ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЙ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ВТОРИЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КОЛЛЕКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ПЛИТЫ

REGULARITIES OF ACCOMMODATIONS OF MAIN TYPES OF SECONDARY CHANGES OF COLLECTORS IN THE TERRITORY OF THE WEST SIBERIAN PLATE

А. В. Поднебесных
Aleksandr V. Podnebesnykh

АО НПФ «Геофизика»,
Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

NPF «Geofizika» JSC,
Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

На сегодняшний день углеводородное сырье (УВ) играет важнейшую роль в экономике Российской Федерации. Данные Росстата показывают, что по итогам первых семи месяцев 2018 года на доходы от добычи УВ пришлось около 40 % от всей прибыли федерального бюджета, и в обозримом будущем эта цифра будет только увеличиваться. Однако в последние пятнадцать-двадцать лет в основных нефтегазовых провинциях, в том числе и в Западной Сибири, наблюдается стабильное снижение уровней добычи. Новыми возможностями для изменения сложившейся ситуации является вовлечение в процесс разработки залежей нефти и газа в малоизученных районах с высокой плотностью УВ. Такие объекты, как правило, характеризуются крайне сложным геологическим строением и наличием разных типов вторичных изменений пород-коллекторов. Несмотря на большое количество таких объектов, на данный момент отсутствует не только четкая классификация основных типов вторичных изменений, но и не определены закономерности их размещения и, как следствие, недостаточно проработаны методики поиска и разведки залежей такого типа. В данной работе сделана попытка обобщить обширный материал по изучению коллекторов с измененной структурой порового пространства и определить основные закономерности размещения основных типов вторичных изменений на территории Западно-Сибирской плиты.

To date, hydrocarbon raw materials play an important role in the economy of the Russian Federation. Federal state statistics service of Russia Federation data show that for the first seven months of 2018, revenues from hydrocarbon production accounted for about 40 % of all federal budget revenues, and this number will only increase in the near future. However, in the last fifteen to twenty years in the main oil and gas bearing provinces, including the Western Siberia, have seen a stable decrease in production levels. New opportunities to change the current trend is to involve in the process of developing oil and gas deposits in poorly studied areas with a high density of hydrocarbons. Such objects, as a rule, are characterized by an extremely complex geological structure and the presence of different types of secondary changes of rock-collectors. Despite the large number of such objects, at the moment there is not only a clear

Ключевые слова

вторичные изменения,
кern, цеолитизация,
карбонатизация, выщелачивание,
вторичное минералообразование,
седиментологическая модель,
Западная Сибирь

Key words

secondary changes, core,
zeolitization, carbonation,
leaching, secondary mineral
formation, sedimentological model,
Western Siberia

classification of the main types of secondary changes, but also the patterns of their location and, as a result, the methods of prospecting and exploration of deposits of this type are not sufficiently developed. In this paper there made an attempt for generalize the extensive material on the study of collectors with a modified pore space structure and to determine the main patterns of location of the main types of secondary changes on the territory of the West Siberian Plate.

Введение

Описание, микроскопические исследования шлифов, изучение минералогического состава и обобщение данных рентгеноструктурного анализа вторичных парагенезисов по более чем 75 поисково-оценочным и разведочным скважинам, пробуренным на территории Западной Сибири, позволили выделить четыре основных типа вторичных изменений пород-коллекторов, характерных для этой территории: цеолитизация, карбонатизация, выщелачивание и вторичное минералообразование. Для всех выделенных типов вторичных парагенезисов были определены площади их максимальных концентраций, наиболее благоприятные условия химизма среды, связь со структурными элементами и первичными условиями осадконакопления. Установлено, что вторичные парагенезисы развиты крайне неравномерно в осадочных породах Западно-

Сибирской плиты. В наиболее активных тектонических зонах они могут практически полностью изменять первичные вещественные и структурно-текстурные признаки осадочных пород, сильно затрудняя разработку этих объектов [1-4]. Поэтому точное определение площадей их максимальных концентраций является очень важной задачей, решаемой в ходе геологоразведочных работ.

Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов

По результатам выполненного рентгеноструктурного анализа минералы группы цеолитов представлены в основном ломонитом и томпсонитом, выполняющими роль порового и пойкилитового цемента и формирующими призматические кристаллы с совершенной спайностью, структура которых является переходной от субцепочечных алюмосиликатов к слоистым (рисунок 1).

Рисунок 1. Фотография распиленного керна с цеолитовым цементом (выделено пунктирной линией), Восточно-Мессояхское месторождение

Изучение минералогического состава показало, что среднее содержание цеолитов в цементе пород-коллекторов сильно меняется по разрезу и может достигать 40 % и тем самым оказывать достаточно серьезное влияние на определение показателей удельного электрического сопротивления, характера насыщения, качества призабойной зоны пласта и т.д.

