УДК 553.98

ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЛАНЦЕВЫХ ТОЛЩ ЛОН МАЩИ В КИТАЕ

LITHOLOGO-FACIAL CHARACTERISTICS OF THE SHALE SEQUENCES OF LON MASCHY IN CHINA

Аюпова Елена Николаевна
старший преподаватель кафедры
геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
vezyviana@rambler.ru

Гарайшин Айгиз Ильмирович
студент кафедры геологии и разведки нефтяных и
газовых месторождений,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
aigiz-garaishin@mail.ru

Ayupova Elena Nikolaevna
Senior Teacher of department of Geology
and investigation of oil and gas fields,
Ufa state oil technical university
vezyviana@rambler.ru

Garayshin Aygiz Ilmirovich
student of department of Geology
and investigation of oil and gas fields,
Ufa state oil technical university
aigiz-garaishin@mail.ru

Аннотация. Проблема разведки и разработки сланцевого газа находится в центре внимания мировой энергии. В связи с быстрым развитием национальной экономики Китая, спрос на энергетические ресурсы в стране продолжает расти, а возможности ее запасов ограничены. Разведка и разработка залежей сланцевого газа может эффективно облегчить противоречие между спросом и предложением нефти и газа, оптимизировать энергетическую структуру, восполнить необходимую потребность. Поэтому, изучение проблемы генерации, локализации и добычи сланцевого газа в бассейне «Сычуань» области Вэй юань является актуальной и востребованной темой сейчас и в ближайшем будущем.

В данной статье рассматривается область Вэй юань бассейна Сычуань в Китае. В процессе исследования были рассмотрены данные геофизических исследований скважин, данные каротажа, результаты интерпретации комплексной оценки коллекторов сланцевого газа, отчеты и литература по сланцевому газу бассейна Сычуань, данные отбора керна, схемы, структурные карты, шлифы по отбору керна, геологические профили, диаграммы, графики зависимостей.

Поисково-разведочные работы на территории Вэй юань проводятся впервые. Это связи с быстрым развитием национальной экономики Китая. Спрос на энергетические ресурсы в стране продолжает расти, а возможности ее запасов ограничены. Разведка и разработка залежей сланцевого газа может эффективно облегчить противоречие между спросом и предложением нефти и газа, оптимизировать энергетическую структуру. Поэтому, изучение проблемы генерации, локализации и добычи сланцевого газа в бассейне «Сычуань» является актуальным и востребованным сейчас и в ближайшем будущем.

Ключевые слова: пласт, скважина, сланцевый газ, бассейн Сычуань, содержание органических веществ, спикулы губок.

Annotation. The problem of exploration and development of shale gas is in the focus of world energy. In connection with the rapid development of China's national economy, the demand for energy resources in the country continues to grow, and the capacity of its reserves is limited. Exploration and development of shale gas deposits can effectively alleviate the contradiction between the demand and supply of oil and gas, optimize the energy structure, fill the necessary need. Therefore, the study of the generation, localization and production of shale gas in the Sichuan Basin of the Wei Yuan area is an urgent and relevant topic now and in the near future.

This article examines the Wei Yuan area of the Sichuan basin in China. In the course of the study, well log data, log data, interpretation results of the integrated assessment of shale gas reservoirs, reports and literature on shale gas from the Sichuan basin, core sampling data, charts, structural maps, core selection sections, geological profiles, graphs, graphs Dependencies.

Exploration work in the Wei Yuan territory is being conducted for the first time. This is the connection with the rapid development of China's national economy. Demand for energy resources in the country continues to grow, and the capacity of its reserves is limited. Exploration and development of shale gas deposits can effectively alleviate the contradiction between the demand and supply of oil and gas, and optimize the energy structure. Therefore, the study of the problem of generation, localization and production of shale gas in the Sichuan Basin is urgent and in demand now and in the near future.

Keywords: Reservoir, well, shale gas, Sichuan basin, organic matter content, sponge spicules.

Актуальность. Сланцевый газ в Китае является одним из видов нетрадиционных ресурсов свободных углеводородов. Он характеризуется широким развитием в нефтегазоносных бассейнах Китая, где обнаружены мощные толщины углеродистых сланцев в кембрийском, ордовикском, силурийском периодах.

В связи с быстрым развитием национальной экономики Китая, спрос на энергетические ресурсы в стране продолжает расти, а возможности ее запасов ограничены. Разведка и разработка залежей сланцевого газа может эффективно облегчить противоречие между спросом и предложением нефти и газа, оптимизировать энергетическую структуру, восполнить необходимую потребность. Поэтому, изучение проблемы генерации, локализации и добычи сланцевого газа в бассейне «Сычуань» области Вэй юань является актуальным и востребованным сейчас и в ближайшем будущем.

В последние годы многие китайские ученые отмечают особенность механизма накопления и распределения сланцевого газа. Это возможно вследствие того, что в основном сланцевый газ проявляется в адсорбированном или свободном состоянии, а также в процессе накопления.

