ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АУТИГЕННЫХ КАРБОНАТОВ ПРОДУКТИВНОГО ГОРИЗОНТА Ю₁ ВЕРХ-ТАРСКОГО НЕФТЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ)

Л.Г.Вакуленко, О.Д.Николенко, Д.А.Новиков, П.А.Ян

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

Выполнено разностороннее изучение состава алеврито-песчаных пород горизонта W_1 верхней части васюганской свиты Верх-Тарского нефтяного месторождения. В их цементе установлены ассоциации аутигенных минералов, среди которых наиболее распространен кальцит. По петрографическим параметрам выделены три генерации кальцита и впервые проведены их детальные изотопно-геохимические и ультрамикроскопические исследования. Зафиксированы широкие и разнонаправленные изменения в изотопном составе углерода и кислорода и в химическом составе карбонатных минералов, которые свидетельствуют о значительных вариациях в условиях диагенеза и катагенеза, в первую очередь температуры, и о разных источниках CO_2 . Установлены значительные вариации изотопного состава пластовых вод и его связь с изотопным составом карбонатов. Так, выявлен узкий интервал близких значений δ^{13} С, составляющий в пластовых водах II группы от –10,5 до –9,1 ‰, а в кальцитах третьей генерации – от –10,7 до –9,1 ‰. Источником CO_2 в этой системе следует считать углекислый газ, формирующийся в процессе метаморфизма карбонатных пород палеозойского возраста.

Ключевые слова: геохимия, аутигенные карбонаты, стабильные изотопы углерода и кислорода, пластовые воды, горизонт Ю₁, Западная Сибирь.

ISOTOPE-GEOCHEMICAL FEATURES OF AUTHENIC CARBONATES OF THE YU₁ PRODUCING HORIZON OF THE VERKH-TARSKOYE OIL FIELD (SOUTH OF WESTERN SIBERIA)

L.G. Vakulenko, O.D. Nikolenko, D.A. Novikov, P.A. Yan

A.A.Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

A comprehensive study of the composition of sand and silt deposits of the Yu₁ horizon of the Vasyuganskaya Formation upper part of the Verkh-Tarskoye oil field has been carried out. Associations of authigenic minerals have been determined in their cement, among which the calcite is the most widespread. According to petrographic parameters, three generations of calcite have been identified for which detailed isotopicgeochemical and ultramicroscopic studies were carried out for the first time. Wide and multidirectional changes in the isotopic composition of carbon and oxygen and in the chemical composition of carbonate minerals were recorded, they indicate significant variations in the conditions of diagenesis and catagenesis, primarily temperature, and different sources of CO₂. Significant variations in the isotopic composition of formation waters and its relationship with the isotopic composition of carbonates have been established. Thus, a narrow interval of close δ^{13} C values was revealed, amounting to -10.5 to -9.1 ‰ in the formation waters of group II, and from -10.7 to -9.1 ‰ in calcites of the third generation. The source of CO₂ in this system should be considered a carbon dioxide, which is formed in the process of metamorphism of carbonate rocks of the Paleozoic age.

Keywords: geochemistry, authigenic carbonates, stable carbonate and oxygen isotopes, formation waters, Yu, horizon, Western Siberia.

DOI 10.20403/2078-0575-2020-4-20-28

Актуальность проведенной работы связана с тем, что результаты изотопно-геохимических исследований можно использовать при решении вопросов генезиса и стадиальном анализе карбонатов, в том числе и карбонатных минералов, формирующих цементы терригенных пород. Подобные результаты для западносибирских мезозойских карбонатов стали появляться уже в 1970-х гг. Наиболее активно такие работы проводились в коллективах новосибирских (под руководством Г. Н. Перозио) и томских (под руководством С. И. Голышева) ученых [1, 2, 12 и др.]. Указанные авторы подразделяли коллекцию изучаемых образцов на карбонаты (известняки), не претерпевшие заметных постседиментационных изменений, и эпигенетические карбонаты, куда входили и вторичные карбонаты цементов песчаников. В большинстве работ томских исследователей одновременно определялся изотопный состав углерода и кислорода диагенетических карбонатов и углерода ОВ из алевритоглинистых пород, что позволяло делать выводы об условиях среды в бассейне осадконакопления [1]. В последние 5 лет результаты изотопных исследований верхнеюрских тонкозернистых пород георгиевского и баженовского горизонтов отражены в публикациях сотрудников Московского государственного университета [18, 22 и др.].

Авторами статьи изотопно-геохимический состав аутигенных карбонатных минералов был изучен на примере пород-коллекторов оксфордского продуктивного горизонта Ю₁ Верх-Тарского нефтяного месторождения, самого крупного на территории Новосибирской области. Оно расположено в пределах Межовского нефтегазоносного района на юге Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, приурочено к Верх-Тарской локальной структуре, открыто в 1970 г., введено в разработку в 1994 г., крупномасштабная эксплуатация началась в 2009 г. Залежь УВ приурочена к так называемой надугольной толще – пласту Ю₁¹ в верхней части верхневасюганской подсвиты.

