

УДК 551.24:553.98

В.Ф. Подурушин

Тектоника Отраднинского газоконденсатного месторождения (Южная Якутия)

Ключевые слова:

Предпатомский краевой прогиб, Отраднинское газоконденсатное месторождение, тектоника, надвиг, складка, структурная ловушка, рифей, венд, кембрий.

Keywords:

Predpatomsky foredeep, Ottradnyy gas-condensate field, tectonics, thrust, fold, structural trap, Riphean, Vendian, Cambrian.

Отраднинское месторождение расположено на северном борту Ньюско-Джербинской впадины Предпатомского краевого прогиба вблизи его сочленения с внутренней областью Сибирской платформы [1–4]. В разрезе платформы выделены архейско-нижнепротерозойский фундамент, рифтогенный рифейский структурный этаж и венд-фанерозойский осадочный чехол. По геофизическим данным, поверхность фундамента образует пологую моноклиналь, осложненную субмеридиональными и северо-восточными разломами, частично проявленными в осадочном чехле [5].

На юге краевой прогиб граничит с каледонским Байкало-Патомским складчато-надвиговым поясом, от которого Отраднинское месторождение удалено на 200 км [2, 6]. Вокруг Байкало-Патомского пояса образовалось полукольцо шарьяжно-надвиговых структур, имеющих общий подошвенный срыв (детachment) [2, 7]. В зоне надвигов породы тектонически интенсивно переработаны. На глубине 2–10 км преобладают квазипластическое течение, будинаж, в интервале 1–2 км – квазихрупкое разрушение (катаклаз, брекчирование), выше – хрупкое разрушение (катаклазиты, милониты, кливаж) [2].

Отраднинское месторождение локализовано в одноименной антиклинальной структуре 2-го порядка [4, 5]. К концу 1990-х гг. сформировалась точка зрения об участии в строении месторождения крупного надвига, берущего начало на границе с Байкало-Патомским складчато-надвиговым поясом [4, 7–9].

Основной объем чехла на месторождении слагают венд-среднекембрийские отложения, разделенные на три структурно-литологических комплекса: галогенно-карбонатный юрегинско-метегерский ($C_{1,2}$); преимущественно карбонатный бюкско-билирский (V_2-C_1); карбонатно-терригенный бетинчинско-харыстанский (V_1) [4]. Подошвенный надвиг делит чехол на автохтонный и аллохтонный структурные комплексы. Южнее месторождения detachment проходит по солям торсальской пачки верхнего венда, на месторождении соли фациально замещаются ангидрито-глинисто-карбонатными отложениями и detachment скачкообразно поднимается в соли нижнекембрийской юрегинской свиты [6].

Автохтон по отражающему горизонту КВ (телгеспитская пачка бюкской свиты верхнего венда) представлен слабдеформированной моноклиалью, погружающейся к юго-востоку от абсолютных отметок в диапазоне –1950 до –2250 м [4, 10]. На этом фоне Отраднинская структура выделяется в виде протяженной гемиантиклинальной складки или структурного мыса северо-восточного направления. Амплитуда Отраднинской ловушки по отражающему горизонту КВ составляет 90 м (рис. 1).

Газоконденсатная залежь связана с закарстованной зоной в средней части известняково-доломитовой телгеспитской пачки верхнего венда. Коллектор относится к порово-кавернозно-трещинному типу. Из-за густой трещиноватости и слабой сцементированности в большинстве случаев отобранный из него керн распадается на куски, а в некоторых случаях керн вообще не смогли поднять на поверхность. Гидродинамическими исследованиями проницаемость пород определена в диапазоне 114–1450 мД, фильтрационно-емкостные свойства не выдержаны [4]. Лучшими коллекторами являются чистые доломиты – наиболее жесткие и хрупкие породы, благоприятные для образования трещин и последующей гидротермальной переработки. Благодаря проводящей роли разломов над основной залежью образовались непромышленные скопления газа в юряхском горизонте нижнего кембрия [3, 11].

