

DOI 10.21672/2077-6322-2021-81-2-031-041

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
КУПОЛОВИДНЫХ ПОДНЯТИЙ ТАРИМСКОГО
ОСАДОЧНОГО БАССЕЙНА**

Глебова Любовь Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, ул. Воробьевы горы, 1, lvglebova@mail.ru

Чи Цинюань, магистрант, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация, 119234, г. Москва, ул. Воробьевы горы, 1, 1694697482@qq.com

Серебряков Андрей Олегович, доцент, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, Geologi2007@yandex.ru

Региональная геологическая изученность Таримского осадочного бассейна, расположенного в тектонической зоне разлома Донхэтанга, представляет национальный интерес. Таримский осадочный бассейн представляет собой сверхглубокий и сложный бассейн. Ряд антиклинальных структур приурочены к центральной части поднятия Табей. В строении тектонического пояса принимают участие два инверсионных разлома, с образованием структурного носа. Куполовидные поднятия залегают на глубине 6000 метров, толщина перспективных пластов достигает 20 метров. Объединяя региональные геологические исследования и результаты исследований осадочных фаций, породы перспективных пластов представляют собой трансгрессивно контролируемый пласт песчаника, в котором в качестве фона используется среда дельтовых отложений. На основании результатов современных осадочных исследований проанализированы характеристики песчаника Донхэ. Для изучения Таримского осадочного бассейна проведен комплекс региональных исследований, связанных с геологической изученностью, тектоническим строением региона, литолого-стратиграфическими исследованиями, секвенс-стратиграфическими исследованиями, исследованиями физических и коллекторских свойств пород, региональными исследованиями толщин, однородности и простираения исследуемых пластов. Основными целевыми объектами является группа пластов-коллекторов юрского и каменноугольного периодов. В Таримском осадочном бассейне были зарегистрированы доказанные геологические запасы нефти и газа.

Ключевые слова: Таримский осадочный бассейн, Китай, региональные геологические исследования, тектонический пояс, территория Донхэтанга, антиклинальная структура, поднятие Табей, пласты-коллекторы, латеральное простираение, инверсионный разлом, физические свойства пород, структурный нос, герцинский период, стратиграфическое несогласие, секвенс-стратиграфия

**REGIONAL GEOLOGICAL STUDIES OF DOME-SHAPED
UPLIFTS OF THE TARIM SEDIMENTARY BASIN**

Glebova Lyubov V., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Lecturer, Lomonosov Moscow State University, 1 Vorobevy Gory St., Moscow, 119234, Russian Federation, lvglebova@mail.ru

Chi Qingyuan, undergraduate, Lomonosov Moscow State University, 1 Vorobevy Gory St., Moscow, 119234, Russian Federation, 1694697482@qq.com

Serebryakov Andrey O., Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, Geologi2007@yandex.ru

The regional geological study of the Tarim sedimentary basin, located in the tectonic zone of the Donkhetang fault, is of national interest. The Tarim sedimentary basin is an ultra-deep and complex basin. A number of anticline structures are confined to the central part of the Tabei uplift. In the structure of the tectonic belt, two inversion faults take part, with the formation of a structural nose. Domed uplifts lie at a depth of 6000 meters, the thickness of the prospective layers reaches 20 meters. Combining regional geological studies and the results of sedimentary facies studies, the rocks of the prospective formations are a transgressively controlled sandstone layer, which uses the

environment of deltaic sediments as a background. Based on the results of modern sedimentary studies, the characteristics of the Donghae sandstone are analyzed. To study the Tarim sedimentary basin, a complex of regional studies related to the geological study, the tectonic structure of the region, lithological-stratigraphic studies, sequence-stratigraphic studies, studies of the physical and reservoir properties of rocks, regional studies of the thickness, uniformity and strike of the studied layers was carried out. The main target objects are a group of reservoirs of the Jurassic and Carboniferous periods. Proven geological reserves of oil and gas have been recorded in the Tarim sedimentary basin.

Keywords: Tarim sedimentary basin, China, regional geological studies, tectonic belt, Donghetang territory, anticline structure, Tabei uplift, reservoir layers, lateral strike, inversion fault, physical properties of rocks, structural nose, Hercynian period, stratigraphic discrepancy, sequence stratigraphy

Региональная геологическая изученность Таримского осадочного бассейна.