Литолого-фациальные исследования продуктивного горизонта Ю₁ на месторождении выполнялись группой специалистов под руководством 3. Я. Сердюк в составе комплексной тематической экспедиции ПГО «Новосибирскгеология» в 1970– 1980-х гг. Большинство результатов содержится в фондовых работах, частично – в немногочисленных публикациях, как, например, сведения по петрографии пород-коллекторов [3–5, 8 и др.]. Установлены ассоциации аутигенных минералов для прибрежно- и мелководно-морских (сингенетичные пирит, глауконит, фосфаты и кальцит) и прибрежно-континентальных (пирит и сидерит) отложений. В качестве эпигенетических аутигенных минералов указаны каолинит, кальцит, анкерит, доломит.

В публикациях, посвященных созданию проекта разработки месторождения, одной из трех главных геологических особенностей, определяющих сложное внутреннее строение продуктивного пласта и неоднородность распределения ФЕС, было указано присутствие многочисленных карбонатизированных пропластков, которые значительно увеличивают внутреннюю неоднородность пласта, определяющую динамику флюидных потоков [14]. Корректное отражение этой особенности в геологических моделях принципиально важно для выработки технологических решений при разработке залежи.

Возобновившиеся в 2007-2008 гг. исследования на рассматриваемой территории позволили коллективу лаборатории седиментологии ИНГГ СО РАН провести комплексный седиментологический и петрофизический анализ бат-верхнеюрских отложений юга Западной Сибири, базировавшийся на разностороннем изучении керна и материалов ГИС, и, как результат, выполнить прогноз новых перспективных участков [11, 23]. Методология включала в том числе блок начатых в то время детальных петрографических исследований [13]. В 2018 г. работы по этому направлению были продолжены: дополнен фактический материал по продуктивному пласту, вскрытому и охарактеризованному керном на Верх-Тарской площади, выполнены новые аналитические исследования, включая изучение изотопно-гидрогеохимических особенностей пластовых вод.

В пределах Верх-Тарского месторождения нефтяная залежь приурочена к надугольной толще (пласт Ю₁¹), вскрытой в изученных 11 разрезах в интервале глубин 2486–2902 м. Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) песчаников отличаются значительными вариациями: коэффициент проницаемости изменяется в диапазоне (0,001–797,6)·10⁻³ мкм². Очаги повышенных значений определены в центральной и восточной частях залежи. Причиной таких существенных изменений, помимо седиментационных факторов, часто являются постседиментационные изменения пород, которые требуют детального изучения с применением прецизионных методов и стадиального анализа.

Результаты петрографических исследований

Изученные породы-коллекторы горизонта Ю₁ Верх-Тарского месторождения представлены широким рядом гранулометрических разновидностей – от песчаников крупно-средне- и среднезернистых до алевролитов мелко-крупнозернистых. Состав обломочной части литокластито-полевошпатовокварцевый с преобладанием кварца (42–68, чаще 45–50 %), довольно высоким содержанием полевых шпатов (17–35, чаще 25–30 %) и подчиненным – литокластов (12–30, чаще 15–20 %).

При детальном микроскопическом исследовании пород выявлен широкий спектр постседиментационных изменений, установлены их последовательность и соответствие определенным стадиям литогенеза. Судя по данным А. Н. Фомина (ИНГГ СО РАН), метаморфизм ОВ верхнеюрских отложений в районе исследования соответствует градации мезокатагенеза МК₁¹ [19], т. е. в первом приближении вмещающие отложения затронуты постседиментационными преобразованиями, соответствующими среднему катагенезу [9]. Однако по результатам петрографических исследований было установлено, что породы изменены процессами, соответствующими стадии среднего – начальному этапу позднего катагенеза.

Наиболее ярко постседиментационные изменения выражены в виде формирования аутигенных минералов, входящих в основном в состав цемента изученных пород. В составе ассоциации аутигенных минералов установлены:

 – диагенетические глауконит, пирит, каолинит, кальцит, сидерит, анатаз, лейкоксен;

 – диагенетические – катагенетические кальцит, доломит, каолинит, хлорит, кварц;

 – катагенетические кварц, полевой шпат, сидерит, кальцит, доломит, барит.

В настоящей работе рассмотрим аутигенные карбонатные минералы, наиболее заметно проявленные в изученных породах и повлиявшие на формирование и изменение ФЕС коллекторов. Широко распространен и представлен практически во всех разрезах кальцит, незначительно развит доломит, на отдельных уровнях отмечен сидерит. Содержание кальцита варьирует от первых до 45–50 %, иногда с переходом в смешанные разновидности терригенно-карбонатных пород. Различные гене-

рующими поровый, участками базально-поровый

цемент (см. рис. 1, в). К третьей генерации отне-

сен пойкилитовый кальцит мелко-средне-, средне-

крупно- и грубокристаллический (см. рис. 1, д). Он корродирует обломки (в том числе регенерацион-

ные кварцевые каемки), частично или полностью

замещает часть из них, формируя порово-базаль-

ный, базальный цемент. Кальцит этой генерации

наиболее широко проявлен в изученных породах.

Большинство исследователей считает его одним из

ные в алеврито-песчаных породах продуктивных

пластов горизонта Ю₁, встречаются неповсеместно

и в значительно меньших концентрациях. Сидерит, сформированный в стадию диагенеза, образует

микрокристаллические и пелитоморфные сгустки

Другие карбонатные минералы, установлен-

наиболее поздних катагенетических минералов.

