

На правах рукописи

Ван Илин

Ван Илин

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, КОЛЛЕКТОРСКИЕ СВОЙСТВА И
ПЕРСПЕКТИВЫ ГАЗОНОСНОСТИ НИЖНЕОРДОВИКСКИХ
ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАБАМЯО (БАСЕЙН ОРДОС, КНР)**

Специальность 25.00.12 – геология, поиски и разведка нефтяных и газовых
месторождений

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2017

Работа выполнена на кафедре геологии и геохимии горючих ископаемых
геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель:

Конюхов Александр Иванович доктор геолого-минералогических наук, профессор
геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты:

Лоджевская Мануэлла Исааковна, доктор геолого-минералогических наук, главный
научный сотрудник ФГУП «ВНИГНИ»

Высоцкий Владимир Игоревич, кандидат геолого-минералогических наук,
заместитель ген. директора по нефти и газу ОАО «ВНИИЗарубежгеология»

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный
исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

Защита состоится 09 июня 2017 года в 16³⁰ на заседании диссертационного совета
Д 501.001.40 при Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова
по адресу: 119234, г. Москва, Ленинские горы, Главное здание МГУ, геологический
факультет, аудитория 608.

Автореферат размещен на сайте в системе «Наука-МГУ» (ИСТИНА) -
www.istina.msu.ru и на официальном сайте Высшей аттестационной комиссии при
Министерстве образования и науки Российской Федерации – www.vak.ed.gov.ru. С
диссертацией можно ознакомиться в читальном зале Отдела диссертаций Научной
библиотеки МГУ (Ломоносовский проспект, д. 27, Фундаментальная библиотека,
сектор «А», 8 этаж, к. 812), на сайте в системе «Наука-МГУ» (ИСТИНА) -
www.istina.msu.ru

Автореферат разослан «__» апреля 2017 года

Ученый секретарь
диссертационного совета

Полудеткина Е.Н.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы Изучение геологического строения, литологического состава и фильтрационно-емкостных свойств карбонатных отложений района Табамяо, расположенного в бассейне Ордос (КНР), является актуальной проблемой, так как установление генезиса и особенностей распространения пород, способных вмещать скопления углеводородов (УВ), позволит выявить перспективы открытия новых залежей газа на месторождении Табамяо. Кроме того, это поможет уточнить закономерности развития карстовых зон, которые в последнее время стали объектами поисков газа в карбонатных отложениях нижнего палеозоя в центральной части Ордосского бассейна. В районе Табамяо залежи газа приурочены к породам свиты Модягоу. Происхождение коллекторов в этой толще (мощность > 100 м), сложенной в основном доломитами и известняками, во многом было связано с образованием карста в период длительной экспозиции у земной поверхности. Уникальное сочетание в разрезе отложений, способных генерировать УВ, пород-коллекторов и флюидоупоров предопределило открытие в регионе большого количества залежей газа.

Цель работы заключается в выявлении закономерностей формирования коллекторов с хорошими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС) на разных уровнях в карбонатной толще свиты Модягоу и на этой основе в уточнении перспектив открытия новых скоплений УВ в районе месторождения Табамяо.

Основные задачи исследования:

1. изучение различных типов карбонатных отложений в разрезе свиты Модягоу, в том числе микрокристаллических доломитов, глинистых доломитов, доломитов с ангидритом и анкеритом, мелкозернистых и глинистых известняков, и других пород.
2. выделение различных литолого-фациальных комплексов в составе нижнеордовикских отложений, накапливавшихся в обстановках осолоненных лагун и приливно-отливных равнин.
3. уточнение связи рельефа поверхности погребенного карбонатного массива с развитием карста на разных уровнях разреза свиты Модягоу и распространением пород-коллекторов в ее составе.
4. идентификация различных типов пород—коллекторов, их генезиса и особенностей распространения в толще Модягоу, и на этой основе уточнение перспектив открытия новых скоплений газа в районе месторождения Табамяо.

Исследование связано как с теоретическими вопросами нефтяной геологии, заключающимися в оценке роли карстовых явлений в формировании карбонатных коллекторов, так и с вопросами практики нефтегеологических работ и выявления закономерностей размещения залежей газа в погребенных карстовых массивах.

Научная новизна.

1. Изучен литологический состав нижнеордовикских отложений свиты Модягоу, которыми сложен карбонатный массив в центральной части Ордосского бассейна. Было установлено, что, если в нижних пачках разреза преобладают известняки, то верхние пачки образованы различными разностями доломитов, в том числе глинистых, ангидритовых и анкеритовых, которые накапливались в обстановках приливно-отливных равнин и осолоненных лагун. Наряду с ними присутствуют доломитовые ангидриты, аргиллиты, доломитовые глины и вулканический туф.

2. Уточнены особенности рельефа нижнепалеозойского карбонатного массива, унаследованного от периода длительной экспозиции у земной поверхности, в структуре которого, помимо возвышенностей (холмистых участков) и их склонов, были идентифицированы реликтовая долина и более мелкие промоины, где размыты породы верхних подъярусов свиты Модягоу. Было показано, что среди залегающих здесь под эрозионной поверхностью горизонтов отсутствуют породы с отчетливо выраженными ФЕС, тогда как на поднятиях и окружающих склонах, благодаря карстовым явлениям они распространены достаточно широко.

3. Впервые установлено, что породы-коллекторы в толще нижнеордовикских отложений на месторождении Табамяо представлены, главным образом, поровым, каверно-поровым и трещинно-поровым типами. При этом, если в верхних горизонтах преобладают каверны и поры растворения, то в средних, наряду с ними, распространены трещины и микротрещины. Образование тех и других связано с инфильтрацией грунтовых вод в период экспозиции карстового массива у земной поверхности. В нижних пачках вместе с трещинно-поровым коллектором встречаются породы с вторичной пористостью, возникшей при доломитизации известняков.

Практическая ценность работы

1. Благодаря проведенным исследованиям было установлено, что с каждым этапом в сложной геологической истории карбонатной толщи Модягоу было связано формирование определенного класса пустот и трещин, которые определяют особенности развития в ней коллекторов. На ранних этапах седименто- и диагенеза в нижнеордовикских доломитах и известняках сложилась система межкристаллических пор и микротрещин растворения под давлением, на этапе экспозиции у земной

поверхности и развития карста – трещин, микротрещин и пор растворения, на этапе погружения в зону прото- и мезокатагенеза – вторичной пористости, вызванной доломитизацией известняков. Все это обусловило большое разнообразие и сложный характер распространения коллекторов в различных горизонтах свиты Модягоу на месторождении Табамяо.

2. показано, что активное развитие карста в самых верхних его горизонтах m_5^{1-2} и m_5^{1-3} способствовало формированию нескольких пластов коллекторов с большим количеством пустот, полостей и трещин растворения, способных заключать небольшие залежи газа, возможно, связанные друг с другом. Значения пористости в этих резервуарах трещинно-порового типа варьируют в узком диапазоне 2-3% при максимальной величине 4%. Открытие залежей газа, обнаруженных в породах горизонта m_5^{1-2} , подтверждает перспективность поисков газовых скоплений в верхних пачках карбонатного массива, наиболее затронутых процессами образования карста.

3. установлено, что наибольший практический интерес в районе месторождения Табамяо представляют горизонты m_5^{1-3} , m_5^{2-1} , m_5^{2-2} и m_5^{4-1} , в которых на значительной площади развиты породы с хорошими коллекторскими свойствами. В меньшей степени это касается отложений подъяруса m_5^5 . Перспективы открытия новых газовых скоплений могут быть связаны и с подстилающими породами пачки m_5^6 , в которых были выявлены признаки существования глубинной карстовой зоны.

Защищаемые положения.

1. Карбонатные нижнеордовикские отложения свиты Модягоу накапливались в береговой зоне. Доломиты, ангидритовые доломиты и доломитовые ангидриты аккумулировались преимущественно в супралиторальных обстановках, а глинистые доломиты и мелкозернистые известняки - в сублиторальных условиях. Сложившееся на этом этапе и в процессе уплотнения пустотное пространство обусловило формирование в доломитах коллектора с межкристаллическими порами и микропорами.

2. Длительное пребывание у земной поверхности, вызванное отступлением моря из Ордосского бассейна, сопровождалось эрозией, а инфильтрация атмосферных осадков в карбонатные породы - образованием карста. Если на древних водоразделах карст развит преимущественно в верхних пачках карбонатной толщи, то на склонах поднятий и в понижениях между ними эти явления, с которыми связано образование трещин и пор растворения, распространены в более нижних горизонтах.