Представляет интерес район Донхэ, расположенный в тектонической зоне разлома Донхэтанга, приуроченный к центральной части поднятия Табей в Таримском бассейне (рис. 1). Тектонический пояс сформировался в позднем герцинском периоде. В строении тектонического пояса принимают участие два инверсионных разлома, расположенных на юге и севере территории Донхэтанга, в результате чего образовался большой подъем в форме структурного носа, простирающегося в юго-западном направлении.



Рис. 1. Схематическое расположение тектонических элементов Таримского осадочного бассейна

Тектоническая зона Таримского бассейна является перспективной нефтегазонамной зоной на севере Табея. Песчаники каменноугольного и юрского возраста являются нефтенасыщенными коллекторами. Поздний герцинский и поздний гималайский периоды являются периодами, где и формировалась нефть и газ (рис. 2).

Коллекторы нефти и газа, образованные на ранней стадии, разбиты многочисленными тектоническими разломами. Поверхность несогласия, приуроченная к меловым отложениям Капсаянг, является основным каналом миграции нефти и газа.

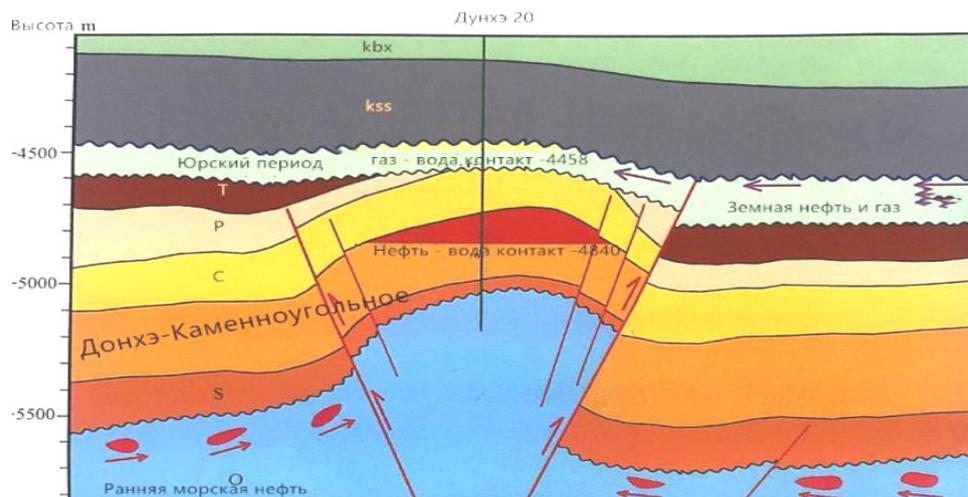


Рис. 2. Схема миграционных потоков нефти и газа, приуроченных к стратиграфическому несогласию в пределах поднятия Табей

В процессе исследования поднятия Табей выявлено пять нефтеносных структур – Донхэ 1, Донхэ 4, Донхэ 5, Донхэ 6 и Донхэ 14 (рис. 3). Основными перспективными объектами являются пласты юрского периода III, IV и каменноугольного периода СIII. Группа перспективных горизонтов юрского периода III представляет собой нефтяную залежь с газовой шапкой, а группа пластов IV представляет собой газовые и газоконденсатные залежи.

Группа пластов-коллекторов каменноугольного периода СIII представляет собой пласты песчаников, сформировавшихся в прибрежной фации. Пласты песчаников обладают высокими фильтрационно-емкостными свойствами и имеют устойчивое латеральное простирание. Площадь Таримского бассейна составляет 1000 км² и получила название «Донхэ». Толщина Таримских пластов, представленных песчаником на месторождении Донхэ, составляет до 200 м, а толщина нефтяной части пласта составляет 120 метров. Нефтяная залежь, приуроченная к антиклинальному поднятию каменноугольного возраста в районе Донхэ 1, имеет ненарушенную структуру, высотой до 80 метров, разведанные геологические запасы нефти составляют до 2398×10^4 т. Это основная часть разработки нефтяного месторождения Донхэ.

