

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

© Мударисова Раушания Айдаровна,

© Лукьянова Резеда Габдрашитовна

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

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

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

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

© Mudarisova Raushaniya Aidarovna,

© Lukyanova Rezeda Gabdrashitovna

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

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

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

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

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

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

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

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

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

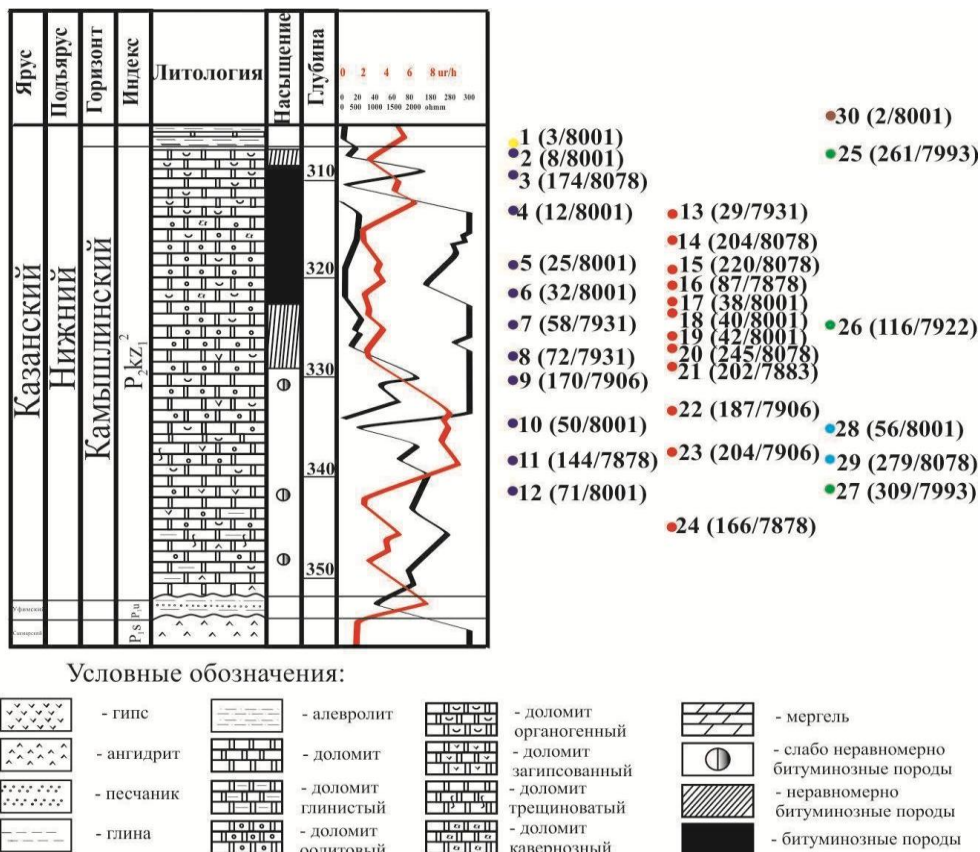


Рисунок 1 – Сводный разрез Горского месторождения СВН с приведением места отбора образцов по разрезу. Условные обозначения образцов: синие кружки – реликтово-органогенный доломит, красные – оолитовый доломит, зеленые – глинистый доломит, голубой – пелоидный доломит, желтый - известняк.

