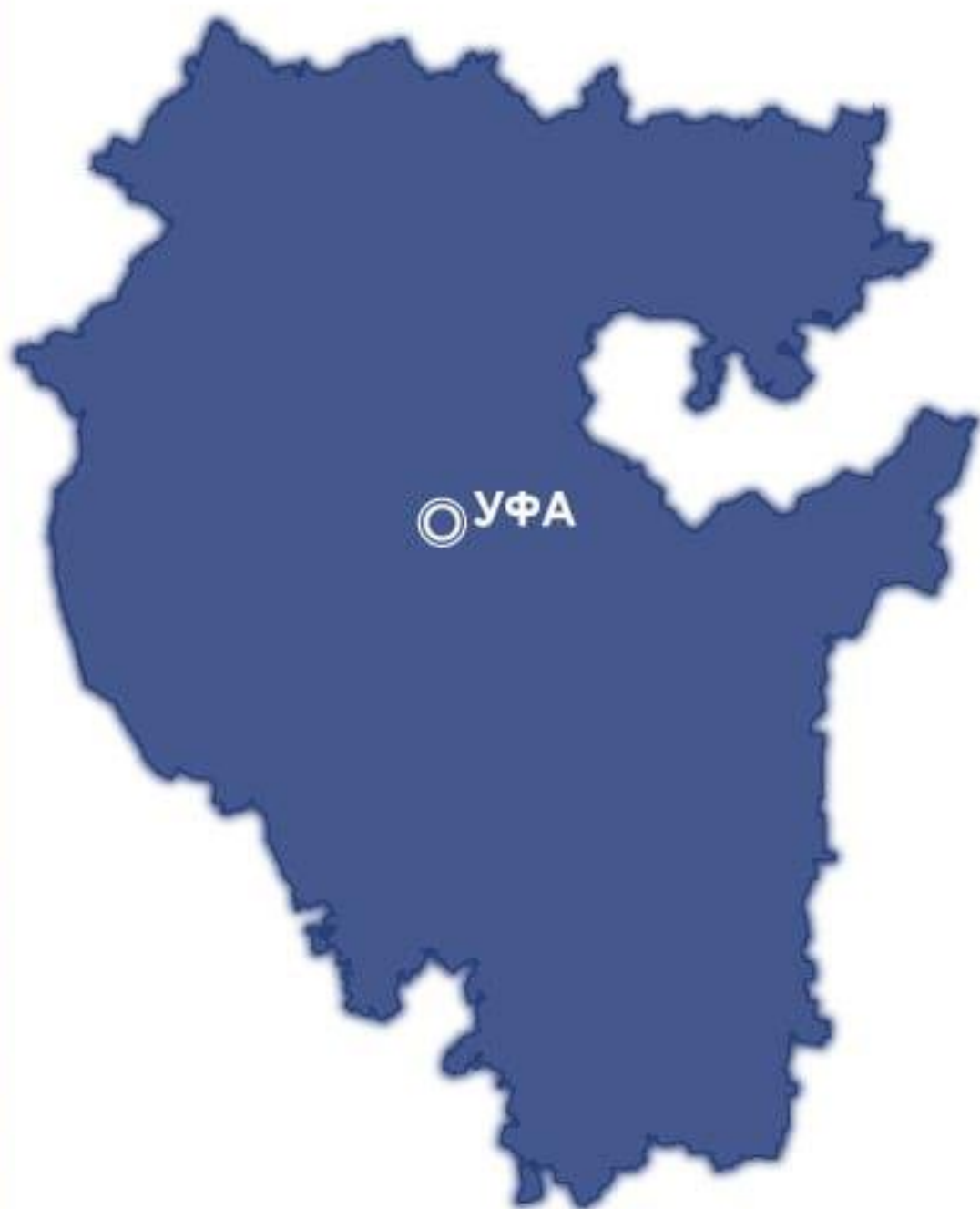


ГЕОЛОГИЯ

**АКАДЕМИЯ НАУК
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН**



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

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

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

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

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

16+

№ 3 (40), 2025
ЭЛ № ФС 77 – 85908 от 18.09.2023
Роскомнадзор (г.Москва)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3

16+

№ 3 (40), 2025
EL No. FS 77 – 85908 dated 09/18/2023
Roskomnadzor (Moscow)
ISSN 2949-4052
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3

**Уфа
2025**

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

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

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

КУЗНЕЦОВА Альфия Рашитовна, доктор экономических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» 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

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

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

АНДРЕЕВ Вадим Евгеньевич

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

БЕЛОГУБ Елена Витальевна

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

БРУСНИЦЫН Алексей Ильич

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

ВИКЕНТЬЕВ Илья Владимирович

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

ЗНАМЕНСКИЙ Сергей Евгеньевич

Заведующий лабораторией палеовулканологии и металлогении, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный

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

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

Журнал выходит 4 раза в год.

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

Адрес учредителя, редакции и издателя:

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

Тел./Факс: +7 (347) 276-40-77.

Электронная почта: geology-akademia@yandex.ru

© Государственное бюджетное научное учреждение «Академия наук Республики Башкортостан», 2025

∞ ∞ ∞

Научные специальности, по которым публикуются статьи в сетевом издании

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

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

THE EDITORIAL BOARD OF THE REVIEWED SCIENTIFIC PUBLICATION

- Editor-in-Chief:** **VALIULLIN** Rim Abdullovich, Academician-Secretary of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan; Head of the Department of Geophysics, Ufa University of Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
- Deputy Editor-in-Chief:** **KUZNETSOVA** Alfiya Rashitovna, Doctor of Economics, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa University of Science and Technology", 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
- MASAGUTOV** Rim Khakimovich, Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Honored Geologist of the Russian Federation, Honored Geologist of the Republic of Bashkortostan, Ufa, Russian Federation
- SAVELYEV** Dmitry Evgenievich, Leading Researcher of the Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, Ufa, Russian Federation
- EDITORIAL BOARD:**
- ANDREEV Vadim Evgenievich** Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan", Doctor of Technical Sciences, Professor, Ufa, Russian Federation
- BELOGUB Elena Vitalievna** Deputy Director for Research, FSBSI "South Ural Federal Scientific Center for Mineralogy and Geoecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Miass, Chelyabinsk Region, Russian Federation
- BRUSNITSYN Alexey Ilyich** Head of the Department of Mineralogy, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, Doctor of Geology and Mineralogy, Professor, St. Petersburg, Russian Federation
- VIKENT'EV Ilya Vladimirovich** Chief Researcher, Institute of Geology of Ore Deposits, Mineralogy, Petrography and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Moscow, Russian Federation
- ZNAMENSKY Sergey Evgenievic** Head of the Laboratory of Paleovolcanology and Metallogeny, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geology and Mineralogy, Ufa, Russian Federation
- IBLAMINOV Rustem Gilbrakhmanovich** Professor of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Perm State National Research University", Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Perm, Russian Federation
- KAZANTSEVA Tamara Timofeevna** Academician of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan"; Chief Researcher, Institute of Geology, Ufa Federal Research

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

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

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

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

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

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

The scientific journal is published 4 times a year.

Founder, editors and publisher: State budgetary scientific institution "Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan".

Address of the founder, editors and publisher:
450008, Republic of Bashkortostan, Ufa, st. Kirova, 15.
Tel.: +7 (347) 276-40-77.

E-mail: geology-akademia@vandex.ru

© Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2025

СЕТЕВОЕ ИЗДАНИЕ
«Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов»
СОДЕРЖАНИЕ № 3 (40) 2025

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- Вахитова Гузель Ринатовна, Алимова Мария Ринатовна**
Экспериментальное исследование удельной гамма-активности природных радионуклидов
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-12-26 **12**
- Попков Василий Иванович, Попков Иван Васильевич**
Атабурунский разрез триаса Северного Прикарабогазья как связующее звено разрезов Караауданской зоны и Туаркыра
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-27-46 **27**
- Сидорчук Елена Александровна, Добрынина Светлана Александровна**
Влияние геодинамических условий на прогноз нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-47-62 **47**
- Уролов Сардор Уралович**
Гидрохимический состав и экологическая оценка коллекторно-дренажных вод, поступающих в Айдар-Арнасайскую систему озер (ААСО)
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-63-71 **63**
- Ахметьянова Альбина Ильшатовна, Кузнецов Александр Игоревич**
Тенденции формирования углеродоемкости российской экономики: оценка экологических рисков и пути минимизации
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-72-82 **72**

ONLINE PUBLICATION
"Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources"
CONTENTS No. 3 (40) 2025

EARTH SCIENCES

- Vakhitova Guzel Rinatovna, Alimova Maria Rinatovna***
Experimental Study of the Specific Gamma Activity of Natural Radionuclides
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-12-26 **12**
- Popkov Vasily Ivanovich, Popkov Ivan Vasilievich***
The Triassic Ataburun Section of the Northern Karabogaz Region as a Link
Between the Karaaudan and Tuarkyr Sections
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-27-46 **29**
- Sidorchuk Elena Aleksandrovna, Dobrynina Svetlana Aleksandrovna***
The Influence of Geodynamic Conditions on the Forecast of the Oil and Gas
Potential of the Anabar-Khatanga Saddle
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-47-62 **42**
- Urolov Sardor Uralovich***
Hydrochemical Composition and Environmental Assessment of Collector-
Drainage Waters Entering the Aydar-Arnasay Lake System (AALS)
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-63-71 **63**
- Akhmetyanova Albina Ilshatovna, Kuznetsov Alexander Igorevich***
Trends in the formation of carbon intensity of the Russian economy:
assessment of environmental risks and ways to minimize them
DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-72-82 **72**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ ГАММА-АКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

© Вахитова Гузель Ринатовна, © Алимова Мария Ринатовна
ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Одним из важных физических свойств горных пород является естественная гамма-активность, которая обусловлена присутствием радиоактивных изотопов. Измерение распределения гамма-активности с глубиной позволяет решать широкий круг геологических задач, в частности, оценивать литологический состав горных пород, степень глинизации песчаников, определять коллекторские свойства, а также выделять фации. Кроме того, по величине отдельных спектров радиоактивных элементов можно прогнозировать наличие трещин в породах и оценивать содержание органического вещества (ОВ). Результаты решения этих задач позволяют моделировать сложные коллекторы нефти и газа, прогнозировать их проницаемость и выполнять фациальный анализ. Гамма-активность горных пород может быть измерена на образцах керна, либо в результате геофизических исследований скважин (ГИС). В данной работе выполнены экспериментальные измерения удельной гамма-активности радионуклидов на образцах керна, отобранного из некоторых скважин Николо-Березовской площади в интервале каширо-подольских отложений. Измеренные спектры изотопов являются индикаторами физико-химических свойств породы. Исследования гамма-активности радионуклидов на пятнадцати образцах керна выполнялись гамма-радиометром РГК -АТ1320С (разработчик НПУП «Атомтех»). Всего выполнено тридцать четыре измерения удельной активности радиоактивных в трех интервалах глубин. На основе анализа результатов измерений активности керна обоснованы диагностические признаки для определения литологического состава образцов горных пород, выявления трещин (каналов миграции флюида) в образцах керна, определения техногенных загрязнений и содержания ОВ. Вместе с тем, проанализированы соотношения измеренных спектров радионуклидов, что позволило определить основные типы аномалий величин удельной активности радиоактивных изотопов в образцах керна. Были выделены три основных типа аномалий по индикаторам Ra/Th, K/(Th+Ra): инфильтрация, выщелачивание и аккумуляция. В работе выполнен анализ распределений удельной активности радионуклидов с глубиной по скважинам Николо-Березовской площади. В соответствии с результатами измерений активности керна геологический разрез по отдельным скважинам Николо-Березовской площади характеризуется выраженной неоднородностью. Здесь отмечаются как чистые карбонаты и песчаники, так и их глинистые разности. Выделяются зоны с признаками вторичных изменений, что может быть связано с трещиноватостью, а также высоким содержанием ОВ.

¹ **Для цитирования:** Вахитова Г. Р., Алимова М. Р. Экспериментальное исследование удельной гамма-активности природных радионуклидов // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 12-26. DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-12-26

Ключевые слова: гамма-активность, сложный коллектор, литологическая неоднородность, прогноз трещиноватости, гамма-спектры радионуклидов, спектрометрия

EXPERIMENTAL STUDY OF THE NATURAL RADIONUCLIDES SPECIFIC GAMMA ACTIVITY

© Vakhitova Guzel Rinatovna, © Alimova Maria Rinatovna
Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation

Summary. One of the important physical properties of rocks is natural gamma activity, which is caused by the presence of radioactive isotopes. Measuring the distribution of gamma activity with depth allows us to solve a wide range of geological problems, including assessing the lithological composition of rocks and the clay content of sandstones, determining reservoir properties, and identifying facies. Furthermore, the magnitude of individual radioactive element spectra can be used to predict the presence of fractures in rocks and estimate the organic matter (OM) content. These results enable us to model complex oil and gas reservoirs, predict their permeability, and perform facies analysis. Gamma activity in rocks can be measured using core samples or through well logging (WL). In this study, experimental measurements of the specific gamma activity of the radionuclides were performed on core samples collected from several boreholes in the Nikolo-Berezovskaya area. The measured isotope spectra are indicators of the physicochemical properties of the rock. Gamma activity studies of radionuclides on 15 core samples were performed using an RGK-AT1320S gamma radiometer (developed by Atomtech Scientific and Production Unitary Enterprise). A total of 34 specific activity measurements were made for the radioactive isotopes in three depth intervals. Based on the analysis of the results of core activity measurements, diagnostic features for determining the lithological composition of rock samples, identifying cracks (fluid migration channels) in core samples, determining technogenic pollution and the content of organic matter are substantiated. At the same time, the ratios of the measured radionuclide spectra were analyzed, which allowed us to identify the main types of anomalies in the specific activity of radioactive isotopes in core samples. Three main types of anomalies were identified for the Ra/Th and K/(Th+Ra) indicators: infiltration, leaching, and accumulation. This study analyzes the distribution of radionuclide specific activity with depth in boreholes in the Nikolo-Berezovskaya area. According to core activity measurements, the geological section of individual boreholes in the Nikolo-Berezovskaya area is characterized by pronounced heterogeneity. Both pure carbonates and sandstones, as well as their clayey varieties, are observed here. Zones with signs of secondary alteration are identified, which may be related to fracturing and high organic matter content.

Key words: gamma activity, complex reservoir, lithological heterogeneity, fracturing prediction, gamma spectra of radionuclides, spectrometry

Естественная гамма-активность горных пород – это важный физический параметр. Измерение распределения гамма-активности с глубиной позволяет решать много геологических задач, в частности, оценивать литологический состав, степень глинизации песчаников и их коллекторские свойства. Если измерять активность естественных радионуклидов специальным прибором - спектрометром, то можно получить детальную информацию об удельной активности отдельных изотопов в горных породах, например, Cs¹³⁷, Cs¹³⁴, K⁴⁰, Th²³², Ra²²⁶. Измеренные спектры изотопов являются индикаторами физико-

химических свойств породы. В частности, изотоп калия K^{40} содержится в глинистых минералах, таких как иллит. Поэтому высокое содержание калия часто указывает на наличие глин, которые являются пластичными породами. Торий Th^{232} также, как калий, содержится в минералах глин и используется с калием для оценки глинистости. Торий менее подвижен, чем уран, и является стабильным индикатором. Радий Ra^{226} является продуктом распада урана. Повышенное содержание урана может быть связано с окислительными условиями, которые способствуют растворению и миграции урана, органическим веществом, которое сорбирует уран, фосфатами, трещинами и зонами повышенной проницаемости, по которым могли мигрировать флюиды, обогащенные ураном.

В данной работе выполнялись экспериментальные исследования гамма-активности природных радионуклидов на образцах керна гамма-радиометром РГК -АТ1320С (разработчик НПУП «Атомтех»). Принцип действия гамма-радиометра основан на регистрации гамма-излучения сцинтилляционным детектором. Гамма-кванты взаимодействуют с веществом сцинтиллятора $NaI(Tl)$. При этом, их энергия преобразуется в энергию световой вспышки. Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) преобразует регистрируемые световые вспышки в импульсы электрического тока. Усилитель преобразует импульсы тока ФЭУ в импульсы напряжения нормированной длительности, амплитуда которых прямо пропорциональна энергии гамма-излучения. С выхода усилителя импульсы поступают на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП) для последующего амплитудного анализа и преобразования в цифровой код [1].

Измерения активности радионуклидов Cs^{137} , Cs^{134} , K^{40} , Th^{232} , Ra^{226} выполнялись в сосуде Маринелли ёмкостью 1 л с объёмом пробы 1,0 л (геометрия измерения – сосуд Маринелли (1,0 л)) [2].

Активность вещества определяется интенсивностью или скоростью распада его ядер. Она пропорциональна числу радиоактивных атомов, содержащихся в данном веществе, т.е. возрастает с увеличением количества данного вещества. Активность – это мера количества радиоактивного вещества, которая выражается числом радиоактивных превращений (распадов ядер) в единицу времени. Так как скорость распада радиоактивных изотопов различна, то одинаковые по массе радионуклиды имеют различную активность. Чем больше ядер распадается в единицу времени, тем выше активность. За единицу активности в Международной системе единиц (СИ) принят один распад в секунду. Эта единица названа в честь Анри Беккереля, открывшего впервые явление естественной радиоактивности в 1896 году, беккерелем (Бк). 1 Бк – такое количество радионуклида, в котором за одну секунду происходит один распад [3].

При измерении активности радиоактивного образца ее обычно относят к массе, объему, площади поверхности или длине. В данной работе определялась

удельная активность, т.е. активность, приходящаяся на единицу массы вещества в Бк/кг.

Экспериментальное исследование удельной гамма-активности природных радионуклидов включает измерение активности радионуклидов (например, Cs^{137} , Cs^{134} , K^{40} , Th^{232} , Ra^{226}) в образце вещества с последующим расчетом удельной активности как отношения активности к массе образца.

Исследования выполнялись в два этапа.

1. Подбор проб исследуемых горных пород, годных для измерений. Были выбраны образцы керна из скважин Николо-Березовской площади в некоторых интервалах глубин в границах каширо-подольских отложений (таблица 1).

2. Измерение активности образцов керна, т.е. число радиоактивных распадов вещества за секунду и расчет удельной активности. Удельная активность a вычисляется по формуле:

$$a = \frac{A}{m}, \quad (1)$$

где A — активность образца, а m - масса образца.

Результат выражается в единицах удельной активности, в Беккерель на килограмм, Бк/кг. На рисунке 1 приведен график измеренной интенсивности спектра образца горной породы.

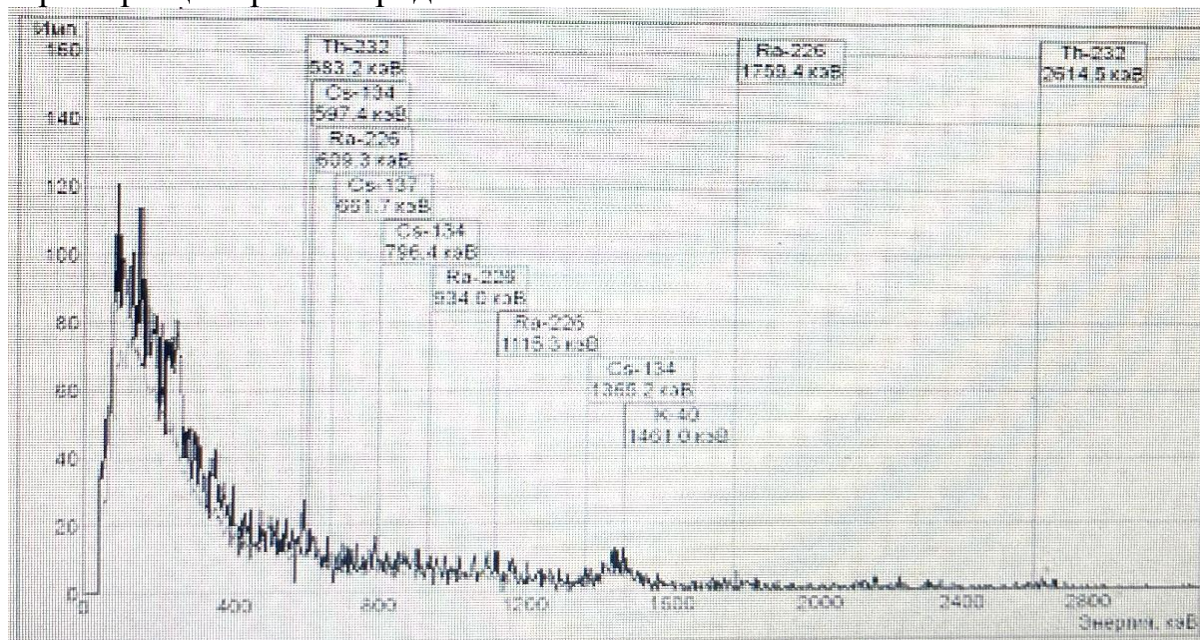


Рисунок 1 – Гамма-спектр образца керна


Время набора гамма-спектров составляло 15-20 минут, погрешность определения удельной активности радионуклидов составляет 20 %.

Породы каширо-подольских отложений характеризуются продуктивностью на территории республик Башкортостан и Татарстан, представлены низкопроницаемыми известняками, доломитами, глинами,

глинистыми песчаниками. Обладают разным типом пористости, в том числе порово-каверновым, порово-трещинным типом и микропористостью [4-6].

Таблица 1 – Образцы горных пород, вынесенных при бурении некоторых скважин Николо-Березовской площади

Фотография образца	Интервал отбора образца, м	Масса образца, г	Фотография образца	Интервал отбора образца, м	Масса образца, г
	932 - 936,6	116		1396,2-1404	154
	936,6 – 942	91		1301,8-1304,3	97
	942,1 – 947,5	84		1350,8-1356,1	115
	952 - 957,2	77		1318,2-1325,2	121
	1291,5–1296,8	192		1645,1-1652,8	102
	1321 - 1328	86		1295-1300	28
	1349,1-1354,6	63		1337,5-1345,1	298

	1363,3- 1371,6	156			
---	-------------------	-----	--	--	--

Результаты измерений приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения удельной активности радионуклидов

Номер измерения	Глубина, м	Cs-137, Бк/кг	Cs-134, Бк/кг	K-40, Бк/кг	Ra-226 Бк/кг	Th-232 Бк/кг
1	932,0	3,7	3,0	2630	144,0	47,8
2	934,0	3,7	16,2	2160	113,0	10,0
3	936,9	11,3	3,0	2760	50,5	21,3
4	942,1	6,8	3,3	2590	67,3	14,2
5	948,0	3,7	17,5	1380	192,0	65,6
6	952,0	3,7	34	2110	123,0	10,0
7	952,5	3,7	67,9	1990	41,6	10,0
8	953,8	3,7	29,1	2070	10,0	8,7
9	955,6	44,4	3,0	2490	34,9	51,9
10	957,2	3,7	3,0	1590	109,0	19,2
11	1291,5	57,2	3,0	499	2,3	152,0
12	1292,4	13,7	5,7	670	35,4	113,0
13	1294,1	3,7	4,1	416	130,0	61,6
14	1295,7	3,7	7,2	506	97,2	90,8
15	1296,8	3,7	3,0	326	202,0	57,6
16	1321,0	36,2	3,0	885	192,0	6,37
17	1326,0	45,3	3,0	2190	10,0	65,4
18	1349,1	54,3	3,0	1560	10,0	95,3
19	1352,0	3,7	28,3	1120	10,0	10,6
20	1363,6	3,7	3,0	1600	160,0	34,8
21	1365,6	3,7	38,2	1580	143,0	10,0
22	1396,2	3,7	24,8	1850	44,6	10,0
23	1298,1	3,7	3,0	1500	151,0	4,08
24	1301,8	3,7	32,2	1980	37,9	72,0
25	1304,3	3,7	21,9	1850	148,0	40,3
26	1350,8	113,2	3,0	1590	75,6	39,9
27	1355,7	3,7	3,0	827	91,0	86,6
28	1318,2	31,6	3,0	726	106,0	142,0
29	1325,2	3,7	3,0	569	177,0	67,2
30	1645,1	3,7	3,0	1550	72,0	101,0
31	1652,8	27,8	3,0	1660	75,0	52,0
32	1295,0	122,0	3,0	1570	2,51	10,0

Номер измерения	Глубина, м	Cs-137, Бк/кг	Cs-134, Бк/кг	K-40, Бк/кг	Ra-226 Бк/кг	Th-232 Бк/кг
33	1300,0	137,0	3,0	3230	10,0	23,9
34	1337,5	9,42	3,0	559	49,4	27,5

На рисунках 2 и 3 приведены графики измерений удельной активности радионуклидов в образцах керна.

