторождение Shwepyitha расположено в 12 км юго-западнее месторождения Муанаунг и приурочено к небольшой малоамплитудной антиклинальной структуре, нарушенной поперечными и продольными разломами, образующей с соседними структурами единый комплекс кулисообразно расположенных антиклинальных складок. По своему тектоническому строению схоже с месторождением Муанаунг. Промышленная газоносность установлена в 4 пластах песчаника, залегающих в интервале глубин от 1220 до 1830 м. Толщина отдельных продуктивных пластов колеблется в диапазоне от 15 до 30 м.

Месторождение Htantabin является первым и единственным месторождением на суше Мьянмы, на котором установлена промышленная продуктивность карбонатных отложений. Приурочено к ловушке рифового типа длиной 2,5 км и шириной около 2 км, залегающей на глубине более 1830 м. Она ориентирована меридионально и заключена среди преимущественно глинистых отложений формации Руауэ. Коллектор представлен органогенными трещиноватыми известняками с локально развитыми обломками раковин моллюсков, иглокожих и кораллов. Максимальная вскрытая толщина коллектора составляет 383 м в скважине НТВН-2. Нефтяная фаза месторождения Htantabin очень легкая (плотность ~0,807 г/см³ или 43° по API), по газовому месторождению Раоло сведения не найдены.

Вышеупомянутая нефть района ВОС, полученная из неглубокой добывающей кустарным способом скважине, расположенной на участке поля выхода на поверхность формации Руауэ, легкая (плотность 0,8285 г/см³ при 20°С или 38,6 град. по API) и малосернистая (0,065 % масс., 650 ppm по API). С низким содержанием асфальтенов (0,3 % масс.) и силикагелевых смол (1,0 % масс.) по Маркуссону-Саханову Сероводород и меркаптаны (метил-, этил-, пропил- и бутилмеркаптаны) отсутствуют, соответственно, в нефти и топливных фракциях её перегонки должно быть низкое содержание вредной меркаптановой серы. Содержание ванадия и никеля, определенные рентгенофлуоресцентной спектрометрией, ниже пределов обнаружения (менее 5 г/т в обоих случаях), соответствует низкому содержанию асфальтенов, осажденных гексаном. Температура застывания нефти, определенная на приборе ЛАЗ-М, ниже минус

40°C. Детальным анализом изучен ее компонентно-групповой состав бензиновой фракции до нормального гептана (n-C7): C1-0,0, C2-0,02, C3-0,09, i-C4 - 0,14, n-C4 --0,23, i-C5 - 0,38, n-C5 - 0,0,35, n-C6 -1,31, n-C7 - 4,72 % масс. Остаток- 92,76 % масс. На рисунке 3 приведен фрагмент хроматограммы углеводородов от n-C7 до n-C19.

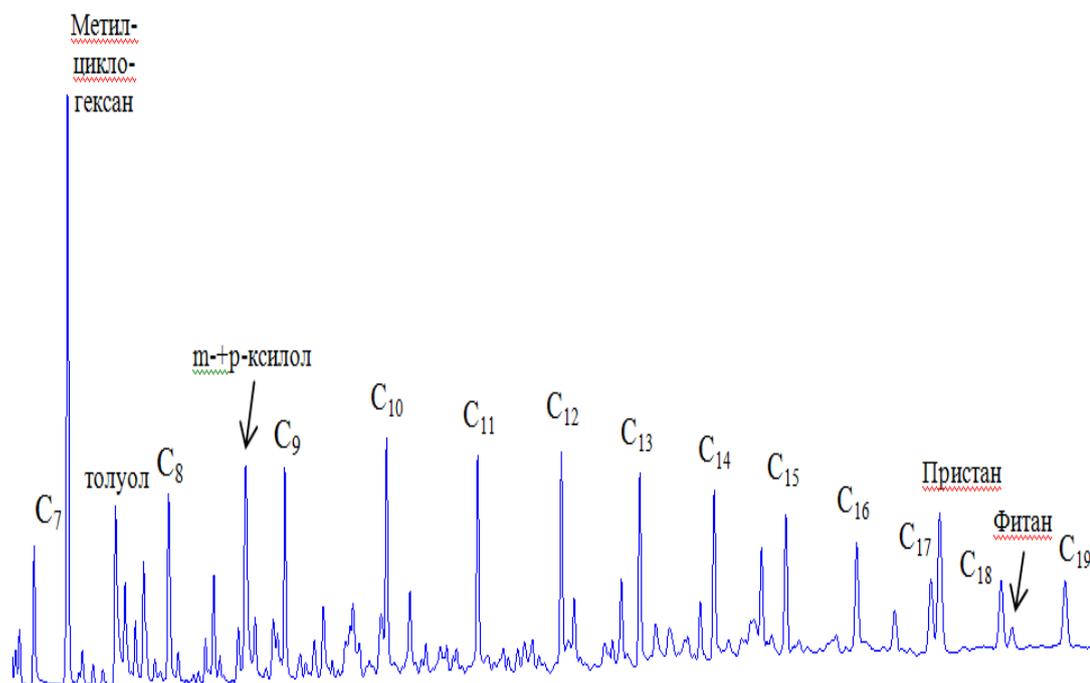


Рис. 3. Фрагмент хроматограммы углеводородов нефти района ВОС от n-C7 по n-C19

Из него видно, что на относительно небольшом фоне неразделенных компонентов нефти четко прослеживаются пики нормальных и изопреноидных алканов, причем содержание нормальных углеводородов превышает содержание изопреноидных: по химической типизации [7] нефть относится к группе А₁ (первичной генерации). Также на хроматограмме видны достаточно существенные пики изопреноидных углеводородов рядом с нормальными углеводородами C13, C14 и C15. Наблюдается высокое содержание пристана, при этом отношение пристана к фитану (биомаркеров или хемофоссилий) равно 5,91. При превышении рассмотренного соотношения свыше 3 можно считать, что данная нефть произошла из исходного рассеянного органического вещества (ОВ), отложенного на континентальной суше [8]. Более детальные сведения о фациальных условиях образования и составе ОВ, окислительно-восстановительных условиях, существовавших при захоронения ОВ, зрелости образованной из него нефти, определены по методике, предложенной Connan j. и Cassou C. [9].

Суть ее заключается в размещении на разработанный ими на основе статистических закономерностей график, названный по их фамилиям, вычисленные по хроматограмме нефти отношения высот пристан/n-C17 и

фитан/н-С18 на соответствующие оси координат в логарифмическом масштабе. По расположению точки на пересечении проекций величин отношений на одном из 4 диагонально расположенных участков графика с заданными свойствами, они и определяются. В нашем случае точка, отмеченная на графике красной звездочкой, соответствующая отношениям 1,89 и 0.32, соответственно, подтверждает наземную (континентальную обстановку) (рисунок 4).

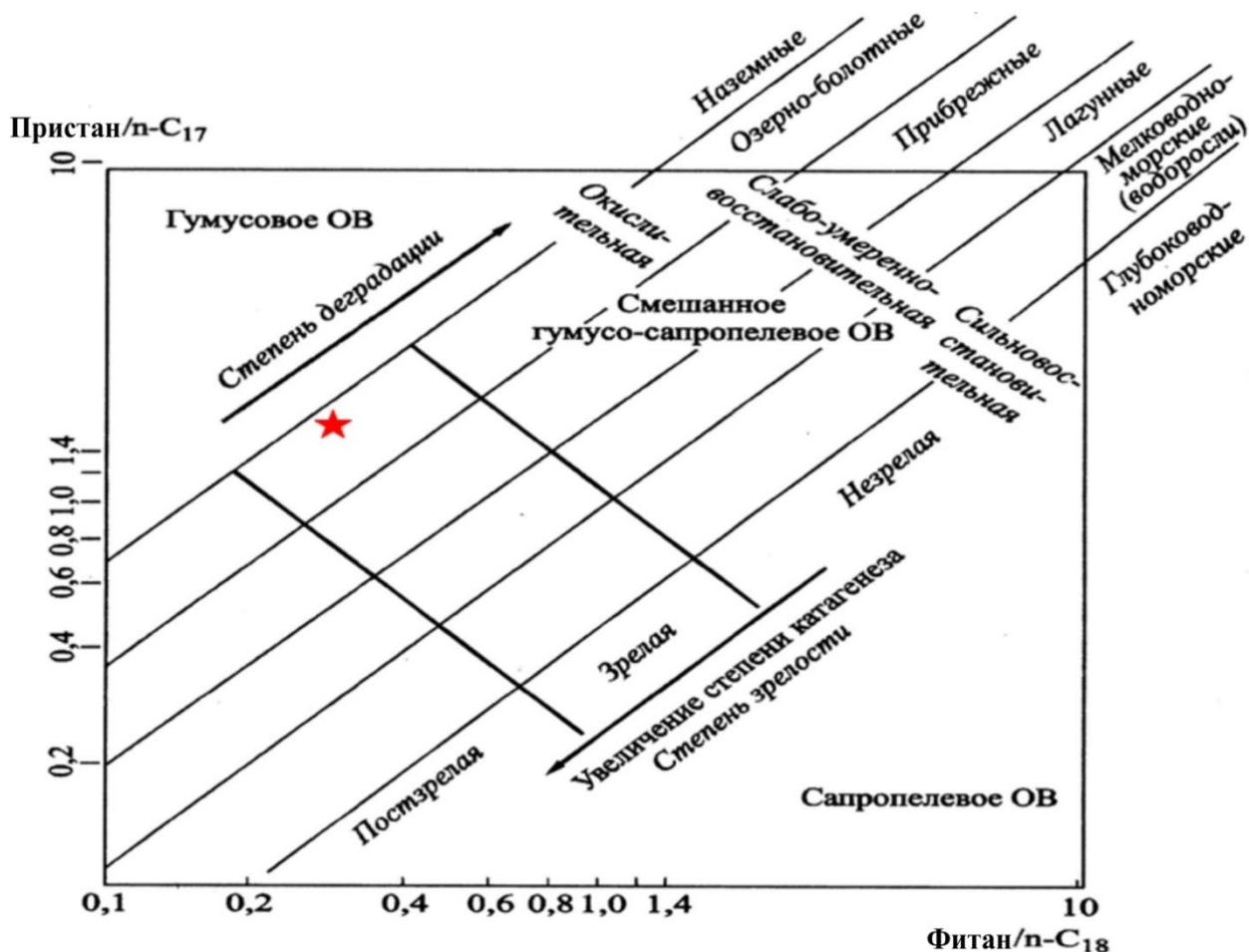


Рис. 4. График Connan j. и Cassou C. (нефть района ВОС)

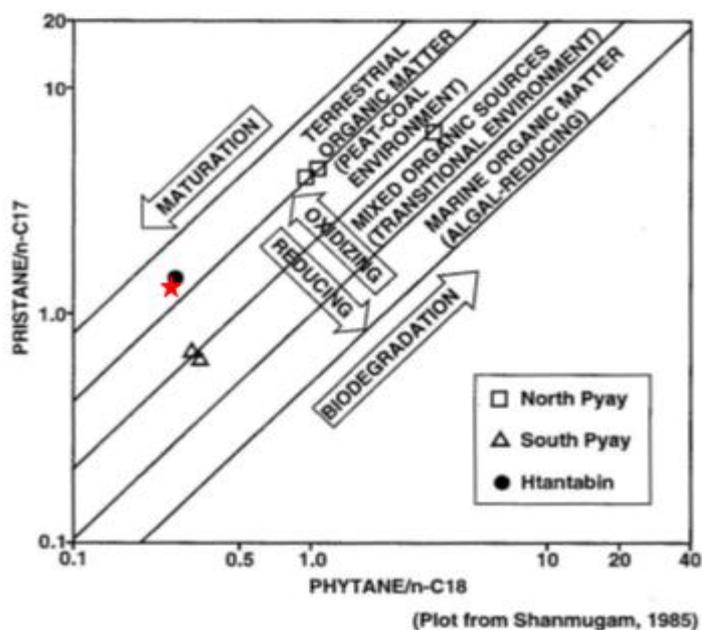
Кроме подтверждения обстановки она дополнительно детализирует фациальные условия и тип органического вещества, которой накапливался в породах. В нашем случае происходило образование в условиях озер и болот континентальной равнины смешанного гумусо- сапропелевого органического вещества в окислительной среде. На такой тип органического вещества указывает наличие на хроматограмме высоких пик метилциклогексана и толуола, которые образуются только из них (рисунок 3). Окончательная трансформация ОВ в нефть завершилась при достижении средней (зрелой) степени катагенеза, то-есть при погружении формации на глубину 2000 м и ниже. Высокое содержание пирита в вышеописанных образцах пород из формации

Pyawbwe указывает об существовании в это время на восстановительную геохимическую среду, благоприятной для сохранности нефти. Для сравнения полученных результатов по нефти района ВОС по условиям образования ОВ и дальнейшего его преобразования в углеводороды с нефтью известных месторождений бассейна были использованы данные, полученные при изучении соответствующих хроматограмм (таблица 1), которые последним столбцом, в котором помещены числовые значения отношений пристан/фитан, пристан/н-С₁₇ и фитан/н-С₁₈ нефти района ВОС.

Таблица 1 – Сравнительные данные полученных результатов по нефти района ВОС

Отношение компонентов	Участок North Pyay			Участок South Pyay			Htantabin	Нефть района ВОС
	скв.17	скв.79	скв.83	скв.43	скв.128	скв.131	скв.24	
Пристан/фитан	1,87	2,35	2,25	2,04	2,09	2,03	4,17	5,91
Пристан/н-С ₁₇	5,46	3,48	3,36	0,92	0,94	0,90	1,31	1,89
Фитан/н-С ₁₈	2,22	0,96	0,97	0,52	0,46	0,46	0,31	0,32

В построенном на ее основе графике [10] для нефти месторождения Htantabin, участков North Pyay и South Pyay, нанесена новая точка в виде красной звездочки, соответствующая нефти района ВОС (рисунок 5).



★ - результат по кустарной скважине

Рис. 5. График Connan j. и Cassou C. для месторождения Htantabin, участков North Pyay и South Pyay, нефти района ВОС (красная звездочка)

Проведенным анализом таблицы 1 и этого графика установлена схожесть обстановок осадконакопления, вида и условий залегания ОБ, степени его преобразования в нефть на месторождении Htantabin и районе ВОС и, о различии между ними и участками месторождения Pyau (Prome Hills). Имеются отличия нефти и между самими участками. В районе участка North Pyau органический материал отлагался в окислительной среде на континенте в зоне превращения гумуса в торф и уголь. Дальнейшее преобразование в нефть протекало при относительно небольшой глубине, порядка 1 км и при невысоких температурах, то – есть на диагенетической стадии. На участке South Pyau в обстановке морского мелководья в окислительно-восстановительных условиях накапливался смешанная гумусово-сапропелевая органика. При погружении она, пройдя зону диагенеза и испытав среднюю стадию катагенеза на глубинах более 2000 м, окончательно превратилась в нефть, отличающуюся меньшим, почти в два раза, значением отношения фитана/n-C₁₈ при сравнении с аналогичным показателем отношения нефти участка North Pyau. Уменьшение, но более чем в три раза наблюдается и при сравнении величин отношений пристана/n-нефти C₁₇ меньшим, почти в два раза, значением отношения фитана/n-C₁₈ при сравнении с аналогичным показателем отношения нефти участка North Pyau.

Для всего бассейна, имеющего сложное геологическое строение, отсутствуют структурно-тектонические карты по различным формациям, которые можно получить лишь после проведения, с учетом материалов глубоких пробуренных скважин, взаимоувязанных между собой площадных сейсморазведочных работ современного уровня, ориентированных на улучшение прослеживаемости отражающих горизонтов, разрешенности волновой картины и увеличения глубинности исследований. Из-за отсутствия сейсмических карт, общее представление о тектоническом строении правобережья реки Ирравади дается по фрагменту геологической карты участка, на которую нанесены контуры двух крупных гравитационных аномалий (Leindon – Padaung High и Ohnne High (рисунок 6)). Также во внимание принимался схематический геологический профиль (рисунок 7), секущий первую из них с юго-запада на северо-восток. Геологическая карта была построена по результатам проведения полевых работ в 1966 и 1993, а гравиметрическая, в 1976-1977 годах. Отчеты по ним, а также по геохимической съемке, о которой будет сказано ниже, предоставлены Мьянмской нефтяной компании (MOGE). По карте и профилю можно наблюдать, что на уровне современного денудационного среза возраст отложений, выходящих на земную поверхность, с востока на запад последовательно становится древнее: от формации Куауккок среднего миоцена до мелового и что, если на востоке выделяются нарушенные взбросо-надвигами протяженные, хорошо

картируемые геологической съемкой антиклинальные складки, то на западе наблюдаются в различной степени наклоненные на восток блоки, воздымающиеся в сторону Индо-Бирманской складчатой системы. Сделанный ранее вывод о идентичности нефти месторождения Htantabin и района ВОС позволяет говорить о перспективности всей правобережной части бассейна на поиски новых месторождений УВ, как минимум, в карбонатных и терригенных коллекторах отложениях формации Pyawbwe. Причиной возникновения гравитационных аномалий может быть локальное развитие выявленных в бассейне рифовых известняков или магматических интрузий андезитового состава, плотность которых выше по сравнению с вмещающими их терригенными породами. Прогнозируется обнаружение двух типов месторождений: связанные с ловушками в рифовых массивах и примыкания коллекторов к магматическим телам. Внедрение, по примеру скважины *Maayatan*-3, в осадочную толщу произошло скорее всего после накопления формации Pyawbwe. В случае развития органогенных построек прогнозируется открытие залежей углеводородов и над ними в ловушках облекания.