3. В соответствие со структурой пустотного пространства в изученных отложениях выделяются несколько типов пород-коллекторов. К коллекторам карстового генезиса с высокими ФЕС относятся породы в горизонтах m_5^{1-2} и m_5^{1-3} с

кавернами и порами растворения. Наиболее распространены коллекторы трещинно-порового типа - пачки m_5^{2-1} , m_5^{2-2} и m_5^{4-1} . В них, как и в коллекторах карстового генезиса, открыты залежи природного газа. Поровый коллектор (пачка m_5^3) представлен доломитами с межкристаллическими порами, унаследованными от этапа седименто- и диагенеза. Коллекторы с вторичными пустотами, возникшими при доломитизации известняков в диа- и катагенезе, развиты в нижних пачках m_5^5 и m_5^6 .

Материалы и методы. В основу работы положены результаты личных исследований автора, полученные при проведении китайской нефтяной компанией СИНОПЕК (северное отделение) поисково-разведочных работ на месторождении Табамяо в центральной части бассейна Ордос. Для решения поставленных задач был применен комплекс методов, включавший сопоставление разрезов скважин, пробуренных в районе месторождения Табамяо (79 скв.), макроскопическое описание керна (более 100 образцов), микроскопическое изучение петрографического состава нижнеордовикских пород (более 100 шлифов), анализ рельефа погребенного карстового массива. Автором лично были проинтерпретированы данные ГИС по 15 скважинам, определен минеральный состав отложений и выполнено лабораторное исследование пористости и проницаемости. На основании этих данных им были выявлены особенности распространения пород-коллекторов в различных пачках и горизонтах свиты Модягоу.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований представлены в форме доклада на международной конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа» М., МГУ, 2015 г. Защищаемые положения и итоги проведенных исследований представлены в 3 публикациях, в т.ч. 2 статьях в журналах, входящих в Перечень, рекомендованный ВАК.

Структура и объем работы: Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав и заключения, изложенных на 148 страницах текста, содержит 59 рисунков и 5 таблиц. Список использованной литературы включает 53 наименования.

Благодарности. Автор сердечно благодарен своему научному руководителю профессору доктору г.-м. н. А.И.Конюхову за постоянную помощь в работе над диссертацией. Выношу признательность всему коллективу кафедры геологии и геохимии горючих ископаемых Геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова за поддержку, оказанную при написании данной работы.

Материалы, которые легли в основу диссертации, изучались и анализировались при поддержке и помощи северного отделения китайской нефтяной компании СИНОПЕК.

Основное содержание работы

Глава 1. История геологического изучения бассейна Ордос и района месторождения Табамяо

Ордосский бассейн, расположенный в центральной части Северного Китая, представляет собой огромную асимметричную синклиналичную впадину, окруженную горами, с северным приподнятым и южным и западным опущенными краями. Здесь на площади около 250000 км² выделяются несколько крупных структурно-тектонических зон. Среди них поднятия Йимэн и Вэйбей, моноклираль Ишань, впадина Тяньхуань, а также разломно-складчатая зона Джинси и надвиговый пояс Сиюань. Мощность осадочного чехла, образованного породами палеозойского и мезозойского возраста, варьирует от 4 до 6 км. Лишь в западной периферийной части бассейна она превышает 10 км (рис. 1).

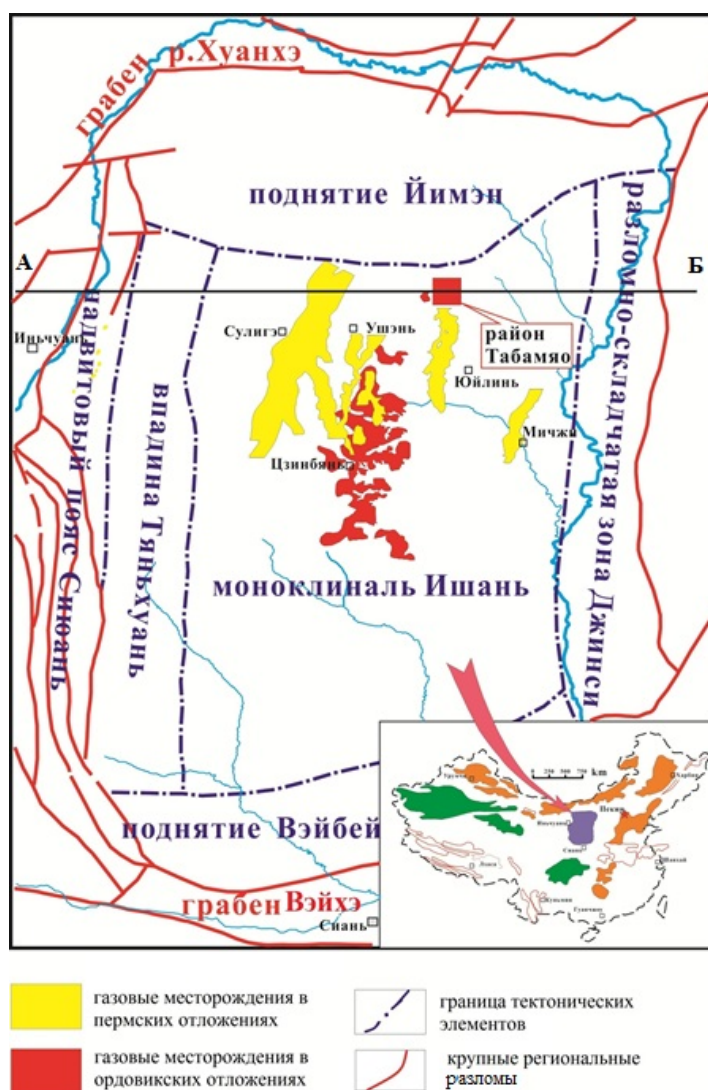


Рис. 1. Месторождения природного газа в бассейне Ордос, по [Jinxing Dai et al., 2005].

Геолого-разведочные работы на нефть и газ, начавшиеся в бассейне Ордос более 100 лет назад, привели к открытию в 1907 г. первого месторождения нефти. К концу XX столетия здесь эксплуатировались около 20 мелких нефтяных месторождений. Лишь относительно недавно в центральной части бассейна была выявлена протяженная зона газонакопления, приуроченная к породам ордовикского возраста. Площадь самого крупного газового месторождения Цзинбянь, расположенного в северо-восточной части моноклинали Ишань, достигает 2000 км², а его запасы оцениваются в 12 тсф газа.

Поисково-разведочные работы на нефть и газ в районе Табамяо, расположенном к северо-востоку от месторождения Цзинбянь, начались в конце 90-х годов прошлого столетия. Первые скважины были пробурены здесь в 1999-2002 гг. В 2009 г. при бурении скв. Да из доломитов верхнего подъяруса свиты Модягоу (m₅¹) были получены первые притоки газа. К настоящему времени в центральном и юго-западном секторах Табамяо в разных пачках свиты Модягоу выявлено несколько небольших залежей газа. Как и на месторождении Цзинбянь, они приурочены к ловушкам стратиграфического и литологического типов.

Глава 2. Стратиграфия. В основании осадочного чехла бассейна Ордос залегает кембрийский карбонатный комплекс, сложенный оолитовыми и микритовыми известняками и доломитами. Они перекрыты породами нижнего ордовика (рис. 2), в кровле которого выделяется серия Модягоу, мощность которой варьирует от 330 до 420 м. Основным коллектором для залежей природного газа в районе Табамяо служат микрокристаллические доломиты и известняки в составе верхней толщи, свиты Модягоу 5.

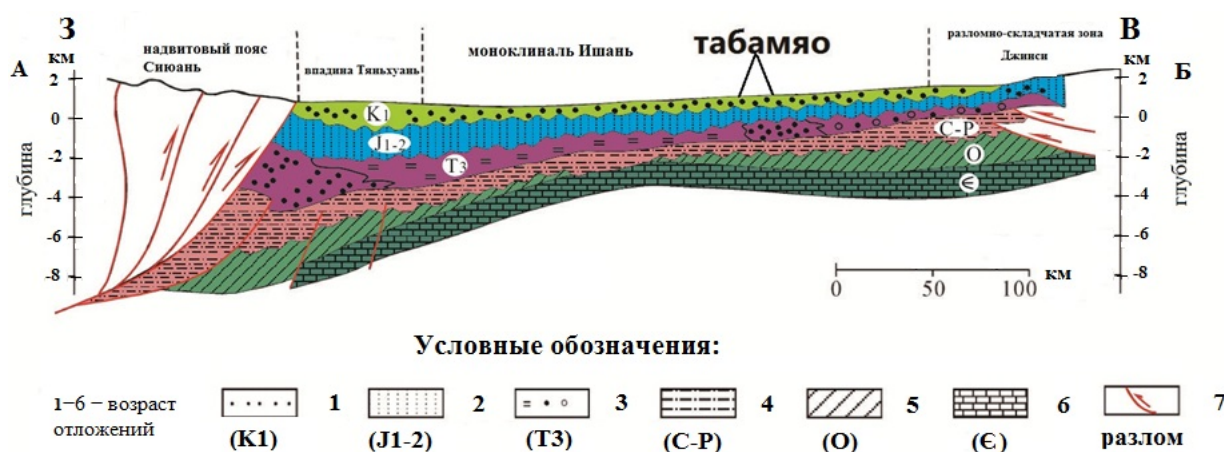


Рис. 2. Геологический разрез через центральную часть бассейна Ордос, где расположено месторождение Табамяо, по [Huang Fang et al., 2015].