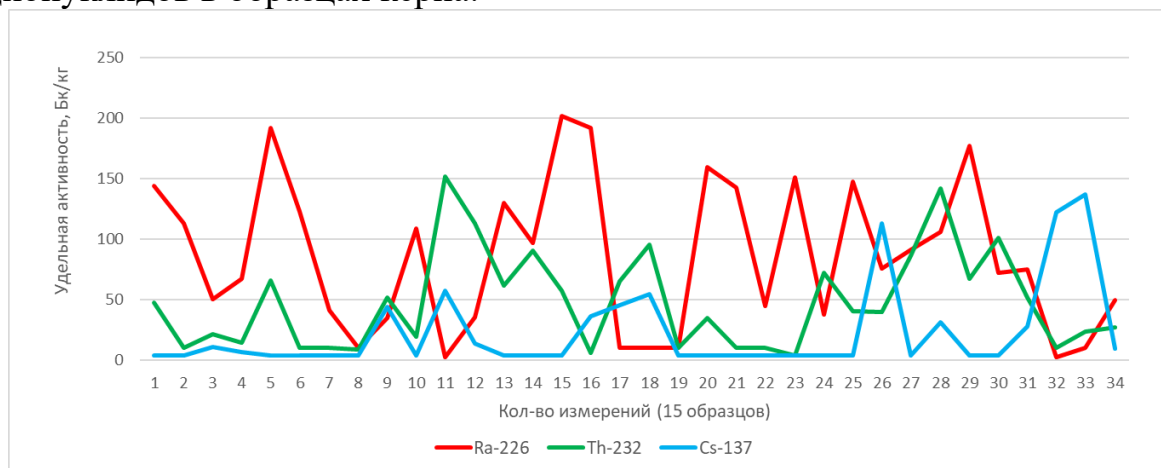


Рисунок 2 – Удельная активность радиоактивных изотопов Ra²²⁶, Th²³², Cs¹³⁷

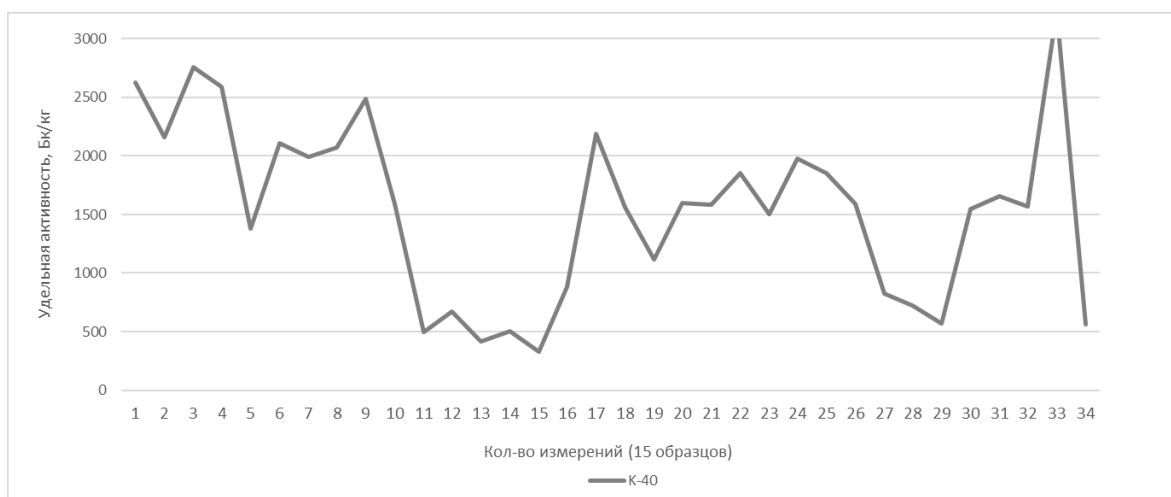


Рисунок 3 – Удельная активность радиоактивного изотопа K⁴⁰

Анализ результатов измерений позволяет определить наличие трещин в образцах керна [7], литологию, техногенные загрязнения, содержание органического вещества.

Сильный разброс значений активности калия (от 326 до 2760 Бк/кг), указывает на сильное меняющуюся глинистость пород. Отмечаются образцы, например 1 и 2, характеризующиеся высокой удельной активностью калия и радия, умеренной активностью тория, что говорит о типичном спектре глинистой породы. Образец

15, например, отмечается очень низкой активностью калия, но высокой радия и тория, что является признаком уран-ториевых минералов.

В спектрах радионуклидов горных пород присутствуют спектры искусственных радионуклидов Cs-137 (период полураспада около 30-ти лет) и Cs-134 (период полураспада около 2-х лет), которые являются продуктами деления ядер урана и плутония [8]. Их источники – техногенные события. Среди исследуемых образцов керна есть образцы с аномально высоким Cs¹³⁷: это 9, 11, 17, 18, 26, 32, 33.

Образцы 8, 17, 18, 19, 33 отмечаются низким содержанием Ra²²⁶, равным 10 Бк/кг. Вместе с тем, содержание тория и калия здесь не низкое. Это может указывать на возможное выщелачивание.

Образцы с высоким Th²³² здесь это 11, 12, 28, 18. Эти аномалии могут быть связаны с выполнением трещин глинистым или коллоидным материалом, обогащенным торием.

Анализ графиков 2 и 3 позволил определить диагностические признаки трещиноватости [9-12? 13-15]:

- Резкие пики Cs¹³⁷ на фоне низких значений. Cs¹³⁷ – это техногенный радионуклид, и его присутствие в керне говорит о недавней (последние 70-80 лет) миграции флюидов через породу. А каналом для такой миграции являются трещины.
- Низкое содержание Ra²²⁶ при нормальном или высоком содержании Th²³² и K⁴⁰. Радий является продуктом распада U²³⁸. Он относительно подвижен в водных растворах. Если через трещину проходили окисленные воды, они могли выщелачивать радий (и уран), оставляя "обедненный" участок.
- Резкие пики Th²³². Торий химически инертен и неподвижен. Однако в тонкодисперсном виде он может переноситься и откладываться в трещинах и пустотах коллоидными растворами или сорбироваться глинистым материалом, выполняющим трещину.

Кроме того, были проанализированы соотношения измеренных спектров радионуклидов (рисунки 4 и 5).

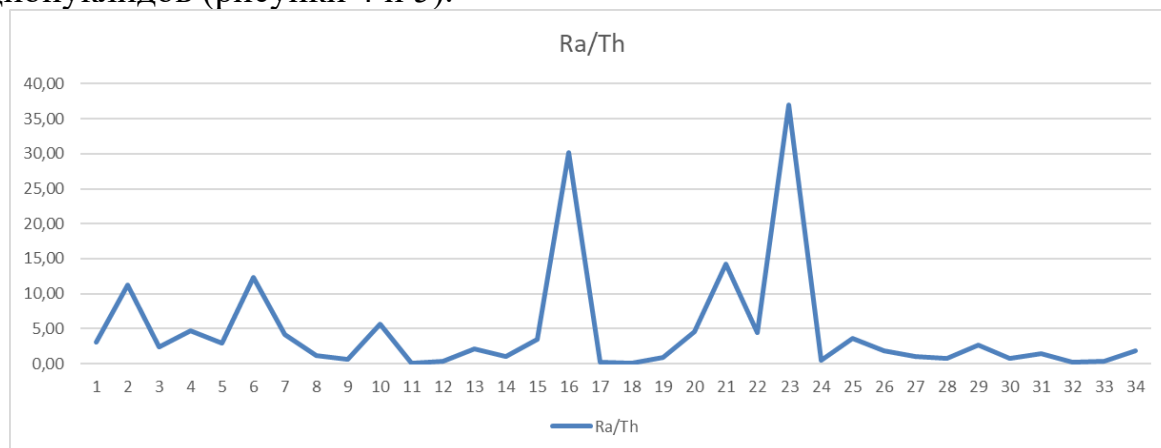


Рисунок 4 – Отношение Ra²²⁶/Th²³²

Низкие значения соотношения Ra/Th указывают на обеднение ураном/радием по сравнению с торием в результате процессов выщелачивания. Это, например, образцы 8, 17, 19, 32, 33. Высокие значения указывают на обогащение ураном/радием в процессе накопления. Высокие значения Ra/Th отмечаются, например, для образцов 2, 6, 16, 21, 23.

Результаты анализа удельной активности радионуклидов могут помочь при оценке содержания органического вещества в породах. В этом случае индикатором тоже является соотношение Ra/Th. В данном случае при условии, что Ra/Th > 10, потенциально обогащенными органическим веществом являются образцы 2, 6, 16, 21, 23.

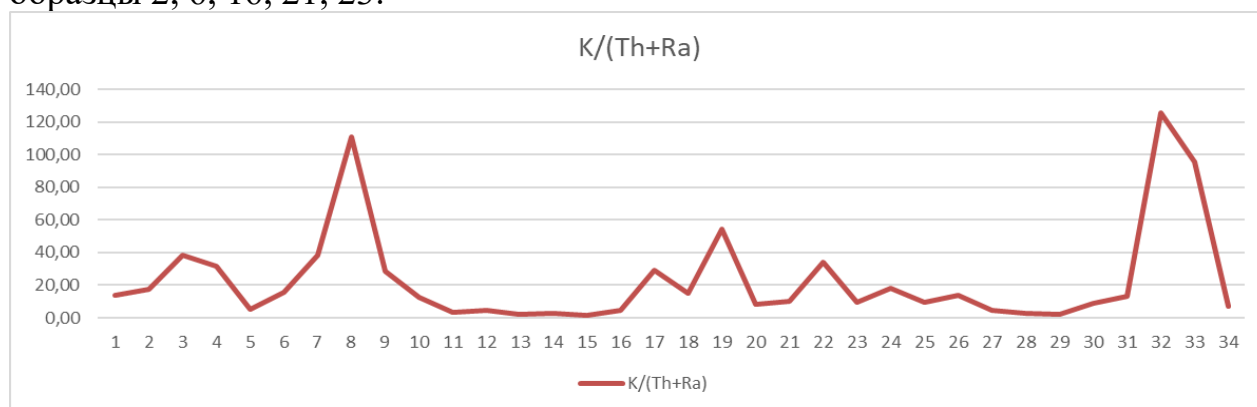


Рисунок 5 – Отношение $K^{40}/(Th^{232}+Ra^{226})$

По соотношению $K^{40}/(Th^{232}+Ra^{226})$ можно разделить породы-глины и породы, где происходили вторичные процессы. В частности, резкие отклонения от фоновых значений могут быть связаны с трещинами, заполненными илом (высокая активность калия, $K^{40}/(Th^{232}+Ra^{226}) > 20$). Например, это образцы 3, 4, 7, 8, 9, 17, 19, 22, 24, 32, 33, представленные глинистыми разностями-аргиллитами или глинистыми песчаниками.

Таблица 3 – Типы аномалий величины удельной активности

Тип аномалии	Интерпретация
Инфильтрация	Наличие открытых трещин. Высокий Cs^{137} указывает на миграцию современных флюидов.
Выщелачивания	Трещины, через которые проходили окисленные воды, выщелачивающие радий.
Аккумуляция	Трещины, выполненные глинистым или коллоидным материалом, обогащенным Th или Ra. Вторичное накопление урана в трещинах или порах.

В то же время, показания ниже фоновых означают заполнение трещин чистым кварцем или карбонатом (низкая активность калия, $K^{40}/(Th^{232}+Ra^{226}) < 10$). В частности, образцы 1, 5, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 27, 28, 29, 34 представлены вероятнее всего чистыми карбонатами с минимальной глинистостью. В таблице 3 приведены некоторые типов аномалий удельной активности радиоизотопов, которые можно использовать как признаки для интерпретации.

Таким образом, исходя из вышеприведенных результатов можно сформулировать некоторые диагностические признаки, которые сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Таблица диагностических признаков

Тип породы/условия	Диапазон значений	Образцы керна
Чистые песчаники/карбонаты	$K/(Th+Ra) < 10$, Ra/Th средние	1, 5, 13, 14, 20
Глинистые породы	$K/(Th+Ra) > 20$	3, 4, 8, 19, 22
Зоны выщелачивания /трещины	Ra/Th < 0.7, K/Ra высокие	11, 17, 18, 32
Зоны аккумуляции ОВ	Ra/Th > 10	2, 6, 16, 21, 23

В соответствии с результатами измерений и анализа спектров геологический разрез по отдельным скважинам Николо-Березовской площади представлен неоднородными отложениями. Здесь отмечаются как чистые карбонаты, так и глинистые разности. Можно выделить зоны с признаками вторичных изменений, что вероятно связано с трещиноватостью и высоким содержанием ОВ.

Кроме того, что были изучены радиоактивные свойства образцов керна, которые представляют дискретную (в точке) информацию, необходимо изучить их распределение по глубине. Это – важная геологическая задача, решение которой дает ответы на вопросы о литологическом составе пород и наличии трещин.

В работе, кроме этого, выполнен анализ распределения удельной активности радионуклидов с глубиной по скважинам Николо-Березовской площади. На рисунке 6 приведены соответствующие графики.

Из графиков видно, что керн освещает только отдельные интервалы глубин, поэтому нужно анализировать еще и каротажные данные. В этой связи, дальнейшая работа будет связана с исследованием комплексной информации на основе данных керна, геофизических исследований скважин и машинного обучения.

Таким образом, в работе выполнены экспериментальные измерения гамма-активности образцов керна, сформулированы диагностические признаки для геологической интерпретации спектров радионуклидов.

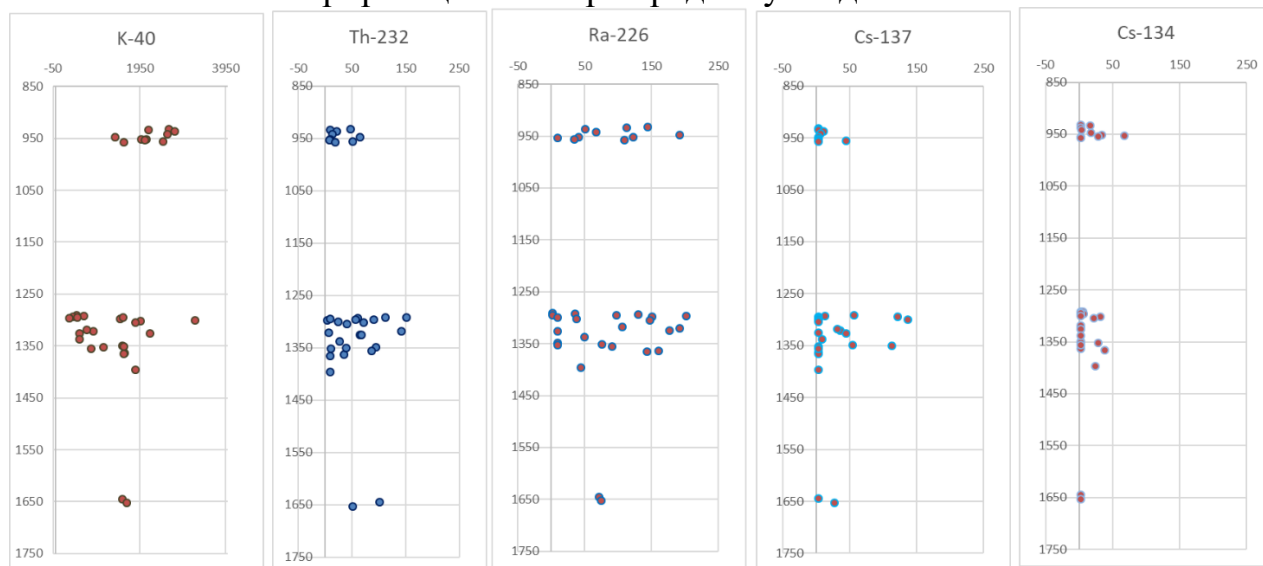


Рисунок 6 – Распределение удельной активности радионуклидов с глубиной

Показаны возможности решения задач определения литологии, содержания ОВ, выявления наличия трещин в образцах керна. Вместе с тем, учитывая дискретность информации, полученной из измерений на образцах керна, показано, что для достоверной оценки содержания органического вещества и прогноза трещиноватости необходимо привлечение данных геофизических исследований скважин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по эксплуатации гамма-радиометра РКГ-АТ1320С» // Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ» - 2023.
2. Юдаков, Д. В. От физики до медицины. Фундаменталист Леонидас Д. Маринелли / Д. В. Юдаков, С. П. Бондаренко, А. А. Трухин // Клиническая и экспериментальная тиреоидология. – 2021. – Т. 17, № 4. – С. 21-25. – DOI 10.14341/ket12547. – EDN DPMZRS.
3. Большая Российская энциклопедия / Главный редактор и председатель научно-редакционного совета: президент РАН Ю.С. Осипов. Том 19. – Москва : Большая Российская Энциклопедия, 2012. – 768 с. – ISBN 978-5-85270-353-8. – EDN QAKMRJ. Источник: <https://old.bigenc.ru/physics/text/1807850>
4. Khazipov, R. G. Reservoir Types of the Kashirian Horizon of the Middle Carboniferous within the Melekes Depression and the South Tatar Arch / R. G. Khazipov, A. V. Stoupakova // Georesources. – 2017. – Vol. 19, No. 3. – P. 250-254. – DOI 10.18599/grs.19.3.16. – EDN YMENXW.
5. Комплексная интерпретация материалов геофизических исследований скважин каширо-подольских отложений с применением нейронных сетей / О. Р. Привалова,

- Д. Д. Гаделева, Г. И. Минигалиева [и др.] // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 1. – С. 69-76. – DOI 10.17122/ngdelo-2021-1-69-76. – EDN QANOIL.
6. Петрофизическая модель карбонатных каширо-подольских отложений северо-западной части Башкортостана: история и эволюция / О. Р. Привалова, Г. И. Минигалиева, Т. В. Бурикова [и др.] // Экспозиция Нефть Газ. – 2025. – № 1(111). – С. 57-63. – DOI 10.24412/2076-6785-2025-1-57-61. – EDN VLSCSTM.
 7. Прогноз трещиноватости карбонатных отложений по результатам интерпретации спектрометрического гамма-каротажа / Г. Р. Вахитова, Р. А. Галимов, А. И. Гумерова, Г. Ф. Шайбекова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2022. – № 6(366). – С. 11-16. – DOI 10.33285/2413-5011-2022-6(366)-11-16. – EDN GSPXXS.
 8. Урманов Э.Г. Спектрометрический гамма-каротаж нефтегазовых скважин / Э. Г. Урманов. - Москва: ВНИИОЭНГ, 1994. – 80 с. ISBN 5-88595-011-3.
 9. Мельник, Н. А. Радиоаналитические методы анализа технологических продуктов и объектов природной среды / Н. А. Мельник. – Апатиты: Кольский научный центр Российской академии наук, 2018. – 273 с. – ISBN 978-5-91137-379-5. – EDN PBQWAO.
 10. Испытания и анализ керна Уральской сверхглубокой скважины / Т. А. Глушкова, Г. В. Иголкина, А. Г. Талалай, И. Е. Шинкарьук // Мониторинг. Наука и технологии. – 2025. – № 1(63). – С. 6-14. – DOI 10.25714/MNT.2025.63.001. – EDN SDSNCG.
 11. О возможности спектрометрического гамма-каротажа при решении задач нефтегазопромысловой геофизики / Д. Ю. Пак, Ю. Н. Пак, А. Н. Есендосова, А. Б. Смагулова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4-6. – С. 1069-1072. – EDN VSXBXX.
 12. Белохин В.С., Калмыков Г.А., Ревва М.Ю. Методика обработки многоканального спектрометрического гамма-каротажа с использованием элементарных спектров // // Каротажник. – 2004. – № 10-11(205-210). – С. 205-210.
 13. Закиров, М. Ф. Анализ распределения температуры с помощью прогнозных геотермических распределений в добывающей скважины / М. Ф. Закиров, Р. А. Валиуллин // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 3(36). – С. 38-52. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-38-52. – EDN IACLHP.
 14. Вахитова, Г. Р. Определение глинистости в терригенных коллекторах с повышенной радиоактивностью / Г. Р. Вахитова, Р. А. Валиуллин // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2024. – № 4(37). – С. 75-81. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-4-75-81. – EDN SBYNAJ.
 15. Вахитова, Г. Р. Анализ возможности фациального моделирования неоднородных отложений покурской свиты на основе данных керна и ГИС / Г. Р. Вахитова, А. А. Казарян, Э. Р. Сахаутдинова // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2025. – № 1(38). – С. 40-50. – DOI 10.24412/2949-4052-2025-1-40-50. – EDN JQYVRW.

REFERENCES

1. Operating Manual for the RKG-AT1320C Gamma Radiometer // Research and Production Unitary Enterprise АТОМТЕКН - 2023.

2. Yudakov, D. V. From Physics to Medicine. Fundamentalists Leonidas D. Marinelli / D. V. Yudakov, S. P. Bondarenko, A. A. Trukhin // *Clinical and Experimental Thyroidology*. - 2021. - Vol. 17, No. 4. - Pp. 21-25. - DOI 10.14341/ket12547. - EDN DPMZRS.
3. The Great Russian Encyclopedia / Editor-in-Chief and Chairman of the Editorial Board: President of the Russian Academy of Sciences Yu. S. Osipov. Volume 19. - Moscow: The Great Russian Encyclopedia, 2012. - 768 p. – ISBN 978-5-85270-353-8. – EDN QAKMRJ. Source: <https://old.bigenc.ru/physics/text/1807850>
4. Khazipov, R. G. Reservoir Types of the Kashirian Horizon of the Middle Carboniferous within the Melekess Depression and the South Tatar Arch / R. G. Khazipov, A. V. Stoupakova // *Georesources*. – 2017. – Vol. 19, No. 3. – P. 250-254. – DOI 10.18599/grs.19.3.16. – EDN YMEHXW.
5. Integrated interpretation of geophysical survey materials of Kashira-Podolsk deposits using neural networks / O. R. Privalova, D. D. Gadeleva, G. I. Minigalieva [et al.] // *Oil and Gas Business*. - 2021. - Vol. 19, No. 1. - Pp. 69-76. - DOI 10.17122/ngdelo-2021-1-69-76. - EDN QANOIL.
6. Petrophysical model of carbonate Kashira-Podolsk deposits of the northwestern part of Bashkortostan: history and evolution / O. R. Privalova, G. I. Minigalieva, T. V. Burikova [et al.] // *Expozitsiya Neft Gas*. - 2025. - No. 1 (111). - Pp. 57-63. – DOI 10.24412/2076-6785-2025-1-57-61. – EDN VLSCTM.
7. Forecast of fracturing of carbonate deposits based on the results of interpretation of spectrometric gamma-ray logging / G. R. Vakhitova, R. A. Galimov, A. I. Gumerova, G. F. Shaibekova // *Geology, geophysics and development of oil and gas fields*. – 2022. – No. 6 (366). – P. 11-16. – DOI 10.33285/2413-5011-2022-6 (366) -11-16. – EDN GSPXXS.
8. Urmanov E. G. Spectrometric gamma-ray logging of oil and gas wells / E. G. Urmanov. - Moscow: VNIIOENG, 1994. – 80 p. ISBN 5-88595-011-3.
9. Melnik, N. A. Radioanalytical Methods for Analysis of Technological Products and Natural Environmental Objects / N. A. Melnik. - Apatity: Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences, 2018. - 273 p. - ISBN 978-5-91137-379-5. - EDN PBQWAO.
10. Testing and Analysis of Core from the Ural Superdeep Borehole / T. A. Glushkova, G. V. Igolkina, A. G. Talalay, I. E. Shinkaruk // *Monitoring. Science and Technology*. - 2025. - No. 1 (63). - P. 6-14. – DOI 10.25714/MNT.2025.63.001. – EDN SDSNCG.
11. On the Possibility of Spectrometric Gamma-Ray Logging in Solving Oil and Gas Field Geophysics Problems / D. Yu. Pak, Yu. N. Pak, A. N. Esendosova, A. B.

- Smagulova // International Journal of Applied and Fundamental Research. – 2016. – No. 4-6. – P. 1069-1072. – EDN VSXBXX.
12. Belokhin V.S., Kalmykov G.A., Revva M.Yu. Methodology for Processing Multichannel Spectrometric Gamma-Ray Logging Using Elementary Spectra // // Karotazhnik. – 2004. – No. 10-11(205-210). – P. 205-210.
13. Zakirov, M. F. Analysis of temperature distribution using predictive geothermal distributions in a production well / M. F. Zakirov, R. A. Valiullin // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. – 2024. – No. 3(36). – P. 38-52. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-38-52. – EDN IACLHP.
14. Vakhitova, G. R. Determination of clay content in terrigenous reservoirs with increased radioactivity / G. R. Vakhitova, R. A. Valiullin // Geology. Proceedings of the Department of Geosciences and Natural Resources. – 2024. – No. 4(37). – P. 75-81. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-4-75-81. – EDN SBYNAJ.
15. Vakhitova, G. R. Analysis of the possibility of facies modeling of heterogeneous deposits of the Pokur Formation based on core and GIS data / G. R. Vakhitova, A. A. Kazaryan, E. R. Sakhautdinova // Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources. – 2025. – No. 1(38). – P. 40-50. – DOI 10.24412/2949-4052-2025-1-40-50. – EDN JQYVRW.

Сведения об авторах:

Вахитова Гузель Ринатовна, кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: guzel.geotec@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-8543-3336

Алимова Мария Ринатовна, студент ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: marialim22@mail.ru. ORCID ID: 0009-0001-9286-0627.

Author's personal details

Vakhitova Guzel Rinatovna, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Geophysics, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation. E-mail: guzel.geotec@mail.ru. ORCID ID: 0000-0002-8543-3336.

Alimova Maria Rinatovna, Student of the Department of Geophysics, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation. E-mail: marialim22@mail.ru. ORCID ID: 0009-0001-9286-0627.

© Вахитова Г.Р., Алимова М.Р.

АТАБУРУНСКИЙ РАЗРЕЗ ТРИАСА СЕВЕРНОГО ПРИКАРАБОГАЗЬЯ КАК СВЯЗУЮЩЕЕ ЗВЕНО РАЗРЕЗОВ КАРААУДАНСКОЙ ЗОНЫ И ТУАРКЫРА

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

Аннотация. Территория, прилегающая с севера к заливу Кара-Богаз-Гол, относится к числу сравнительно слабо изученных районов юго-запада Туранской плиты. Особенно это касается геологии доплитной пермско-триасовой части разреза. Это создает проблемы при стратификации сейсмических отражающих горизонтов, проведении прогнозных оценок ресурсной базы нефти и газа обширного региона. Для решения данной проблемы авторами был проведен детальный литологический анализ триасовых отложений, вскрытых глубокими скважинами в Северном Прикарабогазье. Особое внимание уделено описанию триасовых отложений, пройденных параметрической скважиной Атабурун 1П под трансгрессивно налегающими среднеюрскими отложениями, в результате чего верхние секции триасового разреза были уничтожены эрозией. Выделены характерные литологические толщи и дана детальная их литологическая характеристика. Осуществлена стратиграфическая привязка толщ с последующей корреляцией с разрезами Туаркыра и Аксу-Кендырлинской ступени (Караауданская зона) Южно-Мангышлакского прогиба. Показано, что разрез триаса Атабурунской параметрической скважины П-1 является промежуточным связующим звеном между этими удаленными на многие километры разрезами. При этом разрез Атабуруна надстраивает верхнюю часть триасового разреза Туаркырской системы дислокаций и уверенно коррелируется с нижней частью разреза Караауданской зоны. Полученный фактический материал свидетельствует о принадлежности всех этих разрезов к единой Туаркыр-Караауданской раннекиммерийской структурно-формационной зоне седиментации. Следовательно, сводная мощность доюрского осадочного комплекса данной раннекиммерийской складчатой зоны, с учетом верхней караауданской его части, составляет около 5,4 км. Полученные результаты позволяют более обосновано подойти к палеотектоническим реконструкциям пермско-триасового этапа развития, сыгравшего переломное значение в становлении Туранской плиты. Они также могут быть использованы при планировании геологоразведочных работ на нефть и газ в регионе.

Ключевые слова: тектоника, литология, триас, корреляция, Северное Прикарабогазье.