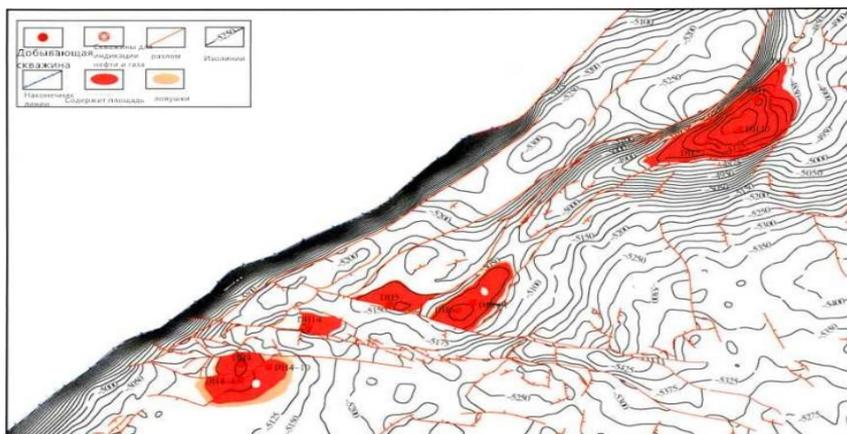


Рис. 3. Структурная карта района Донхэ с размещением перспективных объектов

Региональные геологические исследования тектонического строения. На территории Донхэ в 1991 году впервые была проведена 3D сейсморазведка, с зоной покрытия 542 км². В 2011 году, в соответствии с производственной необходимостью, была развернута вторая стадия 3D сейсморазведки, с размером шагов 25 м × 25 м, количеством шагов покрытия 12 м × 7 м, площадь зоны покрытия составила 211,7 км². После интерпретации данных 3D сейсморазведки была построена 3D модель продуктивных пластов каменноугольного и юрского возраста.

Исследования тектонического строения показывают, что кровля коллектора на месторождении Донхэ контролируется тектоническими разломами Донхэтанга. Коллектор представлен в виде асимметричной брахиантиклинальной формы. Длинная ось складки простирается с северо-востока на юго-запад, составляет 5,1 км, короткая ось составляет 1,9 км. Кровля структуры пологая, с углом наклона от 1 до 3 градусов. Крутой северо-западный склон имеет угол наклона 12 градусов. Юго-восточный склон имеет плавный уклон и угол падения 8 градусов. Параметры антиклинального поднятия представлены в таблице 1.

Таблица 1

Элементы антиклинального поднятия

Возраст продуктивного пласта	Тип антиклинального коллектора	Площадь ловушки, км ²	Высота над уровнем моря, м	Амплитуда закрытия, м	Высота самой высокой точки, м
СШ	Короткая ось антиклиналь	7,07	-4855,0	140,0	-4715,0

Структурная карта по кровле продуктивного горизонта приведена на рисунке 4.

