

УДК 551.7:551.24

DOI 10.31087/0016-7894-2018-4s-113-119

## Подтверждение существования погребенных разломов в терригенных отложениях нижнего венда на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении

© 2018 г. | А.Е. Рыжов, З.П. Склярлова, А.И. Крикунов, Н.Ю. Канунникова

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Московская область, Россия; a\_ryzhov@vniigaz.gazprom.ru; z\_sklyarova@gwise.vniigaz.gazprom.ru; a\_krikunov@gwise.vniigaz.gazprom.ru; n\_kanunnikova@gwise.vniigaz.gazprom.ru

Поступила 28.06.2018 г.

Принята к печати 10.07.2018 г.

**Ключевые слова:** *месторождение; скважина; разлом; корреляционная схема; размыв; геологический профиль; палеоструктурные преобразования.*

Терригенные отложения нижнего венда в пределах Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения характеризуются высокой степенью неоднородности. Породы-коллекторы и по латерали и по разрезу часто замещаются на непроницаемые отложения. Сопоставить разрезы даже рядом расположенных скважин довольно сложно. Для выяснения этой резкой литологической изменчивости авторы статьи составили корреляционные схемы, построили геологические профили и провели палеоструктурные преобразования. Графические построения привели к выводу, что терригенные отложения нижнего венда часто нарушаемы внутриформационными погребенными разломами, а результаты сейсморазведки позволяют надежно выявлять только те дизъюнктивные дислокации, которые фиксируются по поверхности терригенного венда. Разрывные нарушения играют существенную роль в образовании, сохранении и разработке залежей углеводородов, но на сегодняшний день более актуален вопрос использования методов, с помощью которых, наряду с сейсморазведкой, можно было бы уверенно определять местоположение разломов, в том числе и погребенных. Одним из таких методов можно признать комплексный подход, который обусловлен использованием циклостратиграфического анализа, основанного на единстве противоречивых явлений – унаследованности развития и его постоянной изменчивости.

*Для цитирования:* Рыжов А.Е., Склярлова З.П., Крикунов А.И., Канунникова Н.Ю. Подтверждение существования погребенных разломов в терригенных отложениях нижнего венда на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении // Геология нефти и газа. – 2018. – № 4s. – С. 113–119. DOI 10.31087/0016-7894-2018-4s-113-119.

## Validation of buried faults presence in Lower Vendian terrigenous formations: Chayandinsky oil and gas condensate field

© 2018 | А.Е. Ryzhov, Z.P. Sklyarova, A.I. Krikunov, N.Yu. Kanunnikova

Gazprom VNIIGAZ LLC, Moscow oblast, Russia; a\_ryzhov@vniigaz.gazprom.ru ; z\_sklyarova@gwise.vniigaz.gazprom.ru; a\_krikunov@gwise.vniigaz.gazprom.ru; n\_kanunnikova@gwise.vniigaz.gazprom.ru

Received 28.06.2018

Accepted for publication 10.07.2018

**Key words:** *field; well; fault; correlation chart; erosion; geological section; paleostructure reshaping.*

High degree of heterogeneity is typical of the Lower Vendian terrigenous sequences within the Chayandinsky oil and gas condensate field. Reservoir rocks are often shaled out both laterally and through the section. Matching of well columns is rather difficult, even if they are closely spaced. In order to clarify this sudden lithological variability, the authors created correlation charts, geological sections, and carried out paleostructure reshaping. Graphical constructions lead to the conclusion that Lower Vendian terrigenous formations are often dislocated by buried intrastratal faults; though, the results of seismic exploration make it possible to reliably identify only disjunctive dislocations fixed at the surface of the Vendian terrigenous sequences. Faults play an essential role in hydrocarbon pools formation, preservation, and development; but the more urgent problem for today is the use of methods capable, together with seismic exploration, of confident fixing position of faults, including those buried. An integrated approach can be recognised to be one of these methods, where stratigraphic cycle analysis is applied based on the unity of the contradictory phenomena, namely: inheritance of evolution/development, and its continuous variability.