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

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

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

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

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

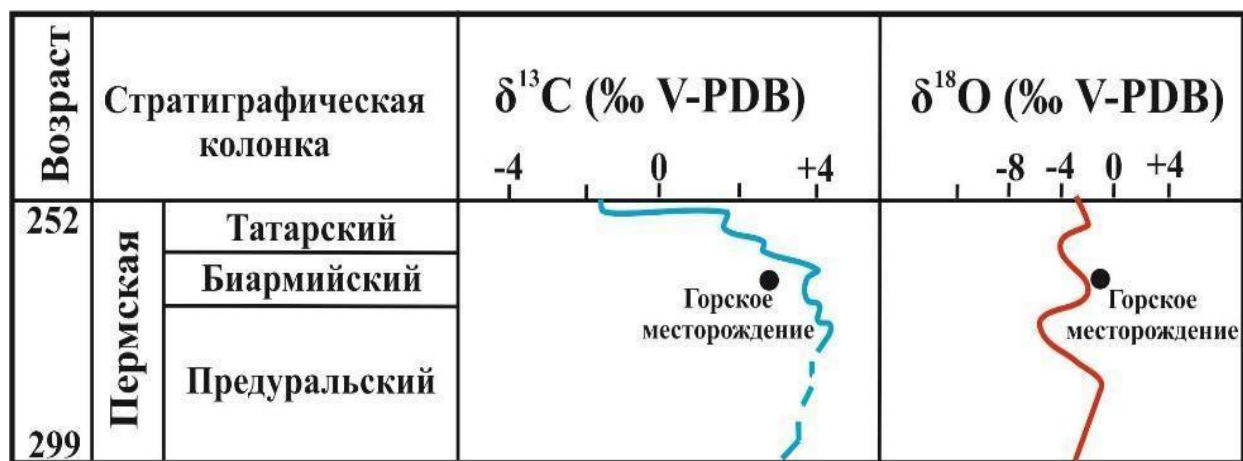


Рисунок 2 – График точки Горского поднятия (средние значения $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$) на изотопных кривых из работы [11, 12]

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

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

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

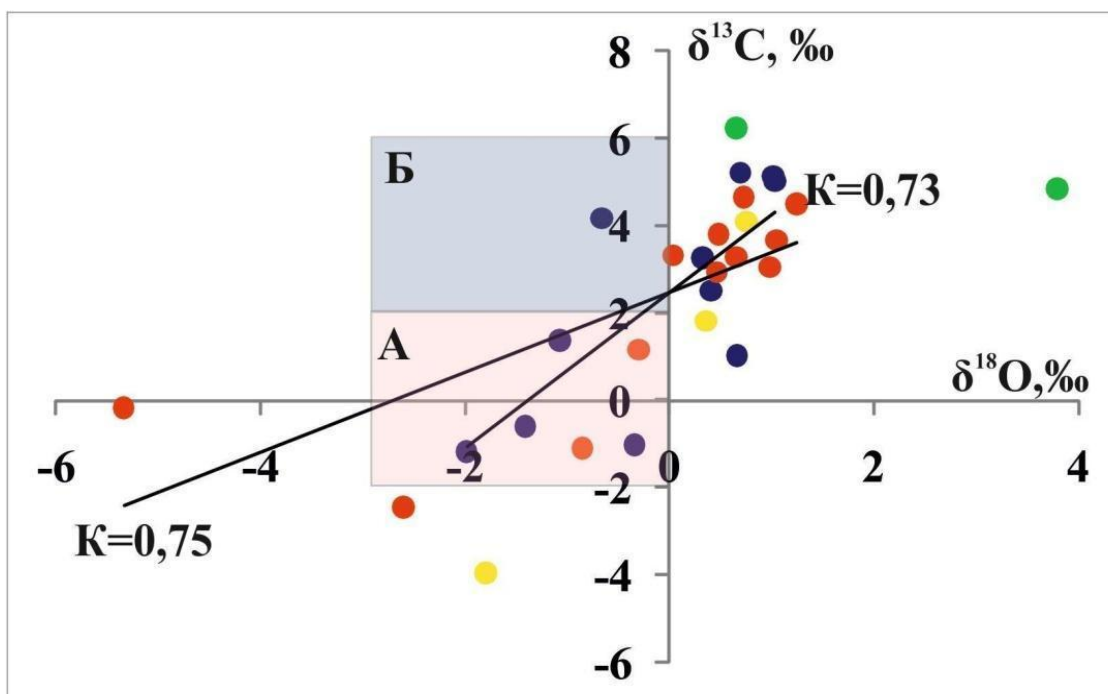


Рисунок 3 – Кросс-график зависимости $\delta^{13}\text{C}$ от $\delta^{18}\text{O}$ по нижнеказанским отложениям по Горскому поднятию. Область «А» – современные нормально-осадочные морские карбонаты; область «Б» – мелководные морские карбонаты зоны интенсивной аэрации [Условные обозначения приведены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

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

ЛИТЕРАТУРА

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

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

REFERENCES

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

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

Сведения об авторах:

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

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

Author's personal details:

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

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

© Мударисова Р. А., Лукьянова Р.Г.