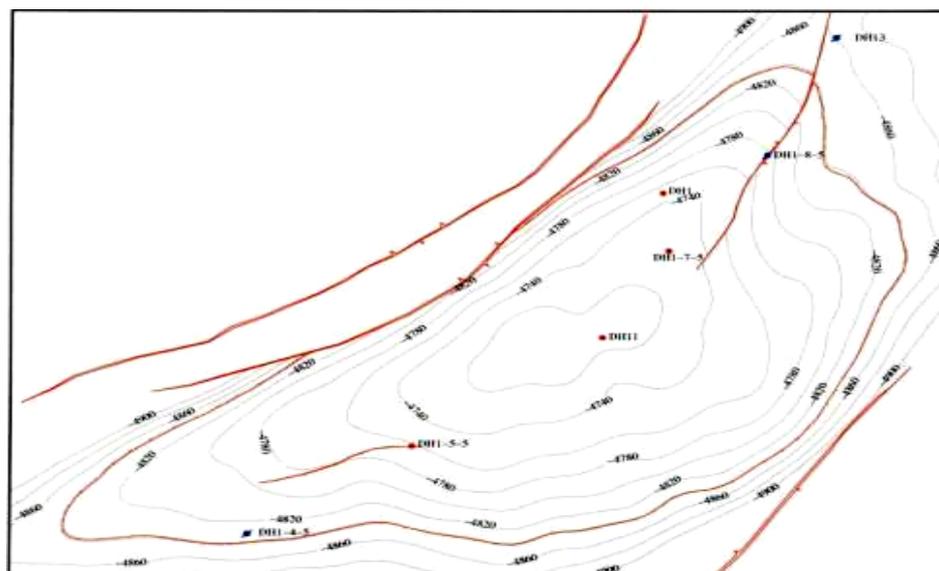


Рис. 4. Структурная карта по кровле продуктивного горизонта на Донхэ

Контроль крупного северо-западного разлома на территории Донхэтанга в основном развиваются два обратных разлома в направлении антиклинали. Крупный тектонический разлом на северной стороне поднятия составляет до 25 м, а простираясь на юго-запад, составляет до 7 м. Другой разлом, простирающийся с юга на запад, имеет меньшие размеры до 5 метров. Проницаемый пласт, представленный песчаником, имеет высокие ФЕС, значительную высоту, и минимальную амплитуду. Продуктивный пласт песчаника сложен таким образом, что по обеим сторонам разлома

В конце периода в области высокого уровня воды образовалась группа вырождающейся последовательности, соответствующая верхнему подсегменту месторождения Донхэ, каменноугольного возраста, а именно группа песчаного пласта СШ1, имеет три пятоуровневых цикла в верхнем подсегменте, с соответствующими пропластками СШ1¹, СШ1², СШ1³.

Вода постепенно углублялась, образует осадок переходной зоны, который после осадения в пропластке СШ1¹ начал отступать, и цикл последовательности третьего порядка на участке песчаника Донхэ закончился.

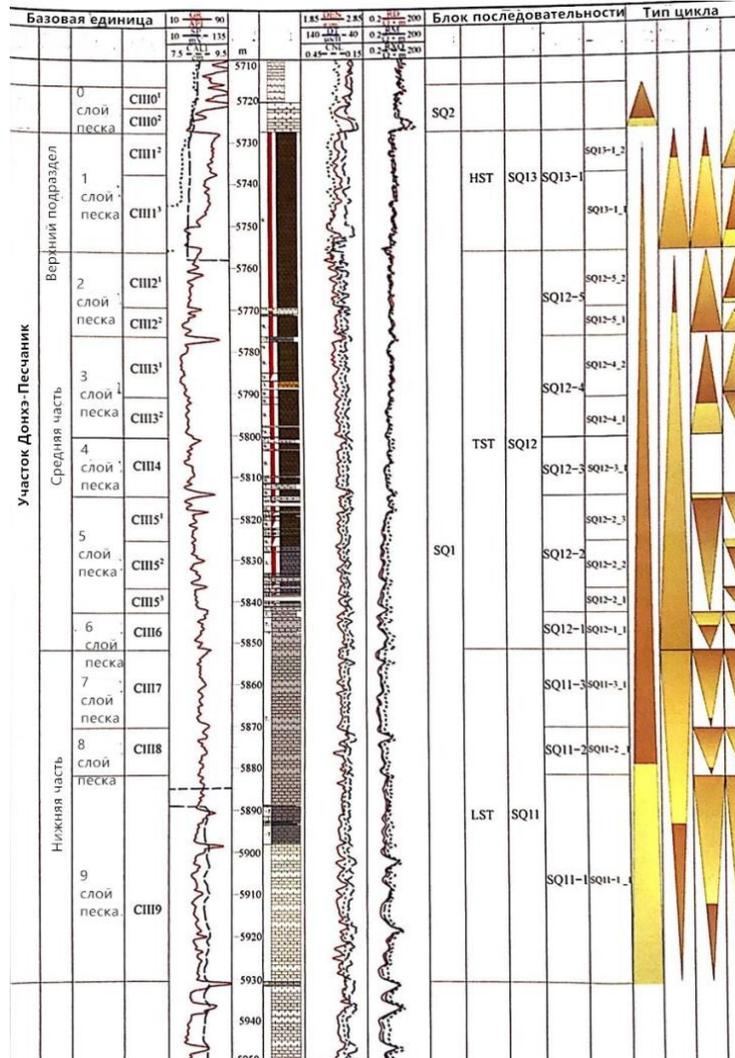


Рис. 6. Секвенирование песчаника Донхэ

Исследование коллекторских свойств

Минеральный состав породы. По данным исследования керна песчаник Донхэ представляет собой мелкозернистый песчаник серовато-белого или зеленовато-серого цвета, с вкраплениями нефтеносно-коричневого цвета. В верхней части пласта имеется тонкий пласт аргиллита. Мелкозернистый песчаник распределен в средней и верхней части, а тонкий пласт алевrolита смешан с мелкозернистым песчаником в нижней части.