В основании этой толщи залегает пачка m_5^6 , выделяемая в качестве подъяруса и сложенная ангидритовыми микрокристаллическими доломитами и глинистыми доломитами. В ее кровле присутствуют прослои строматолитовых доломитизированных известняков толщиной 1–1,5 м, перекрытые породами подъярусов m_5^5 и m_5^4 (25–30 м): глинистыми и ангидритовыми доломитами с прослоями ангидрита и вулканического туфа. Вышележащая пачка, подъярус m_5^3 , сложена плотными слоистыми доломитами, которые содержат прослои аргиллитов и глинистых доломитов (14–20 м). В основании пачки (подъярусы) m_5^2 наблюдается переслаивание глинистых доломитов с доломитовыми аргиллитами, которые перекрыты пластами брекчированных пород. Пачка m_5^1 в кровле свиты Модягоу (12–15 м) образована кавернозными доломитами и глинистыми доломитами с включениями ангидрита, содержащими прослои и линзы доломитового ангидрита и анкерита, реже аргиллитов.

В результате положительных подвижек, охвативших Ордосский блок в конце раннего и в среднем ордовике, отложения свиты Модягоу оказались вблизи земной поверхности. В процессе длительной экспозиции верхние горизонты были частично размывы, а сохранившиеся породы местами брекчированы и закарстованы. Этому интервалу отвечает крупное региональное несогласие, поверх которого залегают каменноугольные отложения свиты Бенси мощностью от 30 до 125 м, представленные каолиновыми глинами и бокситами – фрагментами реликтовой латеритной коры выветривания, сформировавшейся в процессе денудации ордовикских карбонатов.

В конце среднего карбона, после перерыва в седиментации, длившегося около 150 млн лет, на большей части Ордосского бассейна установились континентальные условия. Лишь в восточных районах центрального сектора (в том числе в районе Табамяо) известны морские осадки этого возраста – органогенно-детритовые известняки, отложенные в прибрежно-морских обстановках. Вслед за этим море навсегда покинуло эту территорию. С конца карбона и вплоть до настоящего времени здесь повсеместно господствовали континентальные условия, в которых на протяжении пермского периода, мезозоя и кайнозоя накапливались преимущественно песчано-алевритовые осадки с горизонтами конгломератов, а также глинистые и угленосные отложения. Помимо угля, к ним приурочены крупные месторождения урана и горючих сланцев, а также небольшие залежи нефти и газа.

Глава 3. Тектоника и история геологического развития. Ордосский блок (бассейн) является наиболее стабильной структурой в составе Северо-Китайского кратона с мощной литосферой, корнями глубоко погруженной в мантию. С докембрия

он не испытал каких-либо значительных тектонических деформаций, и за весь период наблюдений здесь не были зафиксированы крупные землетрясения. Регион характеризуется низким уровнем теплового потока, который в пределах разных тектонических структур варьирует от 21,3 до 24,5 mW m^{-2} . На глубине 2000, 3000 и 4000 м фиксируются температуры 55-65, 70-85 и 100-120⁰С, соответственно.

В Ордосском бассейне, который представляет собой огромную асимметричную синклинальную впадину с северным пологим и южным и западным крутыми бортовыми зонами, китайские ученые выделяют несколько крупных структурно-тектонических элементов. Это поднятия Йимэн и Уэйбей, моноклираль Ишан (склон Санбей), впадина Тианбуан и другие. На западе бассейн граничит с надвиговым поясом Сиюань, на востоке - с разломно-складчатым комплексом Джинси. Мощность осадочного чехла, образованного в основном породами нижнего и верхнего палеозоя и мезозоя, составляет 4-6 км. В направлении западной окраины бассейна она возрастает до 10 км.

В кембрии и раннем ордовике на большей части Ордосского блока располагался эпиконтинентальный морской бассейн, в котором накапливались преимущественно карбонатные осадки. Регрессия, охватившая Северо-Китайский кратон в конце раннеордовикской эпохи, привела в Ордосе к замещению биокластовых карбонатных осадков микрозернистыми седиментационными доломитами, которые распространены на площади 15000 км². Доломиты содержат гипсовые конкреции, обломки кристаллов галита и гипса.

Самый крупный перерыв в седиментации, со среднего ордовика по ранний карбон, был вызван снижением уровня Мирового океана, за которым последовала мощная тектоническая активизация. Она охватила большую часть Северо-Китайского кратона и была обусловлена субдукцией океанской коры вдоль его северной и южной окраин. Эти процессы сопровождались орогенезом в краевых зонах и внедрением многочисленных (более 900) плутонов в период времени, охватывавший поздний палеозой и начало триасового периода.

В раннем триасе к западу от Ордосского блока проявились первые подвижки Яншанской фазы тектогенеза, которые в дальнейшем привели к образованию полосы надвигов и поднятий. В конце среднего триаса началось сближение Северо-Китайской плиты с платформой Янцзы, завершившееся коллизией и образованием поднятия Чинлин-Даби, перед фронтом которого в поздне триасовую эпоху располагался предгорный прогиб. Высокие скорости прогибания земной коры способствовали образованию обширных озерных водоемов. В береговой зоне здесь накапливались

аллювиально-дельтовые осадки: пески с прослоями углей, а в центре – глины и горючие сланцы с высоким содержанием органического вещества. Их мощность превышает 3000 м. В юрское время в окрестностях Ордоса аккумуляровались преимущественно грубозернистые осадки. По речным долинам они распространялись во внутренние части бассейна. В середине раннемеловой эпохи опускания, которыми был охвачен Ордос и область Внутренней Монголии, постепенно замедлились, а в конце ее сменились воздыманием. Перемены были вызваны складчатыми дислокациями, начавшимися в районе Гималаев. Начиная с позднего мела Ордос, приподнятый до 800-1000 м над уровнем моря, оставался областью денудации, продукты которой поступали в соседние с ним прогибы. В плейстоцене здесь сформировалось обширное лессовое плато.

Глава 4. Литологический состав и фациальная характеристика пород.

В процессе исследования образцов керн и шлифов в составе свиты Модягоу были выделены следующие типы пород. Это микрокристаллические доломиты, глинистые доломиты, глинистые доломиты с анкеритом, доломиты, образовавшиеся по строматолитам, доломитовые аргиллиты, глинистые мелкозернистые известняки, алевроитовые аргиллиты, доломитизированный оолитовый известняк, доломит с водорослевыми микроствяжениями, вулканический туф, глинистые доломиты с ангидритом, доломитовый гравелит и другие. При изучении и корреляции пород, которыми сложены основные стратиграфические комплексы верхней свиты Модягоу (m_5), были выделены 24 микрофации, приуроченные к трем седиментационным зонам (поясам): 1 – сублиторали (прибрежной части морского водоема), 2 – литорали (приливно-отливным равнинам и осолоненным лагунам); 3 – приконтинентальным супралиторальным обстановкам с солончаками.

Литоральные отложения в районе Табамяо представлены осадками, которые накапливались в верхней части литоральной зоны. Здесь выделяются микрофации микрокристаллических доломитов, глинистых доломитов и доломитовых глин (аргиллитов), пласты и прослои которых отличаются сравнительно большой толщиной. Отложения литорального генезиса встречаются в отдельных стратиграфических горизонтах в верхней части пачек (подъярусов) m_5^1 , m_5^2 и m_5^4 свиты Модягоу.