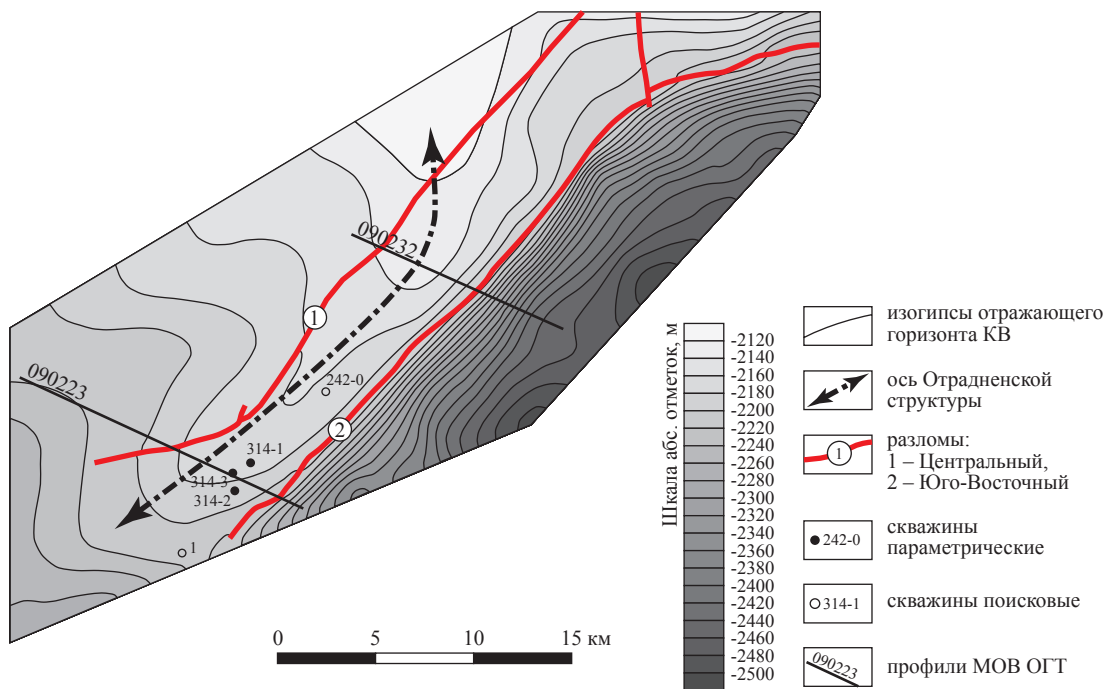


Рис. 1. Отраднинское месторождение. Структурная карта по отражающему горизонту КВ (по [5] с дополнениями): МОВ ОГТ – метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки

Деформации осадочного чехла на месторождении концентрируются главным образом в аллохтоне, структура которого описывается отражающим горизонтом II (нижний кембрий, граница карбонатной билирской и соленосной юрегинской свит). Согласно предшествующим исследованиям, структура аллохтона представлена стогообразным дуплексом в отложениях верхнего венда – нижнего кембрия [6, 9]. В сводовой части структуры выделен надвиг северо-восточного простирания, сопровождаемый мелкими чешуйчатыми срывами по слоям пластичной соли. В разрезах скважин зафиксированы двух-четырёхкратное повторение разрезов вендских и нижнекембрийских свит, зоны подземного выщелачивания солей, над которыми происходит проседание и брекчирование перекрывающих пород [4].

В представленной статье уточняется строение Отраднинского месторождения с использованием глубинного разреза по профилю 090223 (рис. 2, см. рис. 1) и временного разреза по профилю 090232 (рис. 3, см. рис. 1). Первый профиль проходит рядом с продуктивными скважинами, второй удален от ближайшей скважины более чем на 10 км и юго-восточным отрезком входит в область погружения фундамента.

Дочехольные образования

На юго-восточном отрезке профиля 090232 ниже платформенного чехла распознается грабен глубиной не менее километра, ограниченный сходящимися системами сбросов. В него с наращиванием разреза погружаются дочехольные (довендские) отложения (см. рис. 3). Исходя из истории развития региона можно предполагать, что грабен заполнен отложениями рифея, которые считаются нефтегазоматеринскими [6].