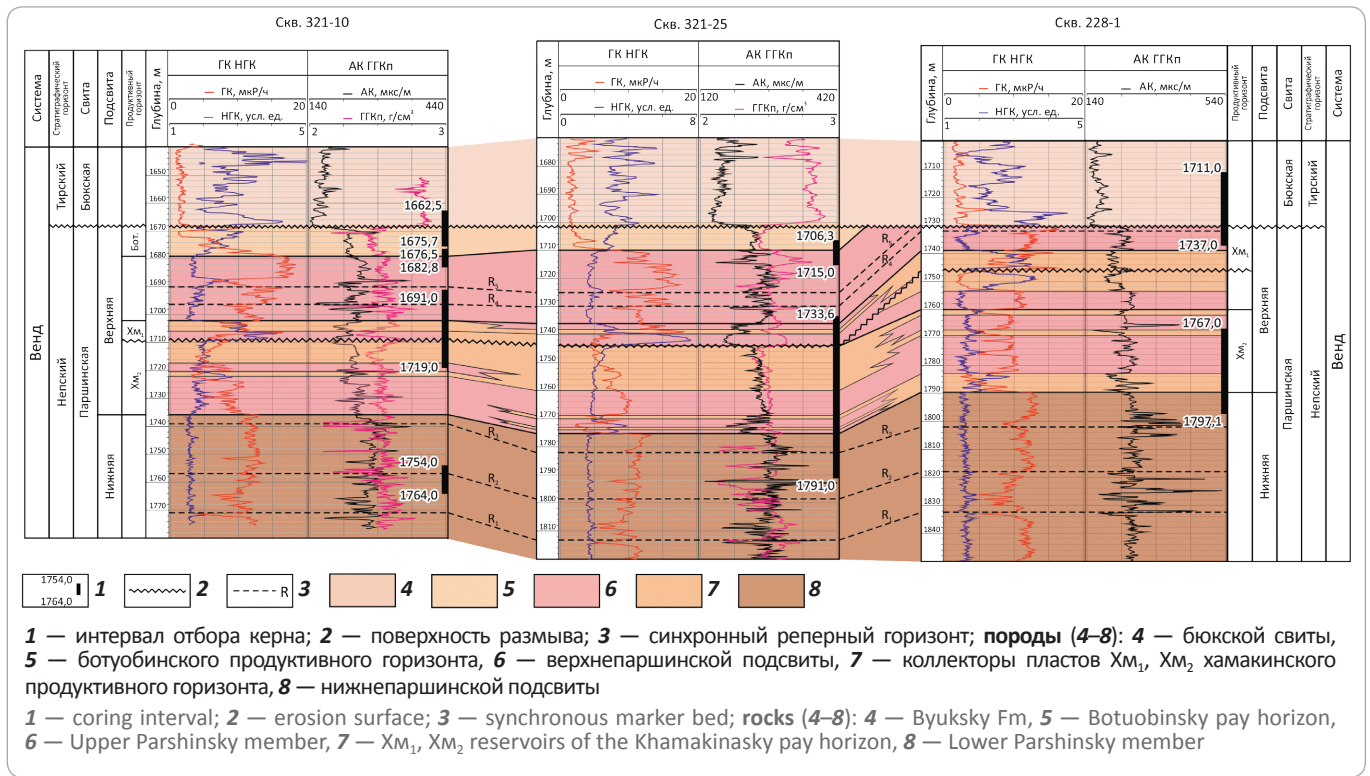
*For citation:* Ryzhov A.E., Sklyarova Z.P., Krikunov A.I., Kanunnikova N.Yu. Validation of buried faults presence in Lower Vendian terrigenous formations: Chayandinsky oil and gas condensate field. *Geologiya nefi i gaza = Oil and gas geology*. 2018;(4s):113–119. DOI 10.31087/0016-7894-2018-4s-113-119.

Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) — одно из крупнейших скоплений нефти, газа и конденсата в Республике Саха (Якутия) и на востоке России, нефтегазоносность которого связана

с терригенными отложениями верхнего протерозоя. Залежи ботубинского, хамакинского, талахского и вилючанского продуктивных горизонтов приурочены к отложениям нижнего венда. В ближайшее вре-



**Рис. 1.** Схема корреляции (I–I) по линии скважин 321–10, 321–25, 228–1 Чайандинского месторождения  
**Fig. 1.** Correlation chart (I–I) along the wells 321–10, 321–25, 228–1, Chayandinsky field



мя начнется разработка месторождения, поэтому на первый план выходит степень изученности его геологического строения. Одним из актуальных является вопрос о наличии и местоположении разрывных нарушений, которые усложняют строение продуктивной части разреза и влияют на выбор варианта разработки, что непосредственно сказывается на экономических показателях и добычных возможностях. Известно, что разломы играют важную роль в формировании и сохранности залежей УВ. Кроме того, наличие дизъюнктивных дислокаций приводит к изменениям отметок газожидкостных контактов и неравномерному распределению пластового давления в пределах залежи из-за наличия непроводящих разломов в изолированных блоках, отсутствию гидродинамической связи между соседними скважинами, резкой смене литолого-фациальных характеристик пород-коллекторов, сходству или различию свойств УВ в соседних пластах. Все это закономерно сказывается на продуктивности эксплуатационных скважин и требует корректировки размещения их забоев. Давно отмечена приуроченность высокодебитных скважин к разломам и вертикальным зонам разуплотнения, что связано с ростом проницаемости пород благодаря развитию трещин, которые появились под действием тектонических сил.

Разломы могут пронизывать всю толщу осадочного чехла или какую-то его часть. На Чайандинском месторождении наличие разрывных нарушений,

как правило, выявлялось на основе результатов интерпретации полевых геофизических работ, выполненных разными специализированными организациями. Результаты сейсморазведочных исследований различались между собой. С каждым годом число разломов и тектонических блоков в границах месторождения увеличивалось. Так, если в 2000 г. было выделено 4 блока, то в 2015 г. их насчитывалось уже более 20. Геологическая модель Чайандинского НГКМ постоянно усложнялась. Неизменным оставалось только убеждение, что практически все разрывные нарушения полностью пронизывают терригенную часть нижнего венда и затухают или в карбонатных породах верхнего венда, или в отложениях кембрия. Вопрос о существовании на рассматриваемой территории погребенных разломов оставался открытым, а эти разрывные нарушения могут еще больше усложнить внутреннее строение месторождения и, главное, внести существенные коррективы в стратегию его разработки. Для подтверждения наличия на Чайандинском НГКМ погребенных разломов был применен метод циклостратиграфического анализа, который заключается в комплексном использовании результатов литологических, промыслово-геофизических, сейсмических и других исследований. Данный подход позволяет детально расчленять разрезы скважин, фиксировать наличие перерывов в осадконакоплении, определять объем седиментационных единиц

и устанавливать их иерархию, выявлять положение пород-коллекторов и флюидоупоров, обеспечивать надежную основу детальной корреляции.

В качестве объекта исследования был выбран тектонический блок Южный I-1, который расположен на восточной периферии центральной части месторождения. Для решения поставленной задачи составлены корреляционные схемы, построены геологические профили и проведены палеоструктурные преобразования.

Согласно корреляционной схеме (I-I), составленной по линии скважин 321-10, 321-25 и 228-1, во время формирования нижнепаршинской подсвиты на рассматриваемой территории первоначально была спокойная седиментационная обстановка неглубокого моря (рис. 1). Откладывались алевритовые, песчаные и глинистые осадки. Об отсутствии тектонической активности в это время свидетельствуют почти одинаковые толщины пород, заключенных между синхронными реперными горизонтами  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ . Затем общая картина осадконакопления постепенно изменялась. Начали происходить вертикальные подвижки, что выражается в довольно заметном изменении толщины пород в интервале между реперным горизонтом  $R_3$  и кровлей преимущественно песчаного пласта  $X_{m2}$  хамакинского продуктивного горизонта с тенденцией общего погружения в восточном направлении. Фаза данной активности завершается общим подъемом рассматриваемой территории, выводом на поверхность образовавшихся осадков и их частичным размывом.