Подъярус m_5^5 , залегающий в нижней части разреза этой свиты, является единственной в районе месторождения Табамяо толщей, сложенной породами сублиторального генезиса. Сублиторальные обстановки были приурочены к приглубой части осолоненных лагун и приливно-отливных равнин, расположенных за

вдольбереговыми барами, которые отгораживали их от открытого моря. На этих защищенных от волнения участках, благодаря приливам, поставлявшим свежую морскую воду, происходило накопление мелкозернистых известковых и глинисто-известковых осадков.

Наибольшее распространение в районе Табамяо получили супралиторальные отложения, представленные преимущественно эвапоритами: доломитом, гипсом и ангидритом, значительно реже галитом. Гипс и ангидрит обычно образуют линзы и прослойки в доломите, тогда как галит присутствует в виде отдельных кристаллов. Встречаются и мелкие комочки глин, принесенные высоким приливом. Осадки слабо стратифицированы, характеризуются неоднородной структурой, линзовидной или неупорядоченной текстурами и изменчивым минеральным составом. В разрезе наблюдается частое переслаивание с разнонаправленным падением отдельных слойков. Основными типами пород являются микрокристаллический доломит, ангидритовый и глинистый доломит. Наибольший интерес представляет супралиторальная, доломитовая микрофация, развитая в пределах верхней части приливно-отливной отмели. Осаждению микрокристаллического доломита способствовали затрудненная циркуляция и высокий уровень испарения морской воды. Эти отложения характеризуются тонкой слоистостью, однородной структурой и составом, выдержанным на площади. Благодаря развитой системе межкристаллических пор, породы, которые образовались в процессе уплотнения осадков этого типа, могут представлять интерес в качестве коллектора углеводородов.

Глава 5. Условия формирования и особенности строения ордовикского карстового массива Модягоу.

Карбонатный массив, сложенный кембрийскими и нижнеордовикскими породами, в течение долгого времени находился у земной поверхности. Эрозионные процессы сопровождались частичным размывом приповерхностных пластов осадков и выщелачиванием залегающих ниже пород свиты Модягоу, что привело к образованию карста в верхней части карбонатного массива. Масштабы распространения и свойства коллекторов на разных уровнях разреза свиты во многом определялись рельефом его поверхности, где при перепаде высот, достигавшем около 120 м, в центральном секторе Табамяо к началу среднего карбона в нем обособилась возвышенность (плато), увенчанное несколькими холмами. В вершинной части этих холмов, окруженных пологими склонами, сохранились от размыва самые верхние подразделения свиты Модягоу (m_5^{1-2} и m_5^{1-3}). Глубокая долина, по которой во время паводков перемещались

большие массы воды, отделяла центральное поднятие от восточных районов, где палеорельеф был более выровненным и низким, а на его поверхности обнажались породы подъярусов m_5^{2-1} и m_5^{2-2} (рис. 3). В осевой части реликтовой долины, размыву подверглись не только эти образования, но частично и подстилающие отложения подъяруса m_5^3 .

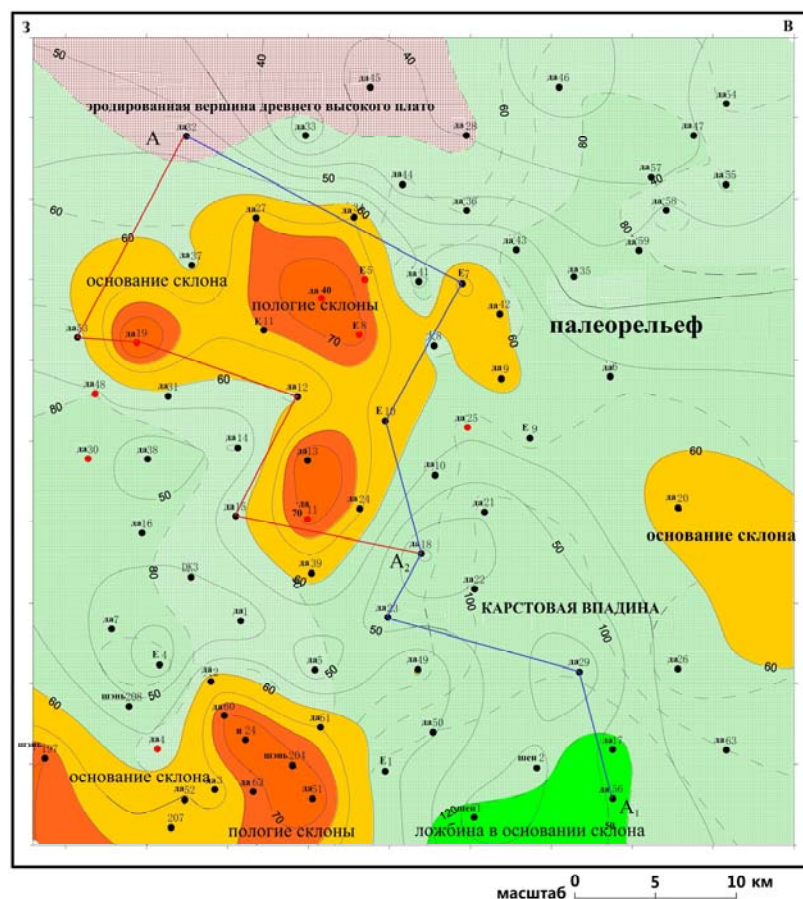


Рис. 3. Особенности строения рельефа погребенного карстового массива в районе Табамаю.

В разрезе свиты Модягоу в настоящее время установлено несколько карстовых зон. Сверху вниз выделяются: 1 - поверхностная карстовая зона (зона широкого распространения каверн, полостей и карстовой брекчии), 2 - вертикальная карстовая (вадозная) зона, 3 – средняя горизонтальная карстовая зона (зона струйного течения подземных вод) и 4 - глубинная карстовая зона. Эти зоны, формирующие общий карстовый профиль, развиты неравномерно, что обусловлено разными структурными и гидрогеологическими условиями, сложившимися в пределах того или иного участка месторождения Табамаю.

Известно, что, чем больше перепад высот в рельефе карстового массива, тем глубже проникают в его недра грунтовые воды и, следовательно, большее развитие получают процессы образования карста. Очевидно, именно поэтому все скважины, из

которых были получены промышленные притоки газа, располагаются в центральном и западном секторах Табамяо. В восточной части месторождения скопления газа не были обнаружены.

Глава 6. Особенности развития коллекторов в карбонатных породах свиты Модягоу

Изучение карбонатных пород раннеордовикского возраста в районе Табамяо показало, что, помимо пор, каверн и других пустот, в них широко распространены трещины разного происхождения. Многие из них, сообщаясь друг с другом, обеспечивали миграцию грунтовых вод. Анализ особенностей развития трещин показал, что они играют важную роль в формировании фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов и во многом определяют их производительность.

6.1. Трещины и микротрещины.

При исследовании кернового материала удалось классифицировать трещины по их расположению в породе. Были выделены вертикальные трещины, трещины с большим и малым углом наклона, горизонтальные трещины, несистематические микротрещины и сетчатые трещины. Многие вертикальные трещины образовались в результате карстовых обвалов в процессе выветривания карбонатных пород. Поверхность таких трещин обычно неровная, микроволнистая. Они заполнены смесью глинистого вещества и кварцевого материала песчаной размерности. Поверхность наклонных трещин, генезис которых обусловлен тектоническими подвижками, обычно ровная. Многие из них остаются незаполненными или заполнены наполовину мелкозернистым кальцитом. Наклонные трещины, имеющие карстовое происхождение обычно заполнены гравием, комочками глин и кальцитом.

Наиболее значимую роль в формировании ФЕС пород-коллекторов играют микротрещины. Те из них, что возникли при уплотнении карбонатного осадка в диагенезе, обычно заполнены вторичными отложениями. Другие, образовавшиеся в процессе денудации карбонатного массива, во многом определяют хорошие коллекторские свойства вмещающих пород. Интервалы с высокой плотностью трещин и микротрещин отличаются высокой проницаемостью с максимальными значениями более 100×10^{-3} мкм². При этом пористость варьирует в широких пределах, от 1 до 10%.

6.2. Типы пустот и особенности их формирования.

В толще отложений свиты Модягоу широко распространены пустоты, унаследованные от разных этапов существования карбонатных отложений. Среди них были выделены следующие разновидности: а - карстовые пустоты и каверны, диаметр

которых превышает 2 мм. Они распространены в пластах доломитов и известняков, подвергшихся выщелачиванию, и зачастую заполнены кальцитом;

б - поры растворения диаметром менее 2 мм. Среди них идентифицированы: внутризерновые поры (0,01-0,02 мм), межзерновые поры, образовавшиеся в результате растворения матрикса, заполнявшего поры в доломите; в кристаллах и конкрециях гипса. В нижних горизонтах разреза распространены межкристаллические поры, которые присутствуют во вторичных доломитах, образовавшихся по известнякам, а также межкристаллические поры в агрегатах диккита - глинистого минерала, который формируется при выщелачивании кальцита или по неупорядоченному каолиниту.