Отложения над северным граничным разломом грабена изогнуты в антиклинальную складку амплитудой 65–110 м, свидетельствующую, что этот разлом после заполнения грабена осадками испытал инверсию, тип перемещений по нему изменился со сбросового на взбросовый. Описанная антиклиналь может рассматриваться как потенциальная ловушка углеводородов, однако ближайшая покрывка – торсальская пачка – удалена от нее по вертикали на 420–450 м.

Перечисленные разломы имеют пологий наклон (с учетом многократной разницы вертикального и горизонтального масштабов изображений). Они развиты в основном в фундаменте и предполагаемом рифейском рифтогенном комплексе, и лишь немногие без смещений

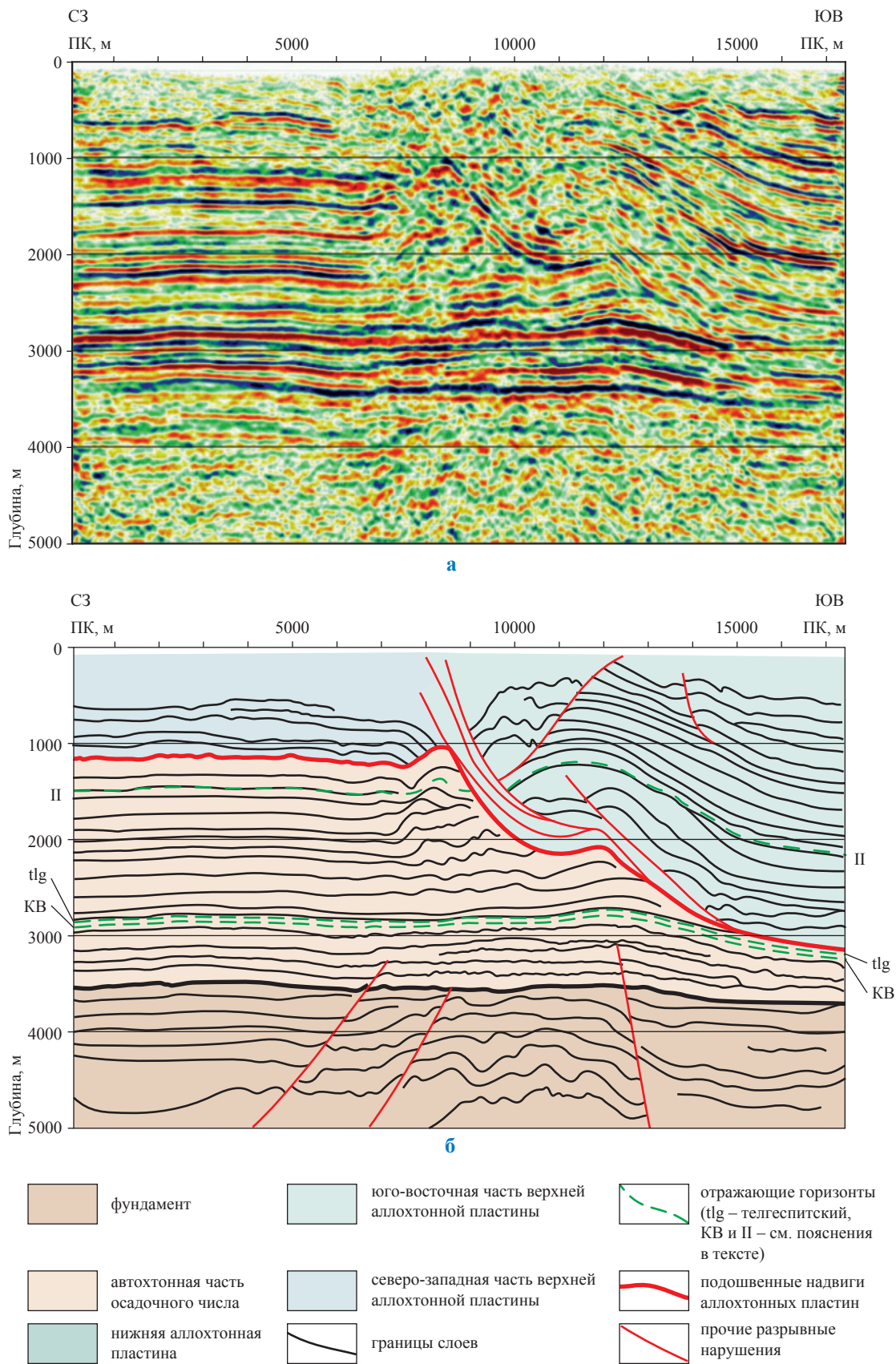


Рис. 2. Глубинный (а, по данным [5]) и сейсмогеологический (б) разрезы по профилю 090223: ПК – пикеты профиля