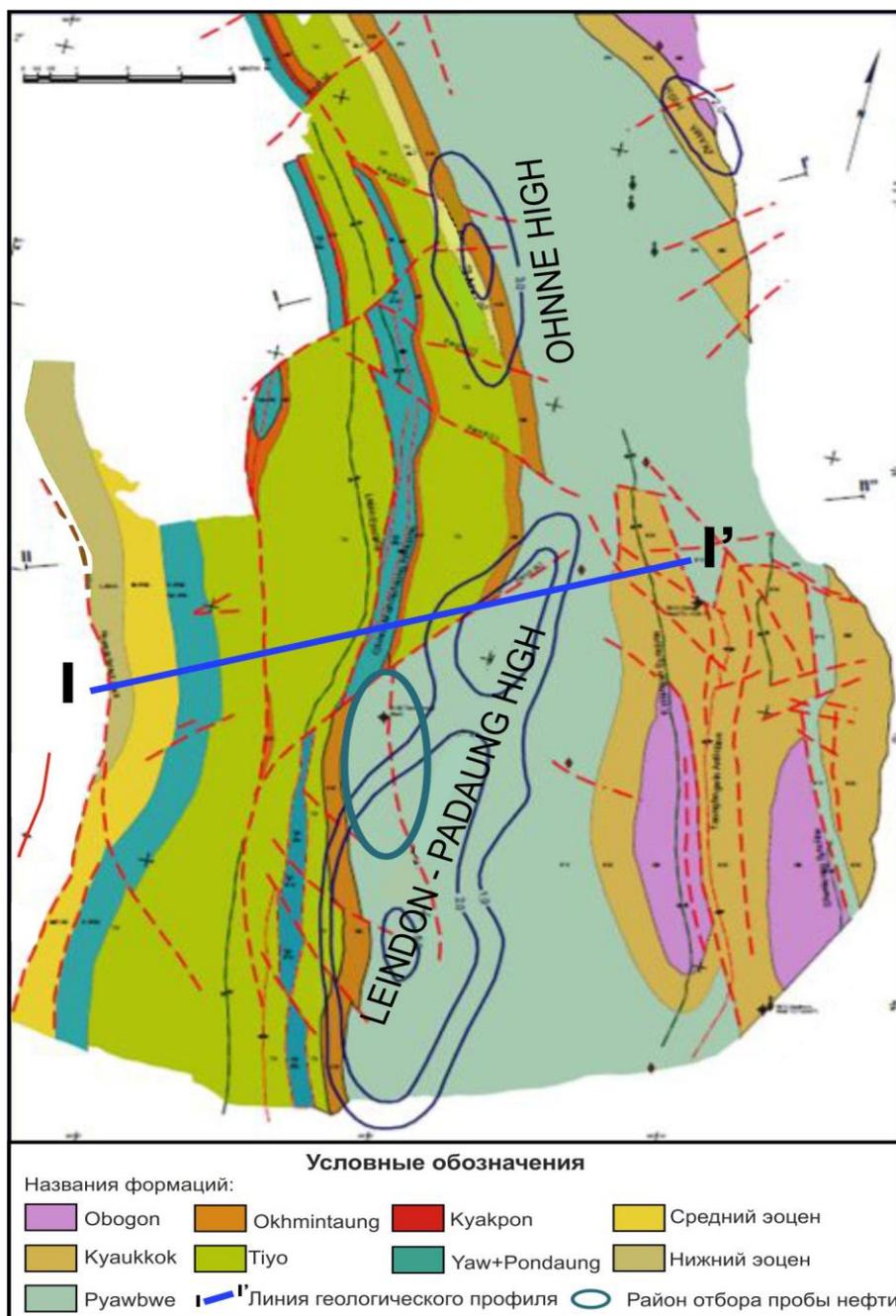


Рис. 6. Фрагмент геолого-геофизической карты правобережья реки Ирравади (заимствован из отчета MOGE и дополнен автором)

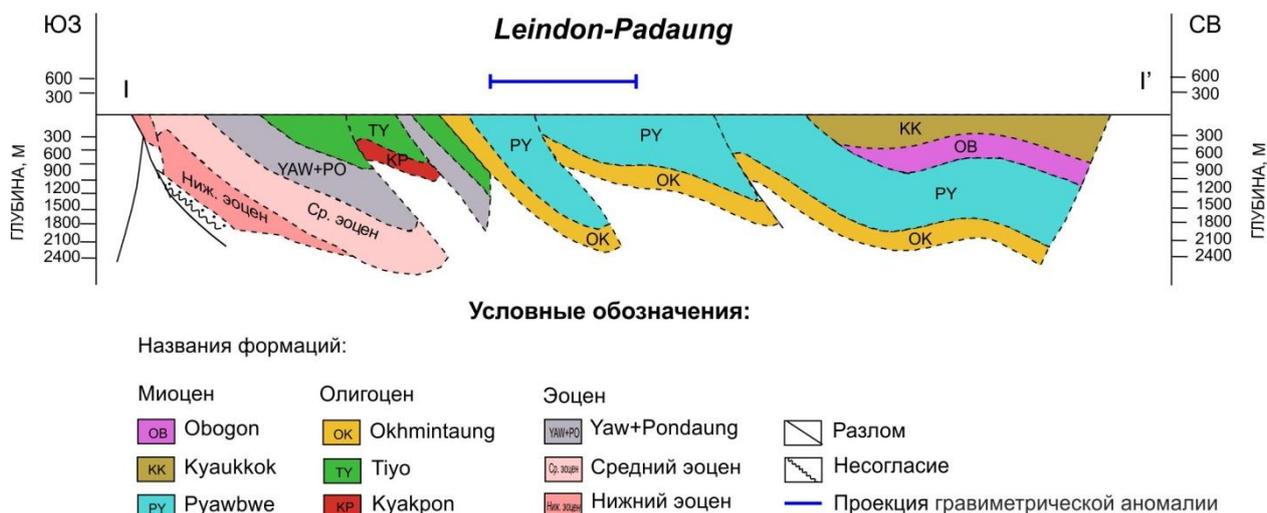


Рис. 7. Геологический профиль по линии I–I'. (Заимствован из отчета MOGE)

Предпочтение отдается первому варианту из-за открытия южнее этой цепочки гравитационных аномалий силы, имеющих дальнейшее распространение на север, месторождения Htantabin в органогенной постройке. Аномалия Leindon - Padaung High меридионального простирания оконтуривается по изолинии 1 миллигал, по которой имеет линейные размеры 23 км x 5,7 км. Наиболее высокие значения силы тяжести локализируются на юге аномалии, где они достигают значений в 5 миллигал. В непосредственной близости, западнее от северной части аномалии, располагается район нефти ВОС. В проекции аномалии на дневную поверхность и ее периферии вдоль закартированных полевыми геологическими работами разрывных нарушений (рисунок 6), методом прямого поиска скоплений нефти (газовой съемкой методом пассивной адсорбции) выявлены углеводородные аномалии, по составу схожими с нефтью месторождения Htantabin и района ВОС. Совокупность таких факторов указывает на ее высокую перспективность в нефтегазоносном отношении. Гравитационная аномалия Ohnne High ориентирована в субмеридиональном направлении и обладает меньшими размерами и также располагается на участке с нарушениями. По изолинии 3 миллигал размеры ее 8,6 км в длину и 2,5 км в ширину.

Выводы. Неизученная сейсморазведочными и буровыми работами правобережная часть бассейна Pyau (Prome) Embayment представляет несомненный интерес для поиска новых месторождений углеводородного сырья в формации Pyawbwe. Для раскрытия ее потенциала предлагается провести новые геологоразведочные работы, начав с изучения объемной сейсморазведкой участка расположения гравитационных аномалий Leindon – Padaung High и Ohnne High. По ее результатам наметить и пробурить поисковую скважину. По примеру бассейна Salin, на западе бассейна Pyau (Prome) Embayment возможно выявление промышленной нефтеносности, кроме

формации Pyawbwe, в коллекторах эоценовой формации Pondaung эоцена, в формациях Shwezetaung, Padaung и Okhmintaung олигоцена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куракова Л.И. Бирма // Большая советская энциклопедия. М: Советская энциклопедия, 1970. Т. 3. С.1135-1136.
2. Wandrey C.J. Eocene to Miocene Composite Total Petroleum System, Irrawaddy-Andaman and North Burma Geologic Provinces, Myanmar. U.S. Geological Survey Association of Petroleum Geologists Bulletin, 69: 1241. 1254 Bulletin. USGS. 2006. <http://www.usgs.gov/bul/2208/E/>. 32 p.
3. AAPG/MGS Tectonic Evolution of Myanmar and Its Basin Development with Special Reference to Its Petroleum Occurrences (abstracts). AAPG/MGS Conference, Yangon. 14-15 August, 2014. 165 p.
4. Материалы XV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле»-М.: Изд-во Российский Государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, 2021. Ярғ Л.Я., Пхе Ко Ко. Инженерно-геологические исследования при проектировании сооружений в области повышенного риска землетрясений (Мьянма). Т. 5. С. 332-334.
5. Масагутов Р.Х. Роль геологической съемки в открытии месторождений в Мьянме //Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. 2022. №29. С.23-31.
6. Khin J.A. Hydrocarbon-Producing Formations of Salin, Irrwaddy, and Martaban Basins, Myanmar (Burma). SPE Asia-Pacific Conference, Perth, 4-7 November, 1991. 14 pp.
7. Петров А.А. М.: Наука. Углеводороды нефти. 1984. 264 с.
8. Химия горючих ископаемых: Учебник Е.В.Соболева, А.Н. Гусева. Москва: Изд-во Московского государственного университета. 2010. 312 с.
9. Connan j., Cassou C.C. Properties of gases and petroleum lipids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels // Geochim. Cosmochim. Acta, 1980. V. 44. Pp. 1–23
10. Shanmugam G. (1985). Significance of coniferous rain forestes raid related organic matter in generating commercial quantities of oil, Gippland Basin, Australia. American. AAPG Bulletin 69(8):1241-1254. DOI:10.1306/AD462BC3-16F7-11D7-8645000102C1865D. Источник: https://www.researchgate.net/publication/264739638_Significance_of_Coniferous_Rain_Forestes_and_Related_Organic_Matter_in_Generating_Commercial_Quantities_of_Oil_Gippsland_Basin_Australia (Дата обращения: 15.05.2023).

REFERENCES

1. Kurakova L.I. Burma // Great Soviet Encyclopedia. M: Soviet encyclopedia, 1970. T. 3. pp.1135-1136.
2. Wandrey C.J. Eocene to Miocene Composite Total Petroleum System, Irrawaddy-Andaman and North Burma Geologic Provinces, Myanmar. U.S. Geological Survey Association of Petroleum Geologists Bulletin, 69: 1241. 1254 Bulletin. USGS. 2006. <http://www.usgs.gov/bul/2208/E/>. 32 p.
3. AAPG/MGS Tectonic Evolution of Myanmar and Its Basin Development with Special Reference to Its Petroleum Occurrences (abstracts). AAPG/MGS Conference, Yangon. August 14-15, 2014. 165 p.
4. Proceedings of the XV International Scientific and Practical Conference "New Ideas in the Earth Sciences" - M.: Publishing House of the Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, 2021. Yarg L.Ya., Phe Ko Ko. Engineering-geological studies in the design of structures in the area of increased risk of earthquakes (Myanmar). T. 5. pp. 332-334.
5. Masagutov R.Kh. The role of geological survey in the discovery of deposits in Myanmar // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. 2022. No. 29. pp.23-31.
6. Khin J.A. Hydrocarbon-Producing Formations of Salin, Irrwaddy, and Martaban Basins, Myanmar (Burma). SPE Asia-Pacific Conference, Perth, 4-7 November, 1991. 14 pp.
7. Petrov A.A. M.: Science. Petroleum hydrocarbons. 1984. 264 p.
8. Chemistry of fossil fuels: Textbook by E.V. Soboleva, A.N. Gusev. Moscow: Publishing House of the Moscow State University. 2010. 312 p.
9. Connan j., Cassou C.C. Properties of gases and petroleum lipids derived from terrestrial kerogen at various maturation levels // Geochim. Cosmochim. Acta, 1980. V. 44. Pp. 1–23
10. Shanmugam G. (1985). Significance of coniferous remains in communities in American. AAPG Bulletin 69(8):1241-1254. DOI:10.1306/AD462BC3-16F7-11D7-8645000102C1865D. Source: https://www.researchgate.net/publication/264739638_Significance_of_Coniferous_Rain_Forests_and_Related_Organic_Matter_in_Generating_Commercial_Quantities_of_Oil_Gippsland_Basin_Australia (Date of access: 05/15/2023).

Сведения об авторах:

Масагутов Рим Хакимович, член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан», доктор геолого-минералогических наук, заслуженный геолог Республики Башкортостан, заслуженный геолог Российской Федерации, г. Уфа, Российская

Федерация; АО НПФ «Геофизика», ул. Луганская, д. 3. 450071, Уфа, Российская Федерация, E-mail: masagutovr@mail.ru. ORCID ID: 0000-0003-4610-2793.

Author's personal details

Masagutov Rim Khakimovich, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, GBNU "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Honored Geologist of the Republic of Bashkortostan, Honored Geologist of the Russian Federation, Ufa, Russian Federation; JSC NPF Geofizika, st. Luganskaya, 3. 450071, Ufa, Russian Federation, E-mail: masagutovr@mail.ru. ORCID ID: 0000-0003-4610-2793.

© Масагутов Р.Х.

DOI 10.24412/2949-4052-2023-1-62-80

УДК 553.98

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЛОЖНОГО
СТРОЕНИЯ**

© **Махмутов Алмаз Аксанович, Шабрин Никита Владиславович,
Маляренко Алина Михайловна, Халиков Альмир Наилевич**
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»,
г. Уфа, Российская Федерация

© **Мухутдинов Вадим Касымович**
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий,
г.Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В связи с увеличением доли месторождений, находящихся на последней стадии разработки, появляется необходимость в разработке методик по локализации остаточных запасов нефти и адресному подбору геолого-технических мероприятий. Для решения данной задачи строятся детальные геолого-гидродинамические модели с учётом различных геолого-технологических факторов. В данной статье представлены подходы использования ранее разработанных методик и способов повышения точности построения структурных карт, достоверности определения водонефтяного контакта (ВНК) в наклонных скважинах, построения куба проницаемости и нефтенасыщенности с учетом неоднородности пластов по фильтрационно-емкостным свойствам. Для повышения достоверности структурных построений и определения уровня ВНК применена ранее разработанная комплексная методика, включающая введение поправок на абсолютные отметки наклонных скважин и ВНК. В результате применения данной методики удалось повысить достоверность структурной модели пласта, а также зон нефтеносности в связи с уточнением ВНК. Для уточнения геологического строения и более достоверного моделирования кубов фильтрационно-емкостных свойств применялись ранее разработанные методики, основанные на расчёте коэффициента проницаемости на основе параметра *Flow Zone Indicator (FZI)*, а

также расчёт коэффициента нефтенасыщенности с использованием куба высоты над уровнем «зеркала свободной воды». На примере нефтяного месторождения Волго-Уральской нефтегазоносной провинции, характеризующегося сложным геологическим строением и находящегося на поздней стадии разработки, проведена оценка распределения остаточных извлекаемых запасов нефти и предложены адресные геолого-технические мероприятия, позволившие добыть дополнительно 2 463 т нефти. Эффективность предложенных мероприятий оценивалась по характеристикам вытеснения Сазонова. Таким образом, разработанная методика позволяет повысить достоверность построенных геолого-гидродинамических моделей, что позволяет подбирать адресные геолого-технические мероприятия.

Ключевые слова: геологическая модель, гидродинамическая модель, куб проницаемости, куб нефтенасыщенности, водонефтяной контакт, наклонная скважина, геологическое мероприятие, характеристика вытеснения.

IMPROVING METHODS OF THREE-DIMENSIONAL GEOLOGICAL MODELS OF OIL FIELDS WITH COMPLEX STRUCTURE

© **Makhmutov Almaz Aksanovich, Shabrin Nikita Vladislavovich, Malyarenko Alina Mikhailovna, Khalikov Almir Nailevich**

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

© **Mukhutdinov Vadim Kasymovich**

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

Summary. It is necessary to develop methods for localizing residual oil reserves and targeted selection of production enhancement operations, because of increase proportion of last stage of development fields. To solve this problem, detailed geological and hydrodynamic models are built taking into account various geological and technological factors. This article presents approaches to using previously developed methods and methods to improve the accuracy of constructing structural maps, the reliability of determining the water-oil contact (OWC) in deviated wells, constructing a cube of permeability and oil saturation, taking into account the heterogeneity of reservoirs in terms of reservoir properties. An earlier developed complex technique was applied to increase the reliability of structural constructions and determine the level of water contact including the introduction of corrections for the absolute elevations of deviated wells and water contact. As a result of applying this technique, it was possible to increase the reliability of the structural model of the reservoir and the oil-bearing zones in connection with the refinement of the OWC. Previously developed methods were used to improve the geological structure and more reliable modeling of reservoir properties cubes, based on the calculation of the permeability coefficient based on the Flow Zone Indicator (FZI) parameter and the calculation of the oil saturation coefficient using the cube of height above the "free water level". On example of an oil field in the Volga-Urals oil and gas province, which is characterized by a complex geological structure and late stage of development, an assessment was made of the distribution of residual recoverable oil reserves and targeted production enhancement operations were proposed that made it possible to produce an additional 2,463 tons of oil. The effectiveness of the proposed measures was evaluated by the characteristics of Sazonov's displacement. Thus, the developed technique makes it possible to increase the reliability of the constructed geological and hydrodynamic models, which makes it possible to select targeted geological and technical measures.

Key words: geological model, hydrodynamic model, cube of permeability, cube of oil saturation, oil-water contact, inclined well, geological event, displacement characteristic.

Введение. В настоящее время большинство нефтяных и нефтегазовых месторождений разрабатывается длительное время и находятся на поздней стадии разработки. Как известно, переход на завершающую стадию разработки зачастую сопровождается ухудшением структуры остаточных запасов нефти. В результате чего, значительно снижаются эффективность текущей системы разработки и технологические показатели работы добывающих скважин.

Актуальность. В связи с этим особую актуальность приобретают научно-практические работы, направленные на локализацию остаточных запасов нефти с последующим формированием эффективной программы геолого-технических мероприятий (ГТМ). Выделение и локализация остаточных запасов нефти, в настоящее время, проводится на основе трехмерного геолого-гидродинамического моделирования (ГГДМ) с детальным учетом всех особенностей геологического строения и причин изменения в динамике технологических показателей разработки продуктивных пластов [1, 2, 3].

В данной статье представлены некоторые особенности построения трехмерной ГГДМ нефтяного месторождения сложного геологического строения с учетом методик, описанных в работах [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

Основным этапом трехмерного моделирования является корректное построение структурных карт продуктивных пластов и достоверное обоснование положения водонефтяного контакта (ВНК). Основные проблемы, связанные с обоснованием уровня ВНК сводятся к следующему [3, 4, 5, 6, 14]:

- недостаточный уровень достоверности данных замеров кривизны скважины;
- «скачкообразное изменение уровня ВНК по скважинам» в пределах одной залежи.

Зачастую такие проблемы характерны для объектов, находящихся в длительной эксплуатации и большим количеством пробуренного фонда наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

Согласно работам [3, 4, 5, 6, 14], для обеспечения соответствия наклонных скважин принятому уровню ВНК и выравниванию структурной поверхности скважин, которые по характеру насыщения вскрытых пропластков не согласуются с соседними скважинами, производится введение поправок на абсолютные отметки (АО).

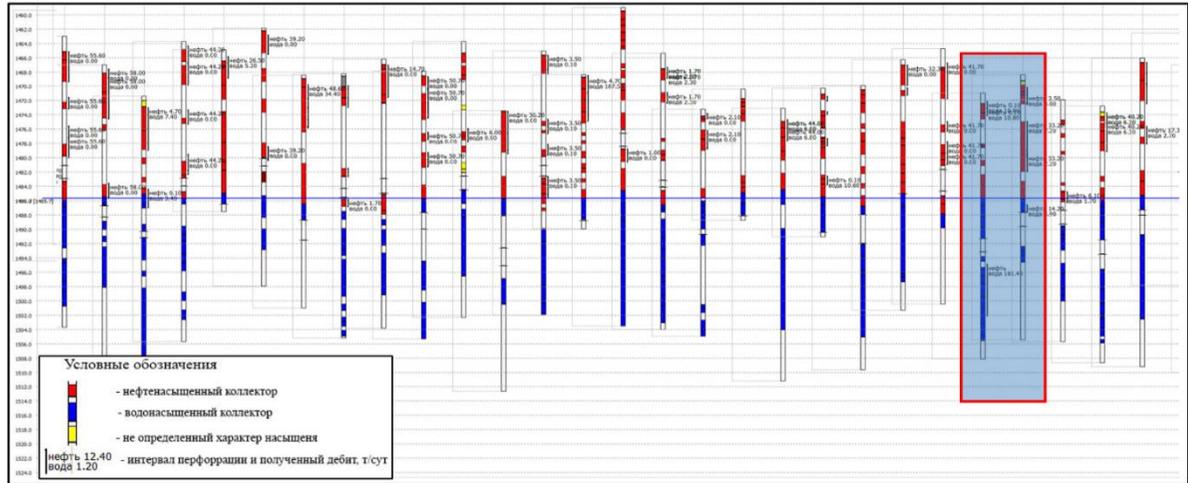
В работах [4, 5, 6] разработана комплексная методика введения поправок на АО наклонных скважин и ВНК, которая основана на следующих основных положениях и допущениях:

- определение АО по инклинометрии производится с некоторой погрешностью;
- пробуренный фонд месторождения разделяется на две группы:
 - условно-вертикальные (для данных скважин поправка на АО не вводится);
 - наклонные (включая горизонтальные) (введение поправки на АО проводится с учетом доверительного интервала, которая равна удвоенной погрешности измерения АО).

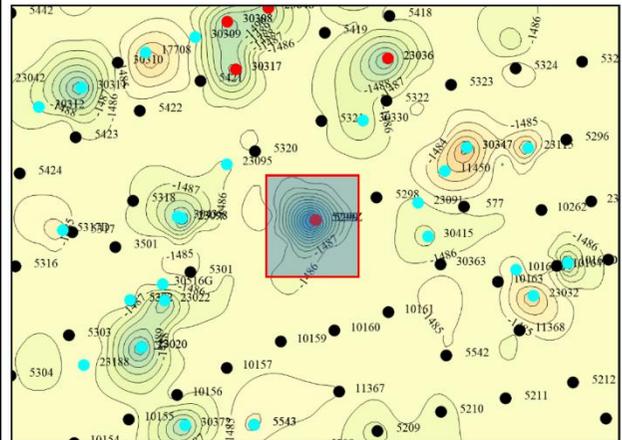
Данная комплексная методика введения поправок на АО наклонных скважин и ВНК также предусматривает определение как возможных поправок по структуре, с учетом соседних скважин, так и допустимых поправок по ВНК [4, 5].