в - микропоры диаметром менее 0,01 мм, которые присутствуют между кристаллами доломита и вокруг псевдоморфоз гипса.

6.3. Пористость и проницаемость.

Пористость нижнеордовикских карбонатных пород меняется в широких пределах, от 0,16 до 14% (среднее - 2,59%). В большинстве исследованных образцов ее значения не превышали 4%. Не менее изменчива и проницаемость: от 0,0035 до 102,98 мД, (среднее 0,90 мД). Наиболее часто фиксируются значения в интервале от 0,01 до 1 мД, в 94% образцов - менее 1 мД (рис. 4).

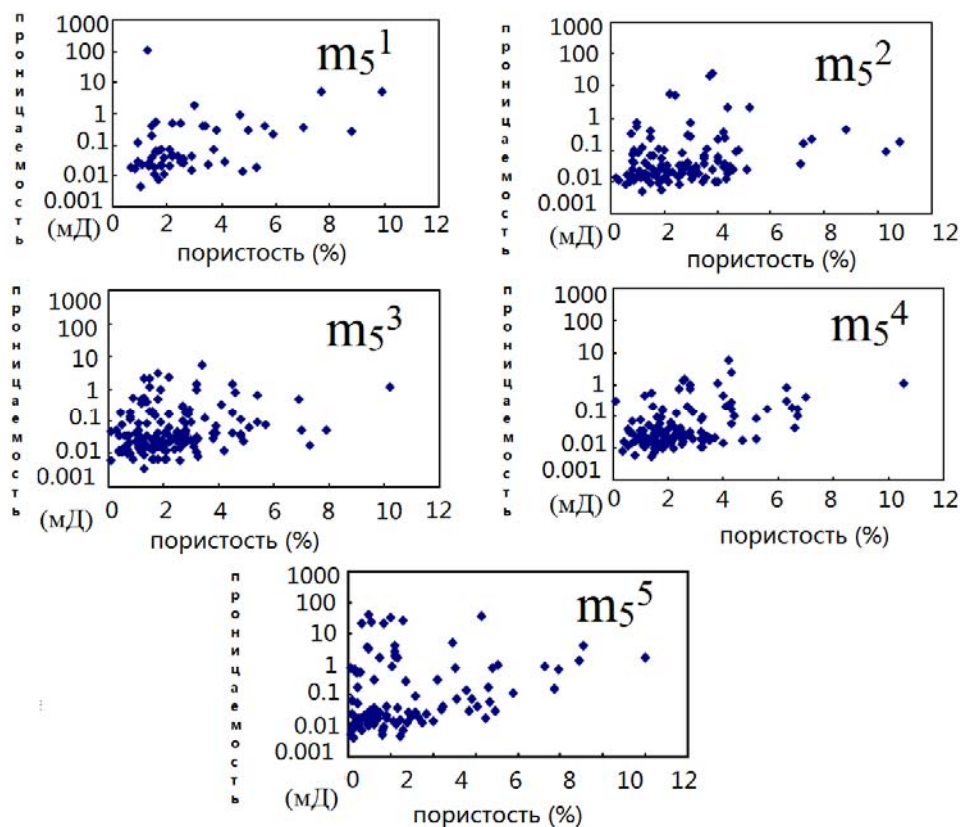


Рис. 4. Особенности распределения пористости от значений коэффициента проницаемости в породах свиты Модягоу.

Породы, характеризующиеся высокими значениями коэффициента проницаемости, приурочены к зонам распространения трещин и микротрещин.

Средние показатели пористости и проницаемости в породах продуктивных горизонтов составляют 4,83% и 1,28 мД, соответственно. Таким образом, в районе Табамяо преобладают коллекторы с малыми размерами пустот и микропор, что находит отражение в низких величинах пористости и проницаемости.

6.4. Характеристика пород-коллекторов.

В соответствии со структурой пустотного пространства в отложениях свиты Модягоу выделяются коллекторы порового, трещинного и трещинно-порового типов. Поровый коллектор представлен тремя разновидностями:

Коллекторы с преобладанием межкристаллических пор.

К ним относятся породы, в основном доломиты, с межкристаллическими порами и микропорами, в большинстве своем унаследованными от этапа седиментации и диагенеза. Вместе с ними присутствуют и межкристаллические поры растворения, возникшие при доломитизации кальцита и перекристаллизации доломикрита. Микропоры приурочены к скоплениям мелких кристаллов доломита. Пористость в породах, где они развиты, варьирует в пределах от 1 до 5%, проницаемость же обычно ниже $1 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Коллекторы с порами и кавернами карстового происхождения.

Размеры пустот и каверн, возникших в карбонатных породах, известняках и доломитах, в период образования карста, обычно не превышают 2-3 см. Диаметр самой большой полости протяженностью 4 см достигал 5 см. Пористость в пластах, залегающих в кровле карстового массива (m_5^{1-2} и m_5^{1-3}), где развит данный тип коллектора, нередко составляет 10% при коэффициенте проницаемости $>1 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Коллекторы с вторичными порами, образовавшимися при метасоматическом замещении известняков доломитами в диа- и катагенезе.

Данный вид коллектора распространена в нижних подразделениях свиты Модягоу, сложенных преимущественно известняками. Он сформировался в конце палеозоя – начале мезозоя при погружении карбонатного карстового массива в зону повышенных температур и давлений. Коллекторские свойства пород невысоки. При пористости от 2,5 до 5%, коэффициент проницаемости не превышает $1 \cdot 10^{-3}$ мкм².

Коллекторы трещинного типа.

Тектонические разломы и трещины встречаются в районе Табамяо редко. Разрывные нарушения в большинстве случаев представлены микротрещинами и небольшими трещинами, генезис которых связан с воздействием грунтовых вод. Они

полностью или частично залечены осадком. Значения пористости варьируют в широких пределах от 1 до 10%. Присутствие трещин существенно увеличивает проницаемость породы, которая может достигать $100 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$.

Коллекторы с преобладанием трещин и пор растворения.

Если в пластах, где развит поровый коллектор, присутствуют трещины, то возникает коллектор трещинно–порового типа, в котором пустоты представлены в основном порами растворения. Данный вид коллектора обычно характеризуется средними, иногда высокими значениями пористости и сравнительно высокими значениями коэффициента проницаемости: 6,29-9,24% и $82-35.11 \cdot 10^{-3} \text{ мкм}^2$, соответственно.

6.5. Особенности распространения пород- коллекторов в разрезе свиты Модягоу.

Процессы образования карста в период экспозиции у земной поверхности во многом определили свойства и особенности развития коллекторов в разных горизонтах (пачках) карбонатной толщи Модягоу.

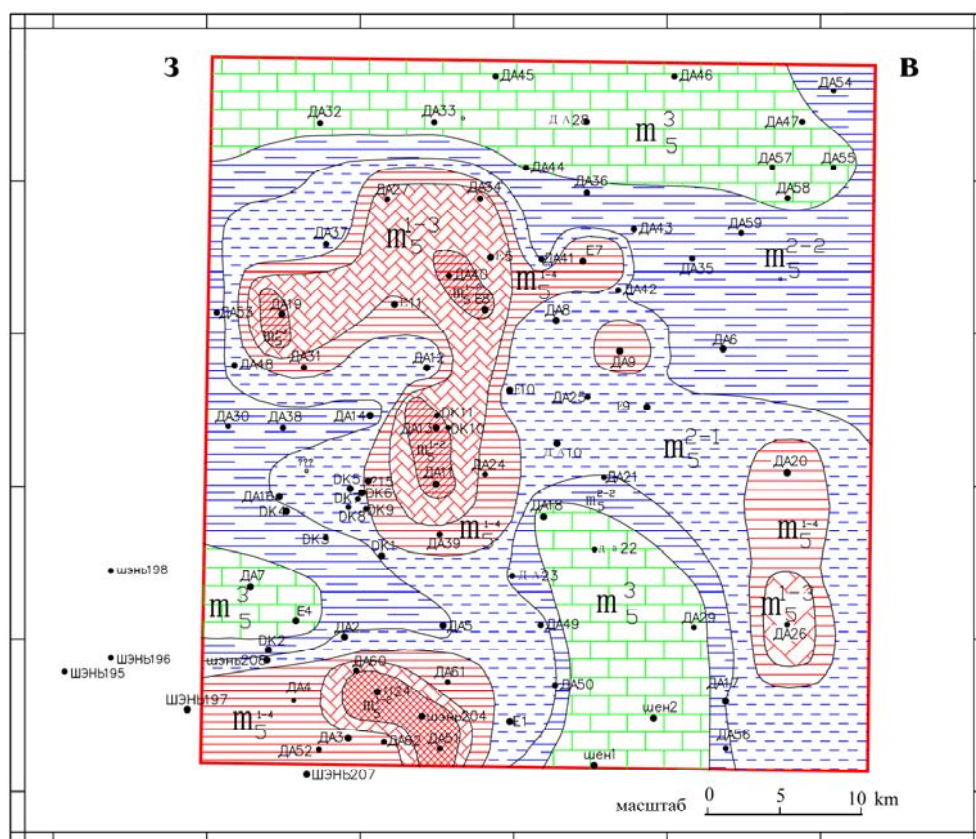


Рис. 5. Ареалы распространения отложений разных подъярусов свиты Модягоу на поверхности реликтового карстового массива (составлено автором)

Диапазон распространения пластов, сложенных породами в интервале m_5^{1-2} , ограничен вершинами реликтовых холмов и прилегающими к ним участками склонов (рис. 5).