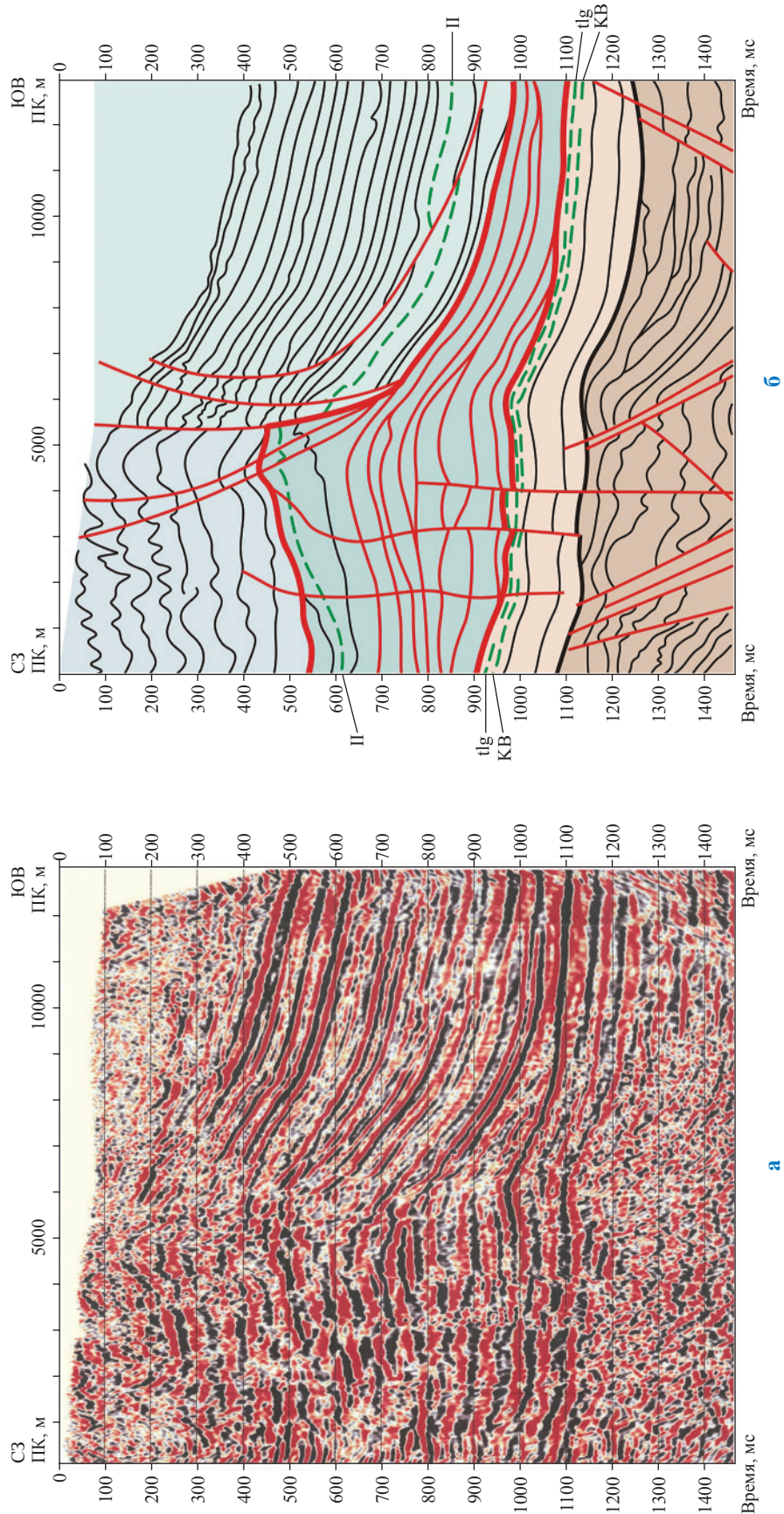


Рис. 3. Временной (а, по данным [5]) и сейсмогеологический (б) разрезы по профилю 090232: условные обозначения см. на рис. 2

пересекают предвендское несогласие, затрагивая нижние горизонты осадочного чехла.