Для цитирования: Попков В.И., Попков И.В. Атабурунский разрез триаса Северного Прикарабогазья как связующее звено разрезов Караауданской зоны и Туаркыра // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 27-46. DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-27-46

ATABURUN SECTION OF THE TRIASSIC OF THE NORTHERN CARABOGAZ REGION AS A CONNECTING LINK BETWEEN SECTIONS OF THE KARAAUDAN ZONE AND TUARKYR

© Popkov Vasily Ivanovich, © Popkov Ivan Vasilyevich

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Kuban State University», Krasnodar, Russian Federation

Summary. The area adjacent to the Kara-Bogaz-Gol Bay from the north is one of the relatively poorly studied regions of the southwestern part of the Turan Plate. This is especially true for the geology of the pre-plate Permian-Triassic section. This creates problems in the stratification of seismic reflection horizons and in conducting predictive assessments of the oil and gas resource base of this vast region. To address this issue, the authors conducted a detailed lithological analysis of the Triassic deposits that were exposed by deep wells in the Northern Prikarabogazye region. Special attention is paid to the description of the Triassic deposits that were passed by the Ataburun 1P parametric well under the transgressively overlying Middle Jurassic deposits, as a result of which the upper sections of the Triassic section were destroyed by erosion. The characteristic lithological strata are identified and their detailed lithological characteristics are provided. The stratigraphic correlation of the strata was carried out, followed by correlation with the sections of the Tuarkyr and Aksu-Kendyrlinskaya stages (the Karaudanskaya zone) of the South Mangyshlak Trough. It was shown that the Triassic section of the Ataburunskaya parametrical well P-1 is an intermediate link between these sections, which are located many kilometers apart. At the same time, the Ataburun section overlies the upper part of the Triassic section of the Tuarkyr system of dislocations and correlates reliably with the lower part of the Karaudan section. The obtained factual material indicates that all these sections belong to the single Tuarkyr-Karaudan Early Kimmerian structural-formational zone of sedimentation. Therefore, the total thickness of the pre-Jurassic sedimentary complex of this Early Kimmerian folded zone, taking into account its upper Karaudan part, is approximately 5.4 km. The results obtained allow for a more substantiated approach to paleotectonic reconstructions of the Permian-Triassic stage of development, which played a crucial role in the formation of the Turan Plate. They can also be used in the planning of geological exploration for oil and gas in the region.

Keywords: tectonics, lithology, Triassic, correlation, Northern Prikarabogazye.

Введение. Северное Прикарабогазые относится к числу сравнительно слабо изученных районов юго-запада Туранской плиты. В соответствии с выполненными ранее исследованиями комплекса данная территория является промежуточным связующим звеном между Аксу-Кендырлинской и Туаркырской частями погребенной под платформенным чехлом протяженной раннекиммерийской Туаркыр-Карауданской системы дислокаций [1]. Одновременно с этим существуют и другие точки зрения относительно северо-западного продолжения Туаркыра [2-6]. Очевидно, что данный вопрос имеет не только теоретический интерес, но и важное практическое значение при решении нефтегеологических задач [7-9].

Сейсмическими исследованиями МОГТ к северу от залива Кара-Богаз-Гол была закартирована в доюрском комплексе отложений группа поднятий. Однако, отсутствие прямой геологической информации о строении доюрского разреза не позволяло однозначно оценить перспективы нефтегазоносности указанной зоны.

В связи с этим было принято решение о бурении на Атабурунской антиклинали параметрической скважины (рис. 1).

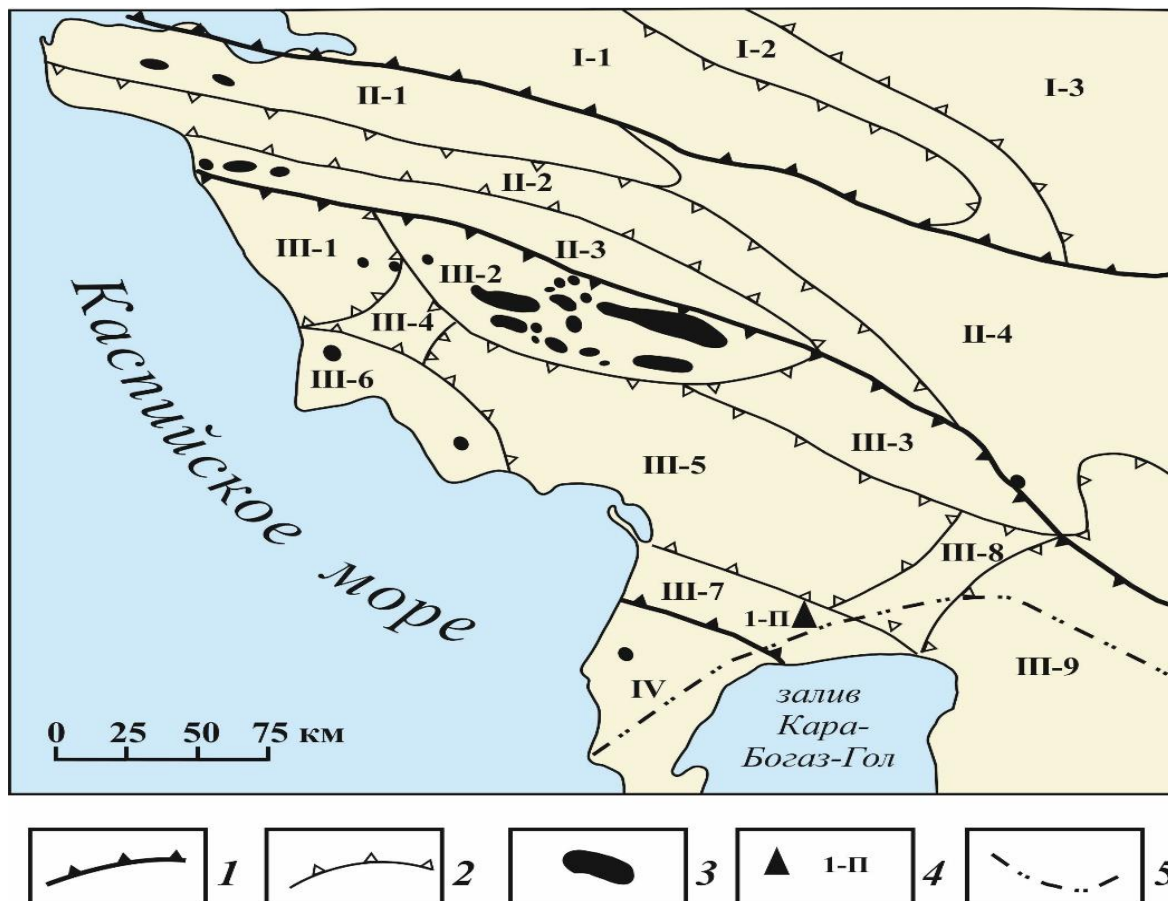


Рисунок 1 – Южный Мангышлак. Местоположение параметрической скважины Атабурун 1-П

где: границы тектонических элементов: 1 – первого порядка, 2 – второго порядка; 3 – месторождения нефти и газа, 4 – местоположение параметрической скважины Атабурун 1-П, 5 – государственная граница

Основными задачами, стоявшими перед параметрической скважиной, являлись следующие: 1) уточнение данных о стратиграфии разреза и, в первую очередь, доюрской его части; 2) изучение сейсмогеологических параметров разреза; 3) изучение коллекторских свойств пород; 4) выявление прямых и косвенных признаков нефтегазоносности пород всего разреза, выделение возможно продуктивных толщ и горизонтов. Предполагалось также, что полученная информация обеспечит более надежную оценку перспектив нефтегазоносности Северного Прикарабогазья и даст дополнительную информацию о взаимосвязи пермско-триасовых разрезов Аксу-Кендырлинской ступени и Туаркыра.

В соответствии с проектом предполагалось вскрытие триасовых и палеозойских пород на глубинах 3135 м и 3645 м соответственно. Однако триасовые отложения были встречены на глубине 3305 м, а палеозойские при достижении проектной глубины 4600 м вскрыты не были.

Южнее Атабурунской площади была пробурена скважина Гарашсыз – 1 [9].

Несмотря на важность полученных геолого-геофизических данных о строении доюрских отложений Северного Прикарабогазья, они продолжают оставаться недостаточно обработанными и малоизвестными широкому кругу специалистов.

Результаты исследований и их обсуждение

Тектоника

Атабурунская параметрическая скважина I-II пробурена в зоне сочленения Карабогазского свода с Южно-Мангышлакским прогибом. С точки зрения нашего представления о региональном строении доюрского осадочного комплекса этот район принадлежит к Караауданской зоне дислокаций, которая является северо-западным продолжением складчатых сооружений Туаркыра [10, 11].

В результате детальных сейсмических работ МОГТ, проведенных к северу и северо-западу от залива Кара-Богаз-Гол, изучена структура пермо-триасовых отложений (рис. 2) и прослежено их площадное распространение. На временных разрезах отчетливо выделяется Аксу-Кендырлинская (Караауданская) зона складчатого пермо- триаса (рис. 3). Ширина ее в пределах суши достигает 25–30 км.

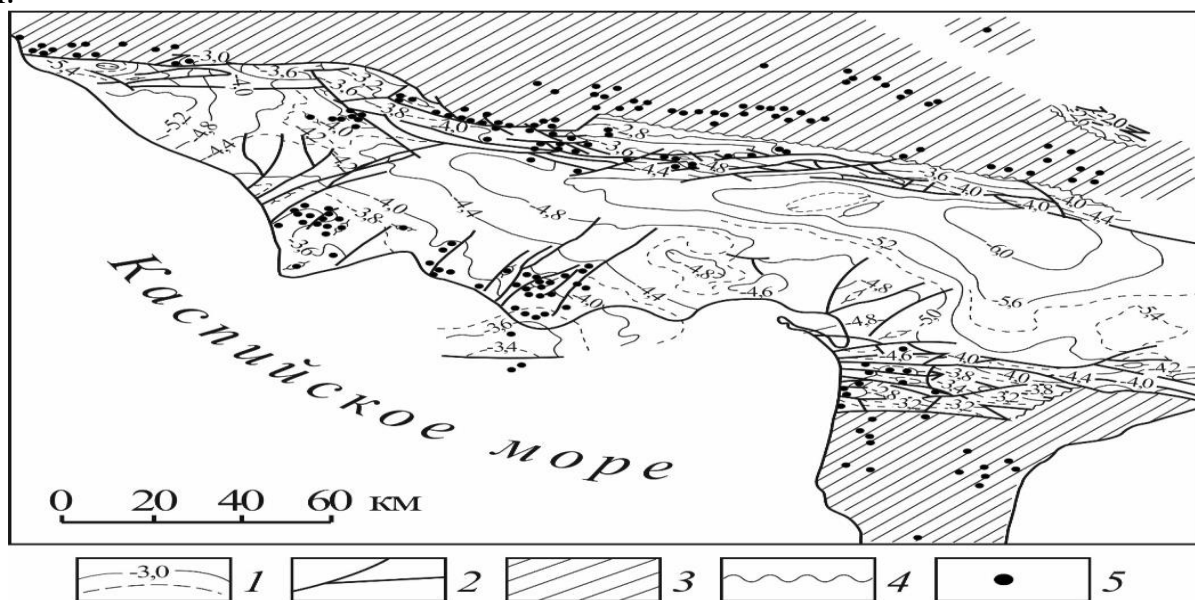


Рисунок 2 – Южный Мангышлак. Структурная карта по подошве среднего триаса

где: 1 – стратоизогипсы, 2 – разрывы, 3 – районы отсутствия среднетриасовых отложений, 4 – эрозионные границы распространения среднетриасовых отложений, 5 – скважины

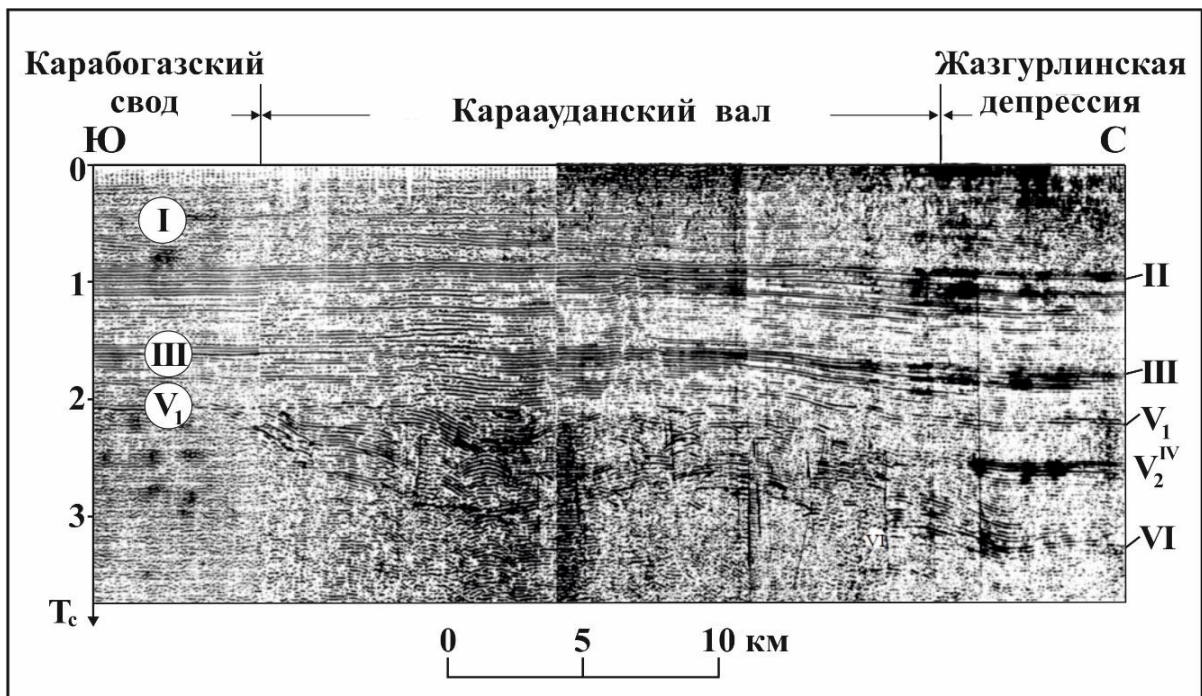


Рисунок 3 – Сейсмический разрез через Караауданский вал
 где: отражающие горизонты в подошве: I – палеогена, II – сенона-турона, III – неокома,
 V₁ – юры, V₂IV – среднего триаса; VI – кровля палеозоя

Южным ограничением складчатой зоны служит Северо-Карабогазский региональный разлом, служащий одновременно и границей распространения доюрского осадочного комплекса: скважины, пробуренные на Бирбасской, Букбашской, Тамдинской, Южно-Аламурынско–Джанаорпинской и Кудукской площадях Карабогазского свода, непосредственно под среднеюрскими отложениями вскрывают породы палеозойского фундамента [12]. Северной границей зоны является Южно-Жазгурлинский разлом, за которым отложения триаса залегают плащеобразно.

Морские сейсмические работы позволяют протрассировать Туаркыр-Караауданскую складчатую зону в пределы Каспийского моря, примерно до меридиана мыса Ракушечный [1]. Таким образом, общая протяженность зоны ранних киммерид составляет около 800 км.

Структурной основой для заложения параметрической скважины I-II Атабурун послужили результативные материалы поисковых и детальных сейсмических работ МОГТ. Атабурунское поднятие по отражающему горизонту VI? по замкнутой изогипсе минус 3550 м имеет размеры 2x3,5 км, амплитуду около 50 м. Выполненные структурные построения с использованием данных сейсморазведки наглядно иллюстрируют сложную структуру пермо-триасового комплекса Караауданской зоны дислокаций (рис. 4, 5).

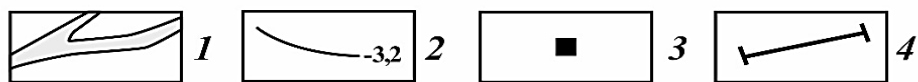
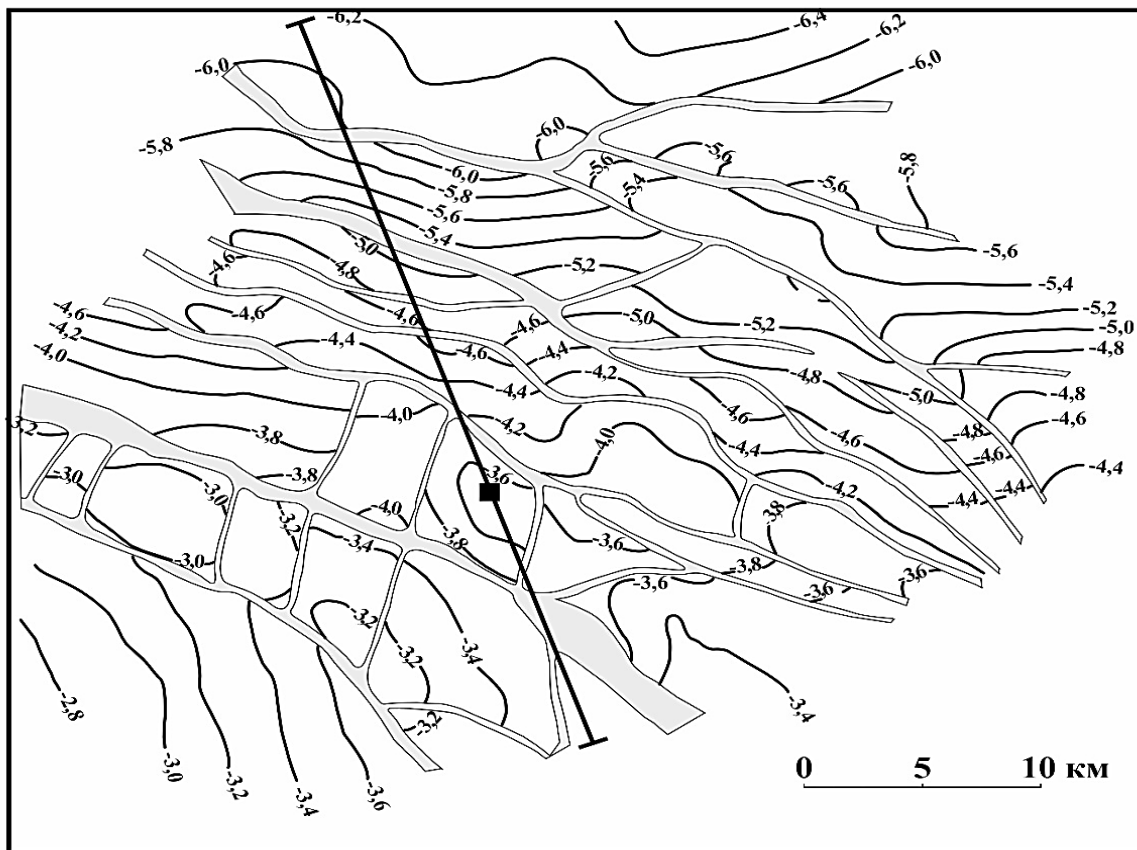


Рисунок 4 – Структурная карта по внутритриасовому отражающему горизонту VI?

где: 1 – разрывы, 2 – стратоизогипсы, км, 3 – местоположение параметрической скважины Атабурун 1-П, 4 – сейсмический профиль 42

На структурной карте по условному отражающему горизонту VI, приуроченному к предъюрской поверхности размыва, антиклиналь оконтурена изогипсой –3000 м, в пределах которой размеры ее составляют 5х2,25км, амплитуда ~ 50 м. По отражающему горизонту IV (подошва валанжина + кимериджа) в районе Атабуруна вырисовывается структурный нос по изогипсе –1900 м. В структурных планах отражающим горизонтам в меловых отложениях структура Атабурун также имеет форму пологого структурного носа. В подошве олигоцена поднятие не проявляется.

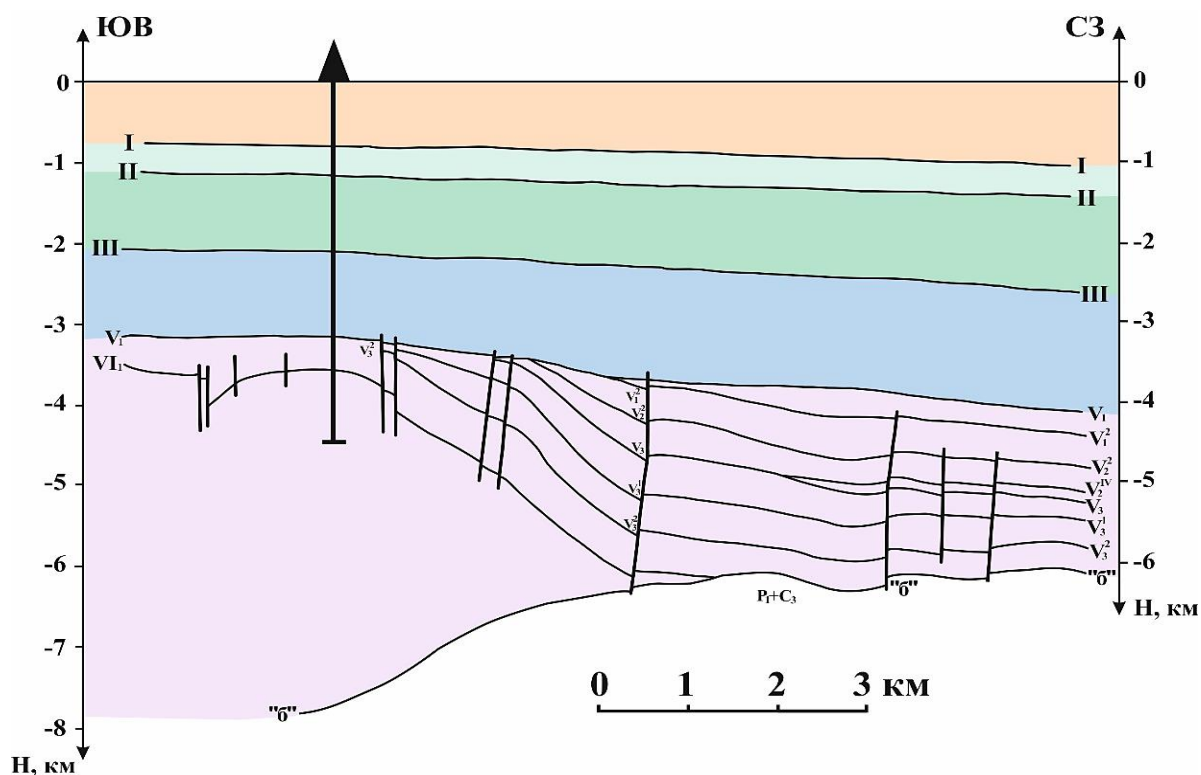


Рисунок 5 – Сейсмогеологический разрез по профилю 42

где: отражающие горизонты в подошве: I – палеогена, II – сенона-турона, III – неокома, VI – юры; внутритриасовые отражающие горизонты группы V_2 , V_3 и VI; «б» – кровля палеозойского фундамента

Литолого-стратиграфическая характеристика триасовых отложений

Отложения триасового возраста вскрыты скважиной Атабурун 1-П в интервале глубин 3305–4600 м (забой). Выше со стратиграфическим несогласием залегают отложения средней юры. Проведенные исследования позволили расчленить разрез триаса на характерные литологические толщи, которым для удобства сопоставления с разрезом Аксу-Кендырлинской ступени [13] и практического использования присвоены аналогичные индексы (T_1^1 , T_1^2 , T_1^3)

В основании разреза параметрической скважины в интервале 3785–4600 м (забой) залегает алевролитово-аргиллитовая толща (T_1^1) вскрытая мощность 815 м (рис. 6). Сложена она красноцветными алевролитово-аргиллитовыми и сероцветными песчано-алевролитовыми породами. В разрезе отмечается высокое содержание вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований. Преобладают глинистые разности пород, мощность прослоев которых увеличивается вверх по разрезу. Одновременно с этим возрастает содержание туфов витрокластических и туффитов, иногда отмечаются карбонатные прослои.

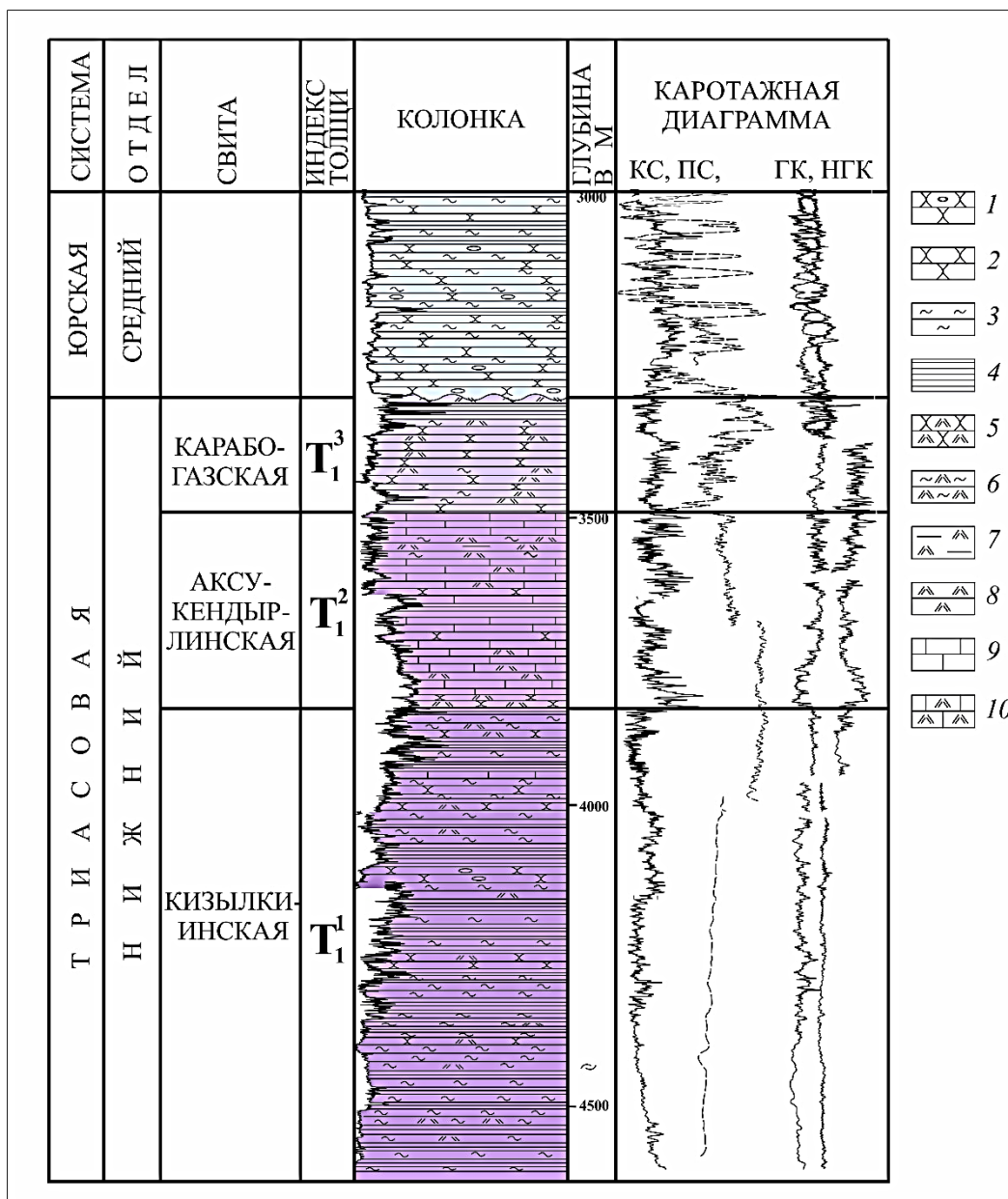


Рисунок 6 – Литолого-стратиграфический разрез триасовых отложений скважины Атабурун 1-П

где: 1 – песчаники грубозернистые с гравийной примесью, 2 – песчаники средне- и мелкозернистые, 3 – алевролиты, 4 – аргиллиты, 5 – туфопесчаники, 6 – туфоалевролиты, 7 – туфоаргиллиты, 8 – туффиты и туфы, 9 – известняки мелкозернистые и кристаллические, 10 – туфоизвестняки

Алевролиты и аргиллиты встречаются прослоями. Их переслаивание подчеркивают тонкая горизонтальная, линзовидная, неправильно-волнистая текстуры. Чаще контакт аргиллитов и алевролитов постепенный.