рации кальцита можно выделить по степени его кристалличности, взаимоотношениям с обломочной частью, степени преобразованности обломочных компонентов, «запечатанных» в кальцитовом цементе, и по парагенезам аутигенных минералов. Принято считать, что кальцит с размером кристаллов менее 0,01 мм (микрокристаллический, скрытокристаллический) является седиментационным и/или раннедиагенетическим (первая генерация). В стадию позднего диагенеза и катагенеза происходит его перекристаллизация с укрупнением кристаллов. Реликты микрита сохраняются в виде сгустков и пятен (рис. 1, а), встречаются редко и только в ассоциации с кальцитом второй генерации. Вторая генерация представлена отдельными кристаллами и агрегатами кальцита тонко-, мелко-, редко средне-мелкокристаллической структуры, форми-

Sr Спектр 62 0.5

Fe Mn Mg Ca 0 47.4 50.0 1.2 0.2 0.2 0.4 0.9 0.0 0.4 46.8 29.0

R

Fe Mn Mg Ca 0 Спектр 16 6.4 0.3 9.6 29.1 54 4 Спектр 12 7.3 0.0 9.3 29.2 54.1 Спектр 9 0.8 0.0 14.0 29.7 55.4 0.6 0.0 15.0 29.4 Спектр 8 55.0

Fe Mn Спектр 68 1.1 0.2 Д 0.3 0.0 Спектр 69

Рис. 1. Кальцит разных генераций в цементе песчаников горизонта Ю1 Верх-Тарского месторождения: первая и вторая (а, б), вторая (в, г), третья (д, е). Слева – снимки в оптическом микроскопе, николи скрещены, справа – в сканирующем электронном микроскопе с энергодисперсионными спектрами (желтые цифры – точки определения состава)

Mg

0.2

0.0

Ca

44.2

47.7

0

54.3

52.0

е









Рис. 2. Доломит второй генерации: в оптическом микроскопе, николи скрещены (а), в сканирующем электронном микроскопе (б) с энергодисперсионными спектрами (желтые цифры – точки определения состава)

и пятна в составе неравномерно распределенного в породах порового, редко пленочного цемента. При наличии углефицированных растительных фрагментов сидерит концентрируется в участках их скопления. Кроме того, в стадию катагенеза пелитоморфный сидерит развивается по биотиту и некоторым литокластам (обломкам сланцев, алеврито-глинистых пород, эффузивов). Тонкокристаллический рисовидный сидерит встречается в ассоциации с мелкочешуйчатым каолинитом в межзерновом пространстве. В редких случаях наблюдались сферолитовые агрегаты катагенетического сидерита. По данным рентгеноспектрального микроанализа катагенетический сидерит представлен магнезиальной разновидностью (сидероплезитом, Са-сидероплезитом) и постоянно содержит примесь Мп.

Доломит представлен двумя генерациями. В ряде случаев в интервалах развития песчаников с кальцитовым цементом второй генерации наблюдались прослои с порово-базальным цементом тонко-мелкокристаллической структуры, доломитового состава (**доломит первой генерации**), не взаимодействующим с 5 % HCl и не окрашиваемым ализарином в петрографических шлифах.

Доломит, отмеченный в виде отдельных тонкокристаллических (до 0,05 мм), реже мелкокристаллических (до 0,1 мм) ромбоэдров и их агрегатов, развивающихся по обломкам полевых шпатов, секущих их границы, а также по всем типам цемента, в том числе пойкилитовому кальцитовому (рис. 2, а), необходимо рассматривать как **доломит второй генерации**. Это наиболее поздний катагенетический минерал. Содержание его обычно незначительное – от долей до 1–5, редко 10–15 %. Более заметные проявления приурочены к верхней части пласта. По химическому составу доломит представлен железистой разновидностью с постоянной примесью марганца.

Результаты изотопно-геохимических исследований

Для более обоснованного выделения разных генераций кальцита и решения вопросов генезиса аутигенных карбонатных минералов были выполнены изотопно-геохимические исследования карбонатных цементов (аналитик О. П. Изох, ИГМ СО РАН) изученных песчаников на специально подобранных образцах (13 проб), в которых преобладала та или иная генерация. Значения изотопного состава углерода даются относительно стандарта PDB, кислорода – SMOW. По результатам довольно четко прослеживается разница характеристик кальцитов первой, второй и третьей генераций (рис. 3). Для кальцита **первой** генерации характерны утяжеленный состав изотопов углерода (δ¹³С от -7,0 до -5,6 ‰) и средние значения (среди полученных) изотопного состава кислорода (δ¹⁸О от 15,4 до 18,9 ‰). Для кальцита из вторичного известняка микритовой, участками яснокристаллической структуры, с обильными остатками фрагментов растительности изотопный состав отличается: он наиболее облегчен по углероду (δ¹³С −17,8 ‰) и утяжелен по кислороду (δ¹⁸О 22,4 ‰), что свидетельствует о значительном участии органической углекислоты при его формировании. По составу кислотных вытяжек из анализируемых образцов кальциты первой генерации имеют довольно «чистый» состав с содержанием Са 37,8–38,0 %, небольшими примесями Мg (0,6-0,7 %), Fe (0,7-1,3 %), Mn (до 0,1 %), относительно повышенными Sr (0,2–0,4 %). В случае появления заметного количества более перекристаллизованного кальцита второй генерации при уменьшении содержания Ca (до 30,1 %) и Sr (до 0,1 %) увеличиваются содержания Mg (до 1,4 %), Fe (до 7,0 %), Mn (до 0,7 %) с формированием магнезиально-железистых кальцитов.