Так, при изучении объекта исследования выявлено, что поверхность ВНК имеет сложную структуру, которая не соответствует горизонтальной поверхности. По наклонным скважинам наблюдается большое отклонение ВНК от принятого значения (до $\pm 10 \div 15$ м) (рисунки 1а и 1б).

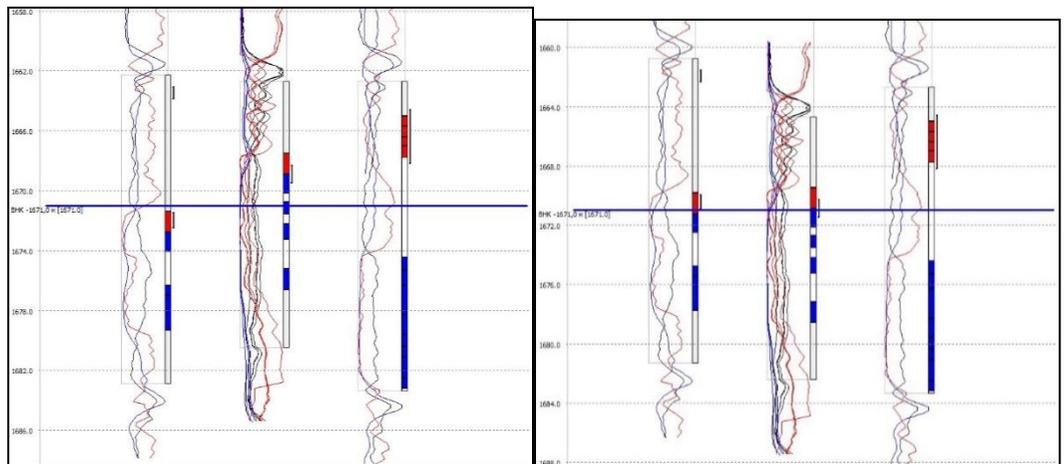
В результате использования комплексной методики, предложенной в работах [4, 5, 6], определены как возможные поправки по структуре залегания с учетом соседних скважин, так и допустимые поправки по ВНК (таблица 1). Далее на основе данных расчетов по рассматриваемой скважине принята окончательная поправка на АО, равная 7,8 м (таблица 2, рисунки 1в и 1г). В результате применения комплексной методики введения поправок на АО удалось повысить достоверность построения структурных карт и обоснования границ нефтеносности путем создания новой скорректированной исходной базы данных.



а) Схема обоснования уровня ВНК



б) Фрагмент карты поверхности ВНК



в) Геологический профиль до и после введения поправок на АО наклонных скважин

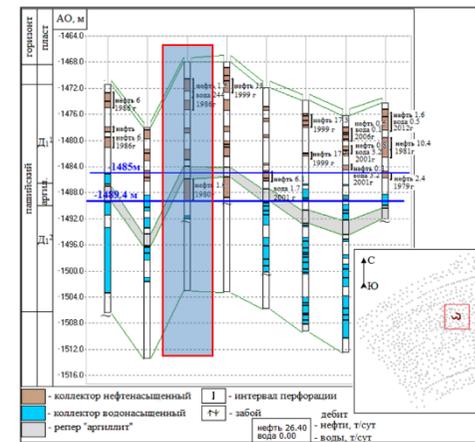


Рис. 1. Применение комплексной методики введения поправок на АО наклонных скважин и водонефтяного контакта

Таблица 1 – Комплексное определение поправок на АО наклонной скважины

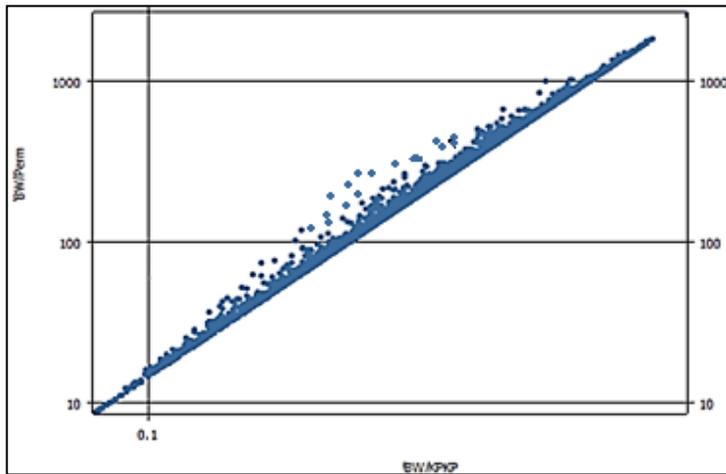
Скважина	Статистически допустимые поправки													Необходимые поправки по ВНК				Возможные поправки по структуре				
	Погрешность угла $\Delta\alpha$, мин	Альтитуда, м	Подошва		Удлинение (У)	(В)	(А)	Угол (α)	$\alpha + \Delta\alpha$	Погрешности			2σ	3σ	Подошва нефти	Кровля воды	Уровень ВНК по соседним скважинам	Диапазон возможных подвижек		АО по ГИС	АО по соседним скважинам	$\Delta\text{АО}$
			Глубина	АО						инклинометра $\sigma_{\text{инк}} = \Delta\alpha(\text{max})$	кабеля $\sigma_{\text{каб}}$	АО $\sigma_{\text{АО}}$						верхняя	нижняя			
Х	30	297.21	1787.4	1439.7	50.49	1787.4	1736.9	13.651	14.151	3.75	1.79	4.15	8.3	12.5	-1497.2	-1499.3	-1489.4	-9.9	-7.8	-1448.7	-1447.0	-1.7

Таблица 2 – Принятие окончательной поправки на АО

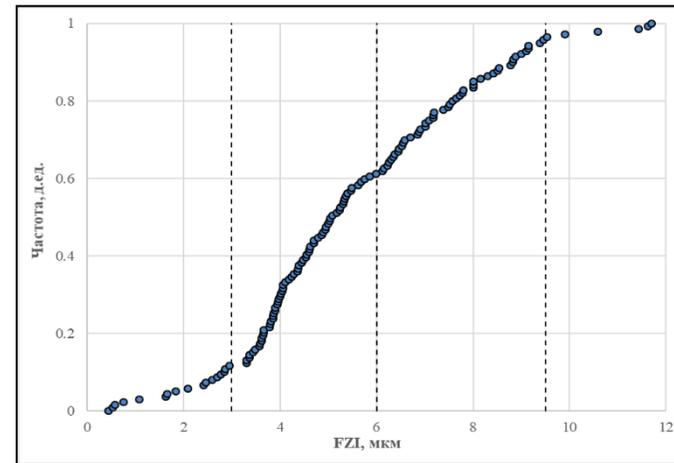
Скважина	Необходимые поправки по ВНК					Возможные поправки по структуре	Статистически допустимые поправки		Окончательно принятая поправка
	Диапазон возможных подвижек		Диапазон поправок				2σ	3σ	
	верхняя	нижняя	рекомендуемая	альтернативная или альтернативная	альтернативная "вниз"				
X	-9.9	-7.8	-7.8	-9.9		-1.7	8.3	-	-7.8

Учитывая, что распределение и локализация остаточных извлекаемых запасов во многом зависит от достоверного определения коэффициента проницаемости, то при построении трехмерной ГГДМ также использованы подходы, предложенные в работах [7, 8, 10, 11, 12, 15, 16, 17].

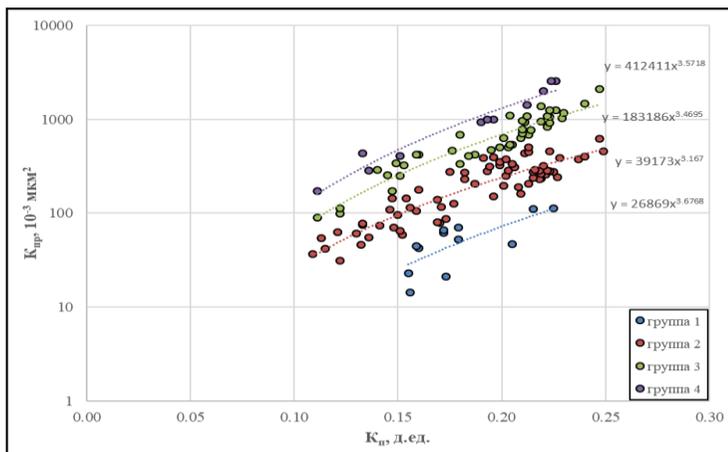
Выявлено, что в результате переноса скважинных данных на трехмерную сетку не во всех ячейках Blocked Wells (BW) зависимость между коэффициентами проницаемости и пористости K_p соответствует результатам лабораторных исследований керна (рисунок 2а). Согласно [8, 10], «данное расхождение связано с тем, что в результате осреднения РИГИС на трехмерную сетку образуются различные по однородности ячейки». Следовательно, для достоверного моделирования куба проницаемости необходимо учитывать данную неоднородность ячеек трехмерной сетки. К тому же, при детальном изучении геологического строения объекта исследования установлено, что в разрезе продуктивных пластов на основе параметра *Flow Zone Indicator (FZI)* возможно выделить четыре условные группы коллекторов со схожими характеристиками порового пространства (рисунок 2б, таблица 3) [11]. При этом каждая условная группа коллекторов характеризуется собственной корреляционной зависимостью коэффициентов проницаемости и пористости K_p (рисунок 2в). Куб проницаемости строился с учетом сложного геологического строения и неоднородности скважинных данных в трехмерных ячейках на основе пространственного распределения каждой из выделенных групп коллекторов и оценки средней проницаемости пласта как средневзвешенное значение по толщине коллектора. Для этого использованы корреляционные зависимости *FZI* и геологических свойств, которые определяются в скважине непрерывно (например, абсолютная и относительная глинистость по данным ГИС) (рисунок 2г).



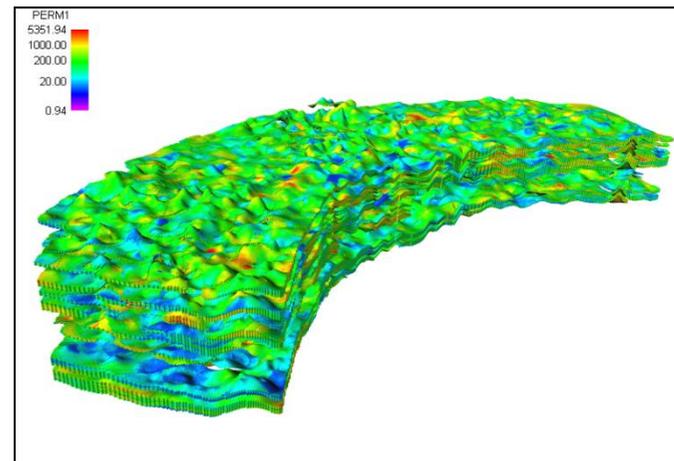
а) Зависимость $K_{пр}$ и $K_{п}$ в ячейках BW



б) Функция распределения FZI



в) Зависимость $K_{пр}$ и $K_{п}$ для различных групп коллекторов



г) Куб проницаемости

Рис. 2. Применение методики моделирования куба проницаемости с учетом неоднородности пластов по ФЕС

Таблица 3 – Основные ФЕС различных групп коллекторов

Группа	K_n , д.ед.	K_{np} , 10^{-3} мкм ²	MinFZI, мкм	MaxFZI, мкм
1	0.165	40.6	0.451	2.958
2	0.186	222.7	3.308	5.986
3	0.193	706.2	6.131	8.993
4	0.221	1157.5	9.154	11.693

Объект исследования, также характеризуется невыдержанностью фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) и неоднородностью структуры порового пространства продуктивных пластов. Для учета данной характеристики при моделировании куба нефтенасыщенности K_n использован подход, который представлен в работе [9] и описывается следующим алгоритмом (с учетом выделения различных групп коллекторов на основе параметра FZI):

1. Оценка остаточной водонасыщенности производится с использованием базы РИГИС по следующей формуле:

$$K_B = 1 - K_n.$$

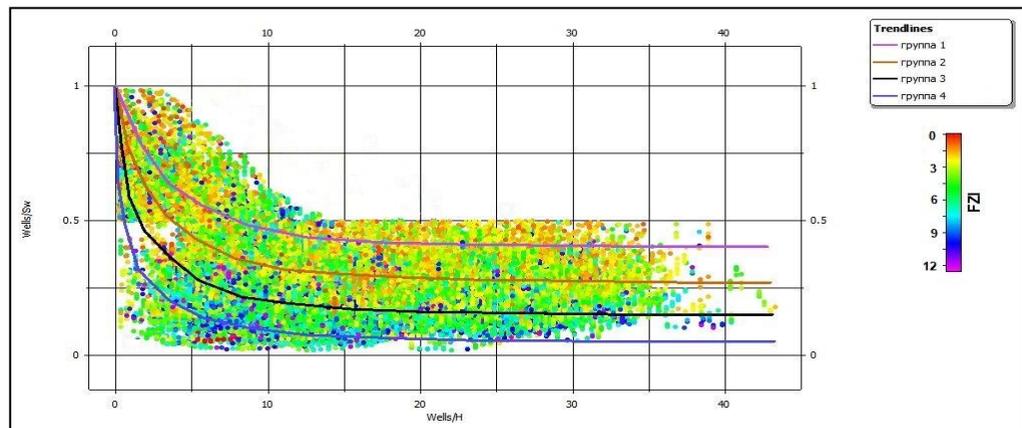
2. Выполняется построение куба высоты H ячеек модели над уровнем «зеркала свободной воды». Для изучаемого объекта принято, что уровень «зеркала свободной воды» находится на расстоянии 2÷4 метров ниже относительно уровня ВНК.

3. Выполняется построение куба нефтенасыщенности с использованием базы РИГИС. При необходимости дополнительно возможно использование некоторого трендового куба нефте(водо)насыщенности, полученного на основе корреляционных зависимостей основных ФЕС пластов.

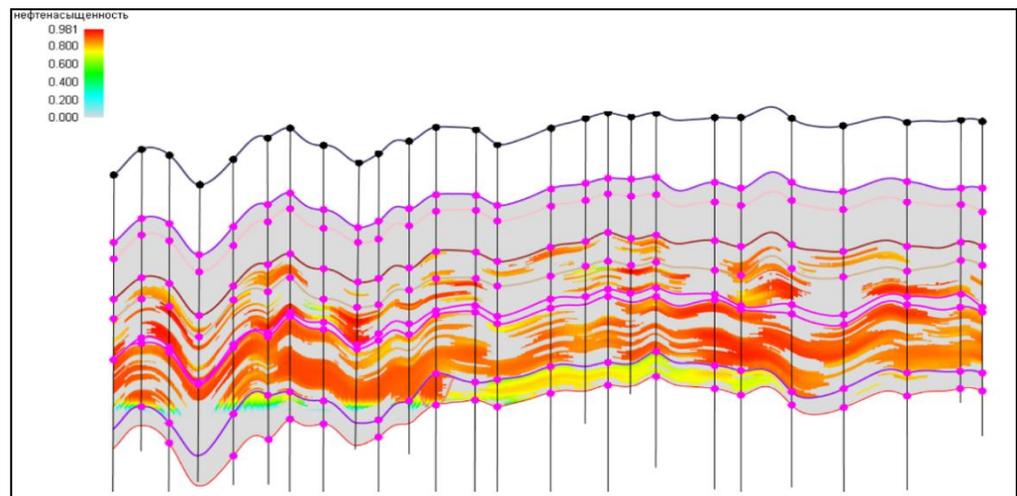
4. Выполняется определение корреляционной зависимости коэффициента водонасыщенности K_e (п.1) от высоты H (п.2). Учитывая, что в пределах изучаемого объекта выделено четыре условные группы коллекторов (таблица 3), то для каждой из этих группы была определена собственная корреляционная зависимость коэффициента водонасыщенности K_e от высоты H (рисунок 3а):

- группа 1 – $K_B = 0.6746 \times H^{-0.143}$;
- группа 2 – $K_B = 0.6091 \times H^{-0.230}$;
- группа 3 – $K_B = 0.4227 \times H^{-0.279}$;
- группа 4 – $K_B = 0.2568 \times H^{-0.422}$.

5. Построение окончательного куба нефтенасыщенности K_n (рисунок 3б) с использованием зависимостей коэффициента водонасыщенности K_e от высоты H , полученных в п.4.



а) Зависимость K_v от высоты H



б) Схематический разрез

Рис. 3. Моделирование куба нефтенасыщенности с учетом неоднородности пластов по ФЕС

Таким образом, в результате использования ранее разработанных подходов построена трехмерная ГГДМ. На основе данной трехмерной модели была проведена оценка и локализация остаточных извлекаемых запасов нефти и сформированы адресные рекомендации по повышению эффективности текущей системы разработки [1, 18, 19, 20, 21]. Данные рекомендации включали в себя проведение таких ГТМ, как гидравлический разрыв пласта (ГРП) и обработка призабойной зоны (ОПЗ). В результате апробации предложенных рекомендаций были проведены соответствующие ГТМ в трех скважинах (таблица 4).

Таблица 4 – Результаты проведения ГТМ

№ скв.	Дата проведения	ГТМ	Результат
XX1	XX.01.20XX	ОПЗ ГРП	Успешно
XX2	XX.01.20XX	ОПЗ ГРП приобщение пласта	Успешно
XX3	XX.03.20XX	ОПЗ ГРП	Успешно

На рисунке 4 представлены показатели работы скважин до и после ГТМ. Как видно из данного рисунка, в результате проведения предложенных рекомендаций по скважинам №№ XX1, XX2 и XX3 наблюдается повышение дебитов жидкости и нефти.

Использование характеристик вытеснения Сазонова показало, что технологическая эффективность при проведении предложенных ГТМ за 4 месяцев составила 2 463 т нефти (рисунок 5).