Район исследований расположен в провинции Сычуань на территории Вэй юань, Жун Сиань. Район исследований является ключевым национальным районом сланцевого газа, общей площадью около 8940 км^2. Структура Вэй юань относиться к среднему поднятию Сычуань на юго-западе складчатого пояса. Эта структура находится среди структур: Вэй юань, Цзы Люцзин, Хин Лончанг, Линг Иньс, Шэн Дэншань структур и других (рис. 1)

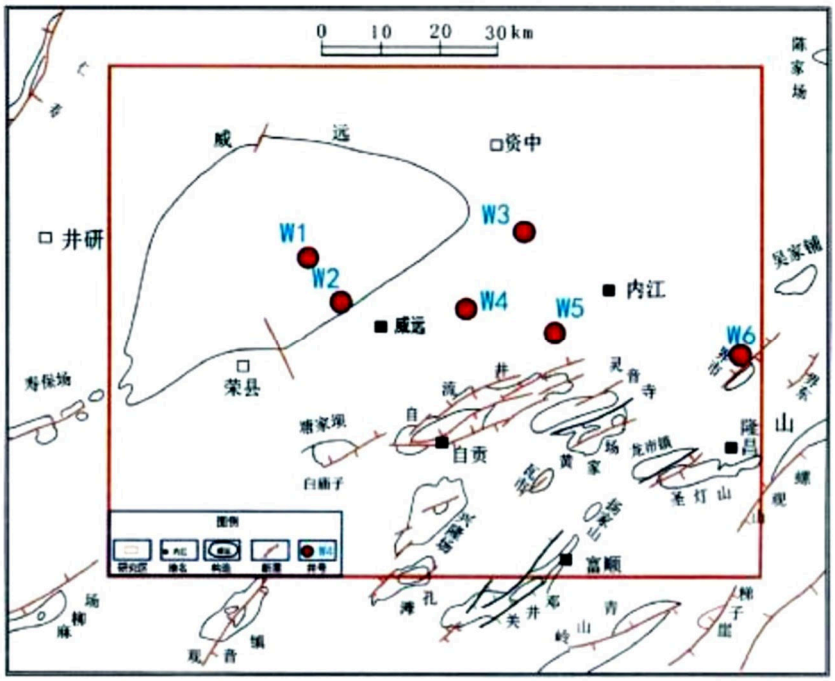

Рисунок 1 – Схематическое изображение исследуемой области Вэй юань. Номера скважин – W1, W2, W3, W4, W5

В данной работе на основании исследований, керна, данных каротажа, сейсмических данных, выделяет литологические толщи Лон Мащи, которые делятся на Лон 1 и Лон 2. В свою очередь Лон 1 ещё делится на 5 литологических слоёв (табл. 1).

Таблица 1 – Стратиграфическое деление

Группа(толща)	Часть(пласт)	слои (подотрезок)
Лян Шань/ Ши Нюлан		
Лон Мащи	Лон 2	
	Лон 1	5 слой (подотрезок)
		4 слой (подотрезок)
		3 слой (подотрезок)
		2 слой (подотрезок)
		1 слой (подотрезок)
Ву Фэн		

Стратиграфическое разделение Лон 1 и Лон 2 представлено следующим составом:

● Толща Лон Мащи представлена Силурийской системой (S), нижним отделом S1 лландоверийским ярусом.

● Пласт Лон 2 сложен светло-зелеными серыми аргиллитами (сланцы), которые чередуются пылеватыми аргиллитами. В керне видны кремнистые и известковые биологические обломки (рис. 2).

● Пласт Лон 1 выражен литологически черными, темно-серыми сланцами, илистыми сланцами, алевролитами и глинистыми алевролитами. В керне содержатся большое количество окаменелостей граптолитов, а также кремнистые и известковые биологические обломки (рис. 3).

Рисунок 2 – Скважина W1, Лон 2, керн представленный серо-зелеными сланцами

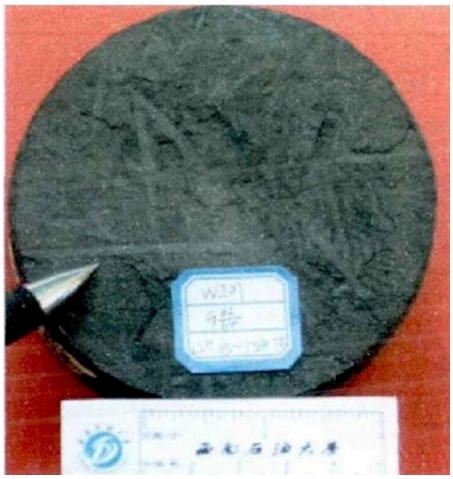

Рисунок 3 – Скважина W1, Лон 1, керн представленный черными граптолитовыми сланцами

Стратиграфическое подразделение пласта Лон 1 на 5 литологических слоев. Полностью разрез Лон 1 по керну представлен в скважине W1. На основании полученного керна Лон 1 разделен на пять слоёв.

Каждый слой характеризуется следующим составом:

– 5 слой: мощность 36,53 м. Слой сложен зеленовато-серыми сланцами, темными сланцами, образовавшимися из илистых осадков содержащими алеврит, содержание которого увеличивается ближе к 4 слою (рис. 4, 5).