Комплексирование результатов палеогеографического анализа, изучения кернового материала и особенностей осадконакопления в зонах с высокими концентрациями вторичных парагенезисов показало, что содержание цеолитов напрямую зависит от количества пустотного пространства в песчано-алевритовом каркасе коллекторов. Поэтому в коллекторах с высокими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) отмечаются повышенные содержания ломонтита и томпсонита.

Проведенные рентгеноструктурные исследования позволили установить, что основными разновидностями вторичных карбонатных минералов, встречающихся в осадочном комплексе севера Западно-Сибирской плиты, являются сидерит, доломит и кальцит. Гораздо реже в ассоциации с сидеритом и доломитом встречаются анкерит и магнезит (рисунок 2).

Концентрация карбонатных минералов сильно меняется в разрезе осадочного чехла Западно-Сибирской плиты. В среднем она составляет не более 5 % от общего объема минералов цемента, однако в тектонически активных районах эта цифра может достигать 30–35 %. Появление вторичных карбонатных парагенезисов сильно ухудшает ФЕС пород-коллекторов, а их содержание в значительной степени зависит от первичной сортировки и зернистости терригенного материала.

Установлено четкое зональное доминирование одних минералов группы карбонатов над другими: в коллекторах юрского возраста наблюдается явное преобладание сидерита, доломита и анкерита над кальцитом, а в отложениях мелового возраста, наоборот, наблюдается преимущественное распространение кальцита; а также прямая зависимость между объемом свободного пространства в песчано-алевритовом каркасе коллектора и объемом вторичных карбонатов.

В первую очередь, это связано с разным содержанием органического вещества в юрском и меловом осадочных комплексах Западно-Сибирской плиты, которое отражает способность продуцировать растворы кислого состава с $\text{pH} = 6,0\text{--}6,5$. Большое количество

Рисунок 2. Фотография распиленного керна со следами вторичной карбонатизации (выделено пунктирной линией), Новопортовское месторождение

углистого органического материала, характерного для юрского осадочного комплекса, формируется в наземных частях дельтовых комплексов, поймах, в отложениях болот и озёр, богатых железом и магнием [5, 6]. В дополнение к этому, в юрский осадочный комплекс по разломам из фундамента постоянно поступает подпитка в виде летучих компонентов CO_2 и SO_2 , которые увеличивают кислотность среды. Все это приводит к доминированию сидерита, доломита и анкерита над кальцитом. Отложения мелового возраста, напротив, формируются преимущественно в условиях подводных частей дельтового комплекса и в переходных прибрежно-морских обстановках осадконакопления, для которых характерно ограниченное содержание углистого вещества, железа и магния, что объясняет преобладание кальцита.

В тектонически активных зонах формируются обширные зоны уплотнения и разуплот-

нения, по которым начинают активно циркулировать высокотемпературные гидротермальные растворы. Это приводит к значительному улучшению фильтрационно-емкостных свойств коллектора за счет растворения зерен калиевого полевого шпата, кварца и плагиоклаза с образованием пустот, которые обычно заполняются глинистым или глинисто-карбонатным цементом.

В тектонически малоактивных зонах процессы изменения структуры порового пространства по большей части выражены в появлении альбитовой и каолининовой минерализации, существенно не влияющих на ФЕС. Для зон, подвергшихся процессам выщелачивания, характерно большое содержание кварца с регенерационной структурой, сформированного при перераспределении вещества под давлением (рисунок 3).

Рисунок 3. Зоны уплотнения и разуплотнения в коллекторах васюганской свиты

Проведенный анализ позволил установить, что процесс выщелачивания и вторичного минералообразования зависит от фильтрационно-емкостных свойств коллекторов лишь косвенно: наибольшие изменения испытывают отложения с наилучшей сортировкой обломочного материала, где в составе минерального скелета преобладают зерна кварца и плагиоклаза, которые в наибольшей степени подвергаются изменениям.

Условия образования вторичных минеральных парагенезисов

Образование минералов группы цеолитов происходит при замещении пирокластического материала в процессе выщелачивания, поэтому наличие кислых эффузивов является необходимым условием для формирования больших объемов ломонтита и томпсонита [7]. Площадное распространение пирокластического материала можно связать с условиями

осадконакопления, которые носили площадной характер. Вероятно, областями ограниченного распространения кислых эффузивов были границы развития дельтовых комплексов, которые одновременно являлись и транзитными зонами для его транспортировки.

Анализ минерального состава коллекторов, осложненных вторичными изменениями, показал, что процессы цеолитизации и карбонатизации значительно разнесены во времени. Прежде всего, это связано с насыщением гидротермальных растворов разными флюидами (SO_2 , CO_2 , F и др.), поступающими по корневому проницаемым разломам из пород фундамента. В случае если объемы поступающих флюидов ограничены и в составе коллекторов присутствует большое количество обломков эффузивов кислого состава, то в этом случае формируются цеолитовые минералы — ломонтит и томпонит. Если поступление флюидов ничем не ограничено, то за счет изменения химизма среды с щелочной на более кислую образуются карбонатные парагенезисы.