Аргиллиты красно-бурые, реже серых оттенков, алевритистые, неравномерно карбонатные, зачастую с туфогенной примесью. Основная масса оптически ориентированного строения, с неравномерно рассеянной алевритовой

примесью, состоящей из зерен кварца, полевых шпатов, эффузивных и кремнистых пород. Иногда они образуют отдельные скопления. Обращает на себя внимание присутствие "свежих" зерен кварца и полевых шпатов остроугольной формы, по-видимому, туфогенного происхождения. Наряду с ними встречаются зерна полевых шпатов, по которым развивается кальцит и серицит. Последний нередко развит по обломкам эффузивных пород. Наблюдается регенерация зерен кварца. В ходах илоедов алевролитовый материал сцементирован кальцитовым поровым цементом.

Карбонатный материал неравномерно окрашен гидроокислами железа. Густо-окрашенные его разности часто образуют мелкие линзовидные прослои или линзы обычно неправильной формы и прерывистые прогнутые прослойки, которые подчеркивают пологоволнистую слоистость.

Неравномерные скопления алевритовой примеси подчеркивают мелкие текстуры взмучивания. Алевролиты разномерные, песчаные, иногда глинистые, неравномерно карбонатные, в основном красно-бурые, реже серые с зеленоватым оттенком. Обломочные зерна представлены кварцем, полевыми шпатами, кремнистыми и эффузивными породами. Много чешуек гидрослюд и хлорита. В прослоях алевролитов, обогащенных глинистым материалом содержание их увеличивается.

Цемент в алевролитах гидрослюдистый и хлоритовый пленочного, реже порового типа, кальцитовый. В некоторых случаях наблюдается регенерация кварца с преобладанием конформного цемента. Редко отмечаются довольно крупные отдельные участки с базальным пойкилитовым кальцитовым цементом. Редкие трещинки, толщиной от 0,01 мм до 0,17 мм, выполнены черным битумом. Присутствующие полые трещинки приурочены к участкам с пойкилитовым цементом. По обломкам эффузивов и по полевым шпатам развивается хлорит. На отдельных участках рассеяны вкрапления органического материала растительного происхождения черного цвета. Нередко по ним развивается пирит.

Туфоаргиллиты с прослоями и линзами неотсортированного туфоалевролита. В туфоаргиллитах заметна оптическая ориентировка основной массы, в значительном количестве присутствует терригенная примесь. Встречаются тонкие прослои без терригенной примеси с хорошо выраженным параллельно-чешуйчатым строением. Основная масса имеет витрокластическую структуру, в значительном количестве присутствует терригенная примесь с размером зерен, не превышающим 0,012 мм. Широко развита регенерация кварца, процессы хлоритизации. По многим обломкам эффузивов развивается серицит. По всей массе породы рассеяны мелкие стяжения железистых карбонатов темно-бурого цвета, иногда с пятнами кальцита. Редко встречаются тонкие, как извилистые, так и прерывистые трещинки, выполненные кальцитом, а также мелкие пустоты.

Туфы с витрокластической основной массой, среди которой наблюдаются зерна кварца, полевых шпатов и эффузивных пород. В значительном количестве присутствуют чешуйки слюды. Кальцит развит от незначительных мелких отдельных выделений до почти полного замещения основной массы.

Зерна кварца и полевых шпатов в основном свежие, не выветрелые, с отчетливыми краями. Среди них встречаются удлиненные с острыми углами разности. Отмечается регенерация зерен. Наряду с этим нередко отмечается коррозия зерен гидрослюдисто-глинистым материалом, серицитизация и кальцитизация полевых шпатов. Иногда по ним развиваются гидроокислы железа.

Известняк микрокристаллический, коричневый, однородный. Прослоями наблюдаются многочисленные мелковолнистые прерывистые слойки глинисто-битуминозного вещества темно-коричневого цвета. К этим прослоям приурочена также мелкоалевритовая примесь, состоящая из зерен кварца, полевых шпатов, обломков эффузивных пород и чешуек слюды. Иногда известняк содержит мелкие обломки раковин остракод. В рассеянном виде присутствует пирит. Большое количество мелких пустот выполнено кремнистым материалом, крупные пустоты – ангидритом.

Известняк микрозернистый, мелкоалевритовый, ярко окрашенный битуминозным веществом в темно-коричневый цвет, с туфогенной примесью. Алевритовые зерна состоят из обломков кварца, полевых шпатов, эффузивных пород и чешуек слюды. Среди обломочных зерен преобладают свежие их разности. В прослоях, слабо окрашенных битуминозным материалом, содержится туфогенная примесь. Нередко встречаются целые раковинки и обломки остракод. Раковинки выполнены кристаллическим кальцитом. На фоне основной массы выделяется чистый кристаллический кальцит, замещающий полевые шпаты, раковины остракод и выполняющий пустоты. В рассеянном виде наблюдаются включения пирита.

Известняк метасоматический, тонкозернистый темно-коричневый с туфогенной реликтовой структурой, с прерывистыми мелковолнистыми линзовидными и гнездообразными неправильной формы глинистыми слойками. Зерна известняка имеют неправильную форму с расплывчатыми границами.

Глинистые слойки карбонатные, окрашены в темно-коричневый цвет тонкодисперсным органическим веществом, в которых отчетливо выражена оптическая ориентировка. Встречаются редкие зерна свежего кварца, полевых шпатов и невыветрелых обломков эффузивов. Зерна кварца иногда имеют вытянутую и остроугольную форму, что указывает на туфогенное их происхождение.

Присутствуют также круглые и эллипсовидные формы остракод. Выполнены они кристаллическим кальцитом и с внешней стороны имеют тонкую темно-коричневую каемку. По всей массе породы рассеяны мелкие

включения пирита. В единичных случаях отмечены выделения халцедона.

Метасоматические известняки образовались в результате замещения карбонатом туфогенного материала.

Обнаруженный в этой части разреза споро-пыльцевой комплекс (по заключению К.В. Виноградовой) позволяет датировать возраст описанных отложений как раннетриасовый. В интервале глубин 3771–4600 м установлен палинокомплекс оленекского яруса, представленный *Densoisporites ex.gr.nejburgii* (Schulz) Balme; *Disaccites* gen.sp., *Ynetaceaepollenites* sp., *Strialites* sp., *Platusaccur* cf. *Lesniki* Hart, *Alisporites* sp., *Nusroisporites* sp., *Luskisporites* cf. *Virkkiae* Pottet Kl., *Taeniasporites* sp.

Аналогичные по составу отложения вскрыты скважинами в пределах Аксу-Кендырлинской ступени. Обнаруженные в них многочисленные остатки фауны позволяют отнести вмещающие породы к оленекскому ярусу нижнего триаса [14, 13]. Кроме того, данная толща пород является возрастным аналогом верхней части кизылкиинской свиты Туаркыра и Аксу-Кендырлинской ступени. [15].

Выше по разрезу залегает туфогенно-карбонатная толща (T_1^2) мощностью 290 м (интервал глубин 3495–3785 м). Представлена она известняками черными, серыми, светло-серыми, зеленовато-серыми, бурыми, мелкозернистыми, микрокристаллическими, реже метасоматическими, перекристаллизованными, с прослоями сероцветных терригенных и зеленоватых туфогенных пород. Окраска пород обусловлена наличием тонкодисперсной органики, битуминозного вещества или туфогенного материала, которые могут присутствовать в различных количествах.

Известняк мелкозернистый. Основная масса в местах скопления мелких зерен окрашена в темно-бурые оттенки за счет глинистой примеси с тонкодисперсной органикой. Более крупные зерна и их скопления чистые, без примеси.

Участками отмечается большое скопление тонких прослоев и крупных гнезд аргиллитов коричневого цвета, алевритистых, карбонатных с оптической ориентировкой.

Прослойки аргиллитов ориентированы в различных направлениях, что обуславливает комковатость известняков. В аргиллитах содержится большое количество яркоокрашенных в темно-коричневый цвет мелко волнистых, прерывистых слойков, к которым приурочены крупные включения пирита. Реже отмечаются прослойки с туфогенной примесью без глинистого материала. В них карбонатный материал распространен неравномерно, присутствуют зерна кварца, часто неправильной формы и свежие зерна полевых шпатов. В этих прослойках выявлены пустоты либо полые, либо выполненные кремнистым материалом.

Известняки часто содержат обломки раковин остракод. Нередко присутствуют крупные (0,17–0,23 мм) и тонкие (0,01–0,03 мм) трещинки.

Крупные трещинки выполнены кристаллическим кальцитом, тонкие заполнены кремнистым материалом или коричневым веществом органического происхождения. Кроме того, встречаются пустоты, выполненные халцедоном, который замещен кристаллическим кальцитом.

Известняк микрокристаллический, основная масса коричневых оттенков с темно-коричневыми прожилками и пятнами, обусловленными битуминозным веществом. Среди основной массы наблюдаются отдельные перекристаллизованные зерна, а также зерна кварца, полевых шпатов и чешуйки слюды. К перекристаллизованным участкам приурочены мелкие пустоты, выполненные кремнистым материалом. Кроме того, отмечаются единичные крупные пустоты, выполненные кремнистым материалом и кальцитом. Наряду с этим встречаются полые пустоты. По всей массе породы рассеяны мелкие выделения пирита. Нередко они приурочены к прожилкам и пятнам битуминозного материала. Иногда они развиваются по кремнистому материалу, выполняющему пустоты.

Известняк метасоматический. Форма зерен неправильная, лапчатая. В известняках хорошо выражена первоначальная туфогенная структура. Наблюдаются реликты вулканогенного материала, отчетливо выраженные вулканогенные рогульки, замещенные кальцитом. Редко присутствуют чистые, свежие зерна полевых шпатов и кварца. Иногда зерна кварца остроугольные. Встречаются зерна ангидрита, также имеющие лапчатую форму, как и кальцит.

Известняк каверново-поровый. Мелкие и крупные пустоты неправильной формы, залечены кремнистым веществом. В большом количестве наблюдается пирит, как в виде отдельных микрозернистых включений, так и в виде рассеянных мелких зерен и их скоплений.

Аргиллиты карбонатные, алевритистые, с основной массой оптически ориентированного строения, окрашенной тонкодисперсной органикой в буровато-коричневые или темно-коричневые цвета. Встречаются линзочки аргиллита без карбонатных примесей. По всей массе породы распространены обломки кварца, полевых шпатов, эффузивных пород, чешуек гидрослюды и хлорита. Нередки мелкие включения и прослойки органического вещества черного и темно-коричневого цвета. Изредка встречаются крупные обломки микрозернистого известняка эллипсоидальной формы, оконтуренные глинистым материалом. По всей массе породы рассеяны мелкие включения пирита, приуроченные обычно к органическому материалу. Участками наблюдается туфогенная примесь. Разнонаправленные трещины выполнены по краям кремнистым веществом, в центре – кальцитом.

Алевролиты и песчаники темно-серые, реже светло-серые, карбонатные. Песчаники мелко-среднезернистые, алевритовые, неотсортированные, с примесью туфогенного материала. Алевролиты с тонкими глинистыми прослойками окрашены тонкодисперсным органическим материалом в темно-

коричневый цвет. Кластический материал состоит из зерен кварца, полевых шпатов, эффузивных обломков, чешуек гидрослюды и хлорита.

Цемент гидрослюдистый пленочный, поровый – глинистый, карбонатный, реже базальный. Карбонатный материал распределен неравномерно в виде разобщенных выделений. Глинистый материал и его прослойки имеют оптически ориентированное строение. По обломочным зернам полевых шпатов нередко развивается вторичный кальцит, иногда полностью их замещая. Отмечается регенерация кварца. Карбонатный материал в основной массе представлен главным образом в виде скоплений мелких зерен. Наряду с этим часто встречаются его крупные кристаллы, образующие поровый и базальный цемент. Присутствуют углистые обрывки черного цвета. С ними нередко связаны включения пирита. Пирит наблюдается также в рассеянном виде. Часто он развивается по зернам полевых шпатов и обломкам эффузивных пород. Иногда отмечаются мелкие включения гидроокислов железа.

Туфоаргиллиты темно-серые с зеленоватым оттенком, карбонатные, с витрокластической основной массой, с оптически ориентированным строением, обусловленным развитием по основной массе гидрослюды. Карбонатный материал присутствует в разобщенном виде и развивается только по крупным рогулькам вулканического стекла, кремнистым выделениям и обломкам эффузивов, полевых шпатов. Значительно реже наблюдаются сохранившиеся свежие зерна кварца, полевых шпатов, эффузивных пород. Зерна кварца остроугольной формы. Встречаются крупные чешуйки гидрослюды и хлорита.

Туф светло-серый, с витрокластической основной массой, сильно карбонатный, с редкими зернами кварца, полевых шпатов, эффузивных обломков, крупных чешуек гидрослюды и хлорита. Карбонатный материал распространен неравномерно в разобщенном виде и нередко повторяет форму рогулек, которые он замещает. По основной массе широко развита гидрослюда, подчеркивающая оптическую ориентировку. Часто наблюдаются мелкие и крупные включения пирита. Скопления мелких включений пирита приурочены к эффузивным обломкам, к зернам полевых шпатов и чешуйкам гидрослюды.

Мелкие пустоты и трещины выполнены кремнистым материалом и кальцитом, Кремнистый материал обычно выделялся позднее кальцита и выполнял центральную часть пустот.

Раннетриасовый возраст туфогенно-карбонатной толщи (T_1^2) уверенно датируется находками аммоноидей в интервале глубин 3712–3720 м (*Dorikranites bogoboanus* Rusk, определение В.А. Гавриловой). Зона *Dorikranites* также выделена на Горном Мангышлаке в верхах алевролита-аргиллитовой толщи, имеющей оленекский возраст [16]. На Южном Мангышлаке (скв. Узень 115) дорикранитовая зона проходит в верхах алевролита-аргиллитовой и низах туфогенно-карбонатной толщ, имеющих также оленекский возраст. Отметим, что на Туаркыре в верхах кизылкиинской свиты, которая соответствует

алевролитово-аргиллитовой толще, также найдены аммониты этой зоны [17]. Помимо фауны аммоноидей в Атубурунской скважине в этой части разреза К.В. Виноградовой в интервале 3511–3720 м определены нижнетриасовые миоспоры: *Densoisporites ex.gr. nejburgii* (Schulz) Balme, *Punctatisporites cf. triassicus* Mald, *Verrucosisporites* sp., *Nevesisporites cf. limatutus* Playf.

Выше, без видимых следов несогласия, в интервале глубин 3305–3495 м залегает наиболее молодая из триасовых отложений алевролитово-песчаниковая толща (T_1^3) мощностью 190 м. Перекрывается она трансгрессивно налегающими отложениями ааленского яруса юрской система. Представлена толща пестроцветными песчаниками, туфопесчаниками, алевролитами с прослоями аргиллитов и туфогенных разностей. Значительная примесь туфогенного материала наблюдается по всему разрезу.

Песчаники серые, розовые, зеленовато-серые с прослоями и пятнами красно-бурого цвета. Окраска пород обусловлена неравномерным присутствием туфогенного материала и гидроокислов железа. Песчаники мелко-среднезернистые, аркозовые, карбонатные.

Алевролиты крупнозернистые неотсортированные, карбонатные. Состоят, как и песчаники, из зерен кварца, полевых шпатов, обломков эффузивных и кремнистых пород, кварцитов, чешуек гидрослюда и хлорита. Последние присутствуют в значительных количествах.

Цемент в песчаниках пленочный гидрослюдистый, участками кальцитовый базальный, нередко наблюдается плотная конформная упаковка зерен со скудным кварцевым и карбонатным цементом. В алевролитах цемент глинистый, пленочный, поровый и базальный, гидрослюдистый.

По обломочным зернам эффузивных пород и полевых шпатов часто наблюдаются точечные вкрапления гидроокислов железа и лейкоксена. Реже обломки почти полностью окрашены гидроокислами железа или окаймлены ими. Отмечается регенерация кварца. Кроме того, встречаются линзовидные прослойки глинистого материала оптически ориентированного строения.

Туфопесчаники мелкозернистые, алевроитовые. По основной витрокластической массе широко развита гидрослюда, обуславливающая оптическую ориентировку. Обломки состоят из кварца, полевых шпатов, микроклина, кремнистых и эффузивных пород, чешуек хлорита и гидрослюда. В большом количестве присутствует лейкоксен. Часто он развивается по эффузивным обломкам и полевым шпатам. Редко лейкоксен отмечается в цементе между зернами. Широко развита регенерация кварца, благодаря чему его зерна имеют неправильную форму. Цемент конформный, пленочный, гидрослюдистый, кальцитовый поровый.

Прослойки аргиллитов имеют оптически ориентированное строение и окрашены тонкодисперсной органикой в коричневый и темно-коричневый цвета. Кроме того, среди них довольно часто присутствуют включения битумов.

Туфоалевролит с витрокластической основной массой, глинистый. Состоит из зерен кварца, полевых шпатов, эффузивных и кремнистых пород, чешуек хлорита и гидрослюда. Основная масса неравномерно окрашена органическим материалом в коричневый, темно-коричневый цвета. Часто наблюдаются включения битумов красновато-коричневого, темно-коричневого и черного цветов. Микротрещины выполнены битумом темно-коричневого цвета.

По литологическому составу эти породы идентичны алевролитово-песчаниковой тоще Аксу-Кендырлинской и Жетыбай-Узеньской ступеней, в которой обнаружены аммоноидеи оленекского возраста [13, 14, 18]. На основании этого можно предполагать оленекский возраст отложений этой части разреза скважины Атабурун 1-П и включить ее в состав карабогазской свиты.

На незначительном удалении к югу от Атабурунской площади пробурена скважина Гарашыз № 1. В ней на глубине 3127 м и до забоя (3300 м) под отложениями юрского возраста вскрыта терригенная толща. Информация по этой скважине крайне ограничена. Некоторые исследователи считают, что отложения принадлежат триасовой системе, другие предполагают позднепалеозойский возраст толщи [19]. Исходя из ее местоположения, электрокаротажной характеристики разреза и литологического состава мы считаем возможным считать вскрытую часть разреза аналогом алевролитово-аргиллитовой толщи Атабуруна и, соответственно, отнесение данных отложений к нижнему триасу.

Таким образом, изложенная выше информация свидетельствует о присутствии в доюрском разрезе скважин Северного Прикарабогазья лишь отложений нижнего отдела триасовой системы. Вскрытый разрез хорошо коррелируется как с нижними секциями триасового разреза Аксу-Кендырлинской (Караауданской) зоны, так и верхней частью Туаркырского разреза, занимая между ними промежуточное положение (рис. 7). Правомерность подобного сопоставления подтверждается не только сходством литологического состава отложений, но и обнаруженный в них комплекс фауны позднеоленекского возраста, в том числе и *Doricranites cf. bogdanus* (Buch.).

Карааудан		Атабурун	Туаркыр	Отдел	Система
				Верхний	Т р и а с о в а я
темиробинская свита	терригенно-карбонатная толща до 237м			Средний	
каработагская свита	туфогенно-аргиллитовая толща 155-185 м алевролитопесчанниковая толща 275-440м	алевролитопесчанниковая толща 190м		Нижний	
аксу-кендырлинская свита	туфогенно-карбонатная толща 300-380м	туфогенно-карбонатная толща 290м			
кизылкинская свита	алевролитопесчанниковая толща 390-452 м гравелитопесчанниковая толща ~ 300 м	алевролитопесчанниковая толща >815м	алевролитопесчанниковая толща 480м гравелитопесчанниковая толща 259м	Верхний	П е р м с к а я
			кизылкинская свита		
			аманбулакская свита		
			конгломератовая толща 740м		
			алевролитопесчанниковая толща 910м		
			песчанико-конгломератовая толща 780м		
			туфогенная толща 770м		
			пестроцветная толща 600м		
			PZ		

Рисунок 7 – Схема корреляции триасовых отложений Прикарабогазья

Заключение. Бурение Атабурунской параметрической скважины в Северном Прикарабогазье дало ценный геологический материал, позволяющий решить ряд геологических вопросов. Доказано развитие в этой зоне мощного

разреза триасовых отложений, который хорошо коррелируется с разрезами Аксу-Кендырлинской зоны (Темирбаба, Южное Аксу и др.) и Туаркыра. Разрез Атабурунской параметрической скважины П-1 служит своеобразным промежуточным связующим звеном между этими удаленными разрезами, что позволяет говорить о принадлежности их к протяженной структурно-формационной зоне Туаркыр-Караауданской системы пермско-триасового прогибания. Сводная мощность доюрского осадочного комплекса данной раннекиммерийской складчатой зоны, с учетом верхней караауданской его части, составляет около 5,4 км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков В.И. О западном продолжении складчатых сооружений Туаркыра // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1984. Вып. 2. С. 43-49.
2. Антипов М.П., Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Патина И.С., Фомина В.В., Барс Ф.М. Триасовые отложения Каспийского региона: состав, строение, условия формирования, нефтегазоносность // Литология и полезные ископаемые. 2024. № 6. С. 678-699. DOI: 10.31857/S0024497X24060058.
3. Леонов Ю.Г., Волож Ю.А., Антипов М.П., Быкадоров В.А., Хераскова Т.Н. Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования. М.: ГЕОС, 2010. 64 с.
4. Мурзагалиев Д.М. Рифтогенез и нефтегазоносность Мангышлака // Геология нефти и газа. 1996. № 5. С. 36-39.
5. Мелихов В.Н. Рифтогенные структуры и перспективы газонефтеносности доюрских образований Юга Туранской плиты // Нефть и газ Туркменистана. 1998. № 5. С. 22-30.
6. Мелихов В.Н. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н. Традиционные и новые структурно-тектонические и нефтегазогеологические модели юга Туранской плиты в контексте Каспийского международного геологического проекта // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2022. Т.17. № 4. http://www.ngtp.ru/rub/2022/50_2022.html.
7. Мелихов В.Н. Особенности строения и перспективы разведки на газ и нефть Карабогазского свода и его разломно-рифтовых обрамлений // Нефть и газ Туркменистана. 2000. № 3. С. 19-24.
8. Попков В.И., Попков И.В. Триасовые отложения Аксу-Кендырлинской ступени Южно-Мангышлакского прогиба // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2025. № 2. С. 5-14. DOI 10.24412/1728-5283-2025-2-5-15.
9. Одеков О.А., Захидов А.У. Тектоника и нефтегазоносность Западного Туркменистана и прилегающей акватории Каспийского моря // Нефть и газ Туркменистана - 2002. - № 6. - С. 11-17.
10. Попков В.И., Попков И.В. Пермо-триас запада Туранской плиты. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2024. 235 с.

11. Попков В.И., Попков И.В. Структура фундамента Мангышлака и Устюрта по геофизическим данным // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов Академии наук республика Башкортостан. 2020. № 27. С. 52-57.

12. Попков В.И., Попков И.В. Фундамент Карабогазского свода (Туранская плита) // Геотектоника. 2022. № 1. С. 68-78. DOI: 10.31857/S0016853X22010064.

13. 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: 10.17353/20705379/16_2023.

14. Алексеева Л.В., Виноградова К.В., Цатурова А.А. Стратиграфическое расчленение триасовых отложений Южного Мангышлака // Бюл. МОИП. Отд. геол. - 1991. - Т. 66. - Вып. 4. - С. 37-43.

15. Попков В.И., Клычников А.В. Сопоставление разрезов доюрских отложений Туаркыра и Караауданской зоны южного Мангышлака // Изв. АН Каз. ССР. Сер. Геол. 1985. № 3. С. 46-51.

16. Гаврилова В.А., Титов Б.И. К вопросу о стратиграфическом расчленении оленекских отложений Южного Мангышлака // Труды. ЛГУ, 1979. Вып. 4. № 24. С. 39-42.

17. Кипарисова Л.Д., Курбатов В.С. О наличии триасовых отложений в Туаркыре // Изв. АН СССР. Сер. геол. - 1952. - № 6. - С. 117-124.

18. Лунатова В.В. Проект стратиграфических схем триасовых отложений Мангышлака и Устюрта // Стратиграфия и палеонтология триасовых отложений Мангышлака и Устюрта. М.: ВНИГНИ, 1984. С. 33-56.

19. Захидов А.У. Новые данные о глубинном строении и перспективах нефтегазоносности Северного и Восточного Прикарабгазья // Нефть и газ Туркменистана. 2001. № 4. С. 18-23.

REFERENCES

1. Popkov V.I. On the Western Extension of the Tuarkyr Folded Structures // Bull. MOIP. Dept. Geol. 1984. Iss. 2. Pp. 43-49. (In Russ.).