Кальцит **второй** генерации облегчен по изотопному составу углерода (δ^{13} С от –13,2 до –9,7 ‰) и характеризуется значительными вариациями значений δ^{18} О с противоположным трендом в направленности изменений: по мере утяжеления углерода наблюдается облегчение кислорода от 26,0 до 10,9 ‰. В его составе на фоне уменьшения содержания Са (от 38,3 до 30,3 %) увеличивается концентрация Mg (от 1,0 до 3,2 %) и Fe (от 1,0 до 12,1 %), отмечаются также Mn (0,2–0,3 %) и Sr (0,1–0,2 %). Таким образом, кальциты второй генерации преимущественно железисто-магнезиальные и маг№ 4(44) ♦ 2020



незиально-железистые, хотя отмечены и довольно «чистые» разновидности.

В прослоях с доломитовым цементом первой генерации по результатам изотопных исследований установлено однонаправленное утяжеление изотопного состава по углероду (δ^{13} C от –9,1 до –6,3 ‰) и кислороду (δ^{18} O от 12,0 до 15,7 ‰). В составе доломита существенно увеличено содержание Mg (7,4–7,8 %), снижено – Ca (25,5–24,5 %), и Sr (до 0,1 %). Количество Fe варьирует в пределах 7,3–8,4 %, Mn – 0,2–0,3 %.

Кальциты **третьей** генерации характеризуются более тяжелым, чем у второй генерации, изотопным составом и незначительными вариациями δ^{13} С (от -10,7 до -9,1 ‰) и наиболее легким δ^{18} О (от 10,1 до 10,9 ‰). По составу кислотных вытяжек это относительно чистые кальциты с содержанием Са 35,4–40,1 %, Mg 0,9–0,9 %, Fe 2,0–3,4 %, Mn 0,2–0,6 %, Sr 0,3–0,5 %.

Помимо петрографических и изотопно-геохимических исследований аутигенные кальциты были изучены с использованием сканирующего электронного микроскопа TEXCAN MIRA, оснащенного энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350, позволившим уточнить их состав (230 спектров) и морфологию. Кальцит *третьей* генерации относительно чистый, с небольшими примесями Mg (0,2-0,6 %) и Fe (0,2-2,0 %). Периодически отмечаются Mn (0,3-0,9 %) и Sr (0,4-0,9 %) (см. рис. 1, е). В кальците второй генерации постоянно фиксируется значительное содержание Mg и Fe (обычно близкое – от 4 до 10-12 %), редко присутствует Mn (как правило, менее 1 %, в единичных случаях до 4,0 %), характерно отсутствие Sr (см. рис. 1, г). Таким образом, вторая генерация представлена магнезиально-железистым и железисто-магнезиальным кальцитом с разным соотношением указанных элементов, вплоть до

Рис. 3. Изотопные отношения δ^{13} С– δ^{18} О в пластовых водах и породах Верх-Тарского нефтяного месторождения Пластовые воды водоносных комплексов: 1 – апт-альбсеноманского, 2 – верхнеюрского, 3 – палеозойского; кальциты генераций: 4 – первой и второй, 5 – второй, 6 – третьей; 7 – доломиты; области проб: 8 – разрабатываемых залежей, 9 – схожих по изотопному составу δ^{13} С пластовых вод и кальцитов третьей генерации горизонта Ю₁ Верх-Тарского месторождения; I, II, III – см. пояснения в тексте

перехода в доломит. Интересно, что в случае постепенного заполнения межзернового пространства кальцит внешней зоны обогащен Mg и Fe, а внутренняя зона выполняется высокомагнезиальным кальцитом с небольшой примесью Fe (0,5-0,6 %), примесь Mn отмечена только в кальците внешней зоны (см. рис. 1, г). Наиболее пестрый состав наблюдался в микритовых кальцитовых желваках, где кальцит *первой* генерации часто отмечен в ассоциации с тем или иным количеством кальцита второй генерации. Здесь в спектрах зафиксирован относительно чистый кальцит с небольшой примесью Mg (до 0,2 %) и Fe (0,9-1,1 %), характерно присутствие Мп и Sr (см. рис. 1, б). Слабо перекристаллизованные участки представлены кальцитом второй генерации с повышенным содержанием Mg и Fe, отсутствием Sr. Иногда содержание Mn сильно варьирует, вплоть до появления манганокальцита (16,4-23 %).

Обсуждение результатов и основные выводы

Интерпретация результатов изотопных исследований часто дискуссионна. Так, в публикации [7] приведены данные по изотопному составу углерода карбонатного цемента для нескольких образцов верхнеюрских пород-коллекторов юга Западной Сибири. Отмечено обогащение их легким изотопом углерода (δ¹³С от -12,3 до -9,6 ‰), которое объясняется образованием вторичного (эпигенетического) кальцита в результате появления в пластах значительного количества CO₂ за счет метаморфизма палеозойских карбонатов, обогащенных ОВ. В то же время, по данным [16], на юго-востоке Западной Сибири в песчаниках этого возраста по данным изотопного анализа выделен аутигенный кальцит двух генераций: более ранний связан с действием инфильтрационных и поровых вод (δ¹³С-2,8 ‰, δ¹⁸О 27,6 ‰), поздний – с прогретыми минерализованными глубинными растворами (δ¹³С -5,3 ‰, δ¹⁸О 17,7 ‰ для пойкилитового кальцита; δ¹³С –12,1 ‰, δ¹⁸О 12,7 ‰ – для кальцита микротрещин).