Анализ состава и статистические результаты обломочной породы, расположенной в геологическом разрезе: содержание кварца составляет в среднем 71,7 %, содержание полевого шпата составляет в среднем 5,7 %.

Пласт является, преимущественно, мелкозернистым песчаником. Состав керн в основных скважинах месторождения Донхэ указан в таблице 2.

Таблица 2

Состав керн в основных скважинах на Донхэ

Литологические типы пород	Длина керн, м	Длина, %
Аргиллит	48,13	5,45
Илистый аргиллит	10,83	1,23
Глинистый алевролит	37,1	4,21
Алевролит	154,04	17,35
Мелкозернистый песчаник	603,38	61,43
Среднезернистый песчаник	98,04	6,02
Крупнозернистый песчаник	3,05	0,35
Гравий мелкий	0,98	0,11
Песчаник + конгломерат	28,74	3,26
Сумма	984,3	100

Исследование глинистых минералов. После многих рентгеноструктурных исследований абсолютное содержание глинистых минералов в песчанике Донхэ составляет менее 5 %. Среди них основными глинистыми минералами являются каолинит, иллит, смесь иллит / монтмориллонит и хлорит, причем их содержание уменьшается (табл. 3). Согласно сканирующему электронному микроскопу, можно детально наблюдать распределение различных глинистых минералов в коллекторе песчаника: каолинит представляют собой гексагональные пластины, а агрегаты заполняются в межзеренных порах в виде червей; иллит находится в виде частиц похожих на хлопья, нитей или волосков, образующих поры, и некоторые выступающие нити простираются в поры, образуя мостиковые пробки. А минералы смеси иллита / монтмориллонита обычно оборачивают частицы в виде сот, образуя поры пласта. Хлоритовые мономеры обычно распределяются на поверхности частиц скелета в форме иглы.

Таблица 3

Относительное содержание глинистых минералов в каждой группе песчаных пластов

Пласты	Иллит, %	Каолинит, %	Хлорит, %	Соотношение иллита к монтмориллониту, %	Кол-во образцов
СП1	6,53	90,53	0,25	16,27	90
СП2	7,24	91,40	0,08	15,51	74
СП3	4,00	94,46	0,00	14,16	15
СП4	2,50	93,75	0,00	15,00	2
СП5	5,00	92,28	0,00	10,00	7
СП6	2,00	91,00	0,00	0,00	1

Исследование типов цемента основной породы. Основными материалами каждой группы песчаных пластов являются кальцитовый цемент, глинистый цемент и пиритовый цемент. Среднее содержание кальцитового цемента в породах составляет 5,6 %, среднее содержание глинистой основы составляет 2,77 %, а среднее содержание пиритового (колчедана) цемента составляет 0,25 % (табл. 4).

Таблица 4

Абсолютное содержание цементного материала в обломочной породе на Донхэ

Пласты	Кальцит, %	Глинистый, %	Колчедан, %	Кол-во образцов
СП0	11	3	0,2	28
СП1	6	2,82	0,1	173
СП2	5	2,79	0,21	205
СП3	5	2,87	0,37	105
СП4	8	2,72	0,48	25
СП5	3	2,41	0,48	58
СП6	16	2,25	0	2

Исследование типов сцепления цемента с породой. Основными типами сцепления являются пленочное сцепление, пленочно-контактовое сцепление, пленочно-поровое сцепление, контактовое сцепление, базовое сцепление, в основном поровое сцепление (табл. 5).