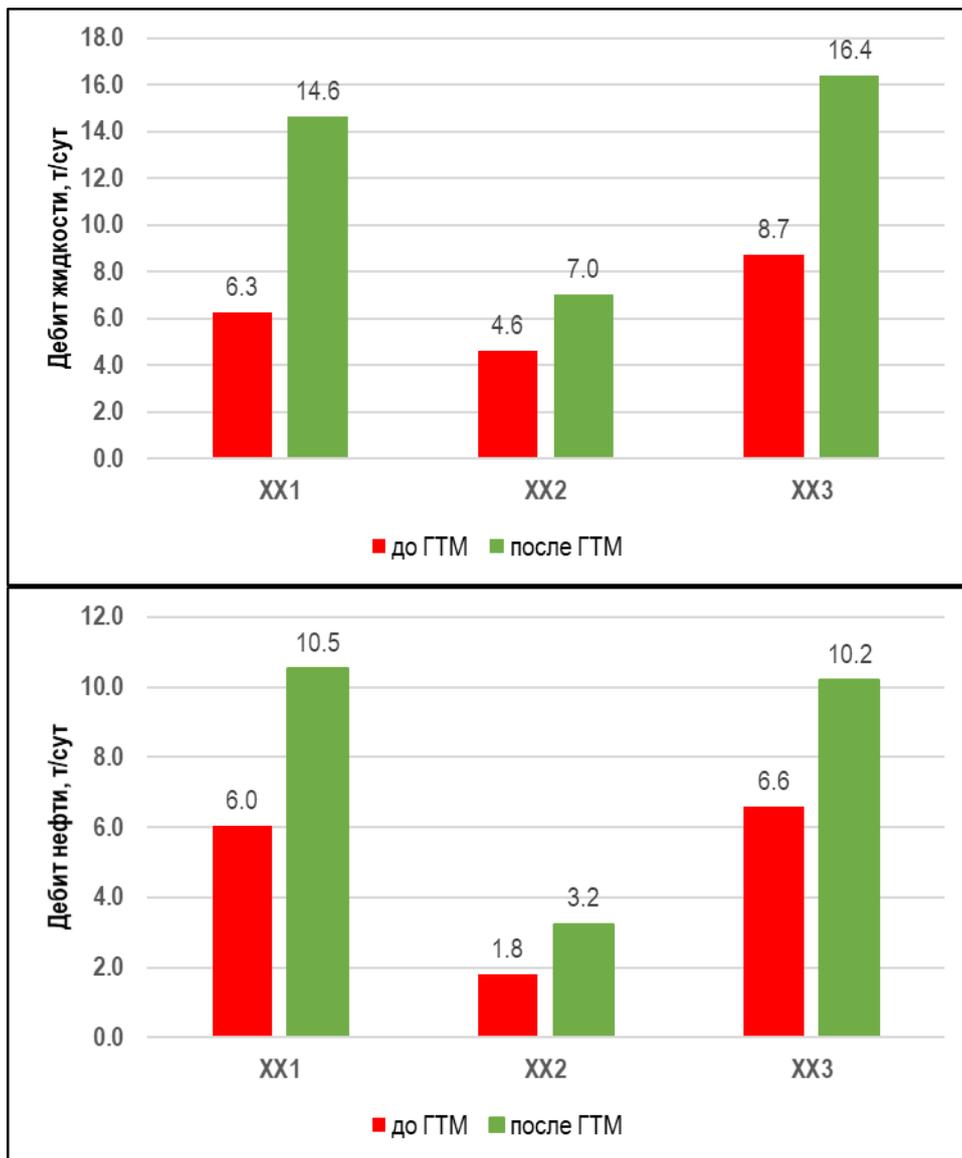


Рис. 4. Изменение показателей работы скважины до и после ГТМ

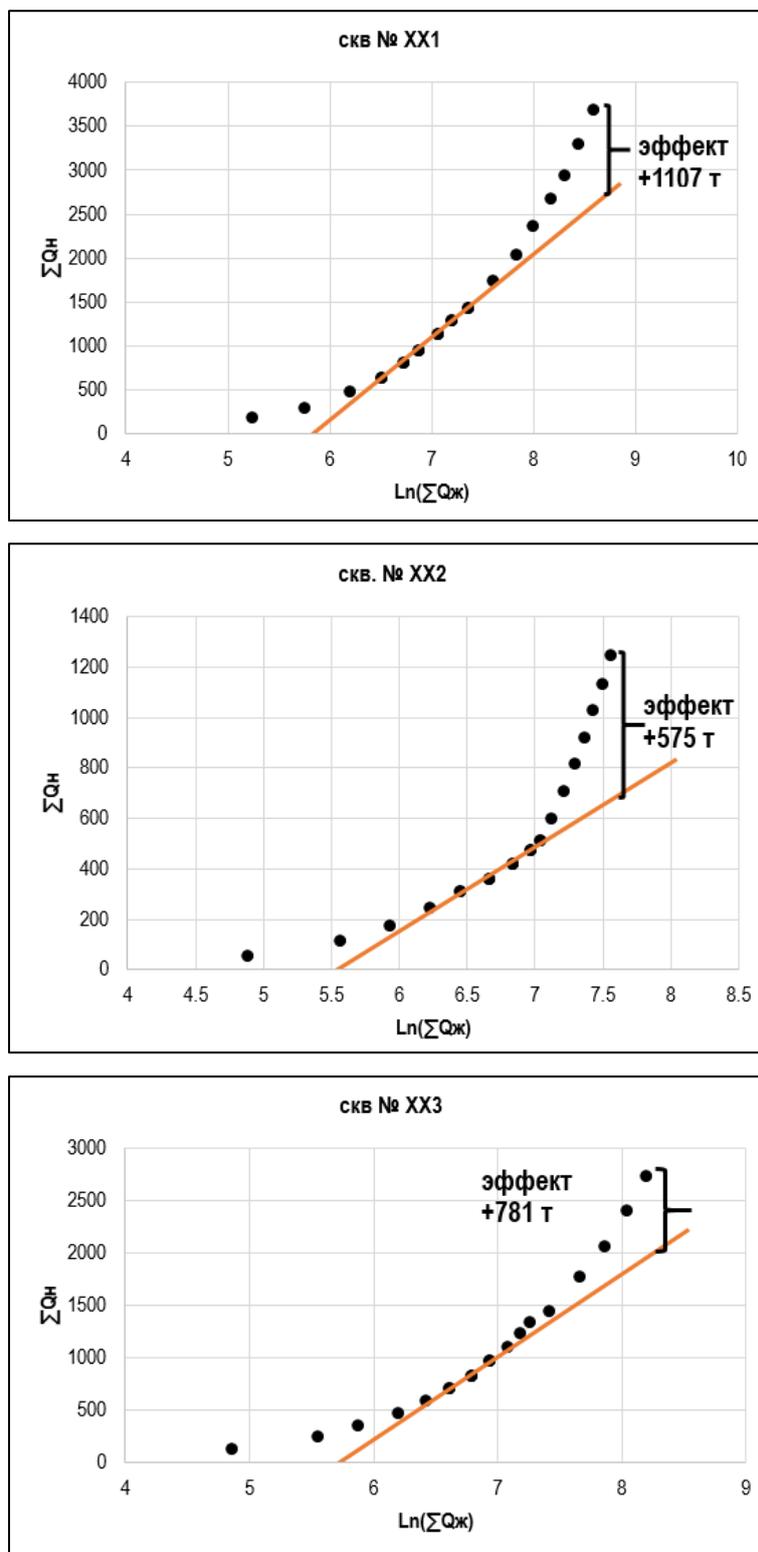


Рис. 5. Оценка эффекта ГТМ с использованием характеристики вытеснения Сазонова

Таким образом, применение вышеприведенных подходов при построении трехмерной ГГДМ позволяет повысить достоверность локализации остаточных запасов нефти на поздней стадии разработки и способствует формированию адресных рекомендаций по увеличению эффективности текущей системы разработки.

Финансирование: работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2022-297 в рамках программы развития НЦМУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка эффективности ГРП с учетом образованных геологических тел / Р.З. Нургалиев, Р.И. Галлямов, А.А. Махмутов, Е.В. Корнев, А.Н. Астахова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 3. С. 57-62.
2. Предпосылки к уточнению концептуальной и седиментологической моделей нефтяных пластов на поздней стадии разработки / Р.Г. Сарваретдинов, А.А. Махмутов, С.Н. Смирнов, А.Н. Астахова, А.Г. Миннуллин, И.И. Бакиров // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 10. С. 45-50.
3. Оценка качества 3D моделей / К.Е. Закревский, Д.М. Майсюк, В.Р. Сыртланов. М.: ООО «ИПЦ Маска», 2008. 272 с.
4. 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.
5. Способ определения поправок абсолютных отметок в наклонных скважинах и водонефтяного контакта многопластового месторождения / М.А. Кузнецов, Н.Л. Черковский, Г.А. Бахтияров, Р.Г. Сарваретдинов, А.А. Махмутов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 11. С. 49-51.
6. Использование метода определения абсолютных отметок в наклонных скважинах и водонефтяного контакта в промысловых условиях / Н.Л. Черковский, Г.А. Бахтияров, Р.Г. Сарваретдинов, А.А. Махмутов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 11. С. 52-54.
7. Совершенствование методики построения карты проницаемости с учетом неоднородности пластов / Р.Г. Сарваретдинов, А.А. Махмутов, А.А. Амиров, И.Г. Хамитов // Нефтепромысловое дело. 2015. № 4. С. 26-29.
8. Совершенствование методики построения куба проницаемости с учетом неоднородности пластов при трехмерном моделировании / А.А. Махмутов, Р.Х. Гильманова, Р.Г. Сарваретдинов, В.Н. Кожин // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2015. № 4. С. 26-28.

9. Опыт моделирования куба нефтенасыщенности в неоднородных по фильтрационно-емкостным свойствам пластах на поздней стадии разработки / И.И. Бакиров, А.А. Махмутов, А.Г. Миннуллин, В.Г. Уметбаев, А.Г. Талалай, А.С. Беляева // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2017. № 12. С. 69-70.
10. Использование методики построения куба проницаемости с учетом неоднородности пластов на месторождениях нефти Урало-Поволжья / Р.Х. Гильманова, А.А. Махмутов, Е.В. Корнев, Т.Р. Вафин // Нефтяная провинция. 2020. № 4 (24). С. 72-89.
11. Совершенствование метода гидравлических единиц потока на основе кусочно-линейной аппроксимации функции распределения FZI в условиях сложного геологического строения / А.А. Махмутов, В.К. Мухутдинов, Р.Х. Гильманова, Р.М. Инсафов // Нефтяная провинция. 2021. № 4 (28). Часть 2. С. 343-352.
12. Совершенствование методики моделирования куба проницаемости с учетом неоднородности структуры порового пространства продуктивных пластов Южно-Татарского свода / Р.Н. Бахтизин, А.А. Лутфуллин, А.А. Махмутов // Нефтегазовое дело. 2023. Т. 21. №2. С. 25-34.
13. Уточнение геологической модели продуктивных отложений васюганской свиты на основе изучения условий их формирования / Д.Ю. Чудинова, Е.М. Махныткин, Н.В. Шабрин, А.Ю. Котенев, Р.М. Миннихметова. // Нефть. Газ. Новации. 2021. №9. С. 13-17.
14. Методические рекомендации по подсчету геологических запасов нефти и газа объемным методом. Под редакцией В.И. Петерсилье, В.И. Пороскуна, Г.Г. Яценко. Москва-Тверь: ВНИГНИ, НПЦ «Тверьгеофизика», 2003. 258 с.
15. Абсолютная проницаемость и структура пустотного пространства коллекторов Западной Сибири / Р. Т. Ахметов, А. М. Маляренко, Л. С. Кулешова, В.В. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 7(355). С. 71-77. DOI 10.33285/2413-5011-2021-7(355)-71-77. EDN AZNJAL.
16. Методические подходы при изучении физических свойств неоднородных глинизированных пород-коллекторов / А. М. Маляренко, В. А. Богдан, С. А. Блинов [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 8. С. 57-63. DOI 10.30713/2413-5011-2020-8(344)-57-63. EDN BEMELV.
17. Особенности распределения пористости и проницаемости продуктивных пластов / Д. И. Султанова, А. М. Маляренко // Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике: Материалы VII Международной научно-практической конференции, Уфа, 02–03 апреля 2018 года / Ответственный редактор К.Ш. Ямалетдинова. Том Ч. 1. Уфа: Башкирский государственный университет, 2018. С. 149-150. EDN XVBRGP.

18. Обоснование геологических критериев распределения остаточных запасов нефти юрских отложений и технологии их освоения / Н.В. Шабрин, Ю.А. Котенев, Ш.Х. Султанов, Е.А. Машкова // Нефть. Газ. Новации. 2022. № 12. С. 20-26.
19. Влияние фациальных обстановок осадконакопления тюменской свиты на эффективность извлечения и выработку запасов углеводородов / Н.В. Шабрин, А.В. Стенькин, А.Ю. Котенев // Журнал «Вестник Академии наук Республики Башкортостан». 2022. № 43. С. 36-45.
20. Особенности выработки запасов нефти юрско-нижнемеловых отложений на основании уточнения литолого-фациального строения месторождения / С.В. Арефьев, В.В. Никифоров, Ю.А. Котенев, Н.В. Шабрин, А.Р. Шарафутдинов // Нефть. Газ. Новации. 2022. № 3. С. 26-31.
21. Обоснование выбора участков для применения геолого-технических мероприятий на основе геолого-гидродинамического моделирования / А. Н. Халиков, Д. Ю. Чудинова, М. М. Хидиятов // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: Материалы Международной научно-практической конференции, Альметьевск, 14–17 ноября 2018 года. Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2018. С. 150-153. EDN ZBCEDR.

R E F E R E N C E S

1. Evaluation of hydraulic fracturing efficiency taking into account formed geological bodies / R.Z. Nurgaliev, R.I. Gallyamov, A.A. Makhmutov, E.V. Kornev, A.N. Astakhova // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2017. No. 3. Pp. 57-62.
2. Prerequisites for clarifying the conceptual and sedimentological models of oil reservoirs at a late stage of development / R.G. Sarvaretdinov, A.A. Makhmutov, S.N. Smirnov, A.N. Astakhova, A.G. Minnullin, I.I. Bakirov // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2017. No. 10. Pp. 45-50.
3. Quality assessment of 3D models / K.E. Zakrevsky, D.M. Maysyuk, V.R. Syrtlanov. M.: LLC "IPC Mask", 2008. 272 p.
4. 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.
5. A method for determining the corrections of absolute marks in inclined wells and water-oil contact of a multi-layer field / M.A. Kuznetsov, N.L. Cherkovsky, G.A. Bakhtiyarov, R.G. Sarvaretdinov, A.A. Makhmutov // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2014. No. 11. Pp. 49-51.
6. Use of the method for determining absolute marks in inclined wells and water-oil contact in field conditions / N.L. Cherkovsky, G.A. Bakhtiyarov, R.G.

- Sarvaretdinov, A.A. Makhmutov // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2014. No. 11. Pp. 52-54.
7. Improving the methodology for constructing a permeability map taking into account the heterogeneity of reservoirs / R.G. Sarvaretdinov, A.A. Makhmutov, A.A. Amirov, I.G. Khamitov // Oilfield business. 2015. No. 4. Pp. 26-29.
 8. Improving the methodology for constructing a permeability cube, taking into account the heterogeneity of reservoirs in three-dimensional modeling / A.A. Makhmutov, R.Kh. Gilmanova, R.G. Sarvaretdinov, V.N. Kozhin // Automation, telemechanization and communication in the oil industry. 2015. No. 4. Pp. 26-28.
 9. Experience in modeling the oil saturation cube in reservoirs that are heterogeneous in terms of reservoir properties at a late stage of development / I.I. Bakirov, A.A. Makhmutov, A.G. Minnullin, V.G. Umetbaev, A.G. Talalay, A.S. Belyaeva // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2017. No. 12. Pp. 69-70.
 10. Using the technique of constructing a permeability cube taking into account the heterogeneity of reservoirs in the oil fields of the Ural-Volga region / R.Kh. Gilmanova, A.A. Makhmutov, E.V. Kornev, T.R. Vafin // Oil Province. No. 4 (24). 2020. Pp. 72-89.
 11. Improvement of the method of hydraulic flow units based on piecewise linear approximation of the FZI distribution function under conditions of complex geological structure / A.A. Makhmutov, V.K. Mukhutdinov, R.Kh. Gilmanova, R.M. Insafov // Oil Province. 2021. No. 4 (28). Part 2. Pp. 343-352.
 12. Improving the methodology for modeling the cube of permeability, taking into account the heterogeneity of the structure of the pore space of the productive strata of the South Tatar arch / R.N. Bakhtizin, A.A. Lutfullin, A.A. Makhmutov // Oil and gas business. 2023. V.21. No. 2. Pp. 25-34.
 13. Refinement of the geological model of productive deposits of the Vasyugan suite based on the study of the conditions of their formation / D.Yu. Chudinova, E.M. Makhnytkin, N.V. Shabrin, A.Yu. Kotenev, R.M. Minniakhmetova. // Oil. Gas. Innovations. 2021. No. 9. Pp. 13-17.
 14. Guidelines for calculating the geological reserves of oil and gas by the volumetric method. Edited by V.I. Petersilie, V.I. Poroskun, G.G. Yatsenko. Moscow-Tver: VNIGNI, SPC "Tvergeofizika", 2003. 258 p.
 15. Akhmetov R.T., Malyarenko A.M., Kuleshova L.S. Absolute permeability and void space structure of reservoirs in Western Siberia // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2021. No. 7(355). Pp. 71-77. DOI 10.33285/2413-5011-2021-7(355)-71-77. EDN AZNJAL.
 16. Malyarenko A. M., Bogdan V. A., Blinov S. A. [et al.] Methodological approaches to studying the physical properties of heterogeneous shaly reservoir rocks // Geology, geophysics and development of oil and gas fields. 2020. No. 8. Pp. 57-63. DOI 10.30713/2413-5011-2020-8(344)-57-63. EDN BEMELV.

17. Features of the distribution of porosity and permeability of productive formations / D. I. Sultanova, A. M. Malyarenko // Innovations and high technologies in education and economics: Proceedings of the VII International scientific and practical conference, Ufa, 02 April 03, 2018 / Managing editor K.Sh. Yamaletdinova. Volume Ch. 1. Ufa, Bashkir State University, 2018. Pp. 149-150. EDN XVBRGP.
18. Substantiation of geological criteria for the distribution of residual oil reserves of Jurassic deposits and technologies for their development / N.V. Shabrin, Yu.A. Kotenev, Sh.Kh. Sultanov, E.A. Mashkova // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 12. Pp. 20-26.
19. Influence of facies environments of sedimentation of the Tyumen suite on the efficiency of extraction and development of hydrocarbon reserves / N.V. Shabrin, A.V. Stenkin, A.Yu. Kotenev // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2022. No. 43. Pp. 36-45.
20. Features of the development of oil reserves of the Jurassic-Lower Cretaceous deposits based on the refinement of the lithofacies structure of the field / S.V. Arefiev, V.V. Nikiforov, Yu.A. Kotenev, N.V. Shabrin, A.R. Sharafutdinov // Oil. Gas. Innovations. 2022. No. 3. Pp. 26-31.
21. Substantiation of the choice of sites for the application of geological and technical measures based on geological and hydrodynamic modeling / A. N. Khalikov, D. Yu. Chudinova, M. M. Khidiyatov // Achievements, problems and prospects for the development of oil and gas industries: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Almeteyevsk, November 14–17, 2018. Almeteyevsk, Almeteyevsk State Oil Institute, 2018. Pp. 150-153. EDN ZBCEDR.

Сведения об авторах:

Махмутов Алмаз Аксанович, доктор геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: makhmutov_aa@mail.ru. ORCID ID: 0009-0004-3694-5484.

Маляренко Алина Михайловна, кандидат геолого-минералогических наук, преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: m_alina_m@mail.ru. ORCID ID: 0009-0009-0535-1110.

Шабрин Никита Владиславович старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349

Халиков Альмир Наилевич, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», ул. Космонавтов, д. 1, 450064, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: almir94@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0001-6801-3770

Мухутдинов Вадим Касымович, кандидат технических наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», ул. Заки Валиди, д. 32, 450076, г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: mvk-gf@mail.ru. ORCID ID: 0009-0008-0393-3371.

Author's personal details

Makhmutov Almaz Aksanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Ufa State Petroleum Technological University, st. Kosmonavtov, 1, 450064, Ufa, Russian Federation. E-mail: makhmutov_aa@mail.ru. ORCID ID: 0009-0004-3694-5484.

Malyarenko Alina Mikhailovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Lecturer, Ufa State Petroleum Technological University, st. Kosmonavtov, 1, 450064, Ufa, Russian Federation. E-mail: m_alina_m@mail.ru. ORCID ID: 0009-0009-0535-1110.

Shabrin Nikita Vladislavovich, Senior Lecturer, Ufa State Petroleum Technological University, st. Kosmonavtov, 1, 450064, Ufa, Russian Federation. E-mail: nikita.shabrin@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0003-4727-6349

Khalikov Almir Nailevich, Senior Lecturer, Ufa State Petroleum Technological University, st. Kosmonavtov, 1, 450064, Ufa, Russian Federation. E-mail: almir94@yandex.ru. ORCID ID: 0000-0001-6801-3770

Mukhutdinov Vadim Kasymovich, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Ufa University of Science and Technology, st. Zaki Validi, 32, 450076, Ufa, Russian Federation. E-mail: mvk-gf@mail.ru. ORCID ID: 0009-0008-0393-3371.

© Махмутов А.А., Маляренко А.М., Шабрин Н.В., Халиков А.Н.,
Мухутдинов В.К.

**ВТОРИЧНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ УГЛЕВОДОРОДОВ В ТРИАСОВОЙ
ВУЛКАНОГЕННО-КАРБОНАТНОЙ ФОРМАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ
С СКЛАДЧАТО-НАДВИГОВЫМИ ДИСЛОКАЦИЯМИ
ЮЖНО-МАНГЫШЛАКСКОГО ПРОГИБА**

© Попков Василий Иванович, Попков Иван Васильевич
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»,
г. Краснодар, Российская Федерация

Аннотация. На примере хорошо изученных месторождений Южно-Мангышлакского прогиба рассмотрено строение резервуаров нефти и газа в низкопроницаемом триасовом разрезе, приуроченных к фронтальным частям складчато-надвиговых дислокаций. Для решения поставленной задачи был произведен комплексный анализ имеющейся к настоящему времени геолого-геофизической информации по строению триасовых отложений Жетыбай-Узеньской ступени. Детально исследованы особенности строения отдельных месторождений нефти и газа. Для изучения емкостно-фильтрационных свойств пород проанализированы данные петрофизики, каротажные диаграммы. Привлечены данные химических анализов макро- и микрокомпонентного состава пластовых флюидов, испытаний поисково-разведочных скважин. Изучение строения резервуаров углеводородов и гидрогеологических особенностей триасового разреза показало, что в отличие от перекрывающих отложений платформенного чехла они обладают рядом характерных черт, позволяющих говорить об особых гидрогеохимических и гидродинамических условиях этих комплексов, определяемых, прежде всего, вторичным характером их фильтрационно-емкостных свойств. Водонасыщенность матрицы пород, очаговый характер развития вторичных коллекторов на фоне крайне низкой проницаемости окружающих толщ делают невозможным развитие элизионных потоков. Это обуславливает высокую чувствительность нижнего этажа к различным компрессионным процессам, в том числе обусловленных вторжением глубинных высокоэнергетичных флюидных потоков. Инъекция флюидов сопровождается разуплотнением низкопроницаемых толщ, образованием дополнительных трещин, формированием вторичных пустот метасоматического происхождения. В результате образуются вторичные резервуары сложной морфологии, заполняемые углеводородами. Совпадение в плане гидрогеохимических и гидродинамических аномалий, участков вторичных коллекторов с отчетливыми следами метасоматоза и связанными с ними скоплениями нефти и газа свидетельствуют об их генетической взаимосвязи.

Ключевые слова: складчатые дислокации, надвиговые дислокации, триас, гидрогеологические аномалии, коллекторские свойства, нефтегазоносность.

**SECONDARY HYDROCARBON RESERVOIRS IN THE TRIASSIC
VOLCANOGENIC-CARBONATE FORMATION ASSOCIATED WITH
WITH FOLDED-THRUST DISLOCATIONS SOUTH MANGYSHLAK
TROUGH**

© Popkov Vasily Ivanovich, Popkov Ivan Vasilievich
FGBOU VO "Kuban State University", Krasnodar, Russian Federation

Summary. The structure of oil and gas reservoirs in the low-permeability Triassic section confined to the frontal parts of fold-thrust dislocations is considered on the example of the well-studied fields of the South Mangyshlak trough. To solve this problem, a comprehensive analysis of the currently available geological and geophysical information on the structure of the Triassic deposits of the Zhetybai-Uzen stage was carried out. To study the capacitive-filtration properties of rocks, petrophysics data and well logs were analyzed. The data of chemical analyzes of the macro- and microcomponent composition of reservoir fluids, tests of exploration wells are involved. The study of the structure of hydrocarbon reservoirs and the hydrogeological features of the Triassic section showed that, in contrast to the overlying deposits of the platform cover, they have a number of characteristic features that allow us to speak about the special hydrogeochemical and hydrodynamic conditions of these complexes, determined primarily by the secondary nature of their reservoir properties. The water saturation of the rock matrix, the focal nature of the development of secondary reservoirs against the background of the extremely low permeability of the surrounding strata make it impossible for the development of elision flows. This causes the lower level to be highly sensitive to various compression processes, including those caused by the intrusion of deep high-energy fluid flows. Fluid injection is accompanied by deconsolidation of low-permeability strata, the formation of additional fractures, and the formation of secondary voids of metasomatic origin. As a result, secondary reservoirs of complex morphology are formed, filled with hydrocarbons. The coincidence in terms of hydrogeochemical and hydrodynamic anomalies, areas of secondary reservoirs with distinct traces of metasomatism and associated accumulations of oil and gas indicate their genetic relationship.

Key words: folded dislocations, thrust dislocations, Triassic, hydrogeological anomalies, reservoir properties, oil and gas potential.

Введение. Предыдущими исследованиями установлена важная роль тангенциального сжатия в процессах генерации нефти и газа [1 – 3]. Обосновано также, что зоны развития складчато-надвиговых дислокаций обладают весомым аккумуляционным потенциалом, обусловленным широким развитием и повышенной плотностью в их пределах разнообразных ловушек углеводородов и, прежде всего высокоамплитудных локальных поднятий [4 – 6]. При развитии в разрезе поровых коллекторов в ловушках накапливаются крупные скопления нефти и газа, а методические подходы к их опоскованию достаточно разработаны. Сложнее обстоят дела, если в разрезе преобладают низкопроницаемые толщи пород. В этой ситуации формируются резервуары очень сложной морфологии [7]. Условия их образования и особенности строения изучены недостаточно, что затрудняет не только ведение поисково-разведочных работ, но и планирование разработки открытых залежей нефти и газа.

Данную проблему предлагается рассмотреть на примере хорошо изученных месторождений, приуроченных к вулканогенно-карбонатной формации триаса Южного Мангышлака. С этой целью были детально исследованы особенности строения отдельных месторождений нефти и газа. Для изучения емкостно-фильтрационных свойств пород проанализированы данные петрофизики, каротажные диаграммы. Привлечены данные химических анализов макро- и микрокомпонентного состава пластовых флюидов, испытаний поисково-

разведочных скважин. Строение содержащих скопления нефти и газа складчато-надвиговых дислокаций рассмотрено нами в отдельной статье, размещенной в данном выпуске журнала.

Результаты исследований. Триасовые отложения погружены на глубины 4 и более километров, в ряде случаев подверглись существенным деформациям, стресс-метаморфизму и уплотнению [8]. В такой обстановке в результате прогрессирующих катагенетических преобразований осадочные породы в значительной степени утратили первичные пористость и проницаемость, а локализация скоплений углеводородов контролируется участками развития вторичных коллекторов [9 – 13]. В пределах северного борта Южно-Мангышлакского прогиба в триасовых отложениях выявлен ряд мелких и средних по величине запасов нефтяных, нефтегазовых и газоконденсатных месторождений, связанных с складчато-надвиговыми дислокациями. Наиболее крупными из них являются Южный Жетыбай, Тасбулат, Западный Тасбулат, Каменистое и др., находящиеся в настоящее время в разработке. Строение нефтегазоносных структур может быть проиллюстрировано на примере детально изученных месторождений Южный Жетыбай и Тасбулат.

Нефтегазовое месторождение Южный Жетыбай. Южно-Жетыбайская принадвиговая антиклиналь по кровле среднего триаса имеет размер 11,5x2,1 км. Осложнена она двумя локальными поднятиями: собственно Южно-Жетыбайское (Каржауское) и к востоку от него – Нормаульское. На южном крыле структуры фиксируется крупный надвиг, амплитуда которого достигает 500 м. Промышленная нефтегазоносность установлена в юрских (13 залежей, связанных с горизонтами Ю-II – V и Ю-IX – XIII) и триасовых (залежи А, Б, В и Г) отложениях.

Проведенные исследования свидетельствуют о приуроченности триасовых залежей углеводородов месторождения к линейной зоне разуплотнения пород субширотного простирания, совпадающей с присводовой частью антиклинали [13, 14]. Прямым подтверждением этому является расположение всех продуктивных скважин №№ 26, 22, 25, 4, 23, 38, 24, 28, 17 в зоне разуплотнения, а непродуктивных скважин №№ 37, 36, 20, 30, 31, 21, 15, 29 – вне зоны разуплотнения (рис. 1). Кроме того, практически во всех продуктивных скважинах помимо притоков углеводородов были получены притоки маломинерализованных вод, причем довольно внушительные. В частности, при опробовании скважины №26 дебит воды на штуцере 7 мм составил 77,8 м³/сут., а на 17 мм – 355 м³/сут. Дебит газа при этом увеличился с 95 до 216 тыс. м³/сут., а конденсата – с 4,8 до 12,8 м³/сут. Скважина долгое время находилась в эксплуатации, однако заметного роста обводненности продукции не произошло. Аналогичные результаты получены в скважинах №№ 25, 38, 22.

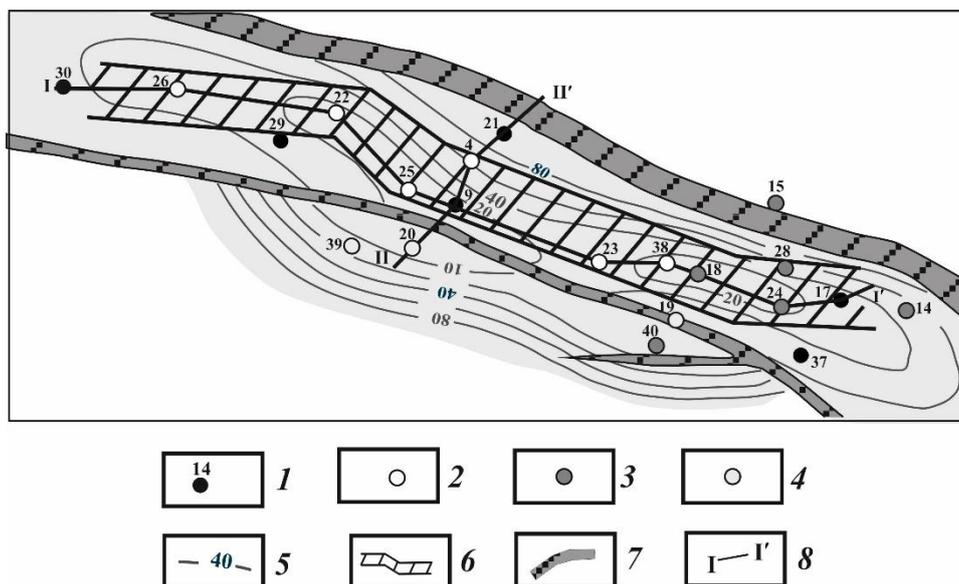


Рис. 1. Схема гидрохимической зональности триасового комплекса месторождения Южный Жетыбай [14, изменено],

где: 1 – 4 скважины. Вверху – номер скважины, слева – минерализация, г/л; справа – Кнг. Тип воды: 1 – ГКН, 2 – ХК, 3 – ХМ, 5 – изомеры, г/л; 6 – зона разуплотнения, 7 – разломы по данным сейсморазведки, 8 – линии гидрогеологических разрезов, рис. 2.

Выделенная зона разуплотнения сопровождается четко выраженными гидрохимической и гидродинамической аномалиями в триасовом разрезе. Так, для вод триасового комплекса установлено закономерное возрастание их минерализации по направлению от свода антиклинали к крыльям, а также к периклиналям, где минерализация вод увеличивается до 25,0–48,5 г/л. На северном крыле минерализация достигает 157,0–159,0 г/л (скв. №№ 31, 15, 14). Ростом минерализации сопровождается изменением типа вод. Так, на южном опущенном принадвиговом блоке вскрываются воды хлормагниевого состава, на периклиналях и крыльях – хлоркальциевые воды, которые замещающиеся в центральной части структуры (скв. №№ 4, 26, 22, 25, 23, 38) водами гидрокарбонатно-натриевого типа [14].

Помимо хлормагневых вод в ряде других площадей отмечены воды сульфатно-натриевого типа. Наглядно эта связь прослеживается от периферии структуры к своду. В скважинах №15 и №14, расположенных на северном крыле и восточной периклинали, содержание гидрокарбонат-иона составляет 1,5–7,3 мг-экв/л, а кальция – 142,9–775,8 мг-экв/л. В сводовых скважинах содержание гидрокарбонатов возрастает до 25,4–28,0 мг-экв/л, а концентрация кальция снижается до 0,4–8,5 мг-экв/л (скв. №№25 и 26). Тип вод при этом сменился с хлоркальциевого на гидрокарбонатно-натриевый, а минерализация вод уменьшилась с 48,5–157,0 до 1,1–23,7 г/л.

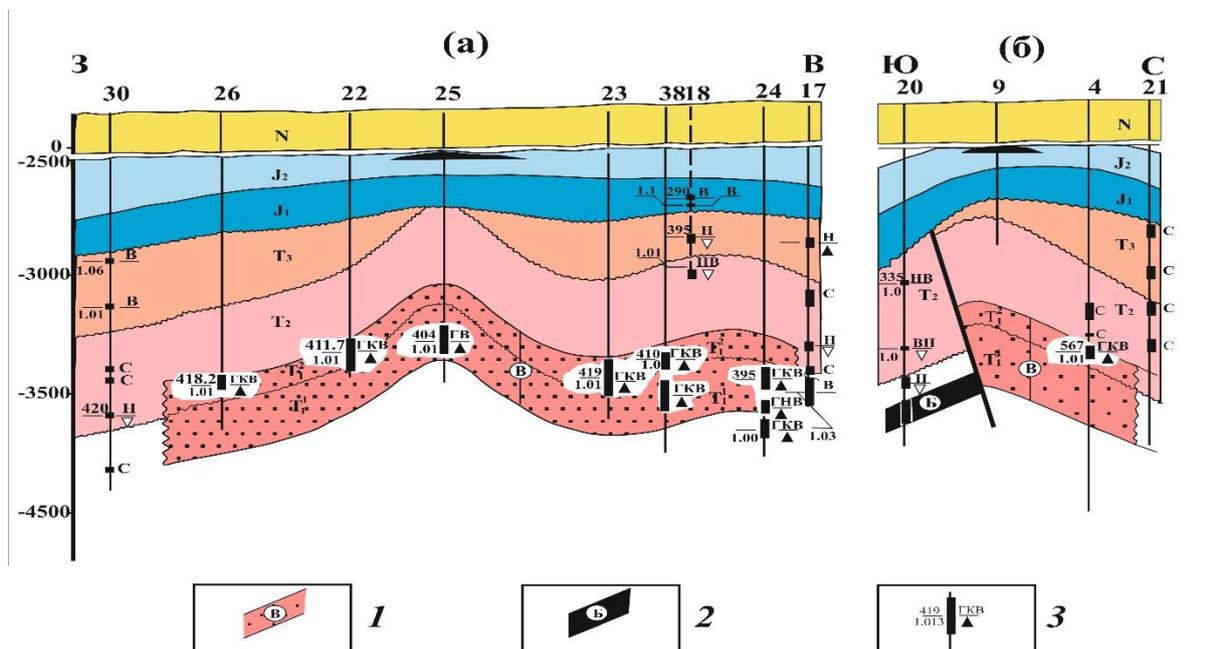


Рис. 2. Месторождение Южный Жетыбай. Схематические геолого-гидрогеологические профили по линиям I-I и II-II [13, изменено], где: 1 – газоконденсатная залежь; 2 – нефтяная залежь; 3 – интервалы опробования. Цифры: слева – в числителе пластовое давление, атм; справа в числителе – тип флюида, Г – газ, К – конденсат, В – вода, Н – нефть, С – интервал «сухой», в знаменателе – притоки промышленный (закрашен), непромышленный (не закрашен).

Кроме плановой гидрохимической зональности присутствует вертикальная зональность (рис 2), выраженная менее контрастно и охарактеризованная ограниченным объемом информации. В скважине №19 минерализация пластовых вод с глубиной уменьшилась с 20,2 г/л (инт. 3455–3496 м) до 14,6 г/л (инт. 3620–3258 м); в скважине №26 – с 40,0 до 19,7 г/л (инт. 3290–3330 м и 3360–3380 м соответственно).

Помимо гидрохимической на месторождении четко проявляется и плановая гидродинамическая зональность (рис. 3). Заключающаяся она в снижении величины коэффициента негидростатичности $K_{нг}$ от 1,1–1,14 в присводовых участках складки, до 1,0 и ниже на крыльях и периклиналях [14]. Превышение пластового давления над гидростатическим в зоне разуплотнения достигает 7,4 Мпа. Гидродинамическая аномалия со значениями $K_{нг} > 1$ совпадает в плане с гидрохимической и полностью находится в пределах зоны разуплотнения.

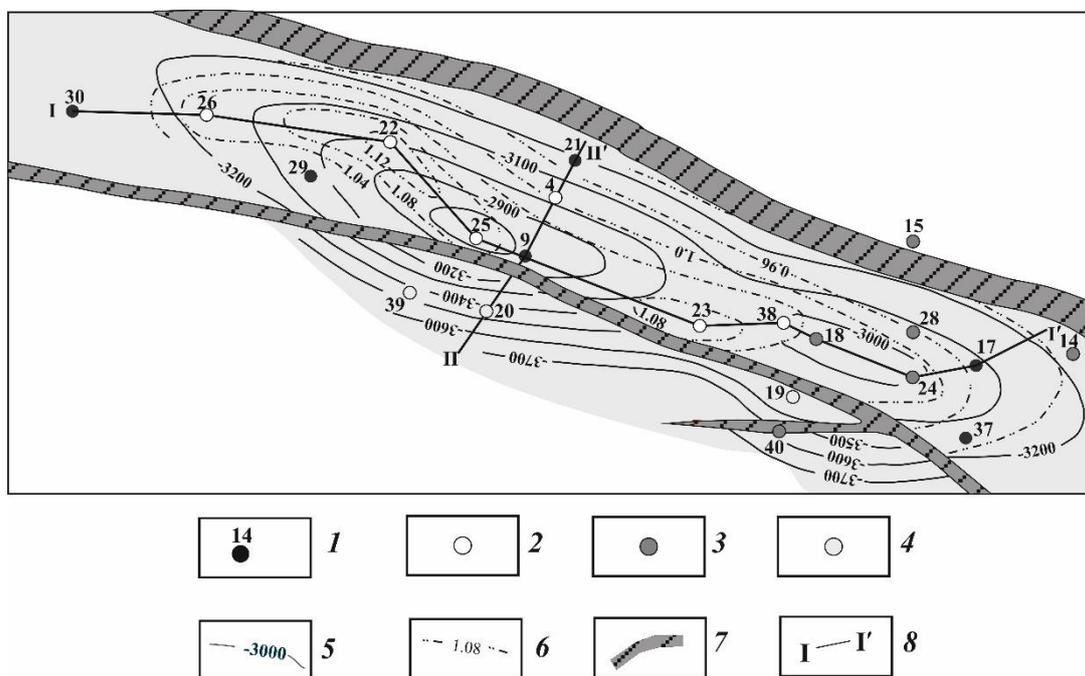


Рис. 3. Схема гидродинамической зональности триасового комплекса месторождения Южный Жетыбай [14, изменено].

где: 1 – скважины: вверху – номер скважины, слева – минерализация, г/л; справа – K_{mg} , внизу – абсолютная отметка кровли карбонатного пласта. Типы вод: 2 – ГКН, 3 – ХК, 4 – ХМ. 5 – изогапсы карбонатного пласта среднего триаса; 6 – изолинии K_{mg} ; 7 – разломы по данным сейсморазведки; 8 – линии гидрогеологических разрезов, рис. 2.

Нефтегазовое месторождение Тасбулат. Месторождение Тасбулат располагается к востоку от Южно-Жетыбайского и находится с ним в сходных структурных условиях. Скопления углеводородов установлены в юрской продуктивной толще и отложениях триаса. Субширотная принадвиговая антиклиналь имеет размеры 10,0x2,5 км. Триасовые отложения интенсивно дислоцированы.

Продуктивные скважины №№ 9, 10, 19, 27 и 26 расположены в зоне повышенной дислоцированности триаса, приуроченной к фронту надвига. Ее ширина составляет немногим более 1 км. С этой зоной связаны основные объемы эпигенетического порообразования, за пределами которой (скв. №№11, 16) проницаемые интервалы методами промысловой геофизики не выделяются. Эта зона четко выражена гидрохимически и гидродинамически.