Рисунок 4 – Скважина W1, 5 слой, сланцевый керн с деформацией

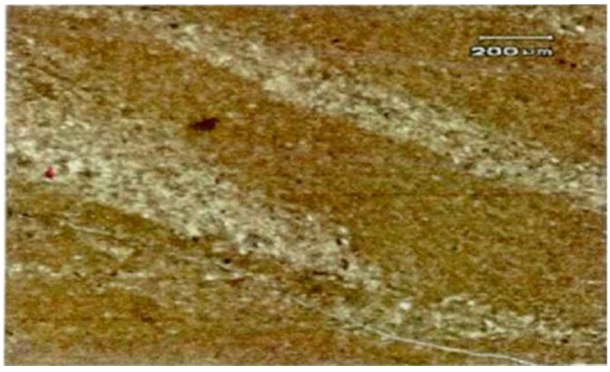

Рисунок 5 – Скважина W1, 5 слой, илистый сланцевый шлиф

– 4 слой: мощность 33,98 м. Слой сложен зеленовато-серыми сланцами, содержащими мелкий песок, алеврит, игольчатые слюды и редкими окаменелостями (рис. 6).

– 3 слой: мощность 30,83 м. Слой 3 представлен темно-серыми, серыми сланцами, глинистыми алевролитами. В верхней части сланцы содержат менее 10 % алеврита, который состоит в основном из кварца, слюды, доломита, кальцита, кремнистых радиолярий, пирита, изредка известковых панцирей мелких организмов (рис. 7).

– 2 слой: мощность 25,15 м. Слой представлен темно-серыми, черными сланцами, кремнистыми сланцами, карбонатными породами, органогенным сланцем, с глинистым известняком. Под микроскопом видно наличие кремнистых радиоляриев. В слое присутствует бентониты (глинистые минералы) и иногда трещины полностью заполнены кальцитом (рис. 8, 9, 10).

Рисунок 6 – Скважина W1, 4 слой, керн серо-зеленый сланец

Рисунок 7 – Скважина W1, 3 слой, керн темно-серого сланца

Рисунок 8 – Скважина W1, 2 слой, керн граптолитового сланца

Рисунок 9 – Скважина W1, 2 слой, трещины заполненные кальцитом

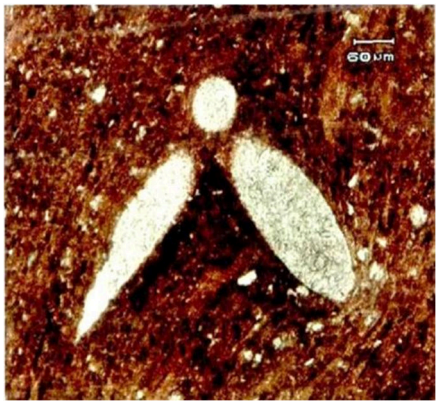

Рисунок 10 – Скважина W1, 2 слой, две кремнистые спикулы губок

– 1 слой: мощность 20,09 м. Слой 1 представлен темно-серым и черным песчанистым материалом, сланцами, глинистыми породами, карбонатами, аргиллитами. Частично можно увидеть пирит со сланцевой структурой. Алеврит главным образом сложен кальцитом, доломитом, кварцем, слюды, а также глины. Развиты граптолиты в большом количестве, но их распределение неравномерно. Кремнистые организмы (спикулы губок) и известковые организмы видны микроскопически (рис. 11, 12).

В области Вэй юань представленные залежи сланцевого газа находятся в интервале глубин 2000–5000 м. Объем между глубинами 2000–4000 м площади равен 4811,3 км^2. Скважины W4, W5, W6 в пределах 3500–4000 м диапазоне глубин, глубины скважин мало изменены. Скважины W1, W2, W3 на глубине 3500 м изменяются в широких пределах. Максимальная глубина залежей в южном регионе, минимальная глубина зоны исследуемого района вблизи эрозионной области, расположенной в скважине области W1. Область Вэй юань расположена на древнем поднятии, и глубина увеличивается на юго-восток (рис. 13) [5].

Рисунок 11 – Скважина W1, 1 слой, керн сланца с пиритом

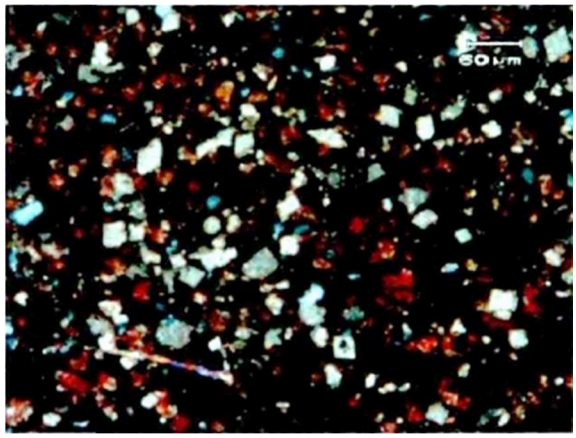

Рисунок 12 – Скважина W1, 1 слой, сланец с илистыми частицами, в основном, кальцит, доломит, кварц