На формирование окончательного облика коллекторов в тектонически активных зонах большое влияние оказывает подток вещества по разломам, который генетически связан со стадиями седименто- и катагенеза. В зонах с активной тектонической обстановкой компоненты CO_2 и SO_2 , поступающие в продуктивные пласты, существенно понижают pH среды и повышают кислотность растворов. При изменении этих условий происходят регенерация зерен кварца, растворение калиевого полевого шпата и плагиоклаза, кристаллизация порового каолинита.

Закономерности размещения зон вторичных изменений пород-коллекторов

На территории Западно-Сибирской плиты можно выделить несколько территорий, характеризующихся максимальными концентрациями вторичных парагенезисов. Все они приурочены к тектонически активным зонам, где по результатам комплексного анализа волновой картины осадочного чехла [8] фиксируется большое количество дизъюнктивных нарушений, часть которых носит региональный характер. Для этих площадей характерно наибольшее разнообразие и концентрации разных типов вторичных парагенезисов, которые существенно уменьша-

ются при латеральном удалении от зон повышенной проницаемости [9].

В ходе региональных исследований выявлены две большие зоны развития цеолитовой минерализации: первая вытягивается полосой 15–30 км с юга на север, проходя через Хальмерпаютинское, Береговое, Пякяхинское, Южно-Мессояхское месторождения и между Мессояхским и Малохетским валами, а вторая отмечается в пределах Восточно-Уренгойского, Яро-Яхинского, Русского и Заполярного месторождений (рисунок 4).

На территории севера Западно-Сибирской плиты можно выделить две субширотные площади, для которых установлены максимальные концентрации продуктов вторичной карбонатизации. Первая, северная, площадь протягивается от Восточно-Мессояхского через Западно- и Южно-Мессояхскую площади, Находкинское, Южно-Парусовое, затрагивая только северную часть Ямбургского и ограничиваясь площадью Новопортовского месторождения (рисунок 5). Вторая, южная, площадь имеет значительно меньшие размеры и оконтуривает Новогоднее, Стахановское и Чатылькинское месторождения (рисунок 6).

Максимальные концентрации продуктов выщелачивания зафиксированы на юге Каймысовского свода, площадь которого относится к тектонически активным зонам. В этом районе выявлено большое количество малоамплитудных тектонических движений, а следы процессов выщелачивания отмечены на Западно-Карайском, Карайском, Игольско-Таловом, Крапивинском, Тагайском, Двуреченском, Западно-Карасевском и Западно-Лугинецком месторождениях (рисунок 7).

Продукты процессов вторичного минералообразования встречаются практически на всех стратиграфических уровнях осадочного чехла Западно-Сибирской плиты. Региональные исследования показали, что зоны максимальных содержаний вторичной минерализации относятся к тектонически малоактивным зонам. Пространственно они связаны с зонами повышенных концентраций процессов карбонатизации, протягиваясь субмеридиональной зоной от Холмогорского, через Карановское, Спорышевское, Муравленковское, Умсейское до Северо-Янгтинского месторождения (рисунок 8).

Рисунок 4. Зона развития процессов цеолитизации на территории севера Западно-Сибирской плиты

Рисунок 5. Зона развития процессов карбонатизации на территории севера Западно-Сибирской плиты

Рисунок 6. Зона развития процессов карбонатизации на территории севера Западно-Сибирской плиты

Рисунок 7. Зона развития процессов выщелачивания на территории Западно-Сибирской плиты

Рисунок 8. Зона развития процессов вторичного минералообразования на территории Западно-Сибирской плиты

Выводы

Комплексное изучение данных палеогеографического и седиментологического анализа, макро- и микроскопическое исследование керновых данных и результатов рентгеноструктурного анализа позволили выделить и закартировать зоны повышенных концентраций основных типов вторичных изменений пород-коллекторов на территории Западно-

Сибирской плиты. По результатам исследований установлено, что максимальные концентрации вторичных парагенезисов носят, как правило, площадной характер, а их максимальные содержания четко приурочены к тектонически активным блокам земной коры и областям с наилучшими фильтрационно-емкостными свойствами.

СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хаин В.Е. Цикличность геодинамических процессов: ее возможная природа. М.: Научный мир, 2009. 520 с.
2. Ярмолюк В.В. Ранние стадии формирования Палеоазиатского океана: результаты геохронологиче-

ских, изотопных и геохимических исследований поздне-рифейских и венд-кембрийских комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса // Доклады АН. 2006. Т. 410. № 5. С. 657–662.