2. Antipov M.P., Bykadorov V.A., Volozh Yu.A., Patina I.S., Fomina V.V., Bars F.M. Triassic Deposits of the Caspian Region: Composition, Structure, Formation Conditions, and Oil and Gas Potential // *Litology and Mineral Resources*. 2024. No. 6. Pp. 678-699. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0024497X24060058.

3. Leonov Yu.G., Volozh Yu.A., Antipov M.P., Bykadorov V.A., Kheraskova T.N. The Consolidated Crust of the Caspian Region: An Experience of Zoning. Moscow: GEOS, 2010. 64 p. (In Russ.).

4. Murzagaliev D.M. Riftogenesis and Oil and Gas Potential of Mangyshlak // *Geology of Oil and Gas*. 1996. No. 5. Pp. 36-39. (In Russ.).

5. *Melikhov V.N.* Riftogenic Structures and Prospects for Gas and Oil Potential of Pre-Jurassic Formations in the South of the Turan Plate // Oil and Gas of Turkmenistan. 1998. No. 5. Pp. 22-30. (In Russ.).
6. *Melikhov V.N., Abdullaev G.S., Bogdanov A.N.* Traditional and New Structural-Tectonic and Oil-and-Gas-Geological Models of the South of the Turan Plate in the Context of the Caspian International Geological Project // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2022. Vol. 17. No. 4. http://www.ngtp.ru/rub/2022/50_2022.html. (In Russ.).
7. *Melikhov V.N.* Features of the structure and prospects for gas and oil exploration in the Karabogaz arch and its fault-rift frames // Oil and Gas of Turkmenistan. 2000. No. 3. Pp. 19-24. (In Russ.).
8. *Popkov V.I., Popkov I.V.* Triassic deposits of the Aksu-Kendyrlynskaya stage of the South Mangyshlak depression // Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2025. No. 2. Pp. 5-14. (In Russ.). DOI 10.24412/1728-5283-2025-2-5-15.
9. *Odekov O.A., Zahidov A.U.* Tectonics and Oil and Gas Potential of Western Turkmenistan and the Adjacent Area of the Caspian Sea // Oil and Gas of Turkmenistan - 2002. - No. 6. - Pp. 11-17. (In Russ.).
10. *Popkov V.I., Popkov I.V.* Permo-Triassic of the West of the Turan Plate. Krasnodar: Kuban State University, 2024. 235 p. (In Russ.).
11. *Popkov V.I., Popkov I.V.* Structure of the Foundation of Mangyshlak and Ustyurt According to Geophysical Data // Geology. Proceedings of the Department of Earth Sciences and Natural Resources of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan. 2020. No. 27. Pp. 52-57. (In Russ.).
12. *Popkov V.I., Popkov I.V.* Foundation of the Karabogaz Arch (Turan Plate) // Geotectonics. 2022. No. 1. Pp. 68-78. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0016853X22010064.
13. *Popkov V.I., Popkov I.V.* Lithological Dissection and Correlation of the Triassic Oil and Gas Complexes of the Southern Mangyshlak // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2023. Vol. 18. No. 2. http://www.ngtp.ru/rub/2023/16_2023.html. (In Russ.). DOI: 10.17353/20705379/16_2023.
14. *Alekseeva L.V., Vinogradova K.V., and Tsaturova A.A.* Stratigraphic Division of the Triassic Deposits of the Southern Mangyshlak Region // Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Ed. geol. 1991. Vol. 66. Issue 4. pp. 37-43. (In Russ.).
15. *Popkov V.I., Klychnikov A.V.* Comparison of sections of the pre-Jurassic deposits of Tuarkyr and the Karaaudan zone of southern Mangyshlak // Izv. AN Kaz. SSR. Ser. Geol. 1985. № 3. pp. 46-51. (In Russ.).
16. *Gavrilova V.A., Titov B.I.* On the stratigraphic division of the Olenek deposits of Southern Mangyshlak // Proceedings. Leningrad State University, 1979. Issue 4. No. 24. Pp. 39-42. (In Russ.).

17. *Kiparisova L.D., Kurbatov V.S.* On the Presence of Triassic Deposits in Tuarkyr // *Izv. AN USSR. Ser. geol.* - 1952. - No. 6. - Pp. 117-124. (In Russ.).

18. *Lipatova V.V.* Project of Stratigraphic Schemes of the Triassic Deposits of Mangyshlak and Ustyurt // *Stratigraphy and paleontology of the Triassic deposits of Mangyshlak and Ustyurt.* M.: VNIGNI, 1984. Pp. 33-56. (In Russ.).

19. *Zahidov A.U.* New data on the deep structure and prospects of oil and gas potential of the Northern and Eastern Caspian region // *Oil and gas of Turkmenistan.* 2001. No. 4. Pp. 18-23. (In Russ.).

Сведения об авторах:

Попков Василий Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ул. Ставропольская, 149, 350049, г. Краснодар, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2959-4901, эл. почта: geoskubsu@mail.ru.

Попков Иван Васильевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», ул. Ставропольская, 149, 350049, г. Краснодар, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2386-661, эл. почта: iv-popkov@mail.ru.

Author's personal details:

Popkov Vasily Ivanovich, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, Member of Russian Academy of Natural Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State University», st. Stavropolskaya, 149, 350040, Krasnodar, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2959-4901. E-mail: geoskubsu@mail.ru.

Popkov Ivan Vasilievich, candidate of geological and mineralogical sciences, assistant professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kuban State University», st. Stavropolskaya, 149, 350049, Krasnodar, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-2386-6611. E-mail: iv-popkov@mail.ru.

© Попков В.И., Попков И.В.

ВЛИЯНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ АНАБАРО-ХАТАНГСКОЙ СЕДЛОВИНЫ

© Сидорчук Елена Александровна,

© Добрынина Светлана Александровна

Институт проблем нефти и газа Российской академии наук,
г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрена проблема влияния геодинамических условий на прогноз нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины. Большинство исследователей склоняются к мнению, что формирование осадочного чехла во многом определено геодинамическими условиями, изменяющимися в процессе геологической истории региона. По разрезу в Анабаро-Хатангской седловине выделяются два геодинамических типа осадочного бассейна. Более древний домезозойский тип характеризуется более спокойной геодинамикой в средне- и верхнепалеозойское время. Мезозойский тип связан с периодами наиболее активной геодинамики. Процессы сжатия-растяжения осадочного чехла, вызванные глобальной геодинамикой в Хатангско-Ломоносовской зоне разломов в мезозой-кайнозойское время, привели к формированию разнонаправленных рядов валов и впадин в осадочной толще изучаемой территории и, соответственно, к переформированию условий залегания скоплений углеводородов. На палеосхемах, построенных с использованием структурных карт по нескольким стратиграфическим горизонтам палеозойских отложений, выделены два направления ориентировки основных линий размещения валов и прогибов. Такое специфическое размещение положительных и отрицательных структур связано с преимущественным распределением векторов геодинамических напряжений. В соответствии с основными направлениями размещения валов и прогибов выделены северная и центральная зоны нефтегазоаккумуляции, имеющие с высокой вероятностью относительную целостность в структурном отношении и совокупность однотипных ловушек. Выполнено сравнение распределения валов и прогибов на палеосхемах нескольких стратиграфических уровней. Замечено, что в средне-верхнепалеозойских отложениях наблюдается частичное наследование положительных и отрицательных структур. Показано, что верхнепалеозойские отложения наименее подверглись переформированию геодинамическими процессами, что привело к лучшей сохранности скоплений углеводородов. С учетом геодинамических условий в верхнепалеозойских отложениях прогнозируются более масштабные по запасам скопления углеводородов.

Ключевые слова: геодинамические условия, сжатие-растяжение, валы, прогибы, ловушки, скопления углеводородов.

Для цитирования: Сидорчук Е.А., Добрынина С.А. Влияние геодинамических условий на прогноз нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 47-62. DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-47-62

THE INFLUENCE OF GEODYNAMIC CONDITIONS ON THE PREDICTION OF OIL AND GAS POTENTIAL IN THE ANABARA-KHATANGKA SADDLE

© Sidorchuk Elena Aleksandrovna,

© Dobrynina Svetlana Aleksandrovna

Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Summary. This paper examines the influence of geodynamic conditions on the prediction of the oil and gas potential of the Anabar-Khatanga Saddle. Most researchers agree that the formation of the sedimentary cover is largely determined by geodynamic conditions that change over the course of the region's geological history. Two geodynamic types of sedimentary basins are distinguished in the Anabar-Khatanga Saddle section. The older pre-Mesozoic type is characterized by more tranquil geodynamics during the Middle and Upper Paleozoic. The Mesozoic type is associated with periods of more active geodynamics. Compression-extension processes in the sedimentary cover, caused by global geodynamics in the Khatanga-Lomonosov fault zone during the Mesozoic-Cenozoic, led to the formation of multidirectional series of swells and basins in the sedimentary strata of the study area and, accordingly, to a reorganization of the hydrocarbon accumulation environment. Paleomaps constructed using structural maps for several stratigraphic horizons of Paleozoic deposits reveal two orientations of the main swell and trough lines. This specific placement of positive and negative structures is associated with the predominant distribution of geodynamic stress vectors. Northern and central oil and gas accumulation zones are distinguished according to the main swell and trough directions, which are highly likely to exhibit relative structural integrity and a set of similar traps. The distribution of swells and troughs on paleomaps for several stratigraphic levels is compared. It has been observed that partial inheritance of positive and negative structures is observed in Middle and Upper Paleozoic deposits. It has been shown that Upper Paleozoic deposits have been least affected by geodynamic processes, resulting in better preservation of hydrocarbon accumulations. Given the geodynamic conditions in Upper Paleozoic deposits, larger hydrocarbon accumulations are predicted.

Keywords: geodynamic conditions, compression-extension, swells, depressions, traps, hydrocarbon accumulations.

Введение. Прогноз нефтегазоносности перспективных территорий актуален как для старых, так и относительно новых районов. Северные арктические регионы наиболее интересны для решения этой проблемы в связи усиленным вниманием к этим территориям, в число которых входит и Анабаро-Хатангская седловина (АХС). В последние годы ряд научных организаций и специалистов с разных точек зрения изучают и дают свои прогнозы перспектив нефтегазоносности этой территории. На рис.1 приведена обзорная карта АХС.

На изучаемой территории открыто несколько непромышленных месторождений нефти и газа на Нордвикской, Кожевниковской, Ильинской и Южно-Тигянской площадях и Центрально-Ольгинское с запасами нефти 81 млн т по категориям C_2+C_1 , поставленное на Государственный баланс [1].



Рисунок 1 – Обзорная карта Анабаро-Хатангской седловины где: 1 – границы Анабаро-Хатангской седловины

Согласно нефтегазогеологическому районированию, территория АХС представляет собой место соединения трех нефтегазоносных провинций (НГП): Хатангско-Вилуйской, Лено-Тунгусской и Лаптевоморской, границы, между которыми, достаточно условны. Осадочный чехол АХС сложен двумя структурно-фациальными комплексами: нижним терригенно-карбонатным ниже-среднепалеозойским и верхним терригенным верхнепалеозой-кайнозойским (рис.2).

Осадочный чехол седловины отличается от прилегающих тектонических элементов – Енисей-Хатангского и Анабаро-Ленского прогибов – такими особенностями, как наиболее полный стратиграфический разрез и наличие соленосных толщ. Основную часть составляет почти непрерывный разрез палеозойских отложений, мезозойский юрско-меловой комплекс сокращен и размывает по периферии. Необходимо отметить и другие особенности геологии АХС, имеющие большое влияние на нефтегазоносность. Это отсутствие регионально выдержанной толщи-покрышки и наличие внутри среднепалеозойского, предпермского и позднеюрского основных несогласий [2].

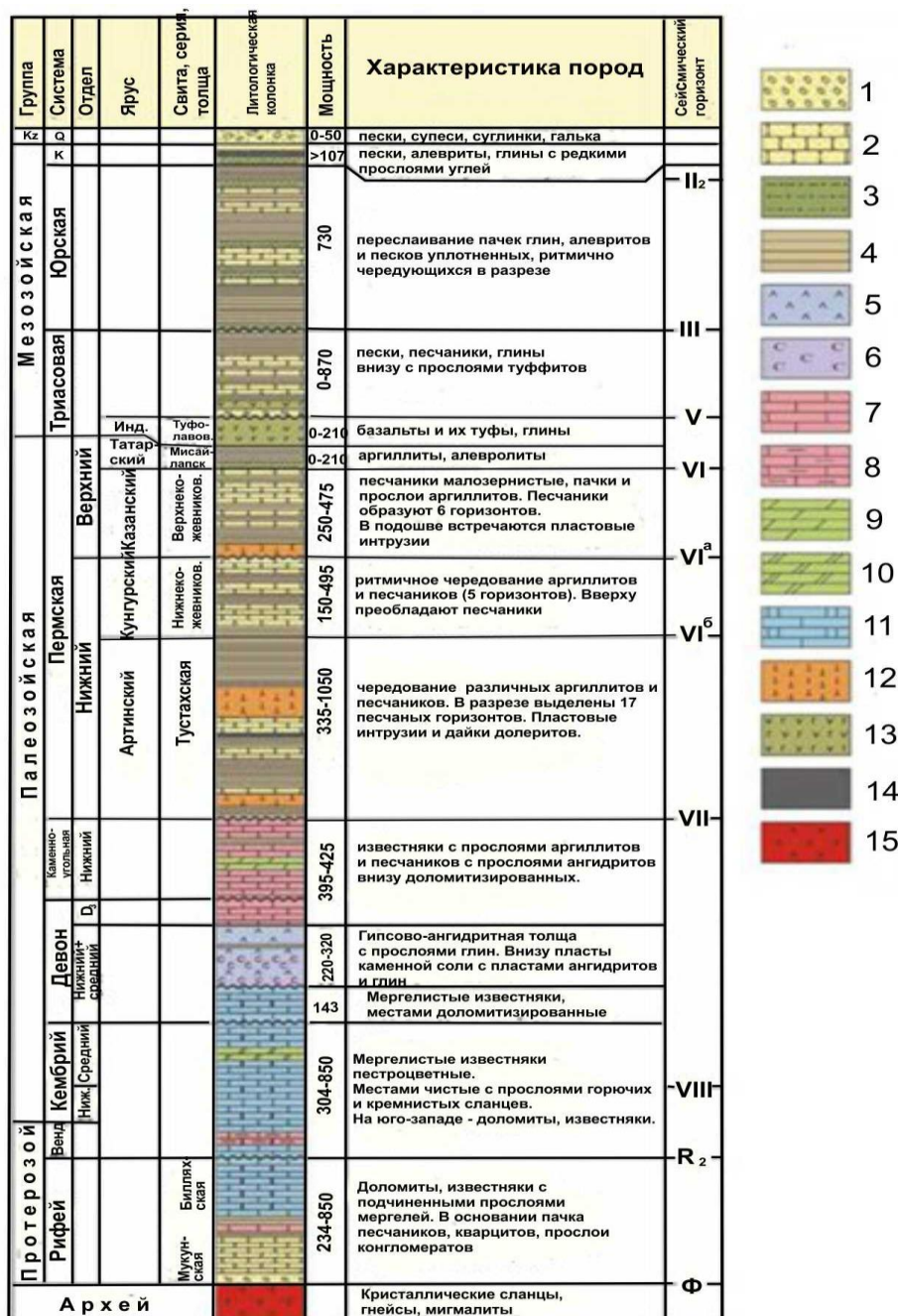


Рисунок 2 – Сводный литолого-стратиграфический разрез Анабаро-Хатангской седловины [3]

где: 1 - Пески, гравелиты; 2 – песчаник; 3 – алевролит; 4 – аргиллит; 5 – ангидрит, гипс; 6 – соль; 7- известняк; 8 – известняк глинистый; 9 – мергель; 10 – мергель доломитовый; 11 – известняк мергалистый, доломитизированный; 12 – пластовые интрузии и дайки долеритов; 13 – базальты, туффиты; 14 – уголь; 15 – кристаллические сланцы, гнейсы, мигматиты

На сейсмических разрезах обнаруживаются соленосные отложения: диапиры и соляные подушки [4]. Для примера на рис.3 приведен разрез по профилю с юго-запада на северо-восток через АХС по линии Е-Е.

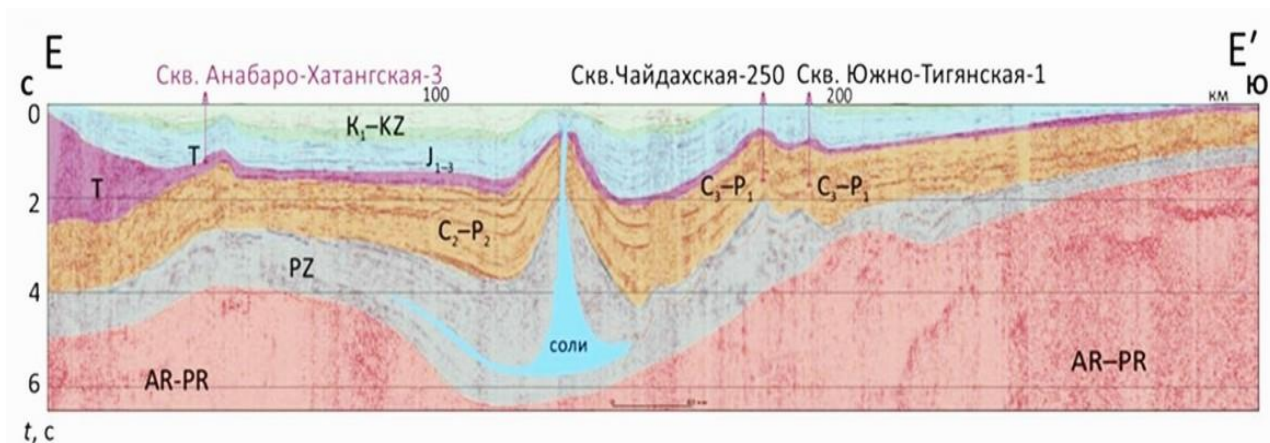


Рисунок 3 – Сейсмогеологический разрез с соляным диапиром через Нордвикский вал [4]

На домезозойском этапе территория представляла собой крупную впадину с мощностью осадков более 10 км. Седловина наиболее четко выделяется на временных разрезах и имеет наиболее динамически выраженное и протяжённое отражение, начиная с центральной части тустахской свиты нижней перми [5].

В разрезах всех стратиграфических уровней от рифея до мезозоя выделяются высокопроницаемые пласты и зонально-развитые глинистые пачки – резервуары и флюидоупоры [2, 6]. В пределах АХС выделено пять основных перспективных нефтегазоносных комплексов (НГК): верхнепротерозойский, нижне-среднепалеозойский, верхнепалеозойский, триасовый и мезозойский.

В настоящей работе, как наиболее перспективный, рассматривался верхнепалеозойский интервал (пермские отложения), что объясняется относительно неглубоким залеганием пород и, соответственно, доступностью и наибольшей изученностью коллекторов этих отложений. Факторами для детального рассмотрения именно пермских отложений являются, во-первых, повсеместное распространение этих отложений по территории изучения, во-вторых, значительная толщина, в-третьих, возможное наличие нефтегазоматеринских пород.

В статье выполнен критический анализ литературных источников и использованы разработки авторов. В работе использованы данные геологической изученности, стратиграфии, тектоники, нефтегазоносности, геологические, структурно-тектонические и топографические карты. Выполнены анализ геолого-геофизических материалов, сравнение и сопоставление результатов изучения.

Результаты исследований. Большинство исследователей склоняются к мнению, что формирование осадочного чехла, следовательно, и нефтегазоносный потенциал территории, во многом обусловлены геодинамическими процессами развития территории [7] – [9]. За последние годы

вопросы геодинамики территории АХС рассмотрены в ледующих работах [1], [10, 11].

АХС является частью территории с активной современной геодинамикой [12]. Эволюция геодинамических событий территории Анабаро-Хатангской седловины определили формирование, как ее современной тектоники, так и ее осадочного чехла.

В работе [11] рассмотрены особенности геодинамики изучаемой территории и определены два геодинамических типа осадочного бассейна (ОБ): домезозойский - более спокойный, и мезозойский – более активный.

Нижняя домезозойская часть осадочного чехла связана с грабенообразной структурой, заполненной рифейскими и вендскими осадками. Енисей-Хатангский и Анабаро-Хатангский бассейны седиментации были впервые сформированы в раннем рифее. Затем период трансгрессии (средний рифей) сменялся окраинно-континентальным рифтогенезом (средний – поздний рифей) и трансгрессивно-регрессивным циклом (венд – кембрий). Выделенный грабен ориентирован в северо-западном направлении и обнаруживается преимущественно на субширотных сейсмических профилях. По региональным данным в северной части Сибирской платформы известны рифейские авлакогены субмеридионального простирания: Котуйский и Уджинский. Уджинский авлакоген протягивается вдоль восточной границы Анабарского щита и выходит своей северной оконечностью к устью Хатангского залива. Предполагается, что выявленная на территории АХС грабенообразная рифейская структура является ответвлением или окончанием Уджинского авлакогена. Нижний домезозойский геодинамический тип ОБ определяется более спокойной геодинамикой.

Мезозойскому времени соответствует другой геодинамический тип ОБ, характеризующийся активной геодинамикой. На фоне глобальных геодинамических процессов, определяемых спредингом с Амеразийского бассейна на Евразийский континент, напряжения сжатия и растяжения возникли на огромной по протяженности территории. В том числе, на территории АХС происходили локальные процессы сжатия-растяжения, что привело к обновлению осадочного чехла [11].

Распределение геодинамических напряжений оказывает влияние на структурные характеристики отложений и формирование ловушек разных типов, что дает возможность выделения зон с различными возможностями нефтегазонакопления [13,14]. Имеется подтверждение влияния геодинамических условий на формирование областей скопления углеводородов разной крупности [15] в зависимости от геодинамического типа ОБ.

Следует подчеркнуть, что геодинамическая характеристика перспективных нефтегазоносных территорий является недостаточно изученным

фактором и в большинстве своем неоднозначным в силу сложности воссоздания и объяснения этого процесса.

Влияние геодинамических условий на специфическое распределение структурных элементов в осадочной толще АХС. Геодинамические условия в геологической истории АХС неоднократно менялись, соответственно, менялись и условия нефтегазонакопления.

Прослеживание геодинамических событий в геологической истории развития территории АХС показали их сильное влияние на палео- и современную тектонику, имеющую специфическую картину [11].

Спецификой современной тектонической картины АХС являются валы и прогибы. На большей части территории АХС валы и прогибы имеют субширотное простираие. В северо-западной части Анабаро-Хатангской седловины ориентировка тектонических структур меняется на северо-восточную, как в рядом расположенном Енисей-Хатангском прогибе [2], что показано на рис. 4.

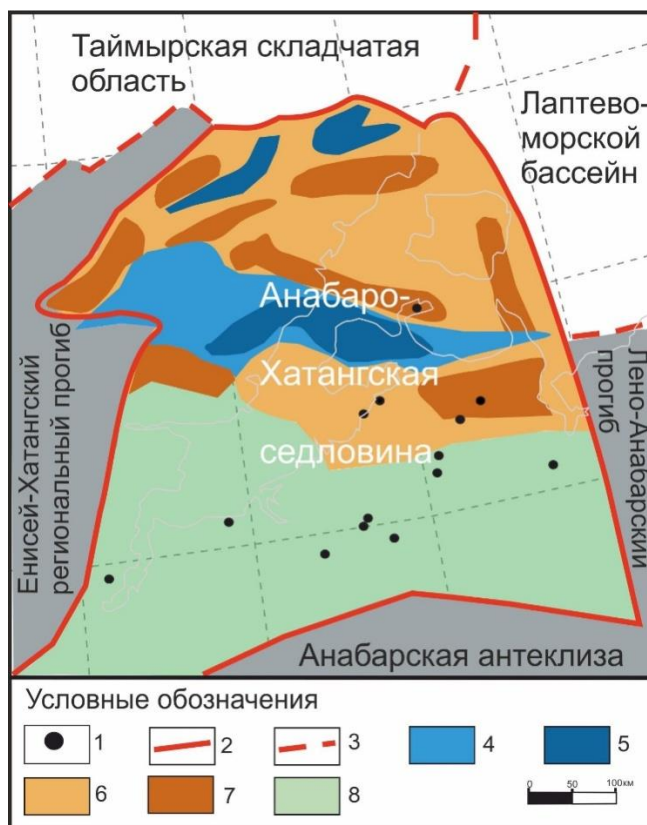


Рисунок 4 – Современная тектоническая картина распространения валов и прогибов на схеме Анабаро-Хатангской седловины (по данным [2 Кусов, Ступакова, 2013]) где: 1 – скважины; 2 – границы Анабаро-Хатангской седловины; 3 – границы крупных тектонических элементов; В пределах Северо-Сибирской системы прогибов: 4 – прогибы I-го порядка; 5 – прогибы II-го порядка; 6 – поднятия I-го порядка; 7 - поднятия II-го порядка; 8 – моноклинали

В интервале в большей степени перспективных средне-верхнепалеозойских отложений по слежению наиболее динамически выраженных и протяжённых отражений на временных разрезах выделено несколько горизонтов, получивших следующие наименования: V, VIa,b,c, VII, VIII [16]. Привязка выбранных отражений была осуществлена по значениям T_0 . Учитывались сейсмостратиграфические характеристики рисунка записи между горизонтами и минимизация невязок на пересечении профилей.

Кровля нижнекембрийских отложений обозначена как горизонт VIII; кровля нижнего карбона – горизонт VII; кровля тустахской свиты нижней перми – горизонт VIб; кровля верхнекожевниковской свиты верхней перми – горизонт VIа; кровля эффузивно-туфовой свиты – горизонт V. Горизонт VIс относится к центральной части тустахской свиты, с которого начинает выделяться собственно седловина.

С использованием структурно-тектонических карт по горизонтам VII, VIб, VIа, V построены палеосхемы распределения валов и прогибов в интервале от нижнего карбона до нижнего триаса, на которых показаны валы и прогибы, соответствующие наиболее крупным положительным и отрицательным структурным элементам (рис. 5а,б; 6а,б), таким как Осиповский, Сопочный, Нордвикский, Тигяно-Анабарский валы, Журавлиная терраса с Журавлиным сводом, Большерассохинская седловина, Арылахская седловина, Хутудаямская впадина, Лабазная впадина, Харатумусский прогиб, Бегичевская ступень, Оленексо-Бегичевская ступень, Ямутаридинская ступень.