Следующий цикл осадконакопления начинается с грубообломочных отложений: конгломератов, гравелитов и крупнозернистых песчаников, которые образуют пласт  $X_{m1}$  хамакинского продуктивного горизонта. Погружение блока Южный I-1 происходило довольно равномерно, о чем свидетельствуют практически равные толщины пород между кровлей пласта  $X_{m1}$  и синхронными реперами  $R_4$  и  $R_5$ . В это время формировались отдельные маломощные пропластки алевритов, мелкозернистых песчаных пород и глин, которые в дальнейшем без какого-либо перерыва в осадконакоплении замещаются вверх по разрезу скважин 321-10 и 321-25 среднезернистыми и крупнозернистыми кварцевыми ботубинскими песчаниками [1, 2]. В определенный момент времени нисходящие движения меняют свой знак на противоположный и начинается воздымание всего блока Южный I-1. Этот подъем дна седиментационного бассейна сопровождался не только частичным размывом ботубинского продуктивного горизонта в западной части блока, в районе скважин 321-10 и 321-25, но и, вполне возможно, возникновением разлома на участке между скважинами 321-25 и 228-1. Данное предположение подтверждается полным отсутствием прикровельной части верхне-

паршинской подсвиты в скв. 228-1, включая ботубинские песчаники и интервал отложений, который распространяется вплоть до реперного горизонта  $R_5$ . От пород, заключенных между реперами  $R_4$  и  $R_5$  в скв. 228-1, сохранилась лишь незначительная приподошвенная часть. На сейсмических временных разрезах этот разлом не отображается, вероятно, потому, что нет видимого разрыва сплошности поверхности терригенного венда (отражающий горизонт KB) и вертикального смещения ее частей. Это происходит в силу того, что данная поверхность была в свое время сnivelирована размывом, который предшествовал началу отложения буюкских ангидридо-доломитов, а внутри нижневендского терригенного комплекса пород уверенные сейсмические отражающие горизонты выделить и проследить даже на небольшие расстояния довольно сложно [3-5].