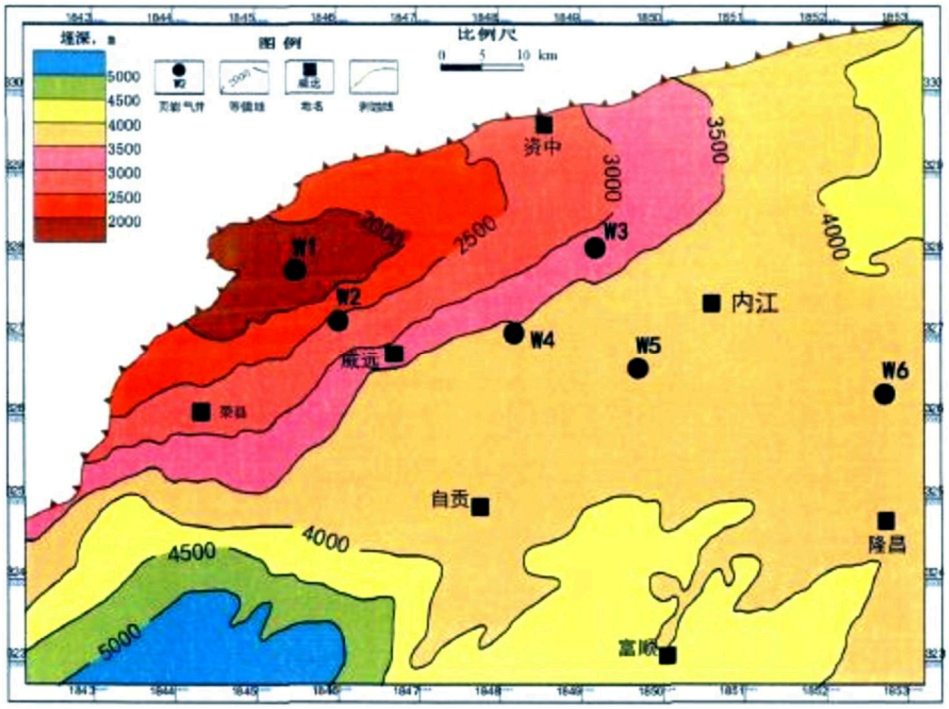

Рисунок 13 – Глубинные контуры карты в области Вэй юань группа Лон Мащи

В области Вэй юань в группе Лон Мащи в 6 скважинах на сланцевые породы анализ разделения (в основном в слое 1, 2) показал, что в Лон 1 (слои 1 и 2) в минеральном составе преобладают кварц, а затем глинистых минералов, содержат кальцит, доломит, пирит и другие минералы. Среди них, среднее содержание кварца составляет около 44,99 %. Содержание кварца и кварцевого песка, карбоната, глин расчитывается индекс минералов хрупкости от отношения к общему содержанию минералов. Слой 1 и слой 2 индекс хрупкости около 45 %, в среднем 28,35 % глинистых минералов, в среднем 10,71 % кальцит, в среднем 7,72 % доломит, в среднем 2,87 % пирита. В целом, Лон 1 (1 и 2 слой) анализ под микроскопом показывает, что содержание кварца по разрезу снизу вверх мало изменяется, а вот содержание биогенного кремнезема повышается, также повышается наличие глинистого минерала. В 1-ом слое содержание карбонатных минералов увеличивается по разрезу вверх, во 2-ом слое карбонатные минеральные вещества уменьшаются (рис. 14) [6].

Область Вэй юань группа Лон Мащи Лон 1 (1 слой), среднее содержание кварц по скважинам 35,70–53,65 %, глинистых минералов 18,19–33,70 %, кальцита 8,31–17,51 %, доломита 6,87–23,35 % (рис. 15). Содержание хрупких минеральных веществ, низкое содержание глины способствует положительной добычи сланцевого, где в основном слой представлен биогенными кремнистыми веществами, видны кремнистые спикулы, некоторые кремнистые спикулы замещены кальцием. Кальцит органического вещества также является одной из причин высокого содержания ТОС, почти не содержащий или содержащий очень небольшое количество терригенного кварца, это подтверждает, что залежь образовывалась в глубоком водоеме.