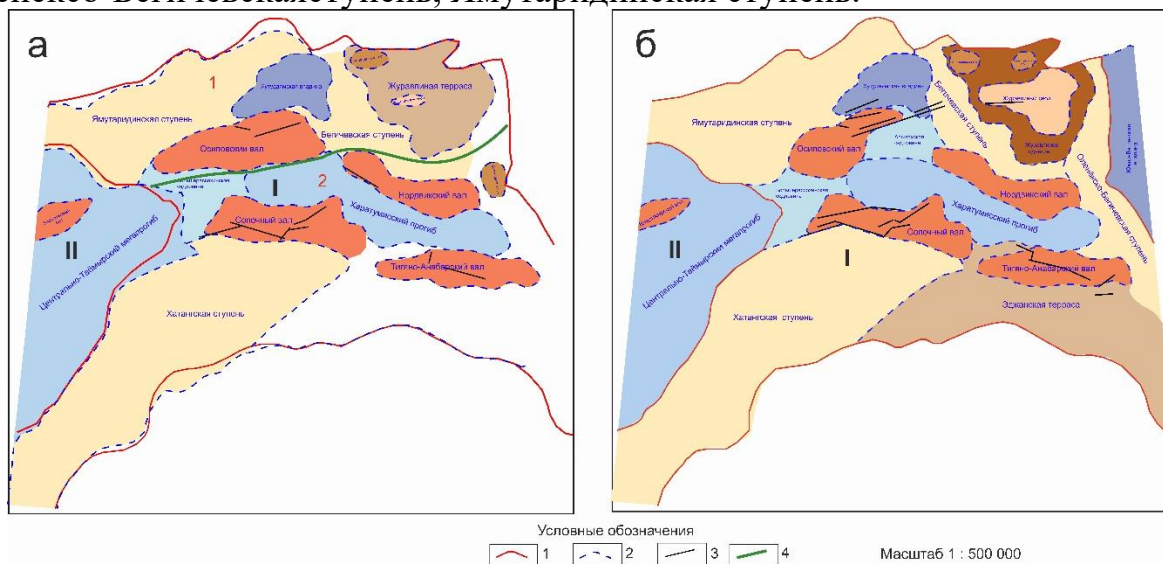


Рисунок 5 – Палеотектоническая картина размещения валов и прогибов на схеме Анабаро-Хатангской седловины: а) по горизонту VIа; б) по горизонту VIб где: 1 – границы нефтегазоносных областей; 2 – границы тектонических элементов; 3 – тектонические нарушения; 4 – граница разделения на северную и центральную нефтегазоперспективные зоны. Нефтегазоносные области: I – Анабаро-Хатангская; II – Енисей-Хатангская. Нефтегазоперспективные зоны: 1 – северная; 2 – центральная.

Центральная часть территории АХС имеет более дифференцированное и сложное строение. Здесь к Харатумусскому прогибу примыкают с севера Осиповский и Нордвикский валы и Арылахская седловина, а с юга – Сопочный и Тигяно-Анабарский валы. В указанных положительных структурных элементах отмечены разрывы, связанные с соляной тектоникой. В восточной части АХС, являющейся зоной сочленения с Южно-Лаптевским бассейном, выделена Оленекско-Бегичевская ступень.

Установлено, что на каждом стратиграфическом уровне тектоническая картина имеет свое специфическое выражение. Индикатором геодинамических условий, является система валов и прогибов, как результат действия геодинамических напряжений растяжения-сжатия [17].

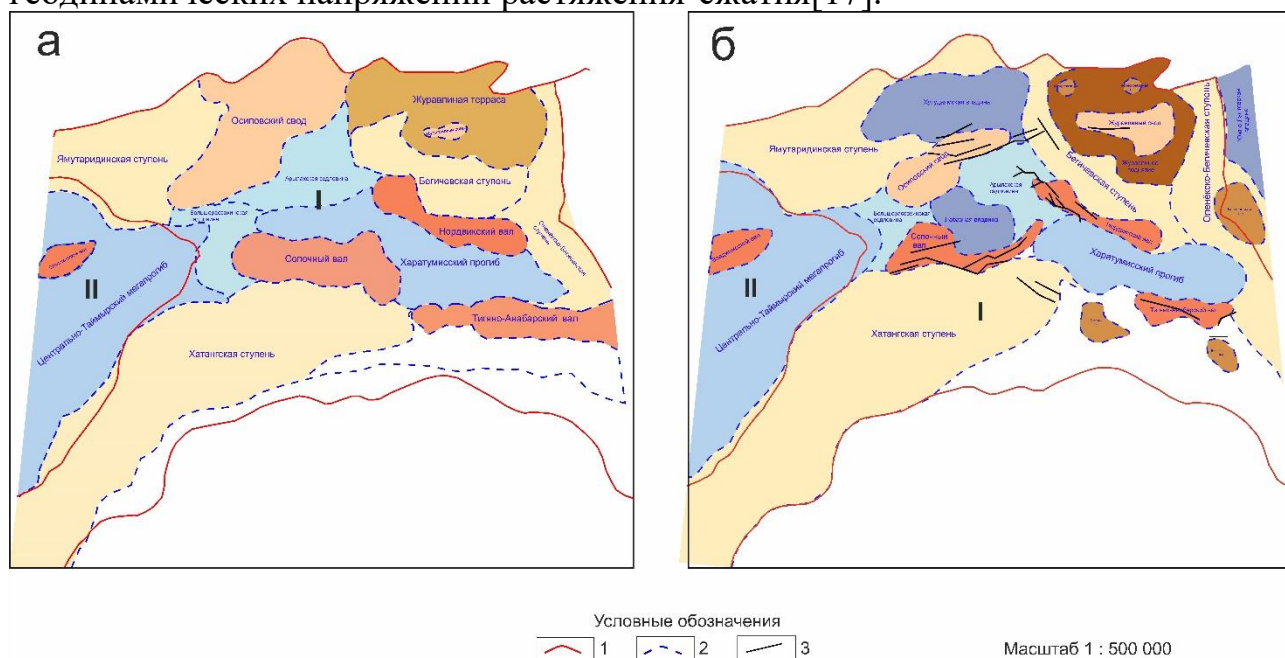


Рисунок 6 – Палеотектоническая картина размещения валов и прогибов на схеме Анабаро-Хатангской седловины: в) по горизонту V; г) по горизонту VII где: 1 – границы нефтегазоносных областей; 2 – границы тектонических элементов; 3 – тектонические нарушения. Нефтегазоносные области: I – Анабаро-Хатангская; II – Енисей-Хатангская.

Сравнение размещения валов и прогибов на схемах горизонтов V, VIa,b, VII показывает частичное наследование структурных элементов в интервале от карбона до триаса. Во всех горизонтах отмечаются практически все одинаковые наиболее масштабные структуры. Отличие состоит в том, что в плане на разных уровнях происходит изменение формы, размеров и смещение структур относительно друг друга. В пермских отложениях между горизонтом по кровле верхнекожевниковской свиты верхней перми (горизонт VIa) и горизонтом по кровле тустахской свиты нижней перми (горизонт VIб) наблюдается лучшая

унаследованность как положительных, так и отрицательных структур. Ориентировка структурных элементов, как и на современной тектонической картине АХС, имеет два направления: в центральной части – субширотное простирание, в крайней северо-западной части седловины, ближе к Таймыру – северо-восточное направление (рис. 5а, б). Особенность геологического строения пермских отложений состоит в практически полном отсутствии разрывных нарушений в кровле верхнекожевниковской свиты верхней перми (горизонт VIa). Разрывные нарушения малой плотности обнаружены на Сопочном и Тигяно-Анабарском поднятиях (рис. 5 а), которые расположены в центральной части АХС. Плотность разрывных нарушений увеличивается в тустахской свите нижней перми. По кровле горизонта VIб плотность разрывных нарушений в центральной части АХС увеличивается на Сопочном и Тигяно-Анабарском поднятиях (рис. 5 б). В северной и северо-западной части территории АХС, где ориентировка структурных элементов имеет северо-восточное направление, разрывные нарушения присутствуют с уже достаточной высокой плотностью.

Характеристика горизонта по кровле эффузивно-туфовой свиты (V) (рис. 6а) показывает отличающееся от нижележащих горизонтов расположение валов и прогибов в основном по форме и размерам. Присутствует частичное наследование структурного плана по сравнению с пермскими отложениями. Наблюдается отсутствие разрывных нарушений. Ориентировка валов и прогибов по горизонту V такая же, как и в пермских отложениях.

Характеристика горизонта по кровле нижнего карбона (VII) (рис. 6б) указывает на частичное совпадение структурного плана с вышележащими горизонтами. Достаточно сильно отличаются размеры выделенных структурных элементов. Расположение валов и прогибов заметно различается в центральной части. Наблюдается высокая плотность разрывных нарушений, особенно в центральной части АХС. Ориентировка валов и прогибов по горизонту VII такая же, как и на вышележащих уровнях.

В статье [10] утверждается, что *«Анализ результатов структурных построений показал, что в региональном и зональном плане поверхности всех стратиграфических уровней в значительной мере подобны»*. Построенные палеосхемы не подтверждают этот вывод в рассматриваемом интервале отложений. От одного стратиграфического уровня к другому происходит изменение формы, размеров и смещение валов и прогибов относительно друг друга. Следовательно, назвать унаследованность *«в значительной мере подобной»* нельзя. Наблюдается частичная унаследованность в целом.

Отмечено, что палеосхемы по кровле нижнего карбона и кровле эффузивно-туфовой свиты наиболее отличаются как между собой, так и от других палеосхем. Палеосхемы по кровле тустахской свиты нижней перми и кровле верхнекожевниковской свиты верхней перми коррелируются между

собой явно лучше. Исходя из этого, сделан вывод, что в этом интервале осадочный чехол был наименее подвержен напряжениям сжатия-растяжения. Геодинамическая ситуация была спокойная и не произошло искажения тектонической картины более поздними геодинамическими активизациями, что, возможно, привело к лучшей сохранности залежей. Если обратиться к работам других исследователей, то [1] подтверждают, что «ловушки древнего заложения, могут быть не столь сильно подвержены влиянию тектонических перестроек и сохранить в себе большой объем УВ».

Следует добавить, что, возможно, одним из факторов развития разрывных нарушений, наблюдаемых в осадочной толще на разных стратиграфических уровнях, на территории АХС, является соляной тектогенез. Этот фактор можно рассматривать в качестве дополнительного при формировании специфической тектонической картины, показанной на палеосхемах, и нарушающего сохранность ловушек. В Анабаро-Хатанской нефтегазоносной области наиболее активное формирование соляных куполов началось в ранней перми [10]. В верхнепермских отложениях отмечена наиболее низкая плотность разрывных нарушений, что также повышает вероятность сохранности ловушек.

Заключение. Глобальные и локальные геодинамические процессы приводят к перемещению отдельных объемов осадочного чехла и формированию областей напряженно-деформационного состояния горных пород. Признаками заметных по интенсивности деформаций являются различные структуры.

На палеосхемах изучаемых стратиграфических горизонтов выделены два направления ориентировки основных линий распространения валов и прогибов. Влияние глобальных геодинамических процессов в периоды активизации в мезозойское время и кайнозойское время привело к специфическому размещению положительных и отрицательных структур. Построение векторов геодинамических напряжений сжатия-растяжения является сложной математической задачей, плохо решаемой в настоящем. В связи с этим выявление зон с разной ориентировкой структурных элементов выполнено на качественном уровне. Не считая самой южной части АХС, приуроченной к Анабарской антеклизе и Хатангской ступени, выявлено две области: центральная – с субширотным размещением валов и прогибов, северная – с северо-западным направлением распространения структурных элементов. Каждую из областей следует рассматривать как зону нефтегазонакопления, характеризующуюся относительной целостностью в структурном отношении и с большой вероятностью совокупностью однотипных ловушек.

Разделение территории на две зоны с различным нефтегазонакоплением показано по кровле верхнекожевниковской свиты верхней перми (горизонт VIa) (рис 5а).

С позиции геодинамики домезозойский геодинамический тип осадочного бассейна со спокойной геодинамикой, к которому приурочены пермские

отложения, меньше подвержен влиянию более поздних геодинамических активизаций. В этих отложениях прогнозируются скопления углеводородов с наиболее масштабными по величине запасов. Прогноз нефтегазоносности отложений мезозойского времени с периодами активной геодинамики и кайнозойского времени с современной активной геодинамикой, значительно ниже: открытия крупных и тем более уникальных месторождений не ожидается.

Финансирование. Работа написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Фундаментальный базис инновационных, цифровых технологий прогноза, поиска, разведки и освоения нефтегазовых ресурсов (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования до 2030 года)», номер государственной регистрации № 125021302095-2).

Funding. This work was written as part of a state assignment (topic: "Fundamental Basis for Innovative, Digital Technologies for Forecasting, Prospecting, Exploration, and Development of Oil and Gas Resources (Fundamental, Prospecting, Applied, Economic, and Interdisciplinary Research through 2030)", state registration number 125021302095-2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сабирьянова, Р. Р. Тектоническое строение и история развития Анабаро-Хатангской седловины / Р. Р. Сабирьянова, А. О. Шуваев, О. А. Богданов // Геология нефти и газа. – 2023. – № 5. – С. 7-19. – DOI 10.47148/0016-7894-2023-5-7-19. – EDN VNZCXD.
2. Кусов А.В., Ступакова А.В. Коллекторские толщи Анабаро-Хатангской седловины: условия формирования и фильтрационно-емкостные свойства // Вестник Московского университета. Серия.4. Геология. 2013. № 3. С.47-52.
3. Девятов, В. П. Новые данные к переоценке ресурсов углеводородов Анабаро-Хатангской нефтегазоносной области / В. П. Девятов, В. И. Савченко // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1. – С. 57-63. – EDN NEZXGQ.
4. Тектоника северного обрамления Сибирской платформы по результатам комплексного анализа геолого-геофизических данных / А. П. Афанасенков, А. Н. Обухов, А. А. Чикишев [и др.] // Геология нефти и газа. – 2018. – № 1. – С. 7-27. – EDN YPSUPD.
5. Суслов, А. А. Особенности структурно-тектонического строения палеозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины / А. А. Суслов, Е. А. Сидорчук, С. А. Добрынина // Молодые - Научкам о Земле: Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых. В 7-ми томах, Москва, 23 октября 2020 года / Редколлегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. Том 5. – Москва: Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (филиал), 2020. – С. 105-108. – EDN TTNNYU.

6. Конторович В.А., Калинина Л.М., Калинин А.Ю., Соловьев М.В. Структурно-тектоническая характеристика и перспективы нефтегазоносности Анабаро-Хатангской седловины (Хатангский залив моря Лаптевых и прилегающие территории) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т.14. №3. 18 с. Режим доступа: https://ngtp.ru/rub/2019/24_2019.html (дата обращения 3.12.2025).
7. Клешев, К. А. Плитотектонические модели нефтегазоносных бассейнов России / К. А. Клешев, В. С. Шеин // Геология нефти и газа. – 2004. – № 1. – С. 23-42. – EDN PJUTSX.
8. Тектоника и этапы геологической истории Енисей-Хатангского бассейна и сопряженного Таймырского орогена / А. П. Афанасенков, А. М. Никишин, А. В. Унгер [и др.] // Геотектоника. – 2016. – № 2. – С. 23-42. – DOI 10.7868/S0016853X16020028. – EDN VRXZDF.
9. Шуваев А.О., Ходо Т., Мусихин К.В., Абраева Т., Сабирьянова Р. Тектоническое развитие Енисей-Хатангского регионального прогиба и его влияние на эволюцию нефтяных систем // Электронная библиотека OnePetro, SPE-196942-MS. 2019. Режим доступа: <https://search.spe.org/i2kweb/SPE/doc/onepetro:2EBC3B5A>.
10. Конторович, В. А. Геолого-геофизическая характеристика Анабаро-Хатангской нефтегазоносной области; численное моделирование процессов формирования соляных куполов (Сибирский сектор Российской Арктики) / В. А. Конторович, Б. В. Лунев, В. В. Лапковский // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10, № 2. – С. 459-470. – DOI 10.5800/GT-2019-10-2-0421. – EDN XMCUEV.
11. Сидорчук, Е. А. Особенности геодинамики Анабаро-Хатангской седловины / Е. А. Сидорчук, С. А. Добрынина // Экспозиция Нефть Газ. – 2025. – № 4(114). – С. 31-34. – DOI 10.24412/2076-6785-2025-4-31-34. – EDN TKVGEO.
12. Шипилов, Э. В. Хатангско-Ломоносовская зона разломов: строение, тектоническая позиция, геодинамика / Э. В. Шипилов, Л. И. Лобковский, С. И. Шкарубо // Арктика: экология и экономика. – 2019. – № 3(35). – С. 47-61. – DOI 10.25283/2223-4594-2019-3-47-61. – EDN BGWIKG.
13. Прищепа, О. М. Зоны нефтегазонакопления - методические подходы к их выделению, обеспечивающие современное решение задач отрасли / О. М. Прищепа // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2008. – Т. 3, № 2. – С. 12. – EDN JUTGOV.
14. Сидорчук Е.А., Добрынина С.А. Геодинамические критерии прогноза Сидорчук, Е. А. Геодинамические критерии прогноза нефтегазовых скоплений в сложнопостроенных резервуарах / Е. А. Сидорчук, С. А. Добрынина // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2022. – Т. 17, № 2. – DOI

- 10.17353/2070-5379/9_2022. – EDN OQAZXF. Режим доступа : https://ngtp.ru/rub/2022/9_2022.html. (дата обращения 03.12.2025 г.).
15. Сидорчук, Е. А. Уточнение размещения запасов углеводородов на основе современной геодинамики / Е. А. Сидорчук, С. А. Добрынина // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. – 2023. – № S2. – С. 14-20. – DOI 10.5510/OGP2023SI200886. – EDN VXLBJJ.
16. Ларичев А.И., Чеканов В.И. Разработка современной модели геологического строения и оценка перспектив нефтегазоносности палеозойских отложений Анабаро-Хатангской седловины и прилегающих территорий. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2011.
17. Сидорчук, Е. А. Геодинамика как двигатель процесса нефтегазоаккумуляции / Е. А. Сидорчук, С. А. Добрынина // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли : Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 25-летию Института нефти и газа СКФУ, Ставрополь, 23–24 ноября 2018 года / Под общ. ред. В.А. Гридина, А.Г.Г Керимова, М.С. Лебедева, Ю.К. Димитриади, А.Ю. Калиниченко, Л.С. Мкртчяна. – Ставрополь: ООО ИД ТЭСЭРА, 2018. – С. 113-118. – EDN YZRGIH.

REFERENCES

1. Sabiryanova, R. R. Tectonic structure and history of development of the Anabar-Khatanga saddle / R. R. Sabiryanova, A. O. Shuvaev, O. A. Bogdanov // *Geology of oil and gas*. - 2023. - No. 5. - Pp. 7-19. - DOI 10.47148/0016-7894-2023-5-7-19. - EDN VNZCXD.
2. Kusov A. V., Stupakova A. V. Reservoir strata of the Anabar-Khatanga saddle: conditions of formation and filtration-capacitive properties // *Bulletin of Moscow University. Series. 4. Geology*. 2013. No. 3. Pp. 47-52.
3. Devyatov, V. P. New data for the reassessment of hydrocarbon resources of the Anabar-Khatanga oil and gas region / V. P. Devyatov, V. I. Savchenko // *Geology of oil and gas*. - 2012. - No. 1. - Pp. 57-63. - EDN NEZXGQ.
4. Tectonics of the northern framing of the Siberian platform based on the results of a comprehensive analysis of geological and geophysical data / A. P. Afanasenkov, A. N. Obukhov, A. A. Chikishev [et al.] // *Geology of oil and gas*. - 2018. - No. 1. - Pp. 7-27. - EDN YPSUPD.
5. Suslov, A. A. Features of the structural and tectonic structure of Paleozoic deposits of the Anabar-Khatanga saddle / A. A. Suslov, E. A. Sidorchuk, S. A. Dobrynina // *Young People for Earth Sciences: Proceedings of the IX International Scientific Conference of Young Scientists*. In 7 volumes, Moscow, October 23, 2020 / Editorial Board: V. A. Kosyanov, V. Yu. Volume 5. - Moscow: Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (branch), 2020. - P. 105-108. - EDN TTNNYU.

6. Kontorovich V. A., Kalinina L. M., Kalinin A. Yu., Soloviev M. V. Structural and tectonic characteristics and oil and gas potential prospects of the Anabar-Khatanga saddle (Khatanga Bay of the Laptev Sea and adjacent territories) // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. 2019. Vol. 14. No. 3. 18 p. Access mode: https://ngtp.ru/rub/2019/24_2019.html (accessed 3.12.2025).
7. Kleshev, K. A. Plate tectonic models of oil and gas basins of Russia / K. A. Kleshev, V. S. Shein // Oil and Gas Geology. - 2004. - No. 1. - Pp. 23-42. - EDN PJUTSX.
8. Tectonics and stages of geological history of the Yenisei-Khatanga basin and the associated Taimyr orogen / A. P. Afanasenkov, A. M. Nikishin, A. V. Unger [et al.] // Geotectonics. - 2016. - No. 2. - P. 23-42. - DOI 10.7868/S0016853X16020028. - EDN VRXZDF.
9. Shuvaev A. O., Khodo T., Musikhin K. V., Abraeva T., Sabiryanova R. Tectonic development of the Yenisei-Khatanga regional trough and its influence on the evolution of petroleum systems // OnePetro Electronic Library, SPE-196942-MS. 2019. Available at: <https://search.spe.org/i2kweb/SPE/doc/onepetro:2EBC3B5A>.
10. Kontorovich, V. A. Geological and geophysical characteristics of the Anabar-Khatanga oil and gas region; numerical modeling of salt dome formation processes (Siberian sector of the Russian Arctic) / V. A. Kontorovich, B. V. Lunev, V. V. Lapkovsky // Geodynamics and Tectonophysics. - 2019. - Vol. 10, No. 2. - P. 459-470. - DOI 10.5800/GT-2019-10-2-0421. - EDN XMCUEV.
11. Sidorchuk, E. A. Features of the Anabar-Khatanga Saddle Geodynamics / E. A. Sidorchuk, S. A. Dobrynina // Oil Gas Exposure. - 2025. - No. 4 (114). - P. 31-34. - DOI 10.24412/2076-6785-2025-4-31-34. - EDN TKVGEO.
12. Shipilov, E. V. Khatanga-Lomonosov Fault Zone: Structure, Tectonic Position, Geodynamics / E. V. Shipilov, L. I. Lobkovsky, S. I. Shkarubo // Arctic: Ecology and Economics. - 2019. - No. 3 (35). - P. 47-61. – DOI 10.25283/2223-4594-2019-3-47-61. – EDN BGWIKG.
13. Prishchepa, O. M. Oil and gas accumulation zones - methodological approaches to their identification, providing a modern solution to industry problems / O. M. Prishchepa // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. - 2008. - Vol. 3, No. 2. - P. 12. - EDN JUTGOV.
14. Sidorchuk E. A., Dobrynina S. A. Geodynamic criteria for forecasting oil and gas accumulations in complex reservoirs / E. A. Sidorchuk, S. A. Dobrynina // Oil and Gas Geology. Theory and Practice. – 2022. – Vol. 17, No. 2. – DOI 10.17353/2070-5379/9_2022. – EDN OQAZXF. Access mode: https://ngtp.ru/rub/2022/9_2022.html. (date of access 03.12.2025).
15. Sidorchuk, E. A. Clarification of the location of hydrocarbon reserves based on modern geodynamics / E. A. Sidorchuk, S. A. Dobrynina // Scientific works of

NIPI Neftegaz SOCAR. – 2023. – No. S2. – P. 14-20. – DOI 10.5510/OGP2023SI200886. – EDN BXLBJJ.

16. Larichev A.I., Chekanov V.I. Development of a modern model of the geological structure and assessment of the oil and gas potential of the Paleozoic deposits of the Anabar-Khatanga saddle and adjacent territories. – Saint Petersburg: VSEGEI, 2011.
17. Sidorchuk, E. A. Geodynamics as a driver of oil and gas accumulation / E. A. Sidorchuk, S. A. Dobrynina // Innovative technologies in the oil and gas industry: Proceedings of the II All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 25th anniversary of the Oil and Gas Institute of NCFU, Stavropol, November 23–24, 2018 / Under the general editorship of V.A. Gridin, A.G.G. Kerimov, M.S. Lebedev, Yu.K. Dimitriadi, A.Yu. Kalinichenko, L.S. Mkrtchyan. – Stavropol: LLC ID TESERA, 2018. – P. 113-118. – EDN YZRGIH.

Сведения об авторах:

Сидорчук Елена Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН), 119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Губкина, д.3. ORSIDID: 0009-0008-0624-0538. Email: elena_sidorchuk@mail.ru

Добрынина Светлана Александровна, научный сотрудник Института проблем нефти и газа Российской академии наук (ИПНГ РАН), 119333, Российская Федерация, г. Москва, ул. Губкина, д.3. ORSIDID: 0000-0002-6506-7201. Email: sdob@ipng.ru

Author's personal details

Sidorchuk Elena Aleksandrovna, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher at the Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (IPNG RAS), 119333, Russian Federation, Moscow, st. Gubkina, 3. ORSIDID: 0009-0008-0624-0538. Email: elena_sidorchuk@mail.ru

Dobrynina Svetlana Aleksandrovna, researcher at the Institute of Oil and Gas Problems of the Russian Academy of Sciences (IPNG RAS), 119333, Russian Federation, Moscow, st. Gubkina, 3. ORSIDID: 0000-0002-6506-7201. Email: sdob@ipng.ru

© Сидорчук Е.А., Добрынина С.А.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ В АЙДАР-АРНАСАЙСКУЮ СИСТЕМУ ОЗЕР (ААСО)

© Уролов Сардор Уралович

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Уфа, Российская Федерация

Аннотация: Проведена комплексная оценка влияния коллекторно-дренажных вод (КДВ) на экосистему Айдар-Арнасайской системы озер (ААСО). На основе данных гидрохимического анализа основных коллекторов (ЦГК, Акбулак, Клы, Пограничный и др.) установлено, что КДВ характеризуются высокой минерализацией (до 3806 мг/л) и устойчивым превышением ПДК по токсичным элементам: хрому (до 8,8 ПДК), меди (до 25,7 ПДК) и цинку. Выявлены критические концентрации солей (хлориды, сульфаты) и биогенных элементов (аммоний, нитриты). Проанализировано прямое экологическое воздействие на озерную систему химического загрязнения, ведущего к деградации водных биоценозов, и вторичного засоления, ограничивающего развитие фито- и зоопланктона. Показано, что основной ущерб биоразнообразию наносится за счет синергетического эффекта от смешения стоков различного генезиса. Для снижения антропогенной нагрузки предложен комплекс природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: Айдар-Арнасайская система озер, коллекторно-дренажные воды, экологическое воздействие, гидрохимический состав, загрязнение водных объектов, засоление, тяжелые металлы, биогенные элементы, деградация экосистемы, антропогенная нагрузка.