Ниже зоны распространения юрских хлоркальциевых рассолов в отложениях триаса вскрыты воды с минерализацией 17–31 г/л. В этих водах отмечены невысокие концентрации кальция, магния, йода, брома и повышенные содержания гидрокарбонатов (1407 мг/л), сульфатов (1524 мг/л), на фоне которых зафиксирована контрастная гидрогеохимическая аномалия по йоду (скв. №№ 16, 19) [14].

Для подземных вод триасового комплекса в пределах месторождения установлена плановая гидрогеологическая зональность, проявляющаяся в постепенном уменьшении минерализации вод от крыльев и периклиналей к своду структуры к (рисунок 4).

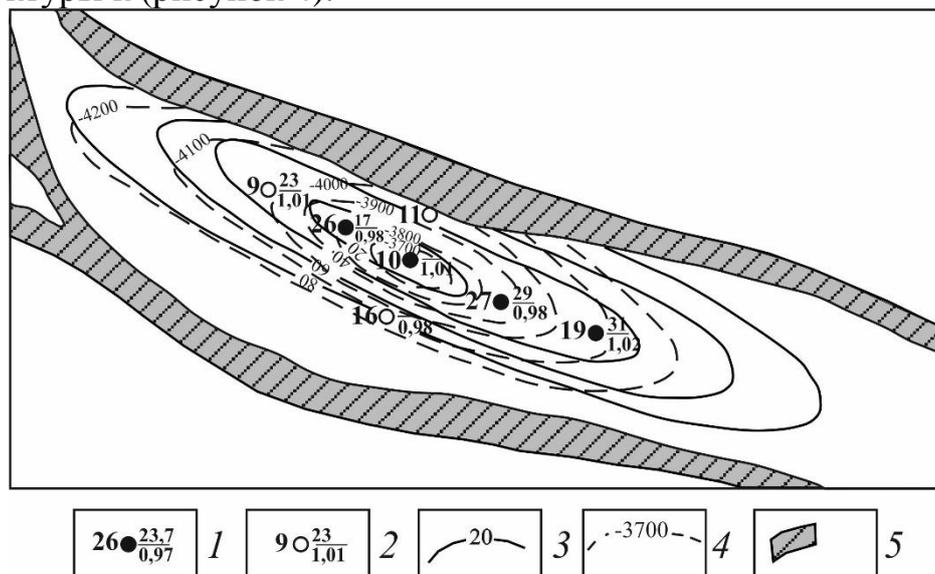


Рис. 4. Схема гидрохимической зональности месторождения Тасбулат [14, изменено],

где: скважины: 1 – продуктивные, 2 – с непромышленным притоком. Слева – номер скважины, справа в числителе – минерализация, г/л, внизу – $K_{нт}$; 3 – изомеры, г/л; 4 – изогипсы по кровле продуктивного пласта; 5 – разломы по данным сейсморазведки.

На месторождении наблюдается и вертикальная гидрохимическая зональность, заключающаяся в возрастании минерализации вод снизу вверх [14]. Наиболее контрастно эта тенденция отмечена в скважинах №19 и №26. В скв. №9 минерализация вод по шестисотметровому разрезе изменяется незначительно – 25,4–27,5 г/л. Гидродинамическая зональность на месторождении выражена менее отчетливо, поскольку значения коэффициента $K_{нт}$ изменяются в очень узких пределах – 0,98–1,02.

О механизме формирования резервуаров углеводородов в триасовых отложениях. Приведенные выше сведения по Южно-Жетыбайскому и Тасбулатскому месторождениям свидетельствуют о приуроченности участков с благоприятными коллекторскими свойствами к присводовым частям принадвиговых антиклиналей, т.е к местам максимального изгиба слоев, где образуются зоны растяжения и повышенной тектонической трещиноватости пород. Имеют они линейный характер, совпадая с простираaniem складок. За пределами зон разуплотнения притоков нефти и газа не получено вследствие крайне низких емкостно-фильтрационных свойств смежных блоков вулканогенно-карбонатного комплекса.

С зонами деформационного разуплотнения в плане совпадают гидрохимические и гидродинамические аномалии подземных вод. Их образование связано с внедрением в вулканогенно-карбонатный комплекс агрессивных глубинных высокоэнергетичных флюидных потоков, использующих зоны повышенной трещиноватости в качестве каналов миграции [13, 15]. Инъекция флюидов в низкопроницаемые толщи приводит к образованию очагов опресненных вод различного гидрохимического типа – от гидрокарбонатно-натриевых до хлоркальциевых, а также к формированию гидродинамических аномалий [16, 17]. При удалении от каналов внедрения происходит постепенное выравнивание гидродинамических и гидрохимических параметров с приближением их к фоновым значениям. Одновременно с этим исчезают и коллекторы. Внедрение агрессивных флюидов сопровождается дополнительным разуплотняющим эффектом за счет процессов гидроразрыва пластов и метасоматоза [7, 13, 15, 18]. В результате формируется сложно построенный резервуар, заполняемый нефтью и газом.

Эти заключения находятся в соответствии с известными данными о строении триасовых резервуаров и залежей Южного Мангышлака. Лабораторные исследования кернового материала показали [9 – 12], что в продуктивной вулканогенно-карбонатной толще триаса присутствуют трещинные, порово-трещинные и каверново-поровые типы коллекторов. Матрицей трещинных коллекторов являются участки породы, лишенные трещин. Проницаемость водонасыщенной матрицы имеет крайне низкие значения, не превышающие $0,01 \times 10^{-3}$ мкм². Емкостью порово-трещинных коллекторов служат первичные и вторичные пустоты. Вторичные коллекторы приурочены к участкам наложенной доломитизации, т.е. имеют метасоматическую природу. Аналогичное происхождение имеют и каверново-поровые коллекторы, связанные с кавернозными доломитами.

Характерно, что в прослоях кристаллических и пелитоморфных известняков присутствуют реликты раковин микроорганизмов, оолитов, карбонатных обломков. Реликты первичной органогенной, оолитовой или обломочной структур сохранились и в доломитах, карбонатно-кремнистых породах. Карбонатно-кремнистые породы являются продуктом интенсивного окремнения известняков и доломитов. Определенная часть объема вторичных пустот (тупиковые части трещин, трещины с раскрытостью менее 2 мкм²) занята остаточной водой. Коллекторы трещинного типа присутствуют во всех типах пород [9 – 12].

Установлено, что горизонты вторичных коллекторов, развитых в различных литологических разностях пород, образуют в триасовом разрезе месторождений единый резервуар сложной морфологии [7, 9, 13]. Средние значения трещинной пористости при этом сохраняются независимо от исходного состава пород. Изменение мощности каверновых коллекторов происходит за

счет замещения, а не выклинивания кавернозных пород, о чем свидетельствует постоянство мощности продуктивных пачек. Положение водонефтяных и газоводяных контактов достоверно не обосновано ни по одной залежи как методами промысловой геофизики, не позволяющими оценить характер насыщения коллекторов, так и результатами опробования ввиду отсутствия объектов, из которых получены притоки пластовой воды ниже границы залежей [7, 9, 13].

Выводы. Выявленные особенности строения резервуаров нефти и газа в пределах складчато-надвиговых дислокаций представляют не только научный, но и практический интерес. Совпадение в плане гидрогеохимических и гидродинамических аномалий, участков вторичных коллекторов с отчетливыми следами метасоматоза и связанными с ними скоплениями нефти и газа свидетельствуют об их генетической взаимосвязи, что может рассматриваться в качестве поискового критерия. Установленная закономерность размещения зон разуплотнения в их пределах позволяет более целенаправленно вести поисково-разведочное бурение, а после открытия скоплений углеводородов – определить оптимальное местоположение эксплуатационных скважин.

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00037.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казанцева Т.Т. Образование углеводородов в геодинамическом аспекте // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академия наук Республики Башкортостан. 2012. № 18. С. 15–26.
2. Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Зуфарова Н.А. Происхождение нефти. Уфа: БФАН СССР, 1982. 30 с.
3. Попков В.И. Тангенциальная тектоника и нефтегазоносность Арало-Каспийского региона. // Доклады. АН СССР. 1990. Т.313. № 2. С. 420–423.
4. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. Структурный фактор в теоретической геологии. Уфа: Гилем, 2010. 325 с.
5. Попков В.И., Попков И.В. Ловушки углеводородов в триасовых отложениях Скифско-Туранской платформы в районах развития складчато-надвиговых дислокаций // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023. Т.18. №3. http://www.ngtp.ru/rub/2023/25_2023.html DOI: 10.17353/2070-5379/25_2023.
6. Попков В.И., Попков И.В. Складчато-надвиговые дислокации в триасовых отложениях Скифско-Туранской платформы // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 1. С. 34–46. DOI: 10.46698/VNC.2023.42.57.003.
7. Паламарь В.П., Попков В.И., Рабинович А.А. О возможности открытия зон нефтегазонакопления жильного типа // Доклады АН СССР. 1981. Т. 257. № 4. С. 968–970.

8. Попков В.И., Попков И.В. Литологическое расчленение и корреляция нефтегазоносных комплексов триаса Южного Мангышлака // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2023. Т. 18. № 2. http://www.ngtp.ru/rub/2023/16_2023.html. DOI: 10.17353/2070-5379/16_2023.
9. Коростышевский М.Н., Кузнецов В.В. Строение продуктивной толщи в триасовых отложениях на Южном Мангышлаке // Разведка нефтяных месторождений Мангышлака. Грозный: СевКавНИПИнефть, 1979. С. 9–14.
10. Кузнецов В.В., Проняков В.А., Инюткина А.В., Вандюк В.П., Котов В.П. Нефтегазовые коллекторы продуктивных триасовых отложений Южного Мангышлака // Оценка параметров карбонатных коллекторов и геометризация залежей нефти в различных геотектонических условиях на территории СССР. Пермь, 1978. С. 36–37.
11. Проняков В.А. Емкостно-фильтрационные свойства коллекторов доюрских образований Южного Мангышлака // Проблемы поиска и разработки нефтяных месторождений Южного Мангышлака. Грозный: СевКавНИПИнефть, 1983. С. 11–13.
12. Чербянова Л.Ф., Попков В.И., Проняков В.А. Литологические особенности и коллекторские свойства триасового вулканогенно-карбонатного комплекса Южного Мангышлака // Геология нефти и газа. 1984. № 11. С. 55–59.
13. Попков В.И., Ларичев В.В., Попков И.В. Структура глубокопогруженных комплексов осадочных бассейнов: гидрогеологические аномалии и нефтегазоносность как следствие внедрения глубинных флюидов (на примере месторождений Южного Мангышлака) // Геотектоника. 2023. № 3. С. 41–66. DOI: 10.31857/S0016853X23030050.
14. Ларичев В.В., Попков В.И. Гидрогеология доюрских отложений Южного Мангышлака. Ставрополь: СевКавГТУ, 2003. 144 с.
15. Попков В.И., Попков И.В. Вторжение глубинных высокоэнергетических флюидов в нижние горизонты осадочных бассейнов как фактор, определяющий их нефтегазоносность // Материалы научно-практической конференции “Гейдар Алиев и нефтяная стратегия Азербайджана: достижения нефтегазовой геологии и геотехнологий”, посвященной 100-летию юбилею общенационального лидера азербайджанского народа Гейдара Алиева. 23 - 26 мая 2023г. Баку. Баку, 2023. С. 393–397.
16. Медведев С.А., Попков В.И. Генезис вод глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов молодой платформы юга СССР // Сов. геология. 1986. № 6. С. 118–125.
17. Рабинович А.А., Попков В.И., Паламарь В.П., Михайленко Н.И. Гидрогеологические особенности доюрского разреза Южного Мангышлака // Сов. геология. 1985. № 11. С. 122–127.

18. Лукин А.Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа // Геол. журн. 2002. № 4. С. 15–32.

REFERENCES

1. Kazantseva T.T. Formation of hydrocarbons in the geodynamic aspect // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2012. No. 18. P. 15–26.
2. Kazantseva T.T., Kamaletdinov M.A., Kazantsev Yu.V., Zufarova N.A. Origin of oil. Ufa: BFAN USSR, 1982. 30 p.
3. Popkov V.I. Tangential tectonics and oil and gas potential of the Aral-Caspian region. // Reports. Academy of Sciences of the USSR. 1990. T.313. No. 2, pp. 420–423.
4. Kazantseva T.T., Kazantsev Yu.V. Structural factor in theoretical geology. Ufa: Guilem, 2010. 325 p.
5. Popkov V.I., Popkov I.V. Traps of hydrocarbons in the Triassic deposits of the Scythian-Turan platform in the areas of development of fold-thrust dislocations // Neftegazovaya geologiya. Theory and practice. 2023. V.18. No. 3. http://www.ngtp.ru/rub/2023/25_2023.html DOI: 10.17353/2070-5379/25_2023.
6. Popkov V.I., Popkov I.V. Fold-thrust dislocations in the Triassic deposits of the Scythian-Turan platform // Geology and Geophysics of the South of Russia. 2023. V. 13. No. 1. pp. 34–46. DOI: 10.46698/VNC.2023.42.57.003.
7. Palamar V.P., Popkov V.I., Rabinovich A.A. On the possibility of opening zones of oil and gas accumulation of vein type // Doklady AN SSSR. 1981. V. 257. No. 4. pp. 968–970.
8. Popkov V.I., Popkov I.V. Lithological division and correlation of oil and gas bearing complexes of the Triassic of the Southern Mangyshlak // Neftegazovaya geologiya. Theory and practice. 2023. Vol. 18. No. 2. http://www.ngtp.ru/rub/2023/16_2023.html. DOI: 10.17353/2070-5379/16_2023.
9. Korostyshevsky M.N., Kuznetsov V.V. The structure of the productive stratum in the Triassic deposits in the South Mangyshlak // Exploration of oil fields of Mangyshlak. Grozny: SevKavNIPIneft, 1979, pp. 9–14.
10. V. V. Kuznetsov, V. A. Pronyakov, A. V. Inyutkina, V. P. Vandyuk, and V. P. Kotov, Russ. Oil and gas reservoirs of productive Triassic deposits of the Southern Mangyshlak // Estimation of parameters of carbonate reservoirs and geometrization of oil deposits in various geotectonic conditions on the territory of the USSR. Perm, 1978, pp. 36–37.
11. Pronyakov V.A. Capacitive-filtration properties of reservoirs of pre-Jurassic formations in South Mangyshlak // Problems of search and development of oil fields in South Mangyshlak. Grozny: SevKavNIPIneft, 1983, pp. 11–13.

12. Cherbyanova L.F., Popkov V.I., Pronyakov V.A. Lithological features and reservoir properties of the Triassic volcanogenic-carbonate complex of the South Mangyshlak // *Geology of Oil and Gas*. 1984. No. 11. pp. 55–59.
13. Popkov V.I., Larichev V.V., Popkov I.V. The structure of deep-immersed complexes of sedimentary basins: hydrogeological anomalies and oil and gas potential as a consequence of the intrusion of deep fluids (on the example of the South Mangyshlak fields) // *Geotectonics*. 2023. No. 3. pp. 41–66. DOI: 10.31857/S0016853X23030050.
14. Larichev V.V., Popkov V.I. Hydrogeology of the pre-Jurassic deposits of the South Mangyshlak. Stavropol: SevKavGTU, 2003. 144 p.
15. Popkov V.I., Popkov I.V. Intrusion of deep high-energy fluids into the lower horizons of sedimentary basins as a factor determining their oil and gas content // Proceedings of the scientific-practical conference “Heydar Aliyev and the oil strategy of Azerbaijan: achievements in oil and gas geology and geotechnologies”, dedicated to the 100th anniversary of the national leader of the Azerbaijani people Heydar Aliyev. May 23 - 26, 2023 Baku. Baku, 2023, pp. 393–397.
16. Medvedev S.A., Popkov V.I. Genesis of waters of deep horizons of oil and gas bearing basins of a young platform in the south of the USSR // *Sov. geology*. 1986. No. 6. pp. 118-125.
17. Rabinovich A.A., Popkov V.I., Palamar V.P., Mikhailenko N.I. Hydrogeological features of the pre-Jurassic section of the Southern Mangyshlak // *Sov. geology*. 1985. No. 11. S. 122–127.
18. Lukin A.E. Hypogenic-allogenic deconsolidation is the leading factor in the formation of secondary oil and gas reservoirs // *Geol. magazine* 2002. No. 4. pp. 15–32.

Сведения об авторах:

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

Попков Иван Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, доцент кафедры нефтяной геологии, гидрогеологии и геотехники, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет». Email: iv-popkov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-2386-6611

© Попков В.И., Попков И.В.

ОБ ЭВОЛЮЦИИ ВЗГЛЯДОВ НА ГЕНЕЗИС ПОДИФОРМНЫХ ХРОМИТИТОВ

© Савельев Дмитрий Евгеньевич,

ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан»,

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

Аннотация. В статье проведен обзор эволюции взглядов на генезис дунитов и хромититов офиолитовых комплексов, так называемых «подиформных месторождений хрома». Показано, что ни одна из предложенных гипотез до настоящего времени не смогла объяснить некоторые закономерности строения подиформных месторождений. Среди них наиболее важными являются следующие: постоянная приуроченность рудных скоплений к дунитам, локализация вкрапленных руд в мощных дунитовых телах, тогда как массивные хромититы обычно отделяются от перидотитов небольшой по мощности дунитовой оторочкой. На смену ранним ортомагматическим взглядам пришли сначала метасоматические, а затем комбинированные модели, которые включали в себя элементы магматического и метасоматического способа образования. Несмотря на то, что многие усилия были предложены для разработки реакционно-магматических моделей, констатируется, что в них отсутствует механизм образования хромититов как геологических тел. Понимание данного факта заставляет многих исследователей, сторонников “реакционной модели”, при объяснении генезиса хромовых руд прибегать к различным другим механизмам. В цитируемых работах предлагаются разработанные ранее модели “смещения магм”, наряду с “реакционной гипотезой”. Однако применение к мантийным ультрамафитам моделей “смещения магм” для формирования хромовых руд сталкивается с проблемой “свободного пространства”, которое необходимо для осаждения больших объемов руд, но которое отсутствует в весьма низко-пористой кристаллической верхней мантии. Автором приведены примеры твёрдофазного образования хромшпинелидов в ходе деформации мантийных силикатов и предложен реоморфический механизм формирования хромититовых тел, в рамках которого могут быть преодолены проблемы существующих гипотез образования хромовых руд в офиолитовых комплексах.

Ключевые слова: ультрамафиты, офиолиты, хромшпинелиды, дуниты, подиформные хромититы, оливин, частичное плавление, пластическая деформация

ABOUT DEVELOPMENT OF POINTS OF VIEW ON THE PODIFORM CHROMITITE ORIGIN

© Saveliev Dmitry Evgenievich,

State budgetary scientific institution

«Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan»,

Institute of Geology FGBNU "Ufa Federal Research Center"

Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation

Summary. The article reviews the evolution of views on the genesis of dunites and chromitites of ophiolite complexes, the so-called "podiform chromium deposits". It is shown that none of the proposed hypotheses has so far been able to explain some regularities in the structure of

podiform deposits. Among them, the most important are the following: the constant location of ore accumulations in dunites, the localization of disseminated ores in thick dunite bodies, while massive chromitites are usually separated from peridotites by a thin dunite envelope. The former orthomagmatic views were replaced first by metasomatic and then by combined models, which included elements of the magmatic and metasomatic modes of formation. Despite the fact that many efforts have been made to develop reaction-magmatic models, it is stated that they lack a mechanism for the formation of chromitites as geological bodies. Understanding this fact makes many researchers, supporters of the “reaction model”, resort to various other mechanisms when explaining the genesis of chromium ores. In the cited papers, previously developed models of “magma mixing” are proposed along with the “reaction hypothesis”. However, the application of “magma mixing” models to mantle ultramafic rocks to form chromium ores runs into the problem of “free space”, which is necessary for the deposition of large volumes of ores, but which is absent in the very low-porosity crystalline upper mantle. The author gives examples of solid-phase formation of chrome spinels during the deformation of mantle silicates and proposes a rheomorphic mechanism for the formation of chromite bodies, within which the problems of existing hypotheses of the formation of chromium ores in ophiolite complexes can be overcome.