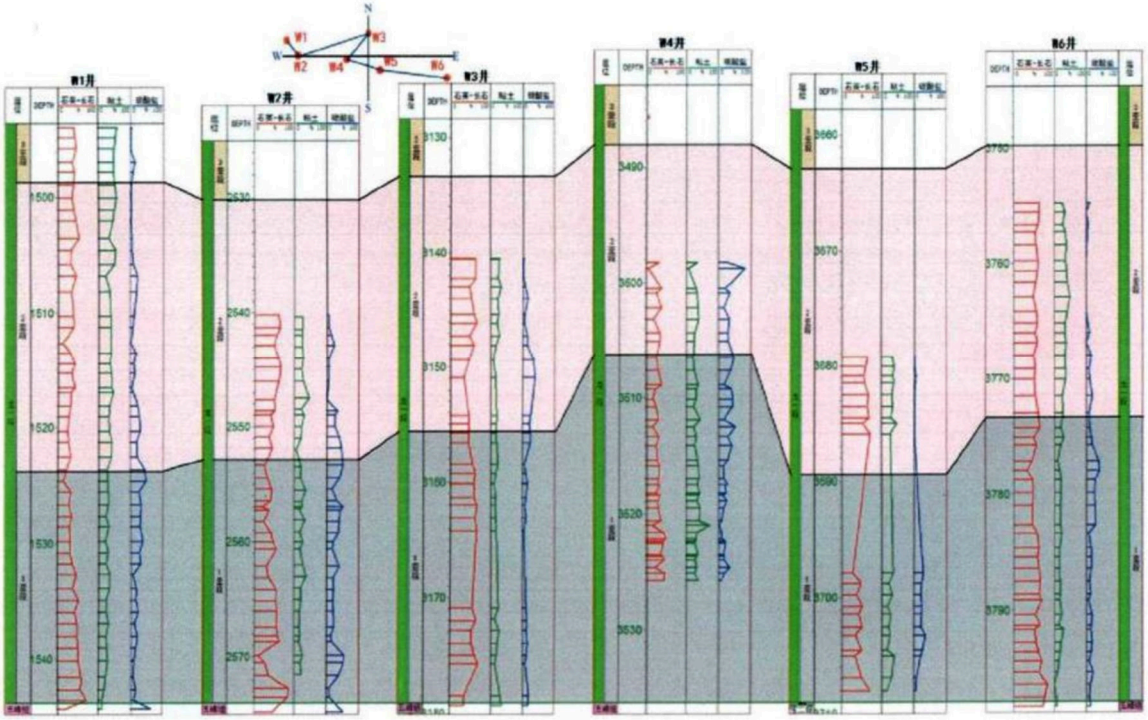

Рисунок 14 – Область Вэй юань скважины W1-W2-W3-W4-W5-W6 Лон 1 (1слой и 2 слой)

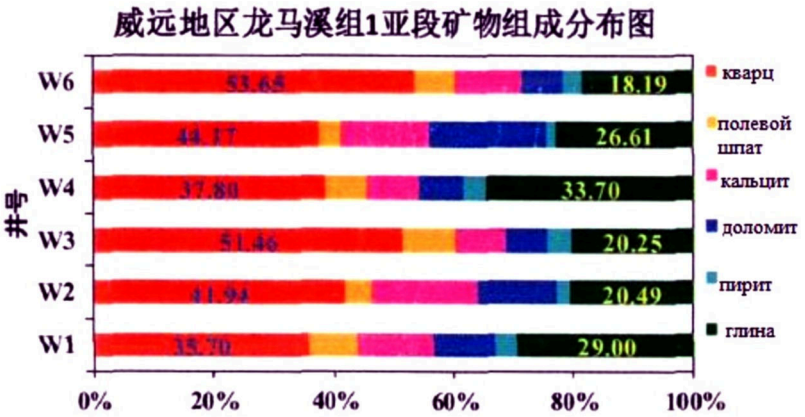

Рисунок 15 – Область Вэй юань. Распределение минерального состава в слое 1 Лон 1

В области Вэй юань группе Лон Мащи Лон 1 во втором слое глинистые и карбонатные минералы увеличились по сравнению с первым слоем (рис. 16–17). Состав кварца составил 33,20–57,03 %, глинистых минералов 22,91–41,50 %, уменьшилось содержание карбонатных минералов.

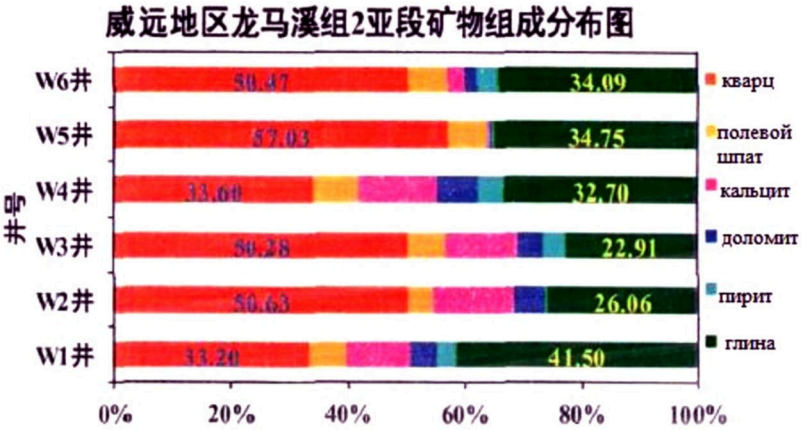

Рисунок 16 – Область Вэй юань 2 слой, распределение минерального состава

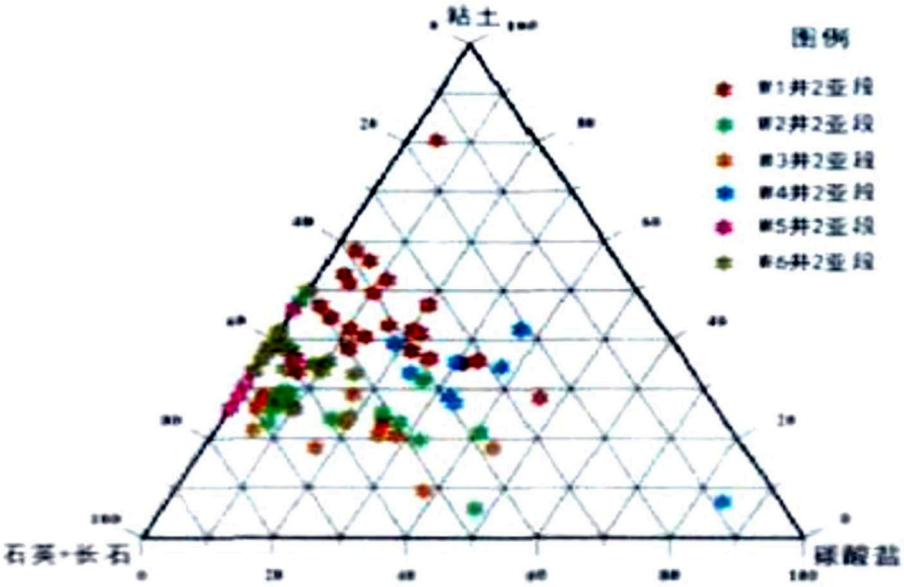

Рисунок 17 – Область Вэй юань 2 слой, треугольник минерального состава

С помощью количественного анализа выяснили, что глинистый минерал (рис. 18) , в первом слое и во втором состоит из иллита.