HYDROCHEMICAL COMPOSITION AND ECOLOGICAL ASSESSMENT OF COLLECTOR-DRAINAGE WATERS ENTERING THE AYDAR-ARNASAY LAKE SYSTEM (AALS)

© Urolov Sardor Uralovich

Ufa University of Science and Technology

Ufa, Russian Federation

Summary. A comprehensive assessment of the impact of collector-drainage waters (CDW) on the ecosystem of the Aydar-Arnasay Lake System (AALS) was conducted. Based on hydrochemical analysis of the main collectors (CGK, Akbulak, Kly, Pogranichny, etc.), it was found that CDW are characterized by high mineralization (up to 3806 mg/l) and a consistent excess of MPC for toxic elements: chromium (up to 8.8 MPC), copper (up to 25.7 MPC) and zinc. Critical concentrations of salts (chlorides, sulfates) and biogenic elements (ammonium, nitrites) were identified. The direct ecological impact on the lake system was analyzed: chemical pollution leading to the degradation of aquatic biocenoses, and secondary salinization limiting the development of phyto- and zooplankton. It is shown that the main damage to biodiversity is caused by the synergistic effect of mixing runoff

Для цитирования: Уролов С.У. Гидрохимический состав и экологическая оценка коллекторно-дренажных вод, поступающих в Айдар-Арнасайскую систему озер (ААСО) // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 63-71. DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-63-71

of various origins. A set of environmental protection measures is proposed to reduce the anthropogenic load.

Keywords: Aydar-Arnasay Lake System, collector-drainage waters, environmental impact, hydrochemical composition, water pollution, salinization, heavy metals, biogenic elements, ecosystem degradation, anthropogenic load.

Введение. Айдар-Арнасайская система озер (ААСО) является крупнейшим антропогенно сформировавшимся водным объектом в Центральной Азии, играющим ключевую роль в региональном водном балансе. Ее формирование и существование напрямую связано с поступлением коллекторно-дренажных вод (КДВ) с орошаемых массивов Мирзачульской степи. С одной стороны, КДВ поддерживают водный баланс озер, с другой – выступают основным источником их химического загрязнения. Высокие концентрации минеральных солей, питательных элементов и токсичных веществ создают серьезные экологические риски для устойчивости всей аквальной экосистемы. В связи с этим, оценка качества КДВ и идентификация основных загрязнителей является актуальной научной и практической задачей.

Цель исследования. Провести комплексную гидрохимическую оценку качества коллекторно-дренажных вод, поступающих в ААСО, и определить степень их негативного воздействия на водные объекты.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать основные источники и объемы поступления КДВ в ААСО;
2. Проанализировать химический состав вод ключевых коллекторов по основным показателям (солевой состав, биогенные элементы, тяжелые металлы);
3. Выявить компоненты-загрязнители, концентрации которых устойчиво превышают ПДК;
4. Оценить экологические последствия загрязнения и предложить меры по снижению антропогенной нагрузки.

Материалы и методы. Работа выполнена на основании анализа данных гидрохимического мониторинга качества воды в коллекторах, впадающих в ААСО, имеющих названия: Центрально-Голодностепский (ЦГК), Акбулак, Клы, Пограничный и др. (рис. 1). Отбор проб проводился в стандартных створах. Анализ включал определение основных ионов (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), показателей минерализации и жесткости, концентраций соединений азота (нитраты, нитриты, аммоний), а также тяжелых металлов (хром, медь, цинк) и других микроэлементов. Оценка степени загрязнения проводилась путем сравнения полученных данных с установленными ПДК для водных объектов по рыбохозяйственным показателям.

Особый интерес в этом контексте представляет Айдар-Арнасайская система озер (ААСО), которая является ярким примером антропогенного воздействия на водные ресурсы. Формирование ААСО началось в 1960-х годах в результате

сбросов коллекторно-дренажных вод с орошаемых полей Мирзачульской степи, а также аварийных сбросов из Чардаринского водохранилища. В настоящее время ААСО представляет собой уникальный водный объект, где взаимодействие природных и антропогенных факторов определяет его экологическое состояние и ресурсный потенциал.



Рисунок 1 – Общая схема впадения основных каналов и коллекторов в Айдаро-Арнасайскую систему озер.

Основными источниками стока КДВ в озерную систему являются территории Джизакской и Сырдарьинской областей Республики Узбекистан, а также Шымкентской области Республики Казахстан.

Характеристики стока КДВ следующие.

1. Общая протяженность коллекторно-дренажной сети превышает 2500 км. Гидрографическая сеть включает магистральные, межрайонные каналы и коллекторы, которые обеспечивают сбор и отвод избыточной воды с орошаемых территорий.

2. Крупные коллекторы:

- Централно - Голодностепский коллектор (ЦГК) - один из наиболее значимых коллекторов, обеспечивающий отвод воды с обширных сельскохозяйственных территорий;
- Акбулак - важный коллектор, участвующий в формировании стока;
- Река Клы - естественный водоток, который также выполняет функции коллектора;
- Пограничный коллектор: обеспечивает отвод воды в приграничных районах.
- ЦК-9, ЦК-11, АРК-1 – коллекторы с меньшими расходами, расположенные в южной и юго-восточной частях водосбора.

Показатели объемов стока, поступающих по коллекторам в ААСО, отражены на рис. 2.

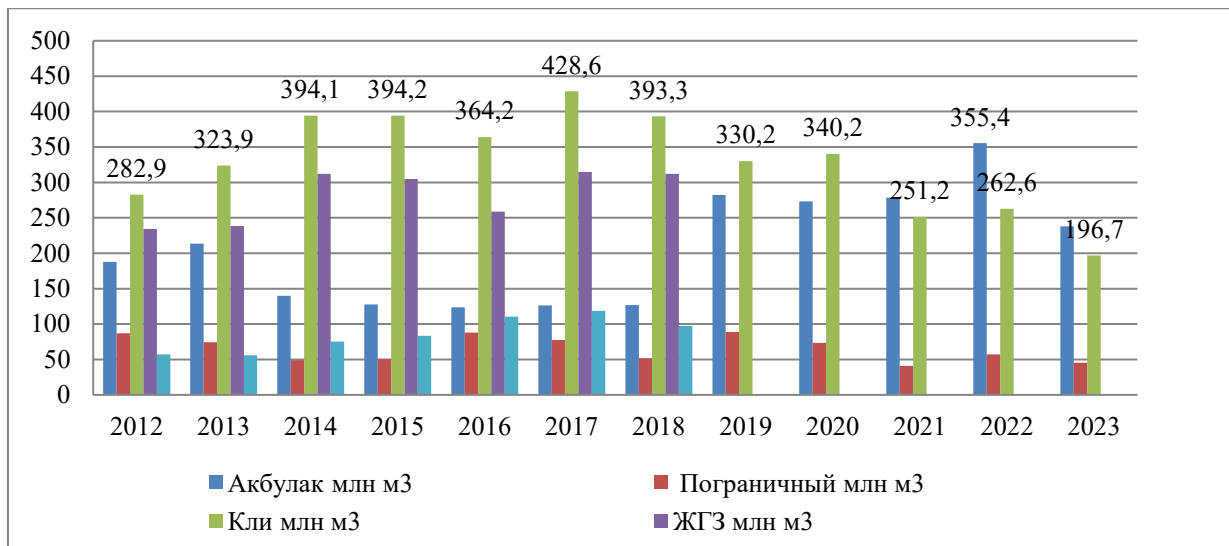


Рисунок 2 – Характеристики многолетних изменений объемов воды коллекторов, поступающих в Айдар- Арнасайскую систему озер

Сток коллекторов формируется за счет двух основных составляющих: 1) вод, поступающих из дренажных систем, преимущественно состоящих из грунтовых вод (подземная составляющая); 2) вод, поступающих с орошаемых массивов и за счет атмосферных осадков (поверхностная составляющая).

Айдар-Арнасайская система озер играет важную роль в регулировании водного баланса региона. Принимая коллекторно-дренажные воды, она снижает уровень грунтовых вод на орошаемых территориях, предотвращает засоление и заболачивание почв и создает резервуар для накопления избыточной воды. Количество воды, поступающей по указанным коллекторам в ААСО, не постоянное, что отражено на рис. 3.



Рисунок 3 – Динамика изменения объема воды, поступающей ААСО по коллекторам и дренажным системам, млн.м³

Следует обратить внимание на то, что поступление коллекторных вод в ААСО имеет как положительные, так и отрицательные последствия. Так, положительное значение выражается в поддержании благоприятных морфометрических характеристик озерной системы, интенсивности водообмена, гидрохимических показателей, имеющих большое экологическое значение. Характеристики отрицательного влияния связаны с загрязнением водной системы минеральными солями, пестицидами и тяжелыми металлами, что формирует неблагоприятные последствия влияния на условия обитания и воспроизводства гидробионтов (таблица 1).

Таблица 1 – Химический анализ коллекторных стоков, сбрасываемых в Айдар-Арнасайскую систему озер

Компоненты	Клы (створ нп. Чулигул истан)	Акбулак (нп. Янги бустан)	ЖГЗ (створ посёлок Тимирязево)	Пограничный (12 км до впадения)	ЦГК (створ с. Когали)	ПДК	Река Сырдарья
Азот нитрит, мгN/л	0,003	0,006	0,008	0,011	0,018	0,02	0,012
Азот аммоний, мгN/л	0,2	0,06	0,29	0,02	0,02	0,39	0,03
Азот нитрат, мгN/л	0,33	0,43	0,29	0,59	0,67	9,1	1,8
Хлорид, мг/л	240	284,5	238,3	578,9	450,4	300	61,7
Сульфат, мг/л	1741	1482	1618	1896	1566	100	313,1
Гидрокарбонат, мг/л	265	220	268	189	183	-	135,7
Кальций, мг/л	276,5	264,5	280,5	272,5	246,5	180	492
Магний, мг/л	239,6	198,2	218,9	226,8	181,8	40	51,9
Натрий, мг/л	335	312	307	640	506	120	88,7
Калий, мг/л	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	50	-
железо, мг/л	0,02	0	0	0,01	0,01	0,5	0,09
Нефтепродукты, мг/л	0,01	0,03	0,03	0	0,01	0,05	0,02
Хром (+6), мг/л	2,0	3,0	0	8,8	6,2	1,0	0,75
Фторид, мг/л	0,68	0,75	0,69	0,68	0,79	0,75	0,54
Минерализация, мг/л	3097	2763	2932	3806	3137	1000	1167
Медь, мг/л	1,96	2,57	1,92	2,23	2,47	0,1	2,1
Цинк, мг/л	11,4	14,8	11,3	10,8	13,7	10,1	9,7
Твердость, мг/л	33,5	29,5	32	32,25	27,25	-	9

Химический состав сбрасываемых вод характеризуется содержанием большого количества загрязняющих веществ различного происхождения. По многим ингредиентам наблюдается превышение концентраций загрязняющих веществ над их ПДК, что характеризует формирование высоких значений комплексных показателей загрязнения (КПЗ). Они отражены в табл.1.

По имеющимся данным можно выделить следующее. В составе сточных вод содержатся азотные соединения: нитриты (NO_2^-), аммоний (NH_4^+), нитраты (NO_3^-), которые участвуют в формировании водной среды в ААСО, содержащей высокие показатели питательных веществ, способствующих развитию процессов эвтрофикации. Наблюдаются высокие значения и по солевому составу. Хлориды (Cl^-) - во всех створах концентрации превышают ПДК (300 мг/л), особенно в Пограничном коллекторе (578,9 мг/л). Это характерно и для сульфатов, концентрации которых значительно превышают ПДК (100 мг/л) во всех створах, особенно в Пограничном коллекторе (1896 мг/л).

Высокие показатели загрязнения наблюдаются по кальцию (Ca^{2+}), магнию (Mg^{2+}) и натрию (Na^+), обнаруживается превышение ПДК по ним во всех створах. Аналогичная картина наблюдается и по другим элементам: хромю (Cr^{6+}), меди (Cu), цинку (Zn) и др. Выщелачивание горных пород и почв пределах орошаемых массивов, химический состав подземных вод определяют высокие показатели минерализации, которые во всех створах значительно превышают ПДК (1000 мг/л), особенно в Пограничном коллекторе (3806 мг/л).

Следует обратить внимание на то, что химический состав речных и коллекторных вод изучен различными учеными, в составе которых следует отметить исследования Е.М.Видинеевой (1974), Н.Е.Горелкина (1985), М.Р. Гудалова (2019), Д.Д.Нурбаева и Н.Е. Горелкина (2004), Э.И.Чембарисова и др.(2004). Однако, в их работах раскрываются характеристики загрязнения по отдельным ингредиентам., не отражены комплексные показатели загрязнения и их влияния на экологические условия в различных частях ААОС. Это имеет отношение к озерам Арнасай, Тузкан, Айдаркуль, относительно обособленно функционирующих по особенностям водообмена и формирования экологических условий в водных объектах.

В целом, поступление загрязненных коллекторно-дренажных вод оказывает комплексное негативное воздействие на экосистемы Айдар-Арнасайской системы озер, что проявляется в следующих процессах. Тяжелые металлы (хром, медь, цинк) обладают выраженной токсичностью для гидробионтов. Накапливаясь в тканях водных организмов, они вызывают нарушения метаболизма, подавляют рост и развитие, приводят к патологическим изменениям и гибели. Высокие концентрации меди, выявленные во всех коллекторах, особенно губительны для зоопланктона и моллюсков, что нарушает трофические цепи. Соединения азота (аммоний,

нитриты) в выявленных концентрациях оказывают прямое токсическое действие на рыбу и другие организмы, а также способствуют эвтрофикации.

Экстремально высокая минерализация КДВ (превышающая ПДК в 3-4 раза) приводит к вторичному засолению озерных вод. Это создает стрессовые условия для пресноводных видов, не адаптированных к высоким концентрациям солей, и приводит к обеднению видового состава гидробионтов, формируя сообщества, характерные для соленых водоемов. Поступление биогенных элементов (азот аммонийный и нитритный) служит мощным стимулом для массового развития фитопланктона («цветение» воды). Разложение отмершей биомассы потребляет растворенный кислород, вызывая гипоксию и заморные явления, что особенно опасно для рыбных популяций. Нарушение биоразнообразия и трансформация экосистем, обусловленные совокупным влиянием загрязняющих веществ, приводят к снижению общего биоразнообразия, исчезновению наиболее чувствительных видов и доминированию устойчивых видов, часто не имеющих хозяйственной ценности. Происходит упрощение трофических цепей и снижение устойчивости всей озерной экосистемы к внешним воздействиям.

Наибольшую опасность представляет не просто суммарное загрязнение, а синергетическое взаимодействие различных токсикантов. Например, токсичность тяжелых металлов может усиливаться в условиях высокой солености, а стресс от засоления делает организмы более уязвимыми к действию других поллютантов. Таким образом, в настоящее время экосистемы ААСО испытывают значительную антропогенную нагрузку, что ставит под угрозу ее устойчивое существование, биологическую продуктивность, эстетическую и рекреационную привлекательность.

В целях минимизации масштабов негативного воздействия антропогенных факторов на гидрохимические характеристики и экологические условия в ААСО можно рекомендовать следующее. Во-первых, с учетом того, что основная масса загрязняющих веществ поступает в составе коллекторных вод, необходимо безотлагательное проведение системы мероприятий по оптимизации водопользования и проведению водоохраных мероприятий в орошаемых массивах, занимающих большие площади. Они должны, прежде всего, включать минимизацию объемов водопользования в результате широкомасштабного применения маловодных технологий в орошаемой земледелии (капельного орошения и дождевания) с учетом оптимальных структур выращиваемых культур, экономической и экологической эффективности. Во-вторых, сокращение объемов водопользования, соответственно и стоков, поступающих из орошаемых массивов в ААСО, должно компенсироваться подачей необходимого количества водных ресурсов из Чардаринского водохранилища, расположенного на р. Сырдарья. Это является одним из основных критериев устойчивого функционирования всей озерной системы и перспективного развития видов водопользования. В-третьих, в системе водопользования в

бассейне изучаемой озерной системы следует подчеркнуть значимость сети гидрохимического мониторинга, которая до настоящего времени слабо развита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видинеева, Е.М. Гидрохимический режим и солевой баланс некоторых водохранилищ Средней Азии. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Е.М. Видинеева. – Ташкент: ТашГУ, 1974. – 188 с.
2. Горелкин, Н.Е. «Гидрометеорологический, гидрохимический режим и прогноз водно-солевого баланса Арнасайской озерной системы» автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Н.Е. Горелкин. – Ташкент: ТашГУ, 1985. – 164 с.
3. Гудалов М. Р. Влияние Айдар-Арнасайской озерной системы на ландшафты // Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). Физическая география. 2019. – 45 с.
4. Ежегодник качества поверхностных вод и эффективности проведенных водоохраных мероприятий на территории деятельности Узгидромета Госкомгидромета СССР... / Узб. респ. центр наблюдений за загрязнением природ. среды. - Ташкент: Узгидромет, 1990-. - 29 см. ...за 1989 год, ч. 1. - Ташкент: Узгидромет, 1990. - 361 с.
5. Нурбаев Д. Д., Горелкин Н. Е. Прогноз минерализации вода Айдаро-Арнасайской озерной системы на среднесрочную перспективу // Материалы Междунар. симпоз. Ташкент, ГИПРОИНГЕО, 2004, С. 17-21.
6. Гидрологический и гидрохимический режимы коллекторно-дренажных вод, выпадающих в айдаро-арнасайскую озерную систему / Э. И. Чембарисов, И. Э. Махмудов, Т. Ю. Лесник [и др.] // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. – 2016. – № 1(61). – С. 191-196. – EDN VRCUIB.

REFERENCES

1. Vidineeva, E.M. Hydrochemical regime and salt balance of some reservoirs of Central Asia. Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation / E.M. Vidineeva. – Tashkent: TashSU, 1974. – 188 p.
2. Gorelkin, N.E. "Hydrometeorological, hydrochemical regime and forecast of water-salt balance of the Arnasay lake system." Abstract of Cand. Sci. (Geogr.) Dissertation / N.E. Gorelkin. – Tashkent: TashSU, 1985. – 164 p.
3. Gudalov M.R. Influence of the Aidar-Arnasay lake system on landscapes // Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD). Physical Geography. 2019. – 45 p.
4. Yearbook of surface water quality and the effectiveness of water protection measures taken in the area of activity of Uzhydromet of the USSR State Hydrometeorological Committee... / Uzbek Rep. Center for Observing Pollution of the Environment. - Tashkent: Uzhydromet, 1990-. - 29 cm.
1. ...for 1989, part 1. - Tashkent: Uzhydromet, 1990. - 361 p.

5. Nurbaev D. D, Gorelkin N. E. Forecast of water mineralization in the Aydar-Arnasay lake system for the medium term // Proceedings of the International Symposium. Tashkent, GIPROINGEO, 2004, pp. 17-21.
6. Hydrological and hydrochemical regimes of collector-drainage waters flowing into the Aydar-Arnasai lake system / E. I. Chembarisov, I. E. Makhmudov, T. Yu. Lesnik [et al.] // Ways to improve the efficiency of irrigated agriculture. - 2016. - No. 1 (61). - P. 191-196. - EDN VRCUIB.

Сведения об авторах:

Уролов Сардор Уралович, аспирант ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: sardorurolov23@gmail.com

Author's personal details

Urolov Sardor Uralovich, graduate student, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russian Federation. Email: sardorurolov23@gmail.com

© Уролов С.У.

**ТЕНДЕНЦИИ ФОРМИРОВАНИЯ УГЛЕРОДОЕМКОСТИ
РОССИЙСКОЙ ЭКОНОМИКИ:
ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ И ПУТИ МИНИМИЗАЦИИ**

© Ахметьянова Альбина Ильшатовна

© Кузнецов Александр Игоревич

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

Аннотация. Мировое научное сообщество ведет активный поиск основных направлений снижения выбросов, повышения уровня контроля над антропогенными выбросами парниковых газов для повышения глобальной устойчивости, экологичности и сохранения природных ресурсов. За период с 2018 по 2022 гг. в Российской Федерации размеры выбросов парниковых газов уменьшились с 2087,3 до 2042 млн.тонн. Наибольший объем выбросов приходится на энергетику (1613,3 млн.тонн). Оценка ситуации по выбросам отдельных парниковых газов показывает, что наибольший объем выбросов представляет собой диоксид углерода. Наибольший объем выбросов приходится на энергетику, на промышленность для устойчивого экологичного природопользования важно внедрение разнообразных организационно-защитных методов. Среди ключевых направлений учеными предлагается обоснованный переход к возобновляемым источникам энергии (солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергетике), повышение энергоэффективности в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве, стимулирование перехода на электромобили, развитие водородного транспорта, масштабное лесовосстановление, использование инновационных промышленных улавливателей и очистителей воды, воздуха и ряд других.

Ключевые слова: выбросы парниковых газов, диоксид углерода, окружающая среда, отходы, землепользование, энергетика, промышленность, сельское хозяйство.

Для цитирования: Ахметьянова А.И., Кузнецов А.И. Тенденции формирования углеродоемкости российской экономики: оценка экологических рисков и пути минимизации // Геология. Известия Отделения наук и Земле и природных ресурсов. – 2025. – №3. – С. 72-82. DOI 10.24412/2949-4052-2025-3-72-82

TRENDS IN THE FORMATION OF CARBON INTENSITY OF THE RUSSIAN ECONOMY: ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL RISKS AND WAYS TO MINIMIZE THEM

© Akhmetyanova Albina Ilshatovna

© Kuznetsov Alexander Igorevich

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

Summary. The global scientific community is actively exploring key areas for reducing emissions and improving control over anthropogenic greenhouse gas emissions to enhance global sustainability, environmental friendliness, and the conservation of natural resources. Between 2018 and 2022, greenhouse gas emissions in the Russian Federation decreased from 2,087.3 million to 2,042 million tons. The largest volume of emissions comes from the energy sector (1,613.3 million tons). An assessment of the situation with individual greenhouse gas emissions shows that carbon dioxide accounts for the largest volume of emissions. The energy sector accounts for the largest volume of emissions in industry. For sustainable, environmentally friendly nature management, the implementation of a variety of organizational and protective methods is important. Among the key areas, scientists propose a well-founded transition to renewable energy sources (solar, wind, hydro, and geothermal energy), increased energy efficiency in industry and housing and utilities, incentives for the transition to electric vehicles, the development of hydrogen transport, large-scale reforestation, the use of innovative industrial water and air capture and purifiers, and a number of other areas.

Keywords: greenhouse gas emissions, carbon dioxide, environment, waste, land use, energy, industry, agriculture.

Введение. Выбросы парниковых газов представляют собой одну из центральных тем в современной экологии, климатологии, экономике и международной повестке. Вопросам снижения выбросов парниковых газов посвящено множество работ современных исследователей [1-3] и [4-6]. Парниковые газы представляют собой газы, поглощающие и переизлучающие инфракрасное излучение, исходящее от поверхности планеты. Этот процесс, известный как парниковый эффект, естественным образом поддерживает температуру Земли на уровне, пригодном для жизни. Некоторые российские ученые исследуют общие вопросы «смягчения последствий изменения климата и адаптации к климатическим вызовам» [7, 8]. Зарубежные исследователи реализуют более детализированные подходы к оценке влияния промышленности, либо других видов экономической деятельности на

окружающую среду и изучают, к примеру, «оценку экологических показателей в процессе производства стальных заготовок» [9], металлических компонентов [10], технологических процессов [11] и некоторые другие. Самый существенный вклад в потепление вносит углекислый газ, источником которого являются сжигание ископаемого топлива (уголь, нефть, газ) для энергетики, транспорта, промышленности, производства цемента. Затем (по убыванию) вклад в потепление вносит метан, который обладает более высоким потенциалом глобального потепления, чем углекислый газ, но имеет меньший срок жизни в атмосфере. Источником формирования метана являются животноводство, учетки при добыче и транспортировке природного газа, отходы жизнедеятельности на мусорных полигонах, в том числе образующиеся в результате разложения органических отходов и ряд других. Третьим источником формирования парниковых газов является оксид азота, который берет основу в результате промышленной деятельности, сельского хозяйства. Четвертым источником формирования парниковых газов являются фторированные газы и некоторые другие. Принято считать, что крупнейшим источником выбросов парниковых газов является энергетика, в результате сжигания угля, нефти, газа для производства электроэнергии и тепла; в промышленности основными источниками формирования парниковых газов являются производство стали, цемента, химической промышленности, выбросы от промышленных процессов; в сфере транспорта основу формирования парниковых газов составляют все виды топлива в результате эксплуатации автомобилей, самолетов, судов и др. техники. В сельском хозяйстве, как мы уже отмечали ранее, метан, образуемый в результате жизнедеятельности животных и закись азота от удобрений являются источником совокупного формирования лишь 10% выбросов [12]. Большинство ученых сходятся во мнении, что причиной повышения средней температуры поверхности Земли является увеличение концентрации парниковых газов, что, в свою очередь, ведет к изменению климата, учащению и повышению интенсивности экстремальных погодных явлений (засухи, наводнений, ураганов и др.). Мировое научное сообщество ведет активный поиск основных направлений снижения выбросов, повышения уровня контроля над антропогенными выбросами парниковых газов для повышения глобальной устойчивости, экологичности и сохранения природных ресурсов.

Целью настоящего исследования является изучение ключевых тенденций в процессе выбросов парниковых газов в Российской Федерации,

анализ состава и структуры выбросов парниковых газов, в том числе связанных с промышленными процессами и сельским хозяйством.

Материалы и методы. В исследовании использованы официальные данные Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации за период с 2018 по 2022 гг. В качестве основных методов использованы графический, табличный и статистический методы исследования.

Результаты исследования. За период с 2018 по 2022 гг. в Российской Федерации размеры выбросов парниковых газов уменьшились с 2087,3 до 2042 млн.тонн CO₂ (рисунок 1).