Key words: ultramafic rock, ophiolite, Cr-spinel, dunite, podiform chromitite, olivine, partial melting, plastic deformation

Введение. Происхождение ультраосновных пород офиолитовых комплексов и связанных с ними месторождений хрома на протяжении долгих лет является предметом оживленной дискуссии. В первой половине XX столетия господствующей гипотезой образования хромититов являлась магматическая, в рамках которой они рассматривались как продукты дифференциации ультраосновной магмы (дунитовой или перидотитовой). Среди месторождений выделялись раннемагматические сегрегации преимущественно вкрапленных руд и позднемагматические хромититы, образующие наиболее крупные по масштабам скопления массивных и густовкрапленных руд.

Предполагалось, что основная масса хромититов внедряется по ослабленным зонам в раскристаллизовавшиеся ультрамафиты в виде рудно-силикатной магмы, богатой летучими [1]. При этом большинство исследователей считало, что формирование разреза самих гипербазитовых массивов происходило в результате кристаллизационной дифференциации [2, 3]. Часть сторонников магматической гипотезы большое значение в образовании рудных концентраций придает расслоению ультраосновного расплава (ликвации) на дунитовую и перидотитовую составляющие [4, 5].

Некоторые исследователи предполагали, что мантийные ультрабазиты внедрились в виде “кристаллической каши”, внутри которой хромититы находились в кристаллическом состоянии [6, 7]. В работах Тэйера [7] предположено, что хромиты сформировались путем аккумуляции из магмы в нижней коре и верхней мантии, а в работе [8] указано, что они в последствии

могли быть погружены внутрь «кристаллической каши» подстилающих ультрамафитов.

Развитие метасоматической гипотезы [9-11], рассматривающей дунит-гарцбургитовые комплексы с хромовым оруденением как продукт метасоматических преобразований перидотитового (энстатититового) субстрата, было вызвано главным образом невозможностью объяснить магматической дифференциацией факт «эпигенетичности» дунитов и хромититов по отношению к окружающим гарцбургитам.

Установление факта, что офиолиты представляют собой сегменты океанической литосферы и того, что подиформные хромититы встречаются в мантийных тектонитах, привело к развитию других моделей, ассоциирующих их генезис с океанической корой. С 1970-х годов общепринятым стало представление, что мантийный разрез офиолитов – это реститы от экстракции базальтовых расплавов [12, 13]. Вместе с тем, почти все исследователи, изучавшие месторождения хрома, считали, что они обладают «кумулятивными характеристиками» и, таким образом, задача выяснения генезиса хромититов была сведена к тому, каким образом «кумулятивные» хромититы оказались в реститовой мантии [14]. Попытки создать модель привели к тому, что хромититы рассматривались автолитами, сформированными от аккумуляции кристаллизованных хромититов в пакетах магмы около основания коровых кумулятов [8, 15].

По мнению Dickey [8] концентрации хромита погружались внутрь нижележащих реститовых перидотитов, что обусловлено большей плотностью хромититов относительно окружающих кумулятивных перидотитов. Подобным образом Greenbaum [15] предположил, что сегрегации хромитов были внедрены в нижележащие перидотиты путем «плотного сгибания». Обе модели были отвергнуты из-за структурных ограничений [16]. Кроме того, предложенные модели потерпели неудачу при попытке разрешить вариации отношения Cr/Fe в хромите с глубиной во многих офиолитах [17, 18] или объяснить присутствие дунитовой оболочки вокруг хромититов. Позднее было принято, что сосуществование оливина и хромита в мантии вызвано ранней стадией фракционирования пикритовых расплавов, которые поднимались сквозь верхнюю мантию палео-спредингового центра [17, 19].

В 1980-90-х годах были предприняты интенсивные исследования физико-химических условий образования расплавов, которые мигрируют сквозь мантию, чтобы понять их влияние на отложение и состав хромита [20, 21]. Исследовалась также роль в кристаллизации хромита летучих компонентов и флюидов [22, 23]. Ниже приведены примеры предложенных моделей для объяснения генезиса офиолитовых хромититов.

Гипотеза хромитовых даек интерпретирует подиформные хромититы как продукт ранней стадии кристаллизации хромита из базальтовой магмы,

мигрирующей сквозь фокусированные каналы в мантии [16-18, 19,24]. В работе [17] было предположено, что хромит образован посредством фракционной кристаллизации поднимающейся магмы в периодически пополняемых мелких магматических камерах, расположенных под главной кумулятивной магматической камерой, внутри мантийных гарцбургитов.

В работе [19] смоделировано отложение и аккумуляция хромита внутри каналов для проходящего сквозь мантийный диапир базальтового расплава под срединно-океаническим хребтом. Результаты моделирования показали, что мигрирующий расплав может взаимодействовать с перидотитом и производить дунит. Однако для того, чтобы образовать залежь хромитита, необходимы «расширения» магматического канала» и «полости», где расплав мог конвектировать и осаждать хромит. Авторы не обратили внимания на тот факт, что образование подобных «расширений» вряд ли возможно в условиях высоких давлений в поднимающемся мантийном диапире, о чем, например, свидетельствуют «напряженные» деформационные структуры перидотитов и дунитов. Кроме того, необходимым является полное удаление расплава, поскольку в подавляющем большинстве случаев в ассоциации с рудным хромитом находится только высокомагнезиальный оливин.

По мнению авторов рассмотренной модели, канал расплава изначально срезает структуру мантийных перидотитов и на этом основании они вывели, что первичные, ненарушенные месторождения хромититов являются дискордантными. Это положение до настоящего времени широко используется зарубежными исследователями при интерпретации полевых геологических данных. Считается почти общепринятым, что конкордантность месторождений к структурам вмещающих перидотитов (линоватости и полосчатости) всегда указывает на последующую тектоническую деформацию [25]. Среди редких исключений следует отметить работы Хока [26], изучавшего месторождения Филиппин и высказавшего противоположную трактовку структур хромититов. Он считает, что конкордантные месторождения менее деформированными по сравнению с дискордантными хромититами типа «string-of-pods».

Среди прочих гипотез было также предложено *многостадийное смешение расплавов*, близких по составу к бонинитам и фертильных, близких к MORB, продуцированных при многостадийном плавлении и сепарации расплавов в мантии. Бальхаус предложил модель смешения магм [27], основанную на экспериментах, комбинирующих пикритовый расплав с бонинитовым расплавом. Он показал, что вязкость позволяет избежать мгновенного смешения расплавов, и что хромитовый кумулус может зародиться и расти только в мафическом расплаве, где поверхностная энергия между хромитом и расплавом минимальна. В экспериментах силикатный расплав действовал как диффузивный резервуар хрома и было показано, что самые богатые хромитовые руды могли бы формироваться, когда объемное отношение расплава,

производящего хромит, незначительно по отношению ко всему объему расплава. Результатами проведенных экспериментов стало воспроизведение в микромасштабе некоторых особенностей подиформных хромитов, в частности, нодулярных текстур и дунитовых оболочек вокруг хромита. Вместе с тем, следует отметить, что осталась нерешенной проблема «пустого пространства», которое необходимо создать в условиях высоких давлений внутри кристаллических мантийных перидотитов и условия полного удаления расплава.

Многие критики «гипотезы хромититовых даек» или «смешения расплавов» указывают на такой недостаток данной модели, как невысокое содержание хрома в базальтовых расплавах (обычно <500 ppm). По их мнению, оно недостаточно, чтобы произвести значимые количества хромитов, формирующихся до начала доминирующей кристаллизации силикатов [20]. Также указывается, что для формирования обширных горизонтов хромититов, хромит должен кристаллизоваться без силикатных фаз, то есть необходим механизм, чтобы состав расплава вел внутрь ликвидусного поля хромита. Вместе с тем, на смену данной модели приходит «бонинитовая», где содержание хрома выше в 3-5 раз, что принципиально не может изменить ситуацию с проблемой образования таких крупных скоплений массивных хромититов, как подиформные тела Кемпирсая или некоторых других месторождений мира.

Различными исследователями был рассмотрен вопрос о том, какое количество расплава потребуется для того, чтобы сформировать типичное хромитовое месторождение [24, 28], исходя из того, что хром – малый элемент и его содержание в расплавах типа MORB составляет 200-700 ppm, а в бонинитах 1000-1500 ppm. Предполагая полное удаление хрома из расплава, чтобы образовать хромитит, Leblanc and Ceuleneer [24] подсчитали, чтобы образовать месторождение в 3000 тонн (эквивалент к 900 т хрома) требуется объем расплава как минимум в 300-400 раз больший, чем объем конечного тела хромитита. Подобные расчеты проведены в работе [28], определено, что необходимый объем расплава должен быть как минимум в 300 раз больше, чем объем руды. Все сказанное выше говорит о том, что для извлечения необходимого количества хрома требуется существенный объем расплава, не говоря уже о проблемах, связанных с уменьшением проницаемости дунита, все более насыщаемого плотными кристаллами хромита.

Наиболее поздней моделью для объяснения генезиса офиолитовых хромититов является «*модель реакции расплав-порода*». Она предполагает, что кристаллизация хромита результирует от реакции между мигрирующими примитивными расплавами и мантийным перидотитом, сквозь который он перколирует [29-31]. В работе [30] предположено, что расплав, сформированный на глубине в условиях более высокого давления, перколирует внутрь мантийных гарцбургитов и реагирует с ними, растворяя ортопироксен и образуя дунит и

вторичный богатый кремнеземом и хромом расплав. Затем последний смешивается с последующим пульсом относительно примитивного расплава и отлагает хромит.

Считается также, что в этом процессе тела глиноземистых хромититов образуются, когда толеитовые расплавы (богатые алюминием) реагируют с лерцолитом или гарцбургитом, и высокохромистые поды формируются реакцией между гарцбургитом и бонинитом (богатым хромом) [31-33]. Кроме составов взаимодействующих расплавов и мантийных перидотитов, важным фактором считается обширность взаимодействия расплав-порода, которая влияет на размер и количество подиформных хромититов [34].

В большей части гипотез, предложенных для объяснения генезиса офиолитовых хромититов, отдельно рассматриваются механизмы образования *массивных хромититов*. Поскольку во всех рассмотренных выше моделях предполагается кристаллизация хромита в присутствии значительных количеств расплава, то их авторы тщательно подбирают необходимые условия для сценария, при котором из расплава кристаллизуется только хромит, либо разрабатывают механизмы посткристаллизационного концентрирования хромита (отделения его от оливина и остаточного расплава). В качестве механизмов «уплотнения» с целью получить в результате массивные хромититы были предложены «механическая сепарация» [19], «посткумулусная реакция с богатой хромом жидкостью» или «нарастание» (overgrowth), «компакция/синтеринг» [35-37] и деформация [38]. В работе [14] проведен обзор этих гипотез и приведены убедительные структурные аргументы в пользу реалистичности протекания в офиолитовых хромититах процессов, близких к известному технологическому процессу спекания («синтеринга»), используемому в порошковой металлургии в сочетании с пластической деформацией руд.

Все «реакционные» модели образования дунитов с хромитовым оруденением предполагают постепенный переход существенно ортопироксеновых парагенезисов в мономинеральный оливиновый, но различными способами: путём «оливинизации» при проработке магнезиальными или «восстановленными» флюидами [10, 39, 40] или путём реакции расплава базальтового или бонинитового состава с перидотитом, ведущей к растворению пироксенов [21, 41, 42]. В основе реакционно-магматических идей лежит тезис о том, что поскольку мантийные расплавы не равновесны с реститовыми перидотитами, то они должны были перемещаться к поверхности по изолированным каналам, которые представлены в настоящее время в офиолитовых комплексах телами дунитов [42]. При этом считается, что гарцбургиты и дуниты офиолитовых комплексов являются не простыми тугоплавкими остатками от частичного плавления пиролита, а представляют собой результат реакции рестита с проникающими сквозь него расплавами,

генерированными на большей глубине. Расплавы “расторгают” пироксены и “кристаллизуют” дополнительный оливин, что в предельном случае ведет к формированию дунитов. В некоторых интерпретациях дуниты считаются изолированными “каналами”, по которым базальтовые расплавы транспортируются к поверхности [42]. Образование хромититов связывается исключительно с транспортировкой сквозь перидотиты бонинитовых расплавов, реакцией бонинитов с перидотитами, расторжением пироксенов, осаждением оливина и высокохромистого шпинелида [21]. Для подтверждения справедливости выдвинутого тезиса авторами многочисленных публикаций (например, [43, 44]) приводятся преимущественно геохимические данные, слабо или вовсе не связанные с особенностями внутренней структуры пород.

Как отмечено выше, в реакционно-магматической модели отсутствует механизм образования хромититов как геологических тел. Понимание данного факта заставляет многих исследователей, сторонников “реакционной модели”, при объяснении генезиса хромовых руд прибегать к различным другим механизмам (например, [45, 46]). В цитируемых работах предлагаются разработанные ранее модели “смещения магм” [19, 24, 27], наряду с “реакционной гипотезой”. Однако применение к мантийным ультрамафитам моделей “смещения магм” для формирования хромовых руд сталкивается с проблемой “свободного пространства”, которое необходимо для осаждения больших объемов руд, но которое отсутствует в весьма низко-пористой кристаллической верхней мантии.

Таким образом, в описанных выше моделях основным является реакция расплавов с перидотитом, в результате которой из последнего удаляется пироксен и добавляются оливин и хромит. Авторы моделей считают достаточным доказательством своих предположений то, что вокруг хромититов всегда присутствует дунитовая оболочка [47]. Вместе с тем, в данных построениях ничего не говорится о механизмах концентрации хромита после его отложения в дуните, поскольку баланс вещества при заявленном реакционном процессе показывает, что концентрация хромшпинелидов в образованном дуните не будет превышать первых процентов. Кроме того, для реализации предложенных выше моделей необходимо наличие постоянно поддерживающихся «троп», по которым должны поступать все новые порции расплавов, постоянно отлагая новые порции хромшпинелидов, что позволяет усомниться в реалистичности предложенного сценария.

Одной из проблем данного построения является то, что с увеличением содержания хромита (наиболее плотной и твердой фазы), проницаемость «тропы» должна снижаться, по сравнению с соседними участками без хромита и с более удаленными участками перидотита, где расплав может мигрировать путем «реакционного порового течения». Еще одна проблема – необходимость всегда полного удаления расплава, чтобы получить соответствие с

геологическими данными: хромититы всегда залегают в дунитах, где кроме оливина нет других фаз. В рамках реакционной гипотезы трудно объяснить часто наблюдаемые резкие контакты дунитов и гарцбургитов, а также увеличение содержания ортопироксена в приконтактовых частях гарцбургитов, что очень часто наблюдается в офиолитовых массивах.

Альтернативным подходом при определении генезиса офиолитовых дунитов и хромититов является рассмотрение мантийных ультрамафитов как сплошной кристаллической среды, в результате перемещения которой посредством пластических деформаций («мантийного течения») происходит преимущественно механическая сортировка частиц различных фаз, согласно их физическим свойствам. Основы данного подхода изложены в работах отечественных исследователей [48-51]. В публикациях автора приведены примеры твёрдофазного образования хромшпинелидов в ходе деформации мантийных силикатов [52, 53] разработана реоморфическая модель формирования рудных концентраций хромшпинелидов в мантийных ультрамафитах [54, 55], которая является логическим продолжением исследований, установивших тектоническую природу мантийного разреза офиолитовых комплексов. Вместе с тем, в рамках данного подхода нерешенными остаются многие вопросы, касающиеся соотношения пластического течения твердых ультрамафитов и проникающего сквозь них расплава, а также проблема количественных соотношений хромититов и вмещающих дунитов, которые варьируют в весьма значительном диапазоне.

Финансирование: исследование выполнены в рамках темы Госзадания №FMRS–2022–0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бетехтин А.Г. Шорджинский хромитоносный перидотитовый массив (Закавказье) и генезис месторождений хромистого железняка вообще / Хромиты СССР. Т. 1. М.; Л.: Наука, 1937. С. 7–156.
2. Логинов В.П., Павлов Н.В., Соколов Г.А. Хромитоносность Кемпирсайского ультраосновного массива на Южном Урале / Хромиты СССР, Т. 2, М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940. С. 5–199.
3. Соколов Г.А. Хромиты Урала, их состав, условия кристаллизации и закономерности распространения / Труды / ИГН АН СССР; Вып. 97; Сер. рудн. м-ний; № 12. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 128 с.
4. Кравченко Г.Г. Роль тектоники при кристаллизации хромитовых руд Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1969. 232 с.
5. Павлов Н.В., Григорьева И.И., Гришина Н.В. Образование и генетические типы хромитовых месторождений геосинклинальных областей / Условия образования магматических рудных месторождений. М.: Наука, 1979. С. 5–78.

6. Bowen N.L., Tuttle O.F. The system MgO - SiO₂ - H₂O // Geol. Soc. Amer. Bull., 1949, V. 60. Pp. 439–460.
7. Thayer T. P. Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag District, Turkey. // Econ. Geol., 1964, V. 59. Pp. 1497–1524.
8. Dickey J.S. A hypothesis of origin for podiform chromite deposits / Chromium: its physicochemical behavior and petrologic significance, 1975. Pp.1061-1074.
9. Бакиров А.Г. О происхождении дунитов и хромитов Кемпирсайского массива // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Свердловск, 1963. С. 325–330.
10. Москалёва С.В. Гипербазиты и их хромитоносность. Л.: Недра, 1974. 279 с.
11. Савельев А.А. Хромиты Войкаро-Сыньинского массива / Генезис ультрабазитов и связанного с ними оруденения. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1977. С. 63–77.
12. Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра, 1981. 585 с.
13. Greenbaum, D. Magmatic processes at ocean ridges: evidence from the Troodos Massif, Cyprus // Nature, 1972, V. 238. Pp. 18–21.
14. Johnson C. Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan. Ph.D. thesis, Cardiff University, 2012. 468 p.
15. Greenbaum D. The chromitiferous rocks of the Troodos ophiolite complex, Cyprus // Econ.Geol., 1977, V. 72. Pp. 1175–1194.
16. Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhofer A. Structural Classification of Chromite Pods in Southern New Caledonia // Econ. Geology, 1981, V. 76. Pp. 805–831.
17. Brown M.A. Textural and geochemical evidence for the origin of some chromite deposits in the Oman ophiolite / Ophiolites, Proceed. Intern. Ophiolite Symp., Cyprus. Geol. Surv. Dep., Nicosia A. Ed. Panayiolou, 1980. Pp. 714–721.
18. Leblanc M. Chromite in oceanic arc environment: New Caledonia. In: Stowe, C. W. (ed.) Evolution of Chromium Ore Fields. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1987. Pp. 265–296.
19. Lago B.L., Rabinowicz M., Nicolas A. Podiform chromite ore bodies: a genetic model // J. Petrology, 1982, V. 23. Pp. 103–125.
20. Roeder P.L., Reynolds I. Crystallisation of chromite and chromium solubility in basaltic melts // J. Petrology, 1991. V. 32. Pp. 909–934.
21. Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Li Z. Podiform Chromitites in the Luobusa Ophiolite (SouthernTibet): Implications for Melt-Rock Interaction and Chromite Segregation in the Upper Mantle // J. Petrology. 1996. V. 37. № 1. Pp. 3–21.
22. Matveev S. Ballhaus C. Role of water in the origin of podiform chromitite deposits // Earth Planet. Sci. Lett. 2002. V. 203. Pp. 235–243.