3. Golonka, J. Global Plate Tectonics and Paleogeography of Southeast Asia. Poland, Krakow,

Arkadia, AGH University of Science and Technology, 2006. 128 p.

4. Поднеbesных А.В. Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 400. С. 393–403.

5. Поднеbesных А.В. Главные факторы, контролирующие распределение основных типов пород-коллекторов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ / Тюменский индустриальный университет (ТИУ). 2017. № 5. С. 44–47.

6. Коробов А.Д. Минеральные ассоциации продуктов гидротермального изменения — ключ к пониманию возникновения зон разуплотнения и фазовой зональности углеводородов (на примере Западной Сибири) // Известия Саратовского университета. 2008. Т. 8. Вып. 1. С. 42–50.

7. Поднеbesных А.В. Проблемы диагностики цеолитов и влияние их наличия на разработку продуктивных отложений Мессояхской группы месторождений // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 324. № 1. С. 137–145.

8. Hearst J.R. *Well Logging for Physical Properties*. England, Chichester, J. Wiley & Sons, Ltd., 2002. 483 p.

9. Поднеbesных А.В. Основные типы вторичных изменений пород-коллекторов на территории Западно-Сибирской плиты // Известия вузов. Нефть и газ. 2015. № 2. С. 26–30.

REFERENCES

1. Khain V.E. *Tsiklichnost' geodinamicheskikh protsessov: ee vozmozhnaya priroda* [Cycles in Geodynamic Processes: Their Possible Nature]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2009. 520 p. [in Russian].

2. Yarmolyuk V.V. Rannie stadii formirovaniya Paleoaziatskogo okeana: rezul'taty geokhronologicheskikh, izotopnykh i geokhimicheskikh issledovaniy pozdnereifeiskikh i vend-kembriiskikh kompleksov Tsentral'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa [Early Stages of the Paleasian Ocean Formation: Results of Geochronological, Isotopic, and Geochemical Investigations of Late Riphean and Vendian-Cambrian Complexes in the Central Asian Foldbelt]. *Doklady AN — Doklady Akademii nauk*, 2006, Vol. 410, No. 5, pp. 657–662. [in Russian].

3. Golonka J. *Global Plate Tectonics and Paleogeography of Southeast Asia*. Poland, Krakow, Arkadia, AGH University of Science and Technology, 2006. 128 p.

4. Podnebesnykh A.V. Osnovnye tipy vtorichnykh izmenenii porod-kollektorov osadochnogo chekhla Zapadno-Sibirskoi plity [The Main Types of Secondary Alteration of Rocks of the Sedimentary Cover of the West Siberian Plate]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta — Tomsk State University Journal*, 2015, No. 400, pp. 393–403. [in Russian].

5. Podnebesnykh A.V. Glavnye faktory, kontrolirovushchie raspredelenie osnovnykh tipov porod-kollektorov [Main Factors That Control the Distribution of the Basic Types of Secondary Changes of Reservoir Rocks]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz — Oil and Gas Studies*, 2017, No. 5, pp. 44–47. [in Russian].

6. Korobov A.D. Mineral'nye assotsiatsii produktov gidrotermal'nogo izmeneniya — klyuch k ponimaniyu vznikeniya zon razuplotneniya i fazovoi zonal'nosti uglevodorodov (na primere Zapadnoi Sibiri) [Mineral Association of Products of Hydrothermal Changing — Key to the Understanding of Origin of Loose Zones and Phase Zonation of Hydrocarbons (on the Example of West Siberia)]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta — Izvestiya of Saratov University*, 2008, Vol. 8, Issue 1, pp. 42–50. [in Russian].

7. Podnebesnykh A.V. Problemy diagnostiki tseolitov i vliyanie ikh nalichiya na razrabotku produktivnykh otlozhenii Messoyakhskoi gruppy mestorozhdenii [The Problems of Zeolites Detection and Their Influence on Development of the Productive Reservoirs in the Messoyakha Group of Fields]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta — Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, Vol. 324, No. 1, pp. 137–145. [in Russian].

8. Hearst J.R. *Well Logging for Physical Properties*. England, Chichester, J. Wiley & Sons, Ltd., 2002. 483 p.

9. Podnebesnykh A.V. Osnovnye tipy vtorichnykh izmenenii porod-kollektorov na territorii Zapadno-Sibirskoi plity [The Main Types of Secondary Alteration of Rocks of the Sedimentary Cover of the West Siberian Plate]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz — Oil and Gas Studies*, 2015, No. 2, pp. 26–30. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ ABOUT THE AUTHOR

Поднеbesных Александр Владимирович, канд. геол.-минерал. наук, научный сотрудник АО «НПФ «Геофизика», докторант УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Aleksandr V. Podnebesnykh, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Researcher of NPF «Geofizika» JSC, Doctoral Candidate of USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: PodnebesnykhAV@mail.ru