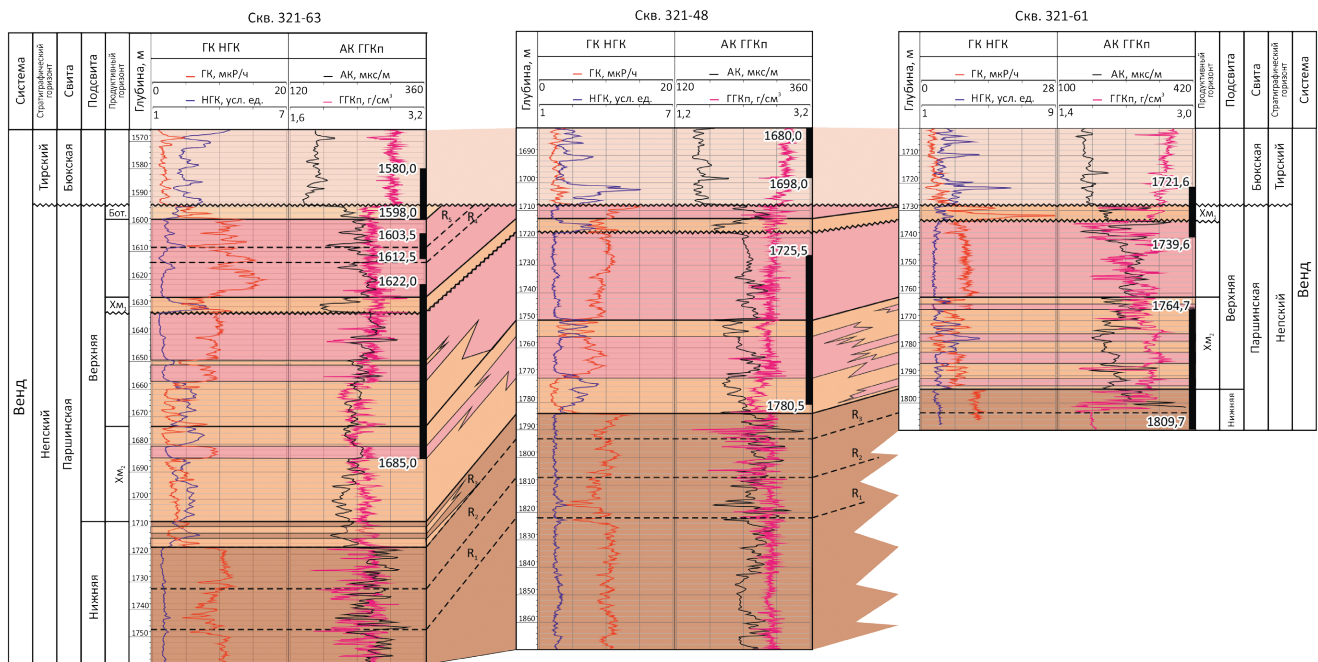
В настоящее время восточная окраина тектонического блока опущена в сторону Предпатомского прогиба. Отсутствие ботубинского продуктивного горизонта и части верхнепаршинской подсвиты в скв. 228-1, в которой породы терригенного венда вскрыты гипсометрически ниже, чем в скважинах 321-10 и 321-25, свидетельствует о сложных и неоднократных тектонических преобразованиях, которые претерпела Чайндинская структура в ходе длительного геологического развития.

Для подтверждения возможного наличия погрешенных разломов в границах Южного блока I-I была составлена еще одна корреляционная схема (II-II), которая проходит по линии скважин 321-63, 321-48, 321-61, 228-1 и 321-02 в общем направлении с юго-запада на северо-восток. Для удобства восприятия и работы в соответствующем масштабе данная схема была разделена на две части: первая включает скважины 321-63, 321-48, 321-61 (рис. 2); вторая — скважины 321-61, 228-1, 321-02 (рис. 3).

На рис. 2, как и на первой корреляционной схеме (см. рис. 1), отчетливо видно, что в период формирования нижнепаршинской подсвиты условия осадконакопления характеризовались спокойным и устойчивым прогибанием дна седиментационного бассейна.

Существенные изменения толщины разновозрастных пород произошли в конце непского времени между скважинами 321-63 и 321-48. Здесь наблюдается картина почти идентичная той, что отмечена между скважинами 321-25 и 228-1 на предыдущей корреляционной схеме (см. рис. 1). В скв. 321-63 выделяются ботубинские песчаники и три заглинизированных пропластка, которые отделены друг от друга двумя реперными горизонтами  $R_4$  и  $R_5$ . Общая толщина пород, заключенных между буюкскими карбонатами и кровлей продуктивного пласта  $X_{m1}$ , превышает 30 м. В скв. 321-48 сохранилась лишь самая нижняя часть первого снизу заглинизированного пропластка мощностью не более 5 м. Обращает на себя внимание то,