Помимо наклонных разломов на профиле 090232 выделено субвертикальное разрывное нарушение, отождествляемое с Центральным разломом [4]. В фундаменте оно имеет единый прямолинейный сместитель.

На профиле 090223, начиная с 12-го км, также происходит общее погружение дочехольных отложений на юго-восток. Блок фундамента, расположенный под Отраднинской структурой между Центральным и Юго-Восточным разломами, приподнят по разломам в виде горста, слагающие его породы осложнены складчатостью. Юго-восточнее горста происходит общее погружение архейско-протерозойской толщи и наращивание ее разреза, по-видимому, рифейскими отложениями. Кровля дочехольных отложений срезана и нивелирована базальным несогласием чехла (см. рис. 2).

Автохтонная часть чехла

На разрезах отчетливо читается предвендское несогласие, отделяющее ортоплатформенный чехол от нижнедокембрийского и, предположительно, рифейского структурных этажей (см. рис. 2, 3).

Подошвенный срыв, разделяющий осадочный чехол на автохтон и аллохтон, на юго-восточном фланге месторождения проходит по торсальской пачке бюксской свиты верхнего венда, которая подстилается телгеспитской пачкой той же свиты. Над выступом автохтона детачмент «перескакивает» на уровень юрегинской свиты нижнего кембрия, поднимаясь на 1400–1700 м и с глубины около 2 км разделяясь на серию чешуйчатых надвигов.

Автохтонная часть чехла повсеместно включает нижний венд и телгеспитскую пачку верхнего венда. В трещиноватой части последней локализовано Отраднинское месторождение. Эта, нижняя, часть чехольного автохтона залегает спокойно, образуя слабо выраженный антиклинальный перегиб, служащий ловушкой газоконденсатной залежи. Вертикальная амплитуда складки увеличивается вверх по разрезу (см. рис. 2б, 3б).

На профиле 090223 лежачее крыло надвига от торсальской пачки до подошвы юрегинской свиты также относится к автохтону. Оно не нарушено послойными срывами и осложнено только складчатыми деформациями, возникшими под действием латерального

давления. Зона поднадвиговых складок на глубине 2,8–2,0 км имеет по горизонтали ширину 5,5 км, а выше постепенно сужается до 1800 м параллельно с расширением чешуйчатого веера вследствие перераспределения дислокаций между дизъюнктивными и пликативными формами (см. рис. 2б).

Принято считать, что из-за выклинивания солей в торсальской пачке покрывкой газоконденсатной залежи становятся мощные соляные пласты нижнекембрийской юрегинской свиты. Однако высота Отраднинской ловушки составляет всего 90 м, а подошва юрегинских солей залегает многократно выше (в скв. Отраднинская 314-2 – на глубине 1300 м). Над телгеспитским продуктивным горизонтом известны лишь непромышленные скопления газа в юряском горизонте нижнего кембрия. Поэтому, скорее всего, экраном газоконденсатного скопления являются ангидрито-глинисто-доломитовые породы торсальской пачки, фациально замещающие соли. По-видимому, на глубине свыше 2 км в условиях литостатического сжатия, дополненного боковым стрессом со стороны надвига, ангидриты приобрели способность к квазипластическому течению [12] и обеспечили сохранность залежи.

Единственным значительным дизъюнктивом в автохтонной части чехла является субвертикальный Центральный разлом (см. рис. 3б), который здесь распадается на три ветви, образующие в разрезе кулису. Эти нарушения в северо-западном направлении последовательно смещаются вверх по разрезу и затухают, свидетельствуя о развитии кулисы в парагенезе с надвигом. Блок между юго-восточным и центральным нарушениями кулисы горстобразно приподнят на 65–70 м, образуя потенциальную ловушку газа.