Таблица 5

Типы сцепления обломочных пород каждой группы песчаных пластов на Донхэ

Пласты	Пленочное, %	Пленочно-контактовое, %	Пленочно-поровое, %	Контактовое, %	Пористо-базовое, %	Пористо-контактовое, %	Поровое, %	Базовое, %	Кол-во образцов
СП0	4,0	8,0	8,0	4,0	8,0	8,0	60,0	0,0	25
СП1	12,4	0,0	8,2	8,8	7,1	8,2	55,0	0,0	169
СП2	7,4	0,5	5,9	14,8	3,9	21,2	46,0	0,0	202
СП3	20,0	0,0	14,2	12,3	1,9	11,4	40,0	0,0	105
СП4	25,0	0,0	41,6	4,1	0,0	0,0	29,1	4,1	24
СП5	37,9	0,0	37,9	0,0	0,0	15,5	8,6	0,0	58
СП6	0,0	0,0	0,00	0,0	50,0	0,0	50,0	0,0	2

Исследование физических свойств продуктивного пласта. При наблюдении обычных частиц породы основным пространством коллекторов является пространство порового типа (рис. 7), а типы пор в основном включают межзерновые поры, поры межзеренного растворения, поры внутризеренного растворения, микропоры матрицы и так далее. Среди них (рис. 7а) представляет собой поры межзернового растворения, и распределение пор является равномерным; рисунок 7б представляет собой

полость межзеренного растворения, иногда внутренние поры зерна кварца, с устойчивой связностью; рисунок 7с он в основном состоит из пор межзернового растворения, пор внутризеренного растворения, мутных микропор и т. д. На рисунке 7d представлены межзерновые поры и несколько пор межзеренного растворения.

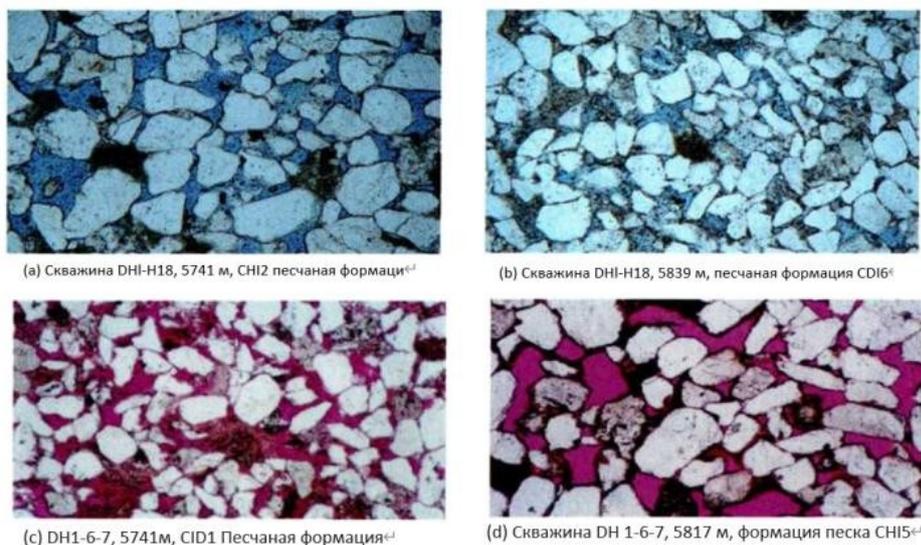


Рис. 7. Поровое пространство коллектора на Донхэ

Согласно статистическим данным о физических свойствах керна (табл. 6), общей средней пористости и средней проницаемости коллектора месторождения Донхэ, средняя пористость составляет 15,1 %, а средняя проницаемость 68,1 мД.

Таблица 6

Статистика основных физических свойств различных песчаных пластов на Донхэ

Пласты	Про-пластики	Основная пористость, %			Горизонтальная проницаемость, мД		
		средняя	максимальная	минимальная	средняя	максимальная	минимальная
СП0	0	11,6	18,8	3,1	22,6	219	1,13
СП1	1	16,3	21,6	4,4	13,7	64,5	0,18
	2	13,6	23,2	3,4	4,9	174	0,14
	3	14,6	24,8	0,6	21,9	552	0,22
СП2	1	15,3	23,2	4	81,3	1263	0,23
	2	15,9	23,7	3,4	64,4	926	0,28
СП3	1	15,7	24	4,1	121,5	1915	0,06
	2	15,9	25,3	4,2	186,0	2520	0,72
СП4	1	14,9	23,9	4,3	81,75	1310	0,25
СП5	1	16,0	23,6	4,1	80,3	1047	0,42
	2	16,8	24,3	4,6	104,8	1831	0,33
	3	16,8	26	5,7	67,9	1074	0,47
СП6	1	16,2	24	4,1	40,5	416	0,81