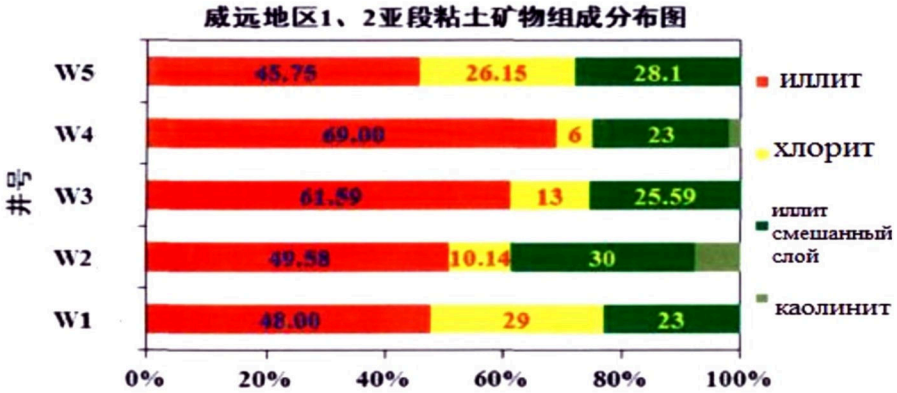

Рисунок 18 – Область Вэй юань 1 слой и 2 слой распределение глинистого минерального состава

Сланец как особый тип нетрадиционных пластов имеет пористость. В группе Лон Мащи сланцевый газ с аналогичными характеристиками.

Матрица пористости:

1. Межкристаллическая пористость

Межкристаллические поры очень хорошо связаны и представляют собой эффективную систему пор. Пористость сланцев изменяется с глубиной, изменения связаны с увеличением давления и диагенетическими изменениями. Более древние и глубокие сланцы, путем уплотнения и цементации сокращается. Межкристаллические пустоты хрупкие. Обычно межкристаллические поры находится между частицами глины и органических веществ, хрупкие частицы включают кварц, полевой шпат и пирит. Во время диагенеза, частицы могут исказить межкристаллическое поровое пространство, а затем сжать поры.

По группе Лон Мащи в W4 скважине образцы сланцев делают с помощью аргоновой полировки и исследуют с помощью сканирующего электронного микроскопа. В них можно наблюдать межзерновые поры (рис. 19–22). Межкристаллические поры имеют треугольную форму, линии в форме полумесяца и так далее. В сланце мелкие минеральные частицы с относительно крупными частицами часто сцементированы органическим веществом. Между жесткими частицами кварца, полевого шпата, кальцита и глинистых минералов образуются межгранульные поры.

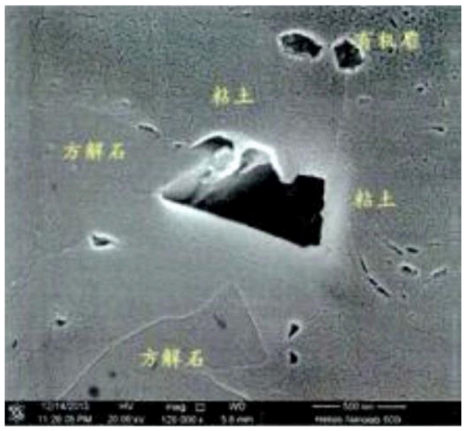

Рисунок 19 – W4, первый слой,
поры между кальцитом и глинистым материалом

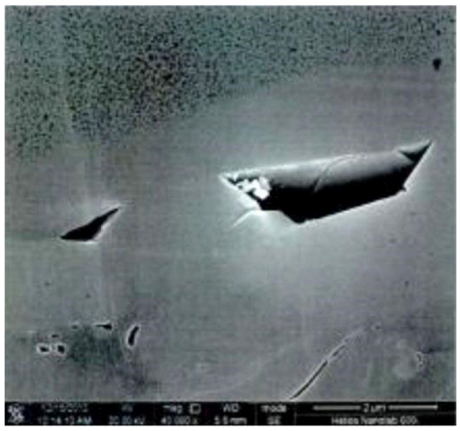

Рисунок 20 – W4, первый слой,
межкристаллитная пористость

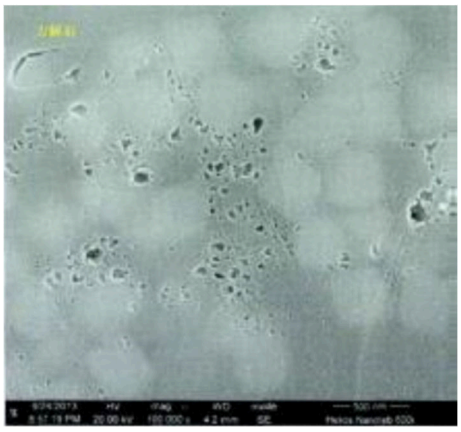

Рисунок 21 – W4, первый слой,
поры между твердыми минералами

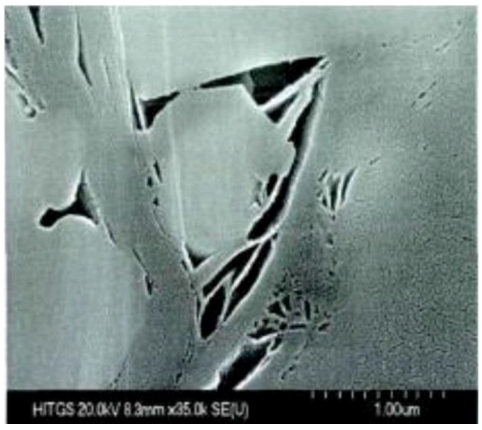

Рисунок 22 – W4, 1 слой,
поры между твердыми минералами

2. Внутригранулярная пористость

Она формируется одновременно с образованием осадка.