Аллохтонная часть чехла

На профиле 090232 подошвенный срыв по торсальской свите фиксируется на всем протяжении профиля, что связано, скорее всего, с расширением ареала торсальских солей над предполагаемым рифейским грабеном. Объем пород на этом профиле, заключенный между подошвенными срывами, проходящими по торсальской пачке и юрегинской свите, выделен в качестве нижней аллохтонной пластины, а породы выше верхнего подошвенного срыва отнесены к верхней аллохтонной пластине (см. рис. 3б).

Структуры нижней и верхней аллохтонных пластин взаимосвязаны. На юго-востоке участка толщина верхней пластины увеличивается, верхний и нижний подошвенные надвиги сближаются, а толщина нижней пластины соответственно уменьшается. Нижняя аллохтонная пластина в этой части испытала повышенные вертикальную и латеральную нагрузки: сначала в результате собственного перемещения, затем – при движении по ней верхнего аллохтона. Слои нижней аллохтонной пластины на юго-востоке утонены (раздавлены и растянуты), их границы на сейсмопрофиле относительно ровные, отчетливые, дуплексная структура вырождается, не исключено частичное выжимание наиболее пластичных пород к северо-востоку. В северо-западной части те же слои имеют повышенные толщины, менее четкие границы, осложнены складчатостью и приобретают обратное, северо-западное, направление падения (см. рис. 3б).

Над выступом автохтона в середине профиля толщина верхнего аллохтона уменьшается, а в нижней аллохтонной пластине проявлены дуплексы, ограниченные послойными срывами и имеющие в поперечном сечении линзовидную, выгнутую вверх, форму. Совокупность дуплексов приподнимает вышележащие горизонты, увеличивая вертикальное расстояние между отражающими горизонтами КВ и П (см. рис. 3б).

Помимо послойных срывов нижняя аллохтонная пластина на профиле 090232 пересечена упоминавшейся ранее кулисообразной зоной субвертикальных разломов. Юго-восточный разлом этой зоны быстро заканчивается, а центральный и северо-западный приобретают безамплитудный характер и дугообразно изгибаются, обрамляя изгиб верхней аллохтонной пластины.

На профиле 090223 юго-восточная часть верхней аллохтонной пластины осложнена разломами и складками волочения, тогда как в северо-западной части слои залегают относительно спокойно. В обеих частях мощности слоев сохраняются примерно одинаковыми (см. рис. 2б).

История формирования структуры и нефтегазоносность

В рифее фундамент Отраднинского месторождения подвергся рифтогенезу, был раздроблен сбросами и приобрел блоковое строение.

В юго-восточной части участка образовался грабен с приподнятым северо-западным бортом. Грабен был заполнен предположительно терригенными отложениями. В конце рифея рифтогенез завершился вследствие умеренного сжатия, под влиянием которого северо-западный борт грабена испытал инверсию и над его граничным разломом сформировалась локальная антиклинальная складка.

В венде, несмотря на прешествующее выравнивание, бортовой разлом рифейского грабена сохранил слабое выражение в рельефе. В позднем венде он служил фациальной границей, к юго-востоку от которой в торсальской пачке отлагались соли, а к северо-западу – ангидриты и доломиты. В кембрии-ордовике в спокойной тектонической обстановке, по-видимому, произошла полная пенеппенизация поверхности лагунного и мелководно-морского бассейна.

В девоне на территорию Отраднинского месторождения распространилась волна сжатия со стороны Байкало-Патомского орогена, вызвавшая образование надвигов. Надвиговые перемещения, по всей видимости, происходили в две фазы без перерыва во времени. В первой фазе единая аллохтонная пластина скользила по подошвенному срыву в солях торсальской пачки и при взаимодействии с выступом автохтона образовала серию дуплексов. Во второй фазе исчезновение соляной «смазки» в торсальской пачке привело к подъему детачмента на уровень нижнего кембрия – в соляные пласты юрегинской свиты. При этом сформировались разнообразные разрывно-складчатые дислокации: дуплексы, чешуйчатые веера, возможно, локальные проявления соляной тектоники, а на профиле 090232 – перекрытие нижнего и верхнего послойных срывов. Воздействие надвигов активизировало крутопадающие разломы фундамента и автохтона. Между кулисообразными ветвями Центрального разлома в процессе становления аллохтона образовалось малоамплитудное горстообразное поднятие, выше сменяющееся разрывами без смещений типа зон повышенной трещиноватости. Вероятно, давление аллохтонных масс повлияло на «бескорневое» увеличение вертикальной амплитуды Отраднинской структуры вверх по разрезу и на образование трещинного коллектора в телгеспитском горизонте.