От размыва их защищал элювиальный покров, который со временем трансформировался в кору латеритного типа. В породах этих горизонтов преобладают пустоты (каверны) и поры растворения, образование которых было связано с процессами физического и химического выветривания. Значения пористости в этих коллекторах каверно-порового и трещинно-порового типа варьируют в узком диапазоне 2-3% при максимальной величине 4%. Высота залежи газа, открытой в породах горизонта m_5^{1-2} , не превышает 0,2-2 м (рис. 6).

Породы нижележащего горизонта m_5^{1-3} , представленные микрокристаллическими доломитами, также ограничены в распространении. Мощность коллекторского пласта обычно не превышает 1-3 м при максимальной величине – 4-5 м. Изучение керна и шлифов показало присутствие в пласте m_5^{1-3} коллекторов порового и трещинно-порового типа. Значения пористости обычно колеблются в диапазоне 2-6%.

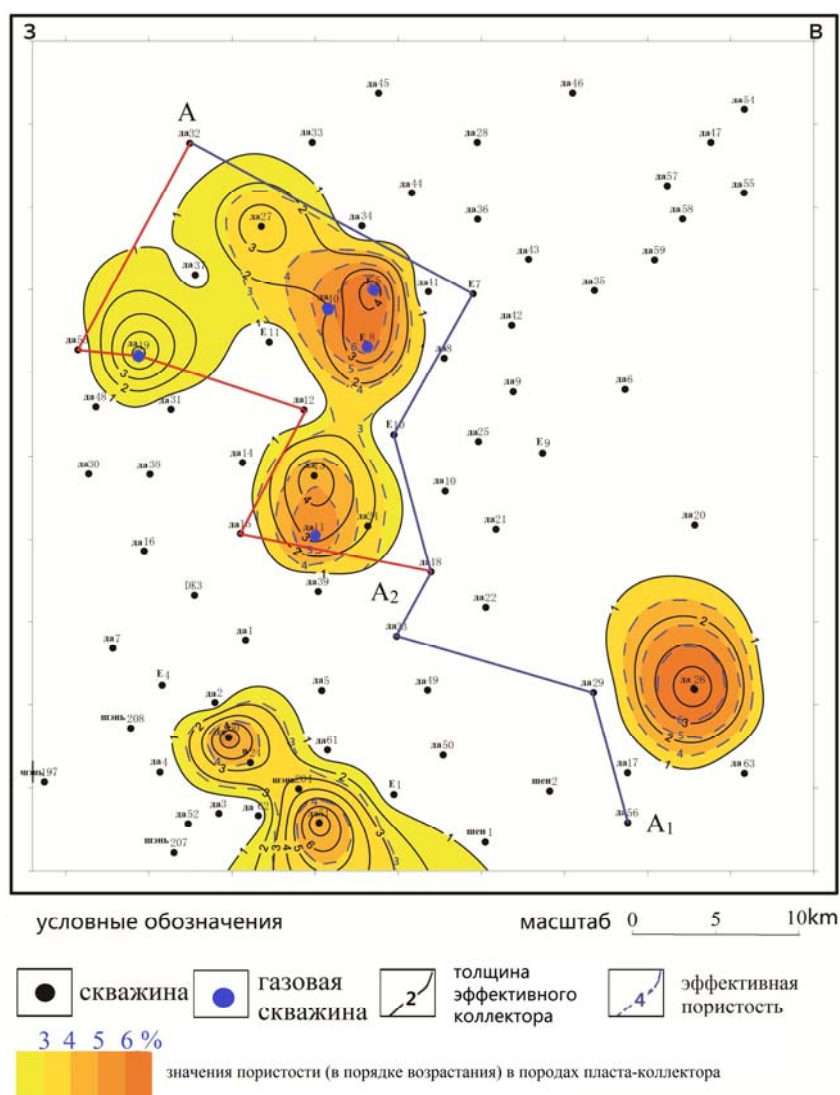


Рис. 6. Ареалы распространения пород-коллекторов в разрезе подъяруса m_5^{1-2} .

Анализ строения палеорельефа карбонатного массива Модягоу и распространения коллекторов в доломитах пачки m_5^{2-1} свидетельствует о том, что они развиты на тех участках месторождения Табамяо, где эти породы были перекрыты более молодыми отложениями. Толщина коллектора обычно составляет 1-3 м, максимальная достигает 4-5 м. Наилучшие ФЕС в доломитах m_5^{2-1} фиксируются на востоке региона, где развит трещинно-поровый тип коллектора. В окрестностях эрозионной долины, по которой происходил сброс паводковых вод, породы m_5^{2-1} не обладают коллекторскими свойствами. Максимальные значения ФЕС в доломитах m_5^{2-1} фиксируются в скв. Да 26 (пористость до 8%) (рис. 7). В породах нижележащего горизонта m_5^{2-2} максимальные значения пористости, до 8%, отмечены на западе района исследований. Здесь, как и в центральной его части, преобладают резервуары трещинно-порового типа, тогда как на востоке региона распространен поровый коллектор.