В работе томских авторов [2] представлены результаты исследования изотопов углерода и кислорода карбонатов (преимущественно палеозойских) и карбонатных цементов терригенных пород (верхнеюрских) из большой коллекции образцов с юго-востока Западной Сибири. Установлены значительные вариации изотопного состава углерода и кислорода в карбонатах цемента: δ¹³C от –19,5 до 0,9 ‰, δ¹⁸O от 6,7 до 23,8 ‰. В целом относительно

морских первичных известняках он облегчен на 5 % по углероду и на 9 % по кислороду. Авторы считают, чАто это связано в первую очередь с процессами преобразования ОВ и УВ, активно протекающими в зоне катагенеза, при этом до 50 % углекислоты органического происхождения идет на формирование эпигенетических карбонатов нефтегазоносных отложений. В случае неизмененного изотопного состава пластовых вод температура формирования вторичных карбонатов цемента была в среднем на 50 % выше, чем первичных. Подчеркнуто, что первичный изотопный состав сохранен только в карбонатах глинистых пород. Отметим также, что в публикациях последних лет [18, 22 и др.] приводятся значительно различающиеся изотопные характеристики разных групп карбонатов в глинистых и глинисто-кремнистых породах верхнеюрских абалакской и баженовской свит.

Результаты наших исследований демонстрируют заметные различия изотопно-геохимических характеристик разных генераций карбонатных минералов (преимущественно кальцита) цемента пород-коллекторов верхнеюрского нефтегазоносного горизонта Ю₁. Представляется, что формирование кальцита первой и второй генераций происходило в условиях, близких к седиментационно-диагенетическим, и связано с низкотемпературными поровыми растворами, обогащенными органической углекислотой. Формирование кальцита третьей генерации, характеризующегося более тяжелым изотопным составом по углероду и наиболее облегченным по кислороду, связано с более высокотемпературными растворами с пониженным содержанием органической углекислоты (этап катагенеза). Большинство исследователей рассматривает такие растворы как глубинные гидротермальные, поднимающиеся вдоль разломов из фундамента [10, 16-18 и др.]. Полученные результаты свидетельствуют о том, что без изучения стадийности аутигенного минералообразования и целенаправленной пробоподготовки сравнение изотопных характеристик карбонатов (особенно постседиментационных) и выводы, сформулированные на этой основе, не будут в полной мере достоверными.

Рассмотрим, что дают результаты изотопногеохимических исследований пластовых вод для понимания генезиса аутигенных минералов. Инконгруэнтное растворение минералов при всей его сложности связано главным образом с явлением гидролиза алюмосиликатов [21]. На пути установления равновесия подземных вод с первичными алюмосиликатными минералами всегда имеется карбонатный барьер. Результаты термодинамических расчетов это подтверждают. Так, при пластовых температурах от 80 до 100 °C [10, 26] все без исключения пластовые воды горизонта Ю₁ Верх-Тарского месторождения пересыщены относительно кальцита и доломита и способны высаживать их в виде вторичной минеральной фазы. Вследствие того что с ростом температуры растворимость кальцита уменьшается, мы наблюдаем наибольшую степень насыщения вод этим минералом в наиболее погруженных частях залежи. Аналогичная ситуация характерна и для доломита.

Изотопный анализ пластовых вод (аналитик А. Н. Пыряев, ИГМ СО РАН) показал довольно широкую вариацию отношений δ¹³С (от −18,8 до −1,4 ‰) и узкий интервал для δ^{18} О (от –8,3 до –6,9 ‰). Из рис. З видно, что можно выделить три группы проб. Первая (область I) объединяет наиболее тяжелые по изотопному составу углерода (б¹³С от -6,0 до -1,4 ‰) воды апт-альб-сеноманского комплекса и попутные воды разрабатываемых залежей Верх-Тарского месторождения (горизонты Ю₁ и зоны контакта палеозоя и мезозоя (НГГЗК)). Очевидно, что происхождение гидрокарбонат-иона сеноманских вод связано с их формированием преимущественно в континентальных обстановках. Также эти данные свидетельствуют о процессах смешения пластовых вод с сеноманскими при заводнении залежей. Вторая (область II) группа пластовых вод характеризуется более легкими значениями δ^{13} С (от –10,5 до -7,7 ‰). По изотопному составу углерода наблюдается их родство с кальцитами третьей генерации, в которых δ¹³C = -10,7...-9,1 ‰. Термодинамические и геохимические данные подтверждают, что эти кальциты формировались в водной среде с повышенным содержанием стронция при палеотемпературах 100-115 °C [19]. Концентрация стронция в современных пластовых водах горизонта Ю₁ Верх-Тарского месторождения достигает 1320 мг/дм³ [20]. Источником СО₂ в данной системе следует считать углекислый газ, формирующийся в процессе метаморфизма карбонатных пород палеозойского возраста. В пользу этого свидетельствуют высокие концентрации СО₂ в составе попутных, свободных и водорастворенных газов верхнеюрских отложений Межовского НГР, залегающих непосредственно на породах фундамента [6, 7, 14 и др.]. Проба в области III соответствует самому легкому значению δ¹³С (-18,8 ‰), источником которого, вероятно, являлось ОВ с δ¹³С от −30,0 до −11,0 ‰. Для сравнения: в пластовых водах горизонта Ю₁ Восточно-Тарского месторождения δ¹³C = -12,6...-2,0 ‰, Первомайского δ¹³С = −18,0...−9,2 ‰. Следует отметить, что интерпретация значений по стабильному изотопу углерода δ¹³С в подземных водах нефтегазоносных бассейнов крайне сложна, поскольку на него влияют процессы дегазации СО₂, окисление ОВ и многие другие факторы [24 и др.].