Региональные исследования толщины и простираения коллектора. Общая толщина коллектора на месторождении Донхэ стабильна, но верхняя часть частично размывта палеорекой. Группа песчаных пластов СП0–СП6 является основной частью нефтеносного пласта, и характеристики распределения следующие: группа песчаных пластов СП0 представляет собой секцию толщиной от 2 до 14 м. Верх и середина группы песчаных пластов СП1 представляют собой деформированные участки, толщина группы песчаных пластов составляет от 2 до 49 м, верхняя часть коллектора составляет от 21 до 26 м, а толщина отложений на обоих концах структуры достигает от 42 до 49 м. Протяженность коллектора песчаного пласта группы СП2–СП6 относительно стабильна, с общей толщиной от 91 до 103 м. Параллельная береговая линия песчаного тела распространяется с северо-востока на юго-запад. Высота песчаных пластов СП2 и СП3 составляет в среднем 23 м, высота песчаных пластов СП4 меньше и составляет от 8,5 до 13 м, группа песчаных пластов СП5 имеет толщину от 28 до 33 м, а группа песчаных пластов СП6 – всего 13 м.

Для изучения Таримского осадочного бассейна был проведен комплекс региональных исследований: региональные геологические исследования, исследования тектонического строения, региональные литолого-стратиграфические исследования, исследование коллекторских свойств, региональные исследования толщин, простираения и однородности проницаемых пород. Таримский осадочный бассейн, расположенный на северо-западе Китая, представляет собой сверхглубокий и сложный бассейн. Перспективные зоны нефтенакопления расположены в тектонической зоне разлома Донхэтанга в центральной части поднятия Табей. В настоящее время в Таримском бассейне открыто пять перспективных структур. Основными целевыми объектами являются группа пластов-коллекторов юрского и каменноугольного периодов. В Таримском осадочном бассейне были зарегистрированы доказанные геологические запасы нефти и газа.

Список литературы

1. Ли, Госинь Состояние разработки, проблемы и опасения, связанные с разработкой нетрадиционных нефтегазовых ресурсов PetroChina / Госинь Ли, Рукай Чжу // PetroChina Exploration. – 2020. – № 3. – С. 32–41.
2. Ли, Иньин Состояние разработки нефтяных месторождений Китая, проблемы и анализ перспектив / Иньин Ли. – 2010.
3. Куттунгал, Лина Всемирный опрос EOR 2014 / Лина Куттунгал // Нефть и газ. – 2021. – № 4 (112). – С. 79–91.
4. Маклавани, А. М. Новая корреляция минимального давления смешивания (ММП) для Инъекций смешиваемых углеводородов / А. М. Маклавани, А. Ватани // Бразильский журнал нефти и газа. – 2010. – № 4 (1). – С. 11–18.
5. Пан, Фей Прогресс и рекомендации по разведке и разработке сланцевого газа в экономической зоне реки Янцзы / Фей Пан, Цзохэн Чжан, Цзюньфэн Чжан и др. // Науки о Земле. – 2020. – С. 152–159.
6. Се, Юйхун Основные достижения CNOOC в разведке нефти и газа в период 13-й пятилетки и перспективы на 14-ю пятилетку / Юйхун Се // PetroChina Exploration. – 2021. – С. 43–54.
7. Симидзу, Т. Применение смешивающегося с углеводородным газом заводнения для затопленного водой резервуара / Т. Симидзу, К. Такахаш // PetroChina Exploration. – 1999. – С. 35–42.
8. Хэ, Хайцин Основные достижения PetroChina в разведке нефти и газа в течение 13-го пятилетнего плана и стратегия его развития в течение 14-го пятилетнего плана / Хайцин Хэ, Тучжи Фань, Сюйцзе Го и др. // PetroChina Exploration. – 2021. – С. 17–30.
9. Цай, Сюньюй Прогресс Sinorec в области разведки нефти и газа «13-я пятилетка» и перспективы «14-й пятилетки» / Сюньюй Цай, Цзиньянь Лю, Юй Чжан и др. // China Petroleum Exploration. – 2021. – С. 31–42.
10. Цзоу, Кайнэн Прогресс в разработке, потенциал развития и перспективы развития сланцевого газа в Китае / Кайнэн Цзоу, Цюнь Чжао, Ляньчжу Конг и др. // Промышленность природного газа. – 2021.