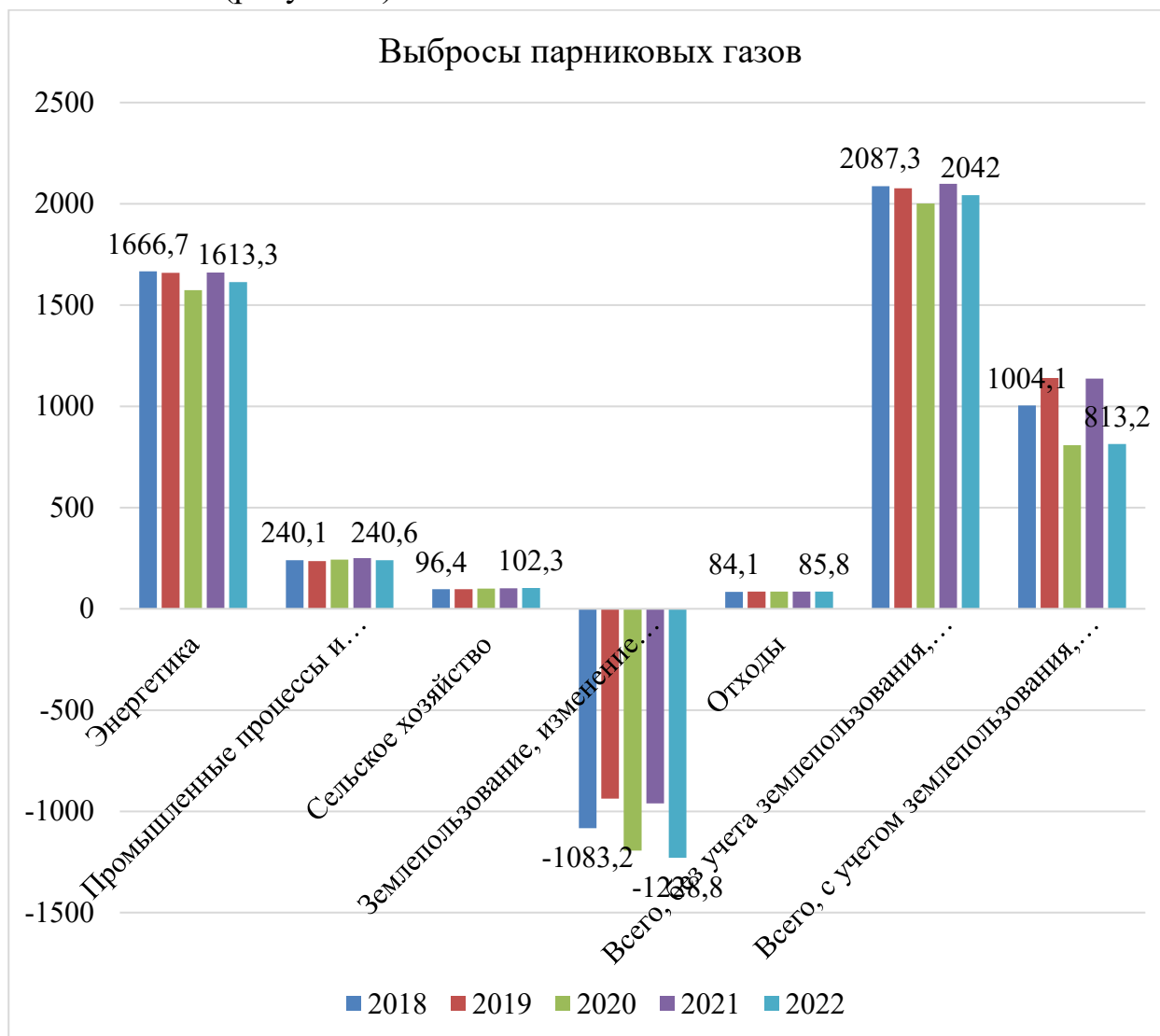


Рисунок 1 – Выбросы парниковых газов по секторам (миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)

Наибольший объем выбросов приходится на энергетику (1613,3 млн.тонн CO₂). При этом с учетом землепользования и лесного хозяйства, которое частично уменьшает общий размер выбросов (до 813,2 млн.тонн в 2022 г.). На промышленные процессы приходится примерно 240,6 млн.тонн выбросов CO₂.

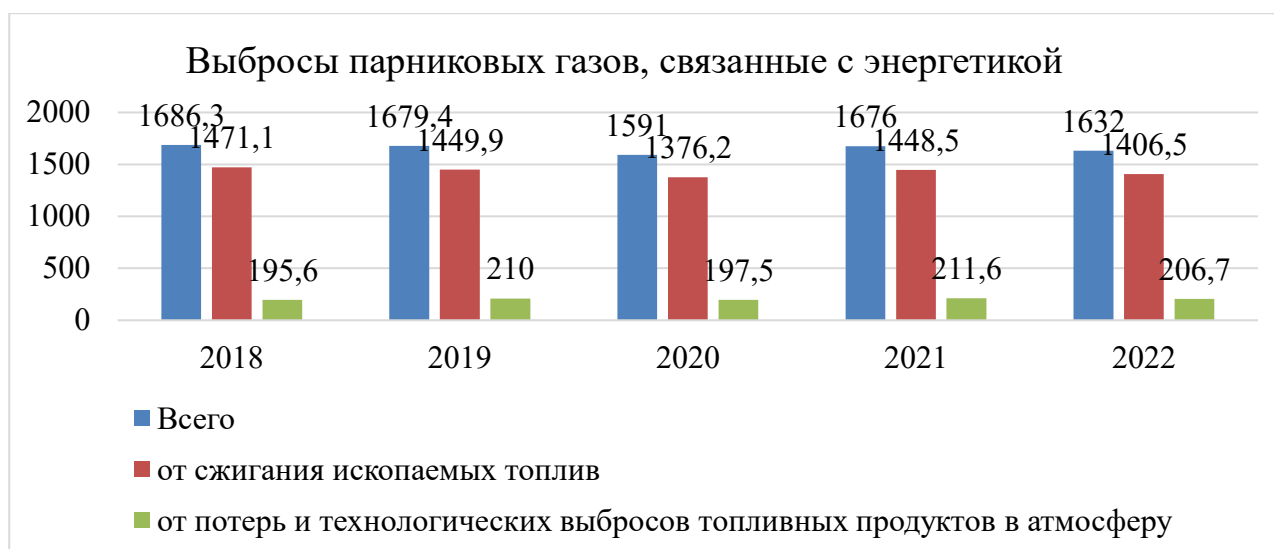
Оценка ситуации по выбросам отдельных парниковых газов показывает, что наибольший объем выбросов представляет собой диоксид углерода (1658,9 млн.тонн в 2022 г.) (рисунок 2).



Рисунок 2 – Выбросы отдельных видов парниковых газов (миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)

Среди всех видов выбросов парниковых газов наибольший удельный вес принадлежит диоксиду углерода. Его доля в общем объеме выбросов уменьшилась с 81,9% в 2018 г. до 81,2% в 2022 г. (уменьшение составило 0,7 п.п.). Доля метана (CH₄) повысилась с 13,6 до 13,8%, доля гидрофторуглеродов и перфторуглеродов не изменилась, составив, соответственно, 1,6% и 0,1%.

Рассмотрим ситуацию по выбросам парниковых газов, связанных с энергетикой (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Выбросы парниковых газов, связанные с энергетикой
(миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)**

Выбросы парниковых газов, связанные с энергетикой, уменьшились с 1686,3 до 1632 млн.тонн (на 3,2%), в т.ч. от сжигания ископаемых топлив с 1471,1 до 1406,5 млн.тонн (на 4,4%). Выбросы от потерь и технологических выбросов топливных продуктов в атмосферу увеличились с 195,6 до 206,7 млн.тонн, т.е. на 5,7%. Данный факт прямо пропорционален росту числа легковых и грузовых автомобилей в стране.

Размеры выбросов парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции уменьшились в электронной промышленности (в два раза), в химической промышленности (почти на 8%), в металлургии (на 0,9%) (таблица 1).

**Таблица 1 – Выбросы парниковых газов, связанные с промышленными процессами и использованием промышленной продукции
(миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)**

Показатели	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2022 в% к 2018 г.
Всего	240,1	235,7	242,3	250,7	240,6	100,2
производство продукции из минерального сырья	36,9	36,3	36	38,2	38,6	104,6
химическая промышленность	73,1	68,2	72	73,5	67,3	92,1
металлургия	109,2	107,7	109,2	113,7	108,2	99,1
использование растворителей и неэнергетических продуктов из топлива	2	2,6	2,9	2,4	2,1	105,0
электронная промышленность	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	50,0
использование фторированных заменителей озоноразрушающих веществ	17,7	19,6	21	21,6	23,1	130,5
производство и использование другой продукции	1,2	1,2	1,1	1,2	1,3	108,3

Увеличение размеров выбросов отмечается по использованию фторированных заменителей озоноразрушающих веществ (на 30,5%): с 17,7 до 23,1 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год; в производстве и использовании другой продукции (на 8,3%): с 1,2 до 1,3 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год; при использовании растворителей и неэнергетических продуктов из топлива (на 5%): с 2 до 2,1 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год; при производстве минерального сырья (на 4,6%): с 36,9 до 38,6 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год.

Выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве возросли с 96,4 до 102,3 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год (рисунок 4).

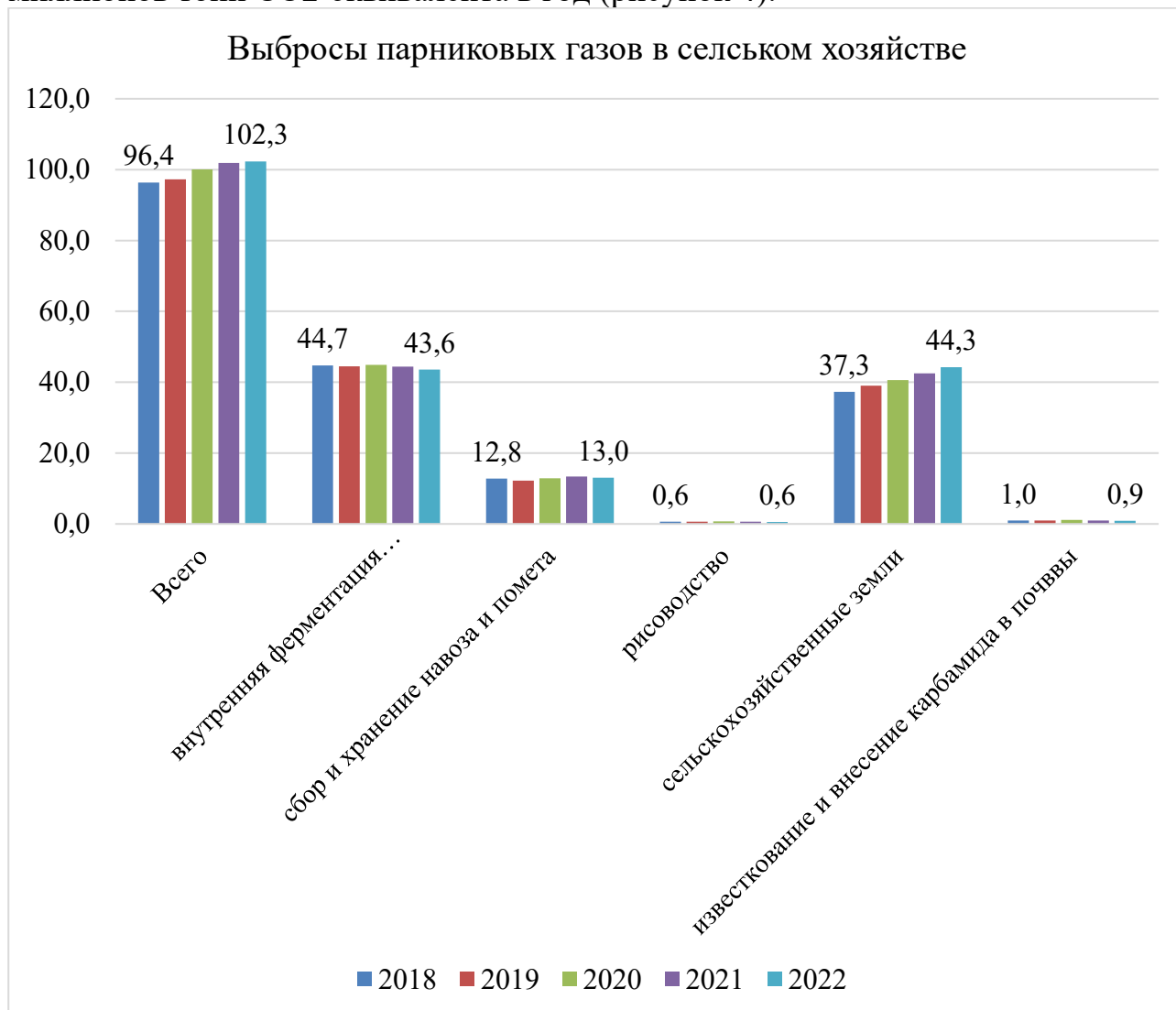


Рисунок 4 – Выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве (миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)

В сельском хозяйстве наибольшая доля выбросов приходится на внутреннюю ферментацию сельскохозяйственных животных – всего 46,4% в 2018 г. и 42,6% в 2022 г., на сельскохозяйственные земли приходится 38,7% в

2018 г. и 43,2% в 2022 г.; на сбор и хранение навоза и помета приходится 13,3% в 2018 г. и 12,7% в 2022 г. и т.д.

Рассмотрим размеры выбросов парниковых газов, связанных с лесным хозяйством и землепользованием (рисунок 5).

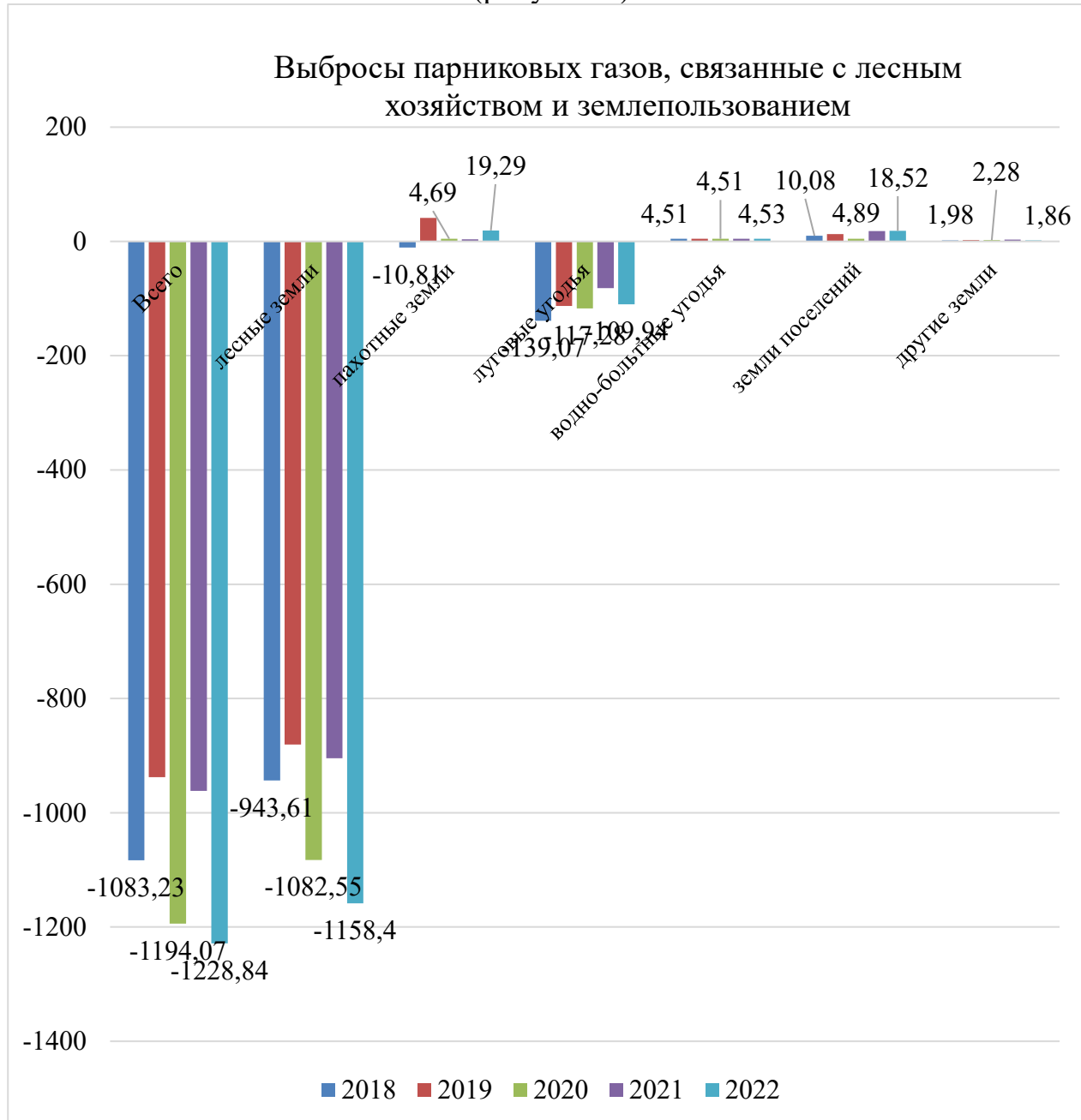


Рисунок 5 – Выбросы парниковых газов, связанные с лесным хозяйством и землепользованием (миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)

Лесное хозяйство, в отличие от других видов экономической деятельности, благотворно влияет на экологические процессы, способствуя сокращению выбросов парниковых газов, и, в некоторой степени, нивелируя вред, наносимый

окружающей среде. Лесные земли и луговые угодья этому активно способствуют. В связи с чем вопросам лесовосстановления, как на естественной, так и на искусственной основе, должно уделяться гораздо большее внимание, а в специализированных высших учебных заведениях важно сохранение числа бюджетных мест, связанных с лесоводством, охраной, воспроизводством и использованием лесных ресурсов.

Неумолимо во всем мире растут выбросы парниковых газов, связанные с отходами (рисунок 6).



Рисунок 6 – Выбросы парниковых газов, связанные с отходами
(миллионов тонн CO₂-эквивалента в год)

Размеры выбросов парниковых газов, связанных с отходами, за период с 2018 по 2022 гг. возросли с 84,1 до 85,8 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год (+2,1%), в т.ч. размеры выбросов, связанных с захоронением твердых отходов – с 61,2 до 61,7 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год (+0,8%), размеры выбросов, связанных со сбросом в сточные воды – с 22,9 до 23,7 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год (+3,6%), размеры выбросов, связанных с биологической обработкой твердых отходов возросли с 0,04 до 0,42 миллионов тонн CO₂-эквивалента в год, темп роста составил 10,5 раза.

Выводы. Проведенный нами анализ показал, что для устойчивого экологичного природопользования важно внедрение разнообразных организационно-защитных методов, направленных на улавливание углекислого газа, как из промышленных источников, либо из атмосферы, с последующим геологическим захоронением, так и путем улучшения герметичности газопроводов, изменения практик обращения с отходами. Среди ключевых направлений учеными предлагается обоснованный переход к возобновляемым

источниками энергии (солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергетики), повышение энергоэффективности в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве, стимулирование перехода на электромобили, развитие водородного транспорта, масштабное лесовосстановление, использование инновационных промышленных улавливателей и очистителей воды, воздуха и ряд других.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметьянова, А. И. Ключевые приоритеты в защите окружающей среды в Республике Башкортостан / А. И. Ахметьянова, А. И. Кузнецов // Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов. – 2025. – № 2(39). – С. 88-98. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-3-88-98. – EDN IESHKF.
2. Прудникова, А. А. Международная повестка декарбонизации экономики: взгляд и ответ России / А. А. Прудникова // Экономика. Налоги. Право. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 129-137. – DOI 10.26794/1999-849X-2025-18-2-129-137. – EDN PMVNOB.
3. Чжан, Ц. Факторы и условия внешнеэкономической деятельности АПК в России в контексте современных геоэкономических вызовов / Ц. Чжан // Финансовый менеджмент. – 2025. – № 9. – С. 332-339. – EDN WIYOSO.
4. Возможности применения экономики замкнутого цикла в текстильной промышленности / С. М. Никоноров, И. И. Савельев, А. А. Фролов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 4(418). – С. 25-33. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_25. – EDN CTVRYI.
5. Зотов, А. Е. Практики Китая, США и ЕС в регулировании декарбонизации энергетики / А. Е. Зотов // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. – 2025. – № 2. – С. 29-32. – EDN CUWJZA.
6. Бурматова, О. П. Некоторые проблемы энергетического перехода в России / О. П. Бурматова // Вестник НГУЭУ. – 2024. – № 4. – С. 62-78. – DOI 10.34020/2073-6495-2024-4-062-078. – EDN AXJJDR.
7. Оценка углеродного следа секторов российской экономики и меры декарбонизации промышленности / Е. Ю. Яковлева, А. В. Барабошкина, О. В. Кудрявцева, А. А. Курдин // Экономика и математические методы. – 2025. – Т. 61, № 3. – С. 78-91. – DOI 10.31857/S0424738825030078. – EDN EYLESQ.
8. Sustainable Environmental Impact Assessment Using Indicators for Sustainable Energy-Intensive Industrial Production / V. Meshalkin, V. Zharov, L. Leontiev [et al.] // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 7. – P. 3172. – DOI 10.3390/en16073172. – EDN IBBSSK.
9. Cardoso, F. N. Assessment Of Environmental Indicators During The Production Of A Steel Party By The Wire And Arc Additive Manufacturing Method: Energy Demand And Carbon Footprint / F. N. Cardoso, C. S. Guimarras, J. C. P. Filho //

- Ecology and Industry of Russia. – 2025. – Vol. 29, No. 11. – P. 42-49. – DOI 10.18412/1816-0395-2025-11-42-49. – EDN XBKFAX.
10. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 81, No. 1. – P. 465-481. – DOI 10.1007/s00170-015-7077-3. – EDN CVWUDK.
 11. Kieback, B. Processing techniques for functionally graded materials / B. Kieback, A. Neubrand, H. Riedel // *Materials Science and Engineering: A*. – 2003. – Vol. 362, No. 1-2. – P. 81-105. – DOI 10.1016/S0921-5093(03)00578-1. – EDN XYPLDN.
 12. Кузнецова, А. Р. Тенденции выбросов парниковых газов в Российской Федерации / А. Р. Кузнецова, А. И. Кузнецов // *Геология. Известия Отделения наук о Земле и природных ресурсов*. – 2024. – № 1(34). – С. 104-132. – DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-104-132. – EDN EICLYV.

REFERENCES

1. Akhmetyanova, A. I. Key priorities in environmental protection in the Republic of Bashkortostan / A. I. Akhmetyanova, A. I. Kuznetsov // *Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources*. - 2025. - No. 2 (39). - P. 88-98. - DOI 10.24412 / 2949-4052-2024-3-88-98. - EDN IESHKF.
2. Prudnikova, A. A. International agenda for economic decarbonization: Russia's view and response / A. A. Prudnikova // *Economy. Taxes. Law*. - 2025. - Vol. 18, No. 2. - P. 129-137. – DOI 10.26794/1999-849X-2025-18-2-129-137. – EDN PMVNOB.
3. Zhang, C. Factors and conditions of foreign economic activity of the agro-industrial complex in Russia in the context of modern geo-economic challenges / C. Zhang // *Financial management*. – 2025. – No. 9. – Pp. 332-339. – EDN WIYOSO.
4. Possibilities of applying the circular economy in the textile industry / S. M. Nikonorov, I. I. Savelyev, A. A. Frolov [et al.] // *News of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. – 2025. – No. 4 (418). – Pp. 25-33. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_4_25. – EDN CTVRYI.
5. Zotov, A. E. Practices of China, the USA and the EU in regulating energy decarbonization / A. E. Zotov // *Competitiveness in the global world: economics, science, technology*. – 2025. – No. 2. – Pp. 29-32. – EDN CUWJZA.
6. Burmatova, O. P. Some problems of the energy transition in Russia / O. P. Burmatova // *Bulletin of NSUEM*. – 2024. – No. 4. – Pp. 62-78. – DOI 10.34020/2073-6495-2024-4-062-078. – EDN AXJJDR.
7. Assessment of the Carbon Footprint of Russian Economic Sectors and Industrial Decarbonization Measures / E. Yu. Yakovleva, A. V. Baraboshkina, O. V. Kudryavtseva, A. A. Kurdin // *Economics and Mathematical Methods*. - 2025. - Vol. 61, No. 3. - P. 78-91. - DOI 10.31857/S0424738825030078. - EDN EYLESQ.
8. Sustainable Environmental Impact Assessment Using Indicators for Sustainable Energy-Intensive Industrial Production / V. Meshalkin, V. Zharov, L. Leontiev [et

- al.] // *Energies*. - 2023. - Vol. 16, No. 7. - P. 3172. - DOI 10.3390/en16073172. - EDN IBBSSK.
9. Cardoso, F. N. Assessment Of Environmental Indicators During The Production Of A Steel Party By The Wire And Arc Additive Manufacturing Method: Energy Demand And Carbon Footprint / F. N. Cardoso, C. S. Guimarges, J. C. P. Filho // *Ecology and Industry of Russia*. – 2025. – Vol. 29, No. 11. – P. 42-49. – DOI 10.18412/1816-0395-2025-11-42-49. – EDN XBKFAX.
10. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D. Ding, Z. Pan, D. Cuiuri, H. Li // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2015. – Vol. 81, No. 1. – P. 465-481. – DOI 10.1007/s00170-015-7077-3. – EDN CVWUDK.
11. Kieback, B. Processing techniques for functionally graded materials / B. Kieback, A. Neubrand, H. Riedel // *Materials Science and Engineering: A*. – 2003. – Vol. 362, No. 1-2. – P. 81-105. – DOI 10.1016/S0921-5093(03)00578-1. – EDN XYPLDN.
12. Kuznetsova, A. R. Greenhouse Gas Emission Trends in the Russian Federation / A. R. Kuznetsova, A. I. Kuznetsov // *Geology. News of the Department of Earth Sciences and Natural Resources*. - 2024. - No. 1 (34). - P. 104-132. - DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-104-132. - EDN EICLYV.

Сведения об авторах:

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

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

Author's personal details:

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

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

© Ахметьянова А.И., Кузнецов А.И.