23. McElduff B., Stumpfl E. F. The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation // *Mineralium Deposita*, 1991, V. 26. Pp.307–318.
24. Leblanc M., Ceuleneer G. Chromite crystallization in a multicellular magma flow: evidence from a chromitite dike in the Oman ophiolite // *Litos*. 1992. V. 27. Pp. 231–257.
25. Nicolas A. Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989. 367 p.
26. Hock M., Friedrich G. Structural features of ophiolitic chromitites in the Zambales Range, Luzon, Philippines // *Mineralium Deposita*, 1985, V. 20. Pp. 290–301.
27. Ballhaus C. Origin of the podiform chromite deposits by magma mingling // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1998, V. 156, № 3–4. Pp. 185–193.
28. Auge T. Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints // *Mineral. Deposita*, 1987, V. 22. Pp. 1–10.
29. Kelemen P.B. Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma. I. Phase relations, the origin of calc-alkaline magma series, and the formation of discordant dunite // *J. Petrology*, 1990, V.31. Pp. 51–98.
30. Arai S., Yurimoto H. Podiform chromitites from the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as a melt mantle interaction products // *Econ Geol.*, 1994, V.89. Pp. 1279–1288.
31. Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.J. Formation of podiform chromites by melt/rock interaction in the upper mantle // *Mineralium Deposita*, 1994, V. 29. Pp. 98-101.
33. Leblanc M. Chromitite and ultramafic rock compositional zoning through a paleotransform fault, Poom, New Caledonia // *Economic Geology*, 1995. V.90. Pp.2028–2039.
33. Rollinson H. Chromite in the mantle section of the Oman ophiolite: a new genetic model // *The Island Arc*, 2005, V. 14. Pp. 542–550.
34. Zhou M-F, Robinson P.T. Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits // *Econ. Geol.*, 1997, V. 92. Pp. 259–262.
35. Golding H.G. Relict textures of chromitite from New South Wales // *Geol. Soc. Australia. J.*, 1975, V. 22. Pp.397–412.
36. Hulbert L.J., Gruenewaldt G. Textural and compositional features of chromite in the Lower and Critical zones of the Bushveld Complex south of Potgietersrus *Econ Geol.*, 1985. V. 80. Pp. 872–895.
37. Voll G. New work on petrofabrics // *Geol. J.*, 1960. V. 2. Pp. 502–597.
38. White J.C., White S.H. The structure of grain boundaries in tectonites // *Tectonophysics*, 1981, V.78. Pp. 613–628.
39. Варлаков А.С. Генезис хромитового оруденения в альпинотипных гипербазитах Урала // *Петрография ультраосновных и щелочных пород Урала*. Свердловск, 1978а. С. 63—82.

40. Чашухин И.С., Вотяков С.Л. Поведение элементов семейства железа, оксибарометрия и генезис уникальных хромитовых месторождений Кемпирсайского массива // Геол. рудных месторожд. 2009. Т. 51. № 2. С. 140–156.
41. Батанова В.Г., Савельева Г.Н. Миграция расплавов в мантии под зонами спрединга и образование дунитов замещения: обзор проблемы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 9. С. 992–1012.
42. Kelemen P. B., Shimizu N., Salters V. J. M. Extraction of mid-ocean-ridge basalt from the upwelling mantle by focused flow of melt in dunite channels // Nature, 1995, V. 375. Pp. 747–753.
43. Gonzalez-Jimenez J.M., Proenza J.A., Gervilla F., Melgarejo J.C., Blanco-Moreno J.A., Ruiz-Sanchez R., Griffin W.L. High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tanamo district, Mayari-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba): Constrains on their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinum-group-elements // Lithos. 2011, V. 125. Pp. 101-121.
44. Gonzalez-Jimenez J.M., Griffin W.L., Proenza A., Gervilla F., O'Reilly S.Y., Akbulut M., Pearson N.J., Arai S. Chromitites in ophiolites: how, where, when, why? Part II. The crystallisation of chromitites // Lithos. 2014. V. 189. P. 148–158.
45. Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Aitchison J., Sun M., Bai W.J., Hu X.F., Yang J.S. Melt/rock interaction and melt evolution in the Sartohay high-Al chromite deposit of the Dalabute ophiolite (NW China) // J. Asian Earth Sci., 2001, V. 19. Pp.519–536.
46. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite // J. of Asian Earth Sci.. 2012. V.59. Pp. 52–61.
47. Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // Chemical Geology, 1994, V. 113. Pp.191–204.
48. Гончаренко А.И. Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1989. 404 с.
49. Кутолин В.А. Перекристаллизация вещества верхней мантии и ее металлогенические следствия / Мантийные ксенолиты и проблема ультраосновных магм. Новосибирск: Наука, 1983. С.17-22.
50. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). Томск, 2001. 215 с.
51. Щербаков С.А. Пластические деформации ультрабазитов офиолитовой ассоциации Урала. М.: Наука, 1990. 120 с.
52. Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Кожевников Д.А., Котляров В.А. Петрологические свидетельства синдеформационной сегрегации вещества

- при образовании дунитов (на примере офиолитов Крака, Южный Урал) // Минералогия, 2016, №4. С.56-77.
53. Савельев Д.Е., Пучков В.Н., Сергеев С.Н., Мусабилов И.И. О деформационно-индуцированном распаде энстатита в мантийных перидотитах и его значении для процессов частичного плавления и хромитообразования // ДАН, 2017, Т.276, №2. С. 200–204.
54. Савельев Д.Е., Федосеев В.Б. Сегрегационный механизм формирования тел хромититов в ультрабазитах складчатых поясов // Руды и металлы, 2011, №5. С.35–42.
55. Савельев Д.Е., Федосеев В.Б. Пластическое течение и реоморфическая дифференциация вещества в мантийных ультрамафитах // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. № 4. С. 22–41.

REFERENCES

1. Betekhtin A.G. Shordginsky chromite-bearing peridotite massif (Transcaucasia) and chromitite genesis / *Khromity SSSR*. V. 1. Moscow-Leningrad: Nauka, 1937. Pp. 7–156. (in Russian)
2. Loginov V.P., Pavlov N.V., Sokolov G.A. Chromitebearingness of Kempirsai ultrabasic massif on the Southern Urals / *Khromity SSSR*. V. 2. Moscow-Leningrad: Nauka, 1940. Pp.5–199. (in Russian)
3. Sokolov G.A. Chromites of Urals: composition, condition of crystallization and regularities of distribution / *Trudy IGN AN SSSR*; V. 97; *Seria Rudnykh mestorozhdenii*. No 12. Moscow, 1948. 128 p. (in Russian)
4. Kravchenko G.G. A role of tectonic in crystallization of chromite ore of Kempirsai massif. Moscow: Nauka, 1969. 232 p. (in Russian)
5. Pavlov N.V., Grigorieva I.I., Grishina N.V. Formation and genetic types of chromite deposits of geosynclinal regions / *Usloviya obrazovaniya magmaticheskikh rudnykh mestorozhdenii*. Moscow: Nauka, 1979. Pp. 5–78. (in Russian)
6. Bowen N.L., Tuttle O.F. The system MgO - SiO₂ - H₂O // *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1949, V. 60. Pp. 439–460.
7. Thayer T. P. Principal features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag District, Turkey. // *Econ. Geol.*, 1964, V. 59. Pp. 1497–1524.
8. Dickey J.S. A hypothesis of origin for podiform chromite deposits / *Chromium: its physicochemical behavior and petrologic significance*, 1975. Pp.1061-1074.
9. Bakirov A.G. About origin of dunite and chromite of Kempirsai massif // *Magmatism, metamorfism, metallogeniya Urala*. Sverdlovsk, 1963. P. 325–330. (in Russian)
10. Moskalyova S.V. Hyperbasic rocks and their chromitebearingness. Leningrad: Nedra, 1974. 279 p. (in Russian)

11. Saveliev A.A. Chromites of Voikar-Synya massif / Genesis ultrabazitov I svyazannogo s nimi orudneniya. Sverdlovsk, 1977. Pp. 63–77. (in Russian)
12. Ringwood A.E. Composition and petrology of Earth mantle. Moscow: Nedra, 1981. 585 p. (in Russian, translated from English)
13. Greenbaum, D. Magmatic processes at ocean ridges: evidence from the Troodos Massif, Cyprus // Nature, 1972, V. 238. Pp. 18–21.
14. Johnson C. Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan. Ph.D. thesis, Cardiff University, 2012. 468 p.
15. Greenbaum D. The chromitiferous rocks of the Troodos ophiolite complex, Cyprus // Econ.Geol., 1977, V. 72. Pp. 1175–1194.
16. Cassard D., Nicolas A., Rabinowitch M., Moutte J., Leblanc M., Prinzhofer A. Structural Classification of Chromite Pods in Southern New Caledonia // Econ. Geology, 1981, V. 76. Pp. 805–831.
17. Brown M.A. Textural and geochemical evidence for the origin of some chromite deposits in the Oman ophiolite / Ophiolites, Proceed. Intern. Ophiolite Symp., Cyprus. Geol. Surv. Dep., Nicosia A. Ed. Panayiolou, 1980. Pp. 714–721.
18. Leblanc M. Chromite in oceanic arc environment: New Caledonia. In: Stowe, C. W. (ed.) Evolution of Chromium Ore Fields. New York: Van Nostrand-Reinhold, 1987. Pp. 265–296.
19. Lago B.L., Rabinowicz M., Nicolas A. Podiform chromite ore bodies: a genetic model // J. Petrology, 1982, V. 23. Pp. 103–125.
20. Roeder P.L., Reynolds I. Crystallisation of chromite and chromium solubility in basaltic melts // J. Petrology, 1991. V. 32. Pp. 909–934.
21. Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Li Z. Podiform Chromitites in the Luobusa Ophiolite (Southern Tibet): Implications for Melt-Rock Interaction and Chromite Segregation in the Upper Mantle // J. Petrology. 1996. V. 37. № 1. Pp. 3–21.
22. Matveev S. Ballhaus C. Role of water in the origin of podiform chromitite deposits // Earth Planet. Sci. Lett. 2002. V. 203. Pp. 235–243.
23. McElduff B., Stumpfl E. F. The chromite deposits of the Troodos Complex, Cyprus: evidence for the role of a fluid phase, accompanying chromite formation // Mineralium Deposita, 1991, V. 26. Pp.307–318.
24. Leblanc M., Ceuleneer G. Chromite crystallization in a multicellular magma flow: evidence from a chromitite dike in the Oman ophiolite // Litos. 1992. V. 27. Pp. 231–257.
25. Nicolas A. Structures of ophiolites and dynamics of oceanic lithosphere. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 1989. 367 p.
26. Hock M., Friedrich G. Structural features of ophiolitic chromitites in the Zambales Range, Luzon, Philippines // Mineralium Deposita, 1985, V. 20. Pp. 290–301.
27. Ballhaus C. Origin of the podiform chromite deposits by magma mingling // Earth Planet. Sci. Lett., 1998, V. 156, № 3–4. Pp. 185–193.

28. Auge T. Chromite deposits in the northern Oman ophiolite: mineralogical constraints // *Mineral. Deposita*, 1987, V. 22. Pp. 1–10.
29. Kelemen P.B. Reaction between ultramafic rock and fractionating basaltic magma. I. Phase relations, the origin of calc-alkaline magma series, and the formation of discordant dunite // *J. Petrology*, 1990, V.31. Pp. 51–98.
30. Arai S., Yurimoto H. Podiform chromitites from the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as a melt mantle interaction products // *Econ Geol.*, 1994, V.89. Pp. 1279–1288.
31. Zhou M.F., Robinson P.T., Bai W.J. Formation of podiform chromites by melt/rock interaction in the upper mantle // *Mineralium Deposita*, 1994, V. 29. Pp. 98-101.
33. Leblanc M. Chromitite and ultramafic rock compositional zoning through a paleotransform fault, Poom, New Caledonia // *Economic Geology*, 1995. V.90. Pp. 2028–2039.
33. Rollinson H. Chromite in the mantle section of the Oman ophiolite: a new genetic model // *The Island Arc*, 2005, V. 14. Pp. 542–550.
34. Zhou M-F, Robinson P.T. Origin and tectonic environment of podiform chromite deposits // *Econ. Geol.*, 1997, V. 92. Pp. 259–262.
35. Golding H.G. Relict textures of chromitite from New South Wales // *Geol. Soc. Australia. J.*, 1975, V. 22. Pp.397–412.
36. Hulbert L.J., Gruenewaldt G. Textural and compositional features of chromite in the Lower and Critical zones of the Bushveld Complex south of Potgietersrus *Econ Geol.*, 1985. V. 80. Pp. 872–895.
37. Voll G. New work on petrofabrics // *Geol. J.*, 1960. V. 2. Pp. 502–597.
38. White J.C., White S.H. The structure of grain boundaries in tectonites // *Tectonophysics*, 1981, V.78. Pp. 613–628.
39. Varlakov A.S. Chromite ore genesis in alpinotype hyperbasites of Urals // *Petrografiya ultrasnovnykh i schelochnykh porod Urala. Sverdlovsk*, 1978a. Pp. 63—82. (in Russian)
40. Chaschukhin I.S., Votyakov S.L. Behavior of elements of iron group, oxibarometry and genesis of unique chromite deposits of Kempirsai massif // *Geology of ore deposits*. 2009. V. 51. No 2. Pp. 140–156.
41. Batanova V.G., Savelieva G.N. Migration of melts in mantle beneath spreading zones and replacing dunite origin: overview of problem // *Geology and geophysics*. 2009. V. 50. No 9. Pp. 992–1012. (in Russian)
42. Kelemen P. B., Shimizu N., Salters V. J. M. Extraction of mid-ocean-ridge basalt from the upwelling mantle by focused flow of melt in dunite channels // *Nature*, 1995, V. 375. Pp. 747–753.
43. Gonzalez-Jimenez J.M., Proenza J.A., Gervilla F., Melgarejo J.C., Blanco-Moreno J.A., Ruiz-Sanchez R., Griffin W.L. High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tanamo district, Mayari-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba):

- Constrains on their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinum-group-elements // *Lithos*. 2011, V. 125. Pp. 101-121.
44. Gonzalez-Jimenez J.M., Griffin W.L., Proenza A., Gervilla F., O'Reilly S.Y., Akbulut M., Pearson N.J., Arai S. Chromitites in ophiolites: how, where, when, why? Part II. The crystallisation of chromitites // *Lithos*. 2014. V. 189. Pp. 148–158.
 45. Zhou M.-F., Robinson P.T., Malpas J., Aitchison J., Sun M., Bai W.J., Hu X.F., Yang J.S. Melt/rock interaction and melt evolution in the Sartohay high-Al chromite deposit of the Dalabute ophiolite (NW China) // *J. Asian Earth Sci.*, 2001, V. 19. Pp. 519–536.
 46. Miura M., Arai S., Ahmed A.H., Mizukami T., Okuno M., Yamamoto S. Podiform chromitite classification revisited: a comparison of discordant and concordant chromitite pods from Wadi Hilti, northern Oman ophiolite // *J. of Asian Earth Sci.* 2012. V.59. Pp. 52–61.
 47. Arai S. Characterization of spinel peridotites by olivine-spinel compositional relationships: Review and interpretation // *Chemical Geology*, 1994, V. 113. Pp.191–204.
 48. Goncharenko A.I. Deformation and petrostructural evolution of alpinotype hyperbasites. Tomsk: Tomsk university publishing, 1989. 404 p. (in Russian)
 49. Kutolin V.A. Recrystallization of upper mantle matter and metallogenic consequence of it / *Mantiinye ksenolity i problema ultrasnovnykh magm*. Novosibirsk: Nauka, 1983. Pp.17-22. (in Russian)
 50. Chernyshov A.I. Ultramafic rocks (plastic flow, structural and petrostructural heterogenic). Tomsk, 2001. 215 p. (in Russian)
 51. Scherbakov S.A. Plastic deformation of ultrabasites of ophiolitic assemblage of Urals . Moscow: Nauka, 1990. 120 p. (in Russian)
 52. Saveliev D.E., Belogub E.V., Blinov I.A., Kozhevnikov D.A., Kotlyarov V.A. Petrological evidences of syndeformation segregation of matter during dunite formation (on the example Kraka ophiolite, the Southern Urals) // *Mineralogiya*, 2016, No4. Pp.56-77. (in Russian)
 53. Saveliev D.E., Puchkov V.N., Sergeev S.N., Musabirov I.I. About deformation-induced decomposition of enstatite in the mantle peridotites and implication of it for partial meltin and chromitite formation processes // *Doklady of Earth Sciences*, 2017, V.276, No2. Pp. 200–204.
 54. Saveliev D.E., Fedoseev V.B. Segregation mechanism of chromitite body formation in the ultrabasic rock of folded belts // *Rudy i metally*, 2011, No5. Pp.35–42. (in Russian)
 55. Saveliev D.E., Fedoseev V.B. Plastic flow and rheomorphic differentiation of matter in the mantle ultramafic rocks // *Vestnik Permskogo Universiteta. Geologiya*. 2014. No 4. Pp. 22–41. (in Russian).

Сведения об авторах:

Савельев Дмитрий Евгеньевич, ведущий научный сотрудник Института геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, профессор, 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, Leading Researcher, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, 450006, Ufa, Russian Federation. st. Karl Marx, 16/2. E-mail: sav171@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Савельев Д.Е.

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

Жизнь, посвященная служению российской науке и образованию

17 мая 2023 года ушел из жизни выдающийся ученый, член-корреспондент Академии наук Республики Башкортостан, доктор химических наук, профессор Майстренко Валерий Николаевич, вся жизнь которого была наполнена добросовестным трудом и стремлением принести пользу своему народу, посвящена служению отечественной науке и высшему образованию.

Его биография заслуживает самого глубокого уважения как путь верного служения науке и своему родному университету.

В.Н. Майстренко родился 8 сентября 1947 г. в д. Новиковка Аургазинского района БАССР. Окончил Башкирский государственный университет (1970). С 1975 по 1996 г. и с 2012 г. его жизнь была связана с Башкирским государственным университетом (ныне – Уфимский университет науки и технологий): ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор, заведующий кафедрой, декан химического факультета, заведующий кафедрой аналитической химии. С 1996 по 2012 г. возглавлял Научно-исследовательский институт безопасности жизнедеятельности РБ.

Являлся председателем Научного совета «Экология, гидрометеорология и природопользование» Академии наук РБ, он принимал активное участие в разработке государственных программ, в выполнении научных проектов по приоритетным направлениям научных исследований. Всегда был в центре дискуссионных площадок ежегодных Экологических форумов, прошедших в г. Уфе. Особое уважение он заслужил в качестве эксперта научных проектов, выполненных в рамках региональных и федеральных грантов и др.

Являясь членом Научного совета РАН по аналитической химии, председателем Комиссии по электрохимическим методам анализа РАН, членом редколлегии журналов «Безопасность в техносфере», «Журнал аналитической химии» РАН, «Вестник Башкирского университета», «Вестник Пермского университета. Серия: Химия», «Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки», Валерий Николаевич внес несомненный вклад в развитие отечественной химической науки.

Большое признание получили его научные исследования в области аналитической химии и химической экологии. Он внес значительный вклад в разработку современных методов определения токсичных металлов, диоксинов и других органических соединений в природных и промышленных объектах; оценку загрязнения территорий и предприятий хлорорганического синтеза диоксинами и разработку технологических решений по уменьшению их поступления в окружающую среду и др. Они изложены в более 200 научных

работах ученого, в т.ч. 7 монографиях, 3 учебниках для вузов. Валерий Николаевич является автором 14 патентов и авторских свидетельств.

На основе новых энантиоселективных вольтамперометрических сенсоров с использованием принципов «искусственного интеллекта» В.Н. Майстренко разработаны методы установки подлинности фармацевтических препаратов и контроля их качества. Нередко он по этим вопросам выступал экспертом на телепередачах ГТРК «Башкортостан».

Отмечен Почетной грамотой РБ (2020), Благодарностью Главы Республики Башкортостан (2022), почетными грамотами Академии наук РБ (2007, 2017, 2022); Заслуженный деятель науки и техники РБ (2001), Заслуженный профессор Башкирского государственного университета (2022).

Валерий Николаевич многое успел сделать для развития фундаментальной науки, сохранению потенциала родного университета, формированию молодого поколения ученых в лучших университетских традициях. Под его руководством подготовлено и защищено 3 докторских и 21 кандидатских диссертаций. И его помнят добрым, чутким, отзывчивым и справедливым в отношении с учениками и коллегами.

В.Н. Майстренко был не только выдающимся ученым, но и соратником, советником и человеком, который нес тепло и свет. Светлая память о выдающемся ученом и его научных достижениях навсегда сохранится в истории академической науки и в наших сердцах.

*Отделение наук о Земле и нефтегазовых технологий
Академии наук Республики Башкортостан*