Локальность, неравномерность распределения новообразованных карбонатов (в основном кальцита) подчеркивалась геологами, занимавшимися минералого-петрографическими исследованиями пород-коллекторов горизонта Ю₁ Верх-Тарского месторождения [15, 17]. Позднее при геологическом моделировании этого объекта было показано, что около 25 % общего объема песчани№ 4(44) ♦ 2020

ков пласта Ю₁¹ карбонатизировано, а наибольшее количество плотных пропластков сконцентрировано в кровельной и подошвенной частях пласта [14]. В изученных нами разрезах масштаб проявления интенсивной кальцитизации - от редких прослоев до 30-40 % и более мощности продуктивного пласта. Как уже указывалось, он приурочен к надугольной толще морского генезиса, часто содержащей скопления морской фауны, которые практически всегда сопровождаются интенсивным развитием постседиментационного кальцита. Это объясняется тем, что карбонатные раковины, с одной стороны, являлись центрами кристаллизации, а с другой могли служить собственно источником перераспределявшегося СаСО3 при их растворении. При этом отчетливой приуроченности карбонатных пропластков к кровле или подошве наши наблюдения не подтверждают.

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0021 «Основные седиментационные и постседиментационные процессы и закономерности их эволюции в протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнах Сибири» и проекта РФФИ и Правительства Новосибирской области № 18-45-540004 р_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голышев С. И., Падалко Н. Л., Черников Е. В. Фациальные обстановки осадконакопления на различных площадях Томской области для шараповского и китербютского горизонтов нижней – средней юры по изотопным критериям // Томское отделение СНИИГГиМС: 30 лет на службе томской геологии. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2002. – 323 с.

2. Голышев С. И., Черепнин А. В., Рожнев А. Н. Изотопный состав углерода и кислорода карбонатов нефтегазоносных отложений Западной Сибири // Геохимия. – 1981. – № 8. – С. 1216–1226.

3. Залазаева Л. В., Запивалов Н. П. Породыколлекторы продуктивного пласта Ю₁ Верх-Тарского месторождения нефти (3С) // Литология и геохимия мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1972. – С. 42–47.

4. Запивалов Н. П., Плуман И. И. Изменение состава нефтей в зависимости от положения ВНК и фильтрационных свойств песчаников продуктивного пласта // Геология нефти и газа. – 1976. – № 10. – С. 36–42.

5. Запивалов Н. П., Сердюк З. Я., Яшина С. М. Условия формирования отложений бат-келловейоксфорда в Межовско-Убинском районе // Вопросы литологии и палеогеографии Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1970. – С. 13–18.

6. **Зорькин Л. М.** Генезис газов подземной гидросферы (в связи с разработкой методов поиска залежей УВ) // Геоинформатика. – 2008. – № 1. – С. 45–53.

7. **Изотопный** состав углерода CO₂ газов Западной Сибири в связи с его генезисом / С. П. Максимов, Р. Г. Панкина, С. М. Гуриева, Н. П. Запивалов // Геохимия. – 1980. – № 7. – С. 992–998.

8. **Кирсанов В. В., Запивалов Н. П.** Особенности формирования отложений пласта Ю₁¹ верхней юры Межовского района 3С // Геология нефти и газа. – 1982. – № 7. – С. 36–41.

9. Логвиненко Н. В., Орлова Л. В. Образование и изменение осадочных пород на континенте и в океане. – Л.: Недра, 1987. – 235 с.

10. **О геотермической** зональности нефтегазоносных отложений северо-западных районов Новосибирской области / Д. А. Новиков, С. В. Рыжкова, Ф. Ф. Дульцев, А. В. Черных // Изв. вузов. Нефть и газ. – 2018. – № 5. – С. 69–76.

11. Палеогеографические критерии распределения коллекторов в средне-верхнеюрских отложениях юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / Е. М. Хабаров, П. А. Ян, Л. Г. Вакуленко и др. // Геология нефти и газа. – 2009. – № 1. – С. 26–33.

12. Перозио Г. Н., Голышев С. И., Мандрикова Н. Т. Использование стабильных изотопов углерода и кислорода для определения генезиса карбонатов // Результаты изучения карбонатных породколлекторов Сибирской платформы с применением физических методов исследований. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1976. – С. 75–83.

13. Петрографические особенности породколлекторов бат-верхнеюрских отложений юга Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна / Л. Г. Вакуленко, А. Ю. Попов, С. В. Родякин и др. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». Т. 1. – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – С. 25–31.

14. Пинус О. В., Легеза С. А. Методика геологического моделирования пласта Ю₁ на примере Верх-Тарского нефтяного месторождения // Технология ТЭК. – 2006, октябрь. – С. 12–18

15. Розин А. А., Сердюк З. Я. Преобразование состава подземных вод и пород ЗСП под воздействием глубинного углекислого газа // Литология и полезные ископаемые. – 1970. – № 4. – С. 102–113.

16. Ростовцева Ю. В., Бин Хань. Вторичные преобразования отложений васюганской свиты (Шингинская разведочная площадь, Томская область) // Эволюция осадочных процессов в истории Земли. Т. 1. – М.: РГУ НГ им. И. М. Губкина, 2015. – С. 290–293.