В скважине W4 более древние пласты редко встречаются с внутригранулярной пористостью. Чаще данная пористость развивается в пирите и глине. Еще такая пористость характерна кальциту, полевому шпату, доломиту (рис. 23–26).

Рисунок 23 – W4, 1 слой, поры в кальците

Рисунок 24 – Поры в глине

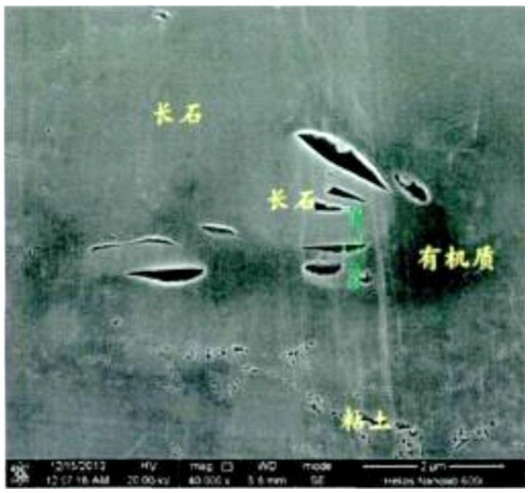

Рисунок 25 – W4, 1 слой, поры полевого шпата

Рисунок 26 – W4, 1 слой, поры пирита

3. Органические поры

В процессе развития органического вещества, в них, часто встречаются микропоры различных форм, имеющие неправильную форму, пузыри, эллиптическую форму. Длина их от 5 нм до 750 нм. С помощью сканирующего электронного микроскопа, органические отверстия были изучены трехмерно. Органическое поры, при высокой температуре будут уменьшаются, и происходит процесс графитизации.

В скважине W4 органические поры имеют форму: круга, соты, треугольника. Если органические вещества смешиваются с глиной и с другими породами то образуются микротрещины (рис. 27–30).

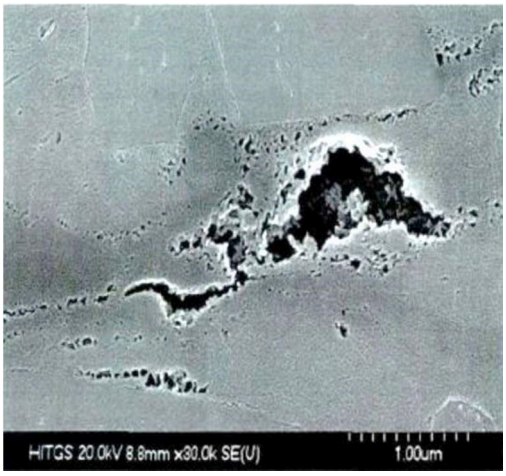

Рисунок 27 – W4, 1 слой, органические поры (TOC: 2,44 %, пористость: 6,73 %)

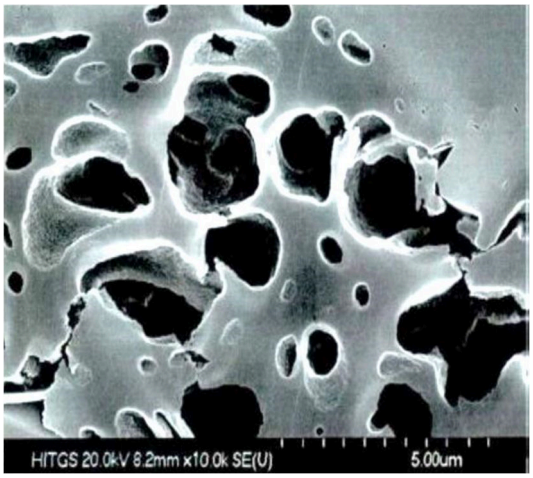

Рисунок 29 – W4, 1 слой, органические поры (TOC: 2,93 %, пористость: 6,8 %)

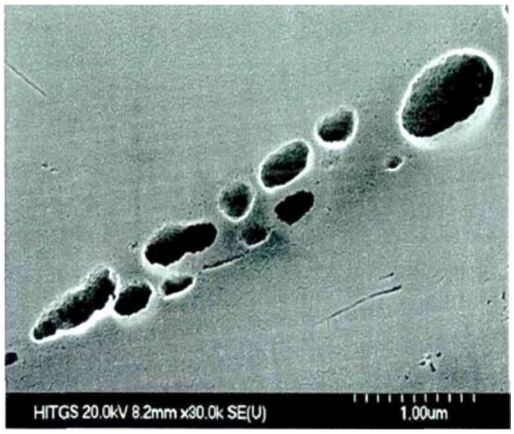

Рисунок 28 – W4, 1 слой, органические поры (TOC: 2,95 %, пористость: 8,52 %)