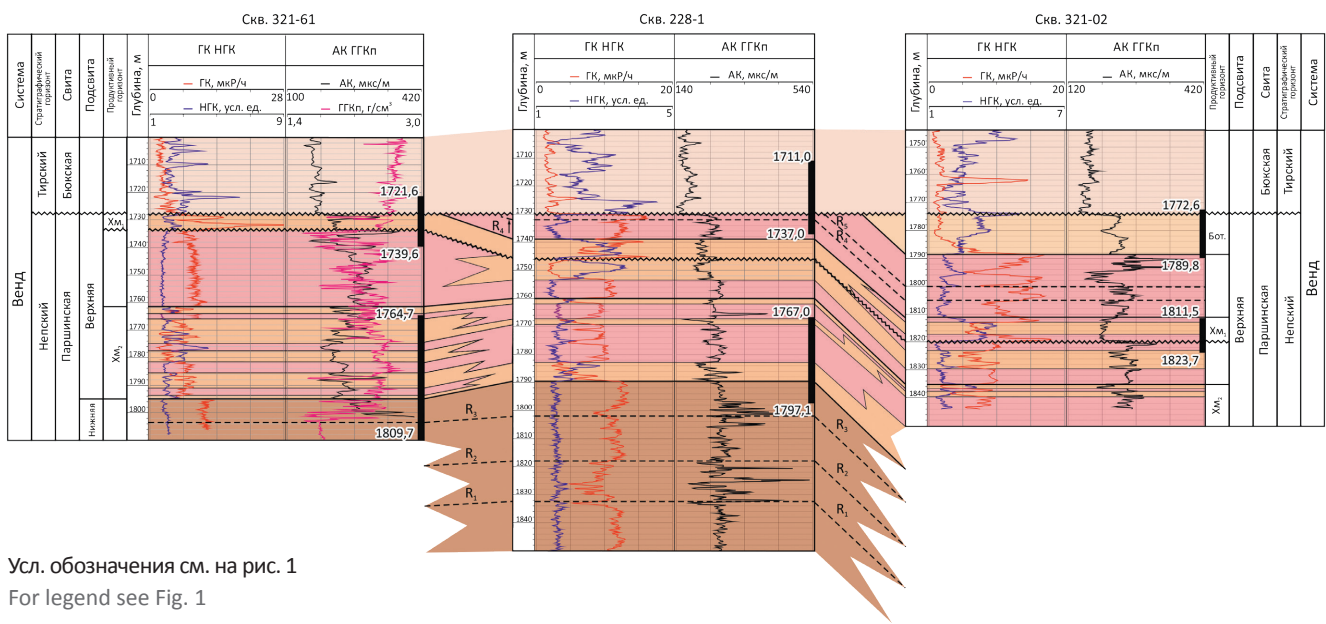
Рис. 2. Схема корреляции (II-II) по линии скважин 321–63, 321–48, 321–61 Чаюдинского месторождения  
 Fig. 2. Correlation chart (II-II) along the wells 321–63, 321–48, 321–61, Chayandinsky field



Усл. обозначения см. на рис. 1

For legend see Fig. 1

Рис. 3. Схема корреляции (II-II) по линии скважин 321–61, 228–1, 321–02 Чаюдинского месторождения  
 Fig. 3. Correlation chart (II-II) along the wells 321–61, 228–1, 321–02, Chayandinsky field