17. Сердюк 3. Я., Эренбург Б. Г. О составе вторичных карбонатов, развитых в трещинах и порах пород фундамента и осадочного чехла Обь-Иртышского междуречья // Литология и геохимия мезозойских отложений Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1972. – С. 87–91.

18. **Условия** образования и нефтенасыщенность карбонатных пород баженовской и абалакской свит / Н. С. Балушкина, А. Ю. Юрченко, Г. А. Калмыков и др. // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 1. – С. 32–35.

19. Фомин А. Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 331 с.

20. Формы миграции химических элементов в подземных водах горизонта Ю₁ Верх-Тарского нефтяного месторождения (юг Западной Сибири) / Д. А. Новиков, А. Е. Шохин, А. В. Черных, Ф. Ф. Дульцев // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – № 16. – С. 448–453.

21. Шварцев С. Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика. – 1991. – № 12. – С. 16–50.

22. Юрченко А. Ю. Формирование вторичных карбонатных пород верхнеабалакско-баженовской толщи Салымского, Правдинского и Малобалыкско-го нефтяных месторождений Западной Сибири: автореф. дис. ... к. г.-м. н. – М.: МГУ, 2017. – 22 с.

23. Ян П. А., Хабаров Е. М. Интерпретация данных ГИС при палеогеографических реконструкциях (на примере бат-верхнеюрских отложений юга Западной Сибири) // Геофизические технологии. – 2018. – № 4. – С. 27–38.

24. Clark I. D., Fritz P. Environmental isotopes in hydrogeology. – New York: CRC Press, 1997. – 328 p.

25. **Hydrogeochemistry** of the authigenic mineralforming processes (a case study of Oxfordian deposits in the Ob-Irtysh interfluve) / D. A. Novikov, L. G. Vakulenko, P. A. Yan, et al. // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – No. 1451(1). – 012016.

REFERENCES

1. Golyshev S.I., Padalko N.L., Chernikov E.V. [Facies depositional environments within various areas of Tomsk region for the Sharapovo and Kiterbyut horizons]. *Tomskoye otdeleniye SNIIGGiMS: 30 let na sluzhbe geologii* [Tomsk affiliate of SNIIGGiMS: 30 years in the service of Tomsk geology]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 2002. 323 p. (In Russ.).

2. Golyshev S.I., Cherepnin A.V., Rozhnev A.N. [Carbon and oxygen isotopic composition of carbonates in petroleum deposits of Western Siberia]. *Geokhimiya*, 1981, no. 8, pp. 1216–1226. (In Russ.).

3. Zalazaeva L.V., Zapivalov N.P. [Reservoir rocks of the Yu₁ producing bed of the Verkh-Tarskoye oil field (WS)]. *Litologiya i geokhimiya mezozoiskikh otlozheniy Sibiri* [Lithology and Geochemistry of Mesozoic deposits of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1972, pp. 42–47. (In Russ.).

4. Zapivalov N.M., Pluman I.I. [Petroleum composition history depending on OWC position and filtration conditions of the producing bed sandstones]. *Geologiya nefti i gaza*, 1976, no. 10, pp. 36–42 (In Russ.).

5. Zapivalov N.P., Serdyuk Z.Ya., Yashina S.M. [Formation conditions for Bathonian-Kallovian-Oxfordian in the Mezhovo-Ubinskoye district]. *Voprosy litologii i paleogeografii Sibiri* [Problems of lithology and paleogeography of Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1970, pp. 13–18. (In Russ.).

6. Zorkin L.M. [Genesis of gases of the undergroung hydrosphere in connection with prospecting of hydrocarbon accumulations]. *Geoinformatika*, 2008, no. 1, pp. 45–53. (In Russ.).

7. Maksimov S.P., Pankina R .G., Gurieva S.M., Zapivalov N.P. [Carbon isotopic composition of CO_2 gases in Western Siberia in connection with its genesis]. *Geokhimiya*, 1980, no. 7, pp. 992–998. (In Russ.).

8. Kirsanov V.V., Zapivalov N.P. [Formation features of the Yu_1^1 bed deposits of the Upper Jurassic within the Mezhovo district of the WS]. *Geologiya nefti i gaza*, 1982, no. 7, pp. 36–41 (In Russ.).

9. Logvinenko N.V., Orlova L.V. Obrazovanie i izmenenie osadochnykh porod na kontinente i v okeane [Formation and changes in sedimentary rocks on the continent and in the ocean]. Leningrad, Nedra Publ., 1987. 235 p. (In Russ.).

10. Novikov D.A., Ryzhkova S.V., Dultsev F.F., Chernykh A.V. [Geothermal zonality of oil and gas bearing deposits in the north-western territory of Novosibirsk region]. *Izvestiya vuzov. Neft i gaz – Oil and Gas Studies*, 2018, no. 5, pp. 69–76. (In Russ.).

11. Khabarov E.M., Yan P.A., Vakulenko L.G., et al. [Paleogeographic criteria of reservoir distribution in Middle-Upper Jurassic deposits of the southern West-Siberian oil-and-gas-bearing basin]. *Geologiya nefti i gaza – Oil and gas geolory*, 2009, no. 1, pp. 26–33. (In Russ.).