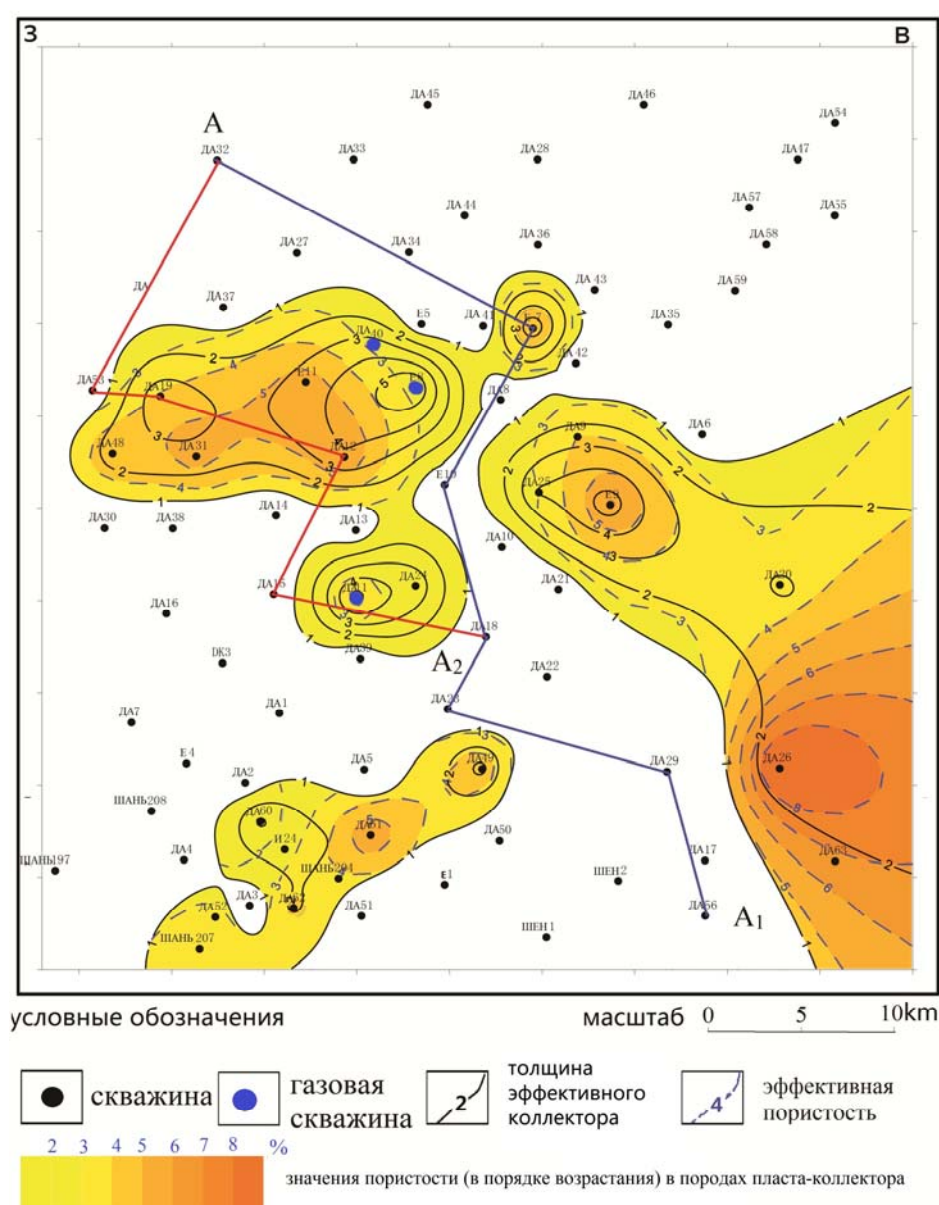


Рис. 7. Ареалы распространения пород-коллекторов в разрезе подъяруса m_5^{2-1} .

Отложения подъяруса m_5^3 на большей части месторождения представлены доломитовыми аргиллитами и глинистыми доломитами. В пределах реликтовой долины они частично размыты. Коллекторские свойства пород определяются присутствием межкристаллических пор. Мощность коллектора не превышает 1-3 м. Значения пористости не превышают 2-4%.

Породы подъяруса m_5^4 полностью сохранились. Коллекторскими свойствами обладают доломиты, которыми сложена верхняя его пачка. Они развиты преимущественно в западном и юго-восточном секторах района Табамья. При мощности не более 1-3 м пористость обычно находится на уровне 2-4%. В поровом коллекторе m_5^{4-1} была открыта небольшая газовая залежь (рис. 8).

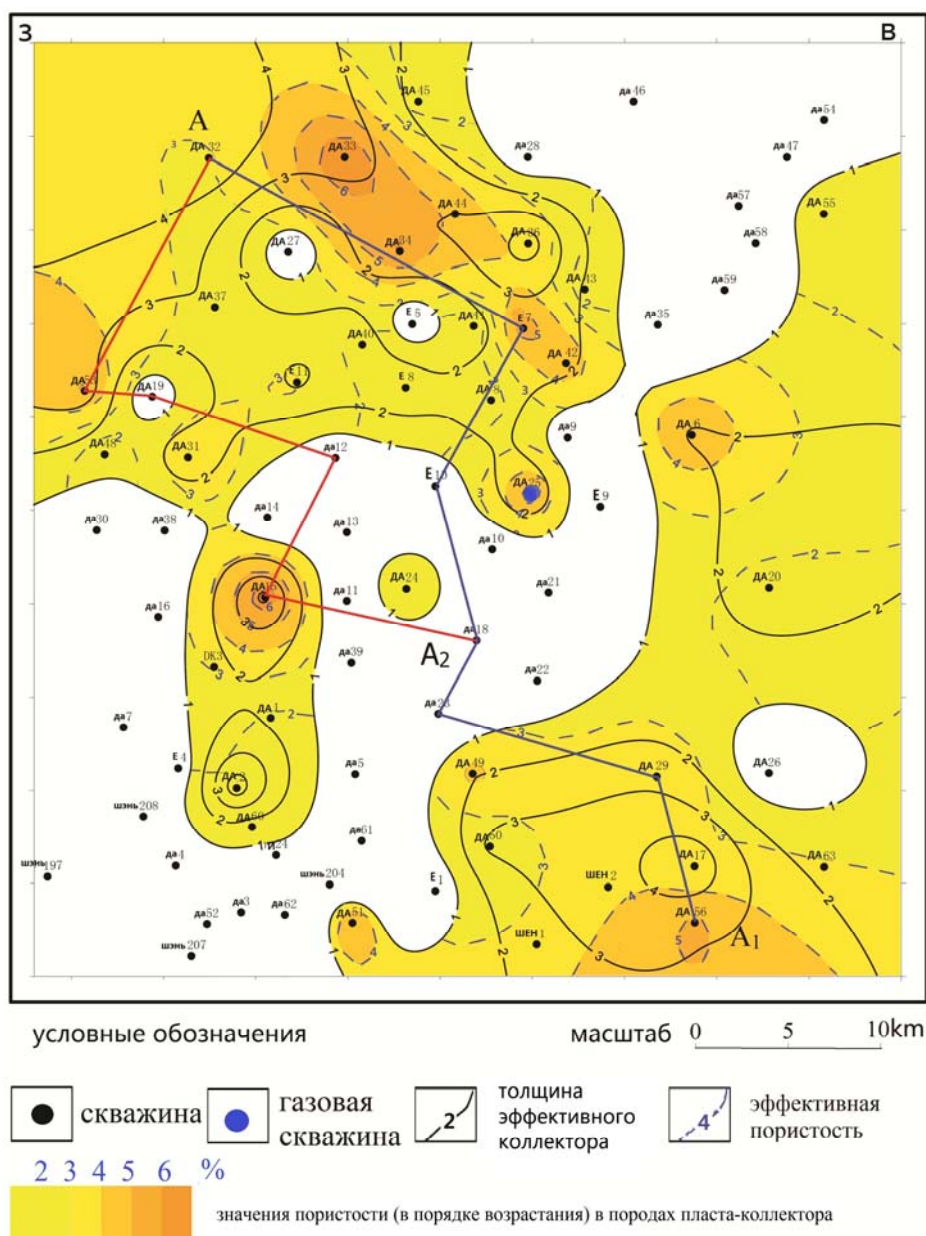


Рис. 8. Ареалы распространения пород-коллекторов в составе горизонта m_5^{4-1}

Очертания основных ареалов распространения пород-коллекторов в горизонтах m_5^{2-2} и m_5^{4-1} отличаются большим сходством, а зоны с максимальными значениями ФЕС в m_5^{4-1} находятся на продолжении аналогичных участков в породах m_5^{2-2} , что может указывать на одни и те же каналы, по которым грунтовые воды просачивались в породы на разных уровнях карбонатного массива. Наиболее активная инфильтрация атмосферных осадков происходила на западном и юго-западном склонах центральной возвышенности. При этом в породах подъяруса m_5^3 , разделяющих эти горизонты, перспективные коллекторы практически отсутствуют.