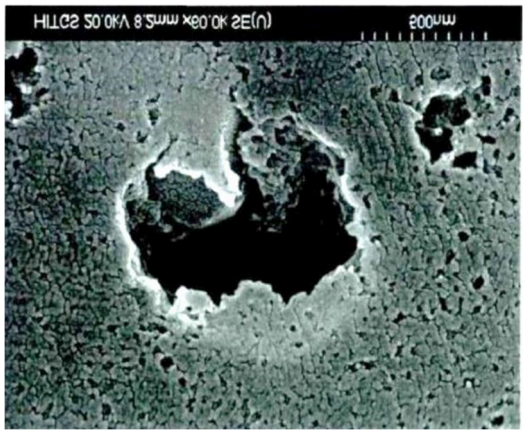

Рисунок 30 – W4, 1 слой, органические поры (TOC: 4,33 %, пористость: 8,59 %)

Статистические данные показали, что поры органичные по скважине уменьшаются, а межкристаллическая и внутригранулярная пористость увеличивается. В среднем органическое поры – 51 %, межзерновые поры в среднем 35,6 %, внутригранулярные поры в среднем 13,4 %. Поэтому скважина W4 в группе Лон Мащи темные сланцы с органической системой пор. Органические поры достигают размеры 0–300 нм, внутригранулярные поры размеры между 0–900 нм, межзерновые поры 0–1400 нм.

Рисунок 31 – Распределение типов сланцевых пор

Выводы

При анализе данных области Вэй юань были получены следующие выводы:

1. На основании исследований данных керна, шлифов, данных каротажа, сейсмических данных, выделили литологические толщи Лон Мащи, которые делятся на Лон 1 и Лон 2. В свою очередь Лон 1 ещё делится на 5 литологических слоёв.

По составу 1 и 2 слои сложен кремнистыми и известковыми органическими веществами. Слои 3, 4 и 5 в основном сложены терригенными породами с кварцем. По своему составу 1 и 2 слои более перспективны для добычи сланцевого газа. Установлено, что мощность пласта Лон 2 увеличивается в юго-восточном направлении. Мощность всего пласта Лон 1 и мощность каждого его стратиграфического слоя мало изменяется по протяженности.

2. По всему разрезу преобладает I тип керогена, который состоит, из водорослей и аморфного керогена. Наличие органических веществ в основном, достигших высокой степени тепловой эволюции и наивысшую стадию зрелости, подтверждает хорошую перспективу для добычи сланцевого газа в 1 и 2 слоях.

3. Определили, что в группе сланцевых залежей Лон Мащи низкая пористость и низкая проницаемость сланцев. Сланцы группы Лон Мащи имеют в основном систему органических пор, в которых накапливается сланцевый газ. По залежам группы Лон Мащи рекомендуется 1 и 2 слои для организации детальных поисково-разведочных работ и последующей добычи сланцевого газа.

Литература:

1. Мао Цюн. Динамическая эволюция и изучения нефтегазовой перспективы в Сычуань бассейна // Геонаука природного газа. – 2006. – 265 с.
2. Сюй Шичи. Характеристики и законы накопления нефти и газа синийской эры в Сычуань бассейне // Разведка и разработка газа. – 2002. – 187с.
3. Чжан Цзиньчуан. Сланцевый газ и его механизм накопления // Современная геология. – 2004. – 746 с.
4. Чжан Тиншань. Силурийский тип-III кероген и его геологическое значение Сычуань бассейна // Палеогеография. – 1998. – 282 с.
5. Шанделгелд С.Х., Амвросий Р. Микроструктурные исследования месторождений сланцевого газа. – М. : ОИН нетрадиционный газ, 2010.
6. Касис С.М., Шандегед С.Х. Исследование проницаемости сланцев. – М. : Международная нефтегазовая конференция и выставка в Китае, 2010.
7. Сон Зэчжан. Геологические условия формирования и сохранения залежей сланцевого газа в континентальных отложениях региона в Бассейне Ордос. – 2015. – 142 с.
8. Warlick D. Gas shale and CBM development in North America // Oil & GasFinancial Journal. – 2006. – № 3(11). – P. 4–9.

References:

1. Mao Qiong. Dynamic evolution and study of oil and gas prospects in Sichuan Basin // Geosciences of natural gas. – 2006. – 265 p.
2. Xu Shichi. Characteristics and laws of the accumulation of oil and gas blue of the era in the Sichuan basin // Exploration and development of gas. – 2002. – 187 p.

3. Zhang Jinchuan. Shale gas and its accumulation mechanism // Modern Geology. – 2004. – 746 p.
4. Zhang Tingshan. Silurian type-ferrogen and its geological significance Sichuan basin // Paleogeography. – 1998. – 282 p.
5. Shandelgeld S.Kh., Amvrosiy R. Microstructural studies of shale gas deposits. – M. : SPE unconventional gas, 2010.
6. Kasis S.M., Shandeded S.Kh. Study of shale permeability. – M. : International Oil and Gas Conference and Exhibition in China, 2010.
7. Son Zehzhan. Geological conditions for the formation and conservation of shale gas deposits in the continental deposits of the region in the Ordos Basin. – 2015. – 142 p.
8. Warlick D. Gas shale and CBM development in North America // Oil & GasFinancial Journal. – 2006. – № 3(11). – P. 4–9.