В результате проведенного исследования уточнена структура Отраднинского месторож-

дения. На профиле 090232 выделены следующие потенциально нефтегазоносные структуры:

1) горстообразное поднятие продуктивного телгеспитского горизонта между ветвями вертикального разрывного нарушения амплитудой 65–70 м и шириной 800–900 м;

2) приразломная антиклинальная складка амплитудой 65–100 м предположительно в рифейских отложениях северо-западного борта грабенообразной структуры на юго-восточном окончании профиля;

3) в аллохтоне возможными ловушками могут служить сводовые части надразломных антиклиналей и дуплексов, однако многочисленные разломы создают пути миграции углеводородов через соляные пласты юрегинской свиты, существенно снижая возможность накопления в аллохтоне промышленных углеводородных скоплений, хотя не исключая ее полностью.

Список литературы

1. Бобров А.К. Геология Предбайкальского краевого прогиба. Строение и перспективы нефтегазоносности / А.К. Бобров. – М.: Наука, 1964. – 228 с.
2. Сизых В.И. Шарьяжно-надвиговая тектоника окраин древних платформ: автореф. дис. ... д.г.-м.н. / В.И. Сизых. – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2000. – 96 с.
3. Бурова И.А. Карбонатные коллекторы вендско-нижнекембрийского нефтегазоносного комплекса Восточной Сибири / И.А. Бурова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2010. – Т. 5. – № 2. – 18 с. – http://www.ngtp.ru/rub/4/23_2010.pdf
4. Черненко В.Б. Оперативный подсчет запасов углеводородов по Отраднинскому газоконденсатному месторождению (по состоянию на 01.01.2010): отчет. Т. I: Текст / В.Б. Черненко, М.М. Солощак, А.М. Кротов. – Ленск: Сахатранснефтегаз, 2010. – 47 с.
5. Кушмар И.А. Пересчет запасов углеводородов (свободного газа и конденсата) в телгеспитском горизонте Отраднинского газоконденсатного месторождения Республики Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2013 г.: отчет / И.А. Кушмар, В.И. Митасов, В.П. Семенов и др. – СПб.: НАЦ ВНИГРИ Нефтегаз, 2013. – 163 с.
6. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. – М.: МАИК «Наука / Интерпериодика», 2001. – 571 с.
7. Мигурский А.В. Новые направления нефтегазопищевых работ в Предпатомском региональном прогибе (Сибирская платформа) / А.В. Мигурский, А.С. Ефимов, В.С. Старосельцев // Геология нефти и газа. – 2012. – № 1. – С. 19–26.
8. Серезенков В.Г. Надвиговая тектоника и нефтегазоносность Предпатомского прогиба / В.Г. Серезенков, В.С. Ситников, Н.А. Аржаков и др. // Геология нефти и газа. – 1996. – № 9. – С. 4–10.
9. Гайдук В.В. Надвиговые структуры Ньюско-Джербинской впадины / В.В. Гайдук, С.Ю. Севостьянов, А.А. Егосин и др. // Геологическое строение и полезные ископаемые Республики Саха (Якутия). Т. 1: Региональная геология. – Якутск: ЯИГН СО РАН, 1997. – С. 33.
10. Ларионова Т.И. Палинспастические реконструкции складчато-надвиговых дислокаций Ньюско-Джербинской впадины – перспективных объектов нефтегазопищевых работ (Сибирская платформа) / Т.И. Ларионова // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 12. – С. 32–37.
11. Арчевов В.Б. История нефтегазогеологических работ на территории Сибирской платформы и сопредельных структур / В.Б. Арчевов, В.А. Степанов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т. 4. – 2009. – № 4. – http://www.ngtp.ru/rub/4/4_2009.pdf
12. Савченко В.П. Формирование, разведка и разработка месторождений газа и нефти / В.П. Савченко. – М.: Недра, 1977. – 414 с.