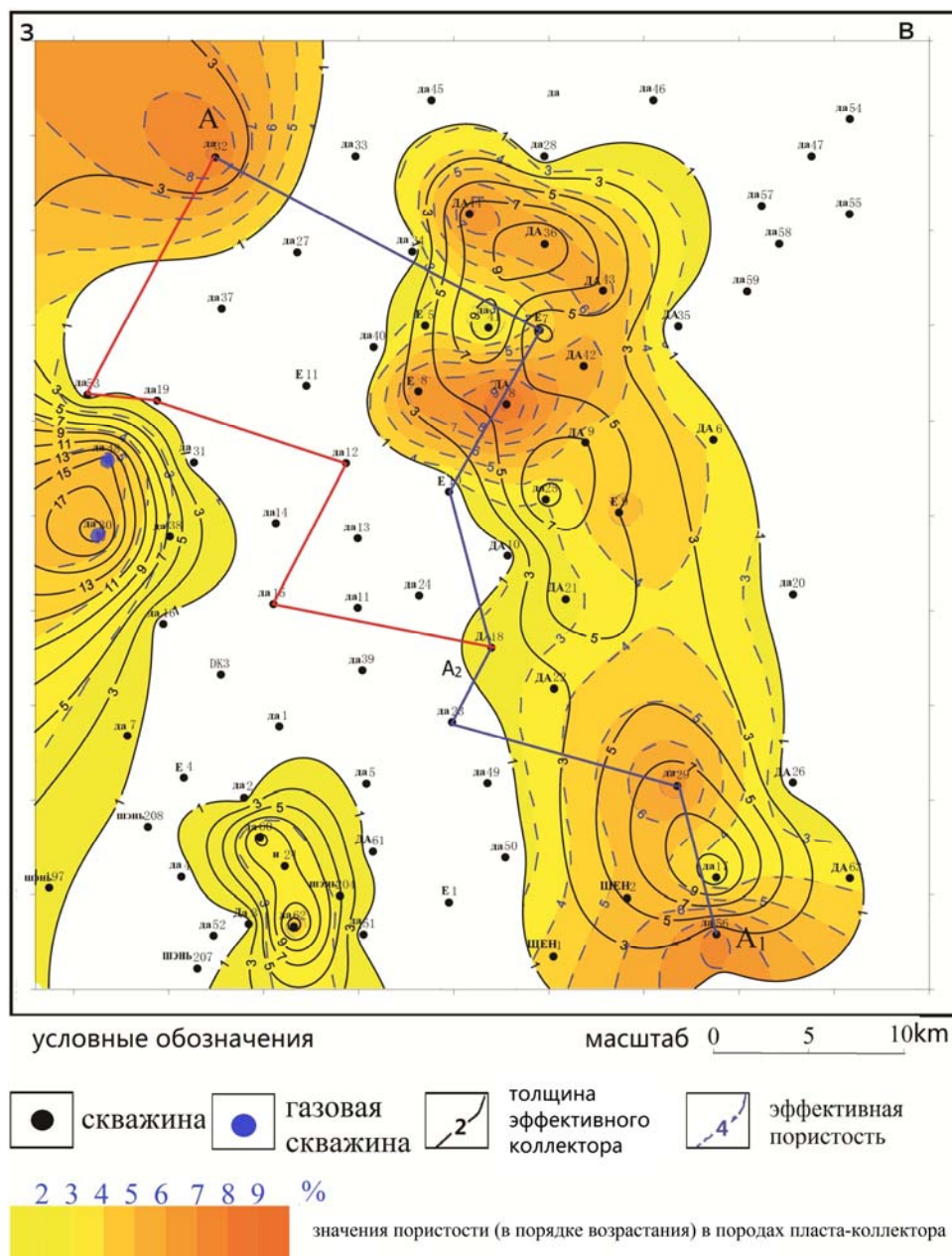


Рис. 9 . Ареалы распространения пород-коллекторов в разрезе подъяруса m_5^5

Коллекторы в породах m_5^5 сосредоточены главным образом в верхней части подъяруса и образуют три протяженные полосы, ориентированные в меридиональном направлении. Их расположение свидетельствует об отсутствии прямой связи с

палеорельефом карбонатного массива. Толщина пласта коллекторов варьирует от 1 до 7 м (максимально до 15 м в западной части месторождения). Породы в составе пачки m_5^5 характеризуются хорошо развитым пустотным пространством, обилием трещин и микротрещин. На стенках вокруг микротрещин видны следы коррозии в форме мелких каверн. В образцах, где помимо пор, развиты микротрещины, проницаемость часто превышает 1 мД. Формирование коллекторов подъяруса m_5^5 в центральной части месторождения (рис. 9) было обусловлено процессами доломитизации первичных известняков, в результате которой образовались доломиты и известковые доломиты (элизионный режим), тогда как в западном секторе превалировали процессы, связанные с развитием карста (инфильтрационный режим).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Карбонатные нижнеордовикские отложения свиты Модягоу накапливались в береговой зоне, в условиях осолоненных лагун и приливно-отливных равнин. Доломиты, ангидритовые доломиты и доломитовые ангидриты аккумулировались в литоральных и супралиторальных, глинистые доломиты и мелкозернистые известняки - в сублиторальных обстановках. Сложившееся на этом этапе и в процессе уплотнения пустотное пространство обусловило формирование порового коллектора, способного вмещать скопления природного газа.

Длительное пребывание у земной поверхности, вызванное отступлением моря из северных районов Ордосского бассейна, сопровождалось эрозией, а инфильтрация атмосферных осадков в карбонатные породы - образованием карста. В реликтовом рельефе, сложившемся к началу среднего карбона в центре района Табамяо, обособилось поднятие с несколькими холмистыми участками. На вершине холмов, с западной и южной стороны окруженных пологими склонами, сохранились самые верхние подразделения свиты Модягоу. Активное развитие карста в этих горизонтах (m_5^{1-2} и m_5^{1-3}) способствовало формированию пластов коллекторов с большим количеством пустот, полостей и трещин растворения, способных заключать залежи природного газа. Высота одной из них, обнаруженной в породах горизонта m_5^{1-2} , составляет 0,2-2 м.

Глубокая палеодолина, по которой во время паводков перемещались большие массы воды, отделяет центральный участок от восточного сектора, где рельеф был более спокойным и приподнятые участки не сильно возвышались над окружающим пространством. На поверхности карбонатного массива здесь развиты породы подъярусов m_5^{2-1} и m_5^{2-2} . Они обнажаются и в бортовых частях реликтовой долины, где в тальвеговой зоне размыты не только эти образования, но частично и подстилающие

отложения подъяруса m_5^3 . Породы того же возраста выходили на поверхность на севере исследованного региона. Если на древних водоразделах карст развит преимущественно в верхних пачках, то в понижениях между ними эти явления, с которыми связано образование полостей и трещин растворения, фиксируются в более нижних горизонтах разреза.

В соответствие со структурой пустотного пространства в отложениях свиты Модягоу выделяются несколько типов пород-коллекторов. Коллекторы порового типа представлены породами с межкристаллическими порами и микропорами, унаследованными от этапа седиментации и диагенеза (m_5^3) с пористостью - 1-5% и проницаемостью ниже $1 \cdot 10^{-3}$ мкм². К коллекторам карстового генезиса относятся породы в пачках m_5^{1-2} и m_5^{1-3} с кавернами и порами растворения (пористость - до 10%, проницаемость $>1 \cdot 10^{-3}$ мкм²). Наиболее распространены комбинированные коллекторы трещинно-порового типа. Именно с ними в пачках m_5^{1-3} , m_5^{2-1} , m_5^{2-2} и m_5^{4-1} чаще всего связаны скопления природного газа. При этом особенно важную роль играют микротрещины, присутствие которых делает перспективными эти горизонты в отношении формирования залежей газа. Небольшая плотность микротрещин в горизонтах m_5^{4-2} и m_5^{4-3} предопределила их невысокие возможности в этом отношении. Коллекторы с вторичными пустотами, возникшими при доломитизации известняков в диа- и катагенезе, присутствуют в нижних пачках m_5^5 и m_5^6 . Они характеризуются низкими значениями пористости и проницаемости. Однако сочетание трещинно-порового коллектора с доломитами, которые развились по известнякам, делает породы в составе пачки m_5^5 интересными в отношении поисков новых газовых скоплений в районе месторождения Табамяо.

Перспективы газоносности месторождения Табамяо могут быть связаны с породами в составе пачки m_5^6 и более глубокими горизонтами нижнеордовикского карбонатного комплекса. Горизонтальная карстовая зона, выявленная в породах этой пачки, сформировалась последней в период экспозиции отложений Модягоу у земной поверхности. Образовавшиеся в ней полости и трещины заполнены вторичным осадком в меньшей степени, чем в вышележащих отложениях. Это позволяет рассчитывать на относительно высокие ФЕС в тех горизонтах пачки m_5^6 , которые были затронуты выщелачиванием. Нельзя также исключать существования еще более глубокой зоны образования карста. Дело в том, что природный газ, который добывается из ордовикских карбонатов в бассейне Ордос, на 75% состоит из метана, продуцированного, судя по составу стабильных изотопов углерода, в известняках свиты Модягоу 4, содержащих повышенные концентрации ОВ. Пути, по которым он

мигрирует в вышележащие породы, не известны. Вполне вероятно, что в период каледонских движений, сопровождавшихся воздыманием и эрозией нижнеордовикских отложений, по этим путям в глубинные горизонты карбонатного массива поступали грунтовые воды, что привело к образованию глубоко залегающих карстовых зон. Насколько это предположение соответствует действительности, может подтвердить или опровергнуть бурение новых скважин.

Публикации автора по теме диссертации

Перечень ВАК

Ван Илинъ. Чжан Цзинсюань, Перспективы газоносности осадочных пород в бассейне Ордос // Территория нефтегаз. 2015. №2 . С. 36-39

Ван Илинъ. Литологический состав и коллекторские свойства нижнеордовикских отложений свиты Модягоу на месторождении Табамяо (бассейн Ордос, КНР) // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 2016. № 5. С. 81-86

Материалы конференций

Ван Илинъ. Особенности строения и процессы формирования природных резервуаров в составе коры выветривания ордовикских карбонатных пород в Ордосском бассейне (КНР) // Тез. доклад. на научной конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа». М. МГУ. 2015. С. 266 – 267.