References

1. Li, Gosin, Ju, Rukai. Sostoyanie razrabotki, problemy i opaseniya, svyazannye s razrabotkoy netraditsionnykh neftegazovykh resursov PetroCh [State of development, problems and concerns related to the development of unconventional oil and gas resources PetroChina]. *PetroChina Issledovanie* [Petro China Exploration]. 2020, no 3, pp. 32–41.
2. Li, Yinying. *Sostoyanie razrabotki neftyanykh mestorozhdeniy Kitaya, problemy i analiz perspektiv* [The state of China's oil field development, problems and perspective analysis]. – 2010.
3. Leena, Koottungal. Vsemirnyy opros EOR 2014 [World EOR Survey]. *Neft i gaz* [Oil & Gas Journal]. 2021, no 112 (4), pp. 79–91.
4. Maklavani, A. M., Vatani, A. Novaya korrelyatsiya minimalnogo davleniya smeshivaniya (MMP) Dlya Inektsiy smeshivaemykh uglevodorodov [New Minimum Miscibility Pressure (MMP) Correlation For Hydrocarbon Miscible Injections]. *Brazil'skiy zhurnal nefiti i Gaza* [Brazilian Journal of Petroleum And Gas]. 2010, no 4 (1), pp. 11–18.
5. Pang, Fei Chang Tsoohang, Chang Junfeng et al. Progress i rekomendatsii po razvedke i razrabotke slantsevogo gaza v ekonomicheskoy zone reki Yantszy [Progress and recommendations on shale gas exploration and development in the yangtze river economic zone]. *Nauki o Zemle* [Earth Sciences]. 2020, pp. 152–159.
6. Se, Yuhun. Osnovnye dostizheniya CNOOC v razvedke nefiti i gaza v period 13-y pyatiletki i perspektivy na 14-yu pyatiletku [CNOOC's main achievements in oil and gas exploration are in the 13th five-year period and the outlook for the 14th five-year period]. *PetroChina Issledovanie* [PetroChina Exploration]. 1999, pp. 35–42.
7. Shimizu, T., Takahash, K. Primenenie smeshivayushchegosya s uglevodorodnym gazom zavodneniya dlya zatoplennoy vodoy rezervuara [Application of Hydrocarbon Gas Miscible Flooding for Water Flooded Reservoir]. *PetroChina Issledovanie* [PetroChina Exploration]. 2021, pp. 43–54.
8. He, Haiqing, Fan, Tuji, Go, Xujie et al. Osnovnye dostizheniya PetroChina v razvedke nefiti i gaza v techenie 13-go pyatiletnego plana i strategiya ego razvitiya v techenie 14-go pyatiletnego plana [PetroChina's key achievements in oil and gas exploration during the 13th five-year plan and its development strategy during the 14th five-year plan]. *PetroChina Issledovanie* [PetroChina Exploration]. 2021, pp. 17–30.
9. Cai, Xiongyu, Liu, Jinliang, Chang, Yu, et al. Progress Sinopec v oblasti razvedki nefiti i gaza “13-ya pyatiletka” i perspektivy “14-y pyatiletki” [Sinopec's progress in oil and gas exploration is the 13th Five-Year-Old and the 14th Five-Year Perspective]. *China Petroleum Issledovanie* [China Petroleum Exploration]. 2021, pp. 31–42.
10. Tsou, Keineng, Zhao, Tsun, Kong, Lianzhu et al. *Progress v razrabotke, potentsial razvitiya i perspektivy razvitiya slantsevogo gaza v Kitae* [Progress in development, development potential and prospects for shale gas development in China]. *Promyshlennost prirodnoy gaza* [Natural gas industry]. 2021.