12. Perozio G.N., Golyshev S.I., Mandrikova N.T. [Using stable carbon and oxygen isotopes for determination of carbonates genesis]. *Rezultaty izucheniya karbonatnykh porod-kollektorov Sibirskoi platformy s primeneniem fizicheskikh metodov issledovaniy* [Results of studying carbonate reservoir rocks of the Siberian Platform using physical research methods]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1976, pp. 75–83 (In Russ.).

13. Vakulenko L.G., Popov A.Yu., Rodyakin S.V., et al. [Paleogeographic criteria of reservoir rocks of the Bathonian – Upper Jurassic deposits of the southern West-Siberian oil-and-gas-bearing basin]. *Interekspo GEO-Sibir. Mezhdunarodnaya nauchno-technicheskaya konferentsiya "Nedropolzovaniye. Gornoye delo. Napravleniya i tekhnologii poiska,razvedki i razrabotki mestorozhdeniy polezhnykh iskopaemykh. Economika. Geoekologiya". T. 1* [Interexpo GEO-Siberia. International Exhibition and Scientific Congress "Subsurface use. Mining. Trends and technologies of search, exploration and development of mineral deposits. Economics. *Geoecology".* Vol. 1]. Novosibirsk, SSUGT Publ., 2019, pp. 25–31. (In Russ.).

14. Pinus O.V., Legeza S.A. [Geological modeling technique for Yu_1 bed by the example of the Verkh-Tarsoye oil field]. *Tekhnoologiya TEK – FEC technology*, 2006, no. 5, pp. 12–18. (In Russ.).

15. Rozin A.A., Serdyuk Z.Ya. [Transformation of groundwater composition and rocks of West-Siberian Plate driven by deep carbon-dioxide gas]. *Litologiya*

i poleznye iskopaemye, 1970, no. 4, pp. 102–113. (In Russ.).

16. Rostovtseva Yu.V., Bing Xan. [Secondary alterations of the Vasyugan Formation deposits (Shinginskaya exploration target, Tomsk region)]. *Evolyutsiya osadochnykh protsessov v istorii Zemli. T. 1* [Evolution of sedimentary processes in the Earth's history. Vol. 1]. Moscow, Gubkin University of Oil and Gas Publ., 2015, pp. 290–293. (In Russ.).

17. Serdyuk Z.Ya., Erenburg B.G. [On the composition of secondary carbonates, developed in fractures and pores of the basement rocks and sedimentary cover of the Ob-Irtysh interfluve]. *Litologiya i geokhimiya mezozoyskikh otlozheniy Sibiri* [Lithology and geochemistry of Mesozoic deposits in Siberia]. Novosibirsk, SNIIGGiMS Publ., 1972, pp. 87–91. (In Russ.).

18. Balushkina N.S., Yurchenko A.Yu., Kalmykov G.A., et al. [Formation conditions and oil saturation of the Bazhenovka and Abalak Formations carbonate rocks]. *Neftyanoye khozyaistvo – Oil Industry*, 2016, no. 1, pp. 32–35. (In Russ.).

19. Fomin A.N. *Katagenez organicheskogo veshchestva i neftegazonosnost mezozoyskikh i paleo-zoyskikh otlozheniy Zapadno-Sibirskogo megabasseyna* [Catagenesis of organic matter and oil-and-gas deposits of the Mesozoic and Paleozoic, Western Siberian megabasin]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2011. 331 p. (In Russ.).

20. Novikov D.A., Shokhin A.E., Chernykh A.V., Dultsev F.F. [Patterns of chemical elements migration in ground waters of Yu1 horizon of the Verkh-Tarskoye oil field (south of Western Siberia)]. *Trudy Fersmanovskoi nauchnoi sessii GI KNTS RAN* [Proceedings of Fersman scientific session of KSS of RAS], 2019, no. 16, pp. 448–453. (In Russ.).

21. Shvartsev S.L. [Water interaction with aluminosilicate rocks]. *Geologiya i geofizika*, 1991, no. 12, pp. 16–50. (In Russ.).

22. Yurchenko A.Yu. Formirovaniye vtorichnykh karbonatnykh porod verkhneabalakskoy-bazhenovskoy tolshchi Salymskogo, Pravdinskogo i Malobalykskogo neftyanykh mestorozhdeniy Zapadnoy Sibiri. Avtoref. kand. dis. [Formation of secondary carbonate rocks of the Upper-Abalak-Bazhenov stratum of the Salymskoye, Pravdinskoye and Malobalykskoye oil fields of Western Siberia. Author's abstract of PhD thesis]. Moscow, MSU Publ., 2017. 22 p. (In Russ.).

23. Yan P.A., Khabarov E.M. [Well log data interpretation in palaeogeographic reconstructions (in the case of Bathonian – Upper Jurassic deposits of south of Western Siberia)]. *Geofizicheskiye tekhnologii – Russian Journal of Geophysical Technologies*, 2018, no. 4, pp. 27–38. (In Russ.).

24. Clark I. D., Fritz P. Environmental isotopes in hydrogeology. New York, CRC Press, 1997. 328 p.

25. Novikov D.A., Vakulenko L.G., Yan P.A., et al. Hydrogeochemistry of the authigenic mineral-forming processes (a case study of Oxfordian deposits in the Ob-Irtysh interfluve). *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, no. 1451(1), pp. 012016.

> © Л. Г. Вакуленко, О. Д. Николенко, Д. А. Новиков, П. А. Ян, 2020