Усл. обозначения см. на рис. 1

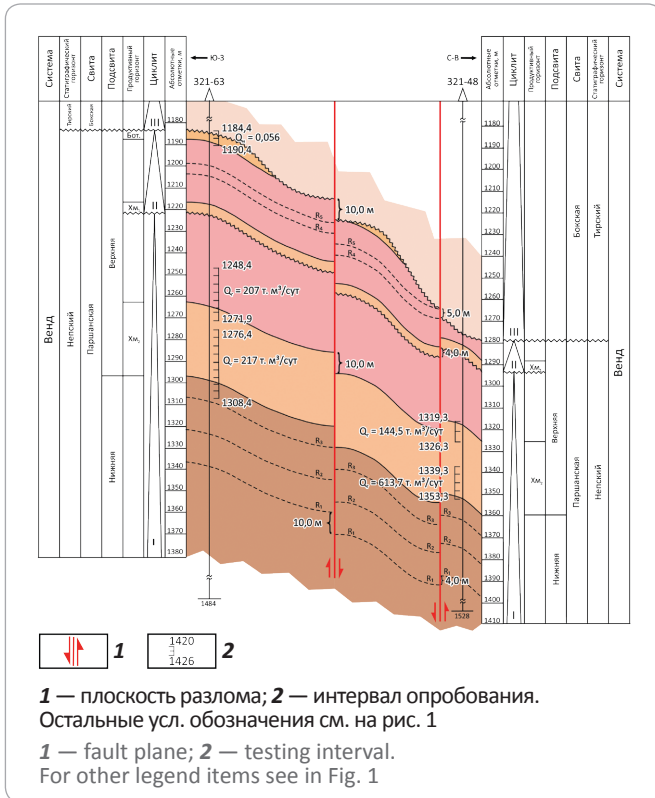
For legend see Fig. 1

что между скважинами 321–63 и 321–48 на используемых сегодня структурных картах показано наличие разломов, тогда как при схожей ситуации между скважинами 321–25 и 228–1 никаких разломов на картах не приводится.

Между скважинами 228–1 и 321–02 второй части корреляционной схемы (II-II) в самых верхах терригенного венда вновь наблюдаются изменения толщин пород, практически полностью аналогичные тем, что отмечались между скважинами 321–25 и 228–1

**Рис. 4.** Геологический профиль (II–II) по линии скважин 321–63, 321–48

**Fig. 4.** Geological section (II–II) along the wells 321–63, 321–48

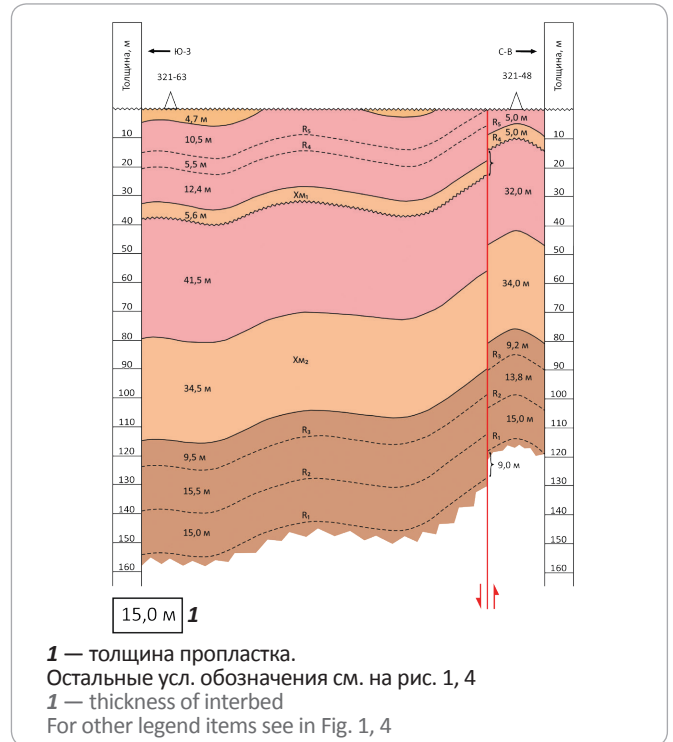


(см. рис. 1). Даже мощности ботубинских песчаников и верхнепаршинских аргиллитов в скважинах 321–25 и 321–02 остаются почти одинаковыми. Это свидетельствует в пользу того, что отложения, вскрытые в скважинах 321–10, 321–25 и 321–02, формировались практически в одинаковых условиях, которые резко отличаются от условий отложения осадков в районе скв. 228–1. Если же между скважинами 321–25 и 228–1 находится разлом, то он должен проходить и между скважинами 321–02 и 228–1.

Значительные структурные преобразования наблюдаются и между скважинами 321–61 и 228–1. В скважинах 321–63, 321–48 и 321–61 (см. рис. 2, 3) между пластами  $X_{m1}$  и  $X_{m2}$  хамакинского продуктивного горизонта на каротажных диаграммах выделяется пачка верхнепаршинских пород толщиной 28–40 м, а в скв. 228–1 мощность этих отложений не превышает 14 м. Вряд ли подобные радикальные изменения толщины могли произойти без действия тектонических сил, которые ярко проявились перед началом формирования пласта  $X_{m1}$ , знаменуя окончание крупного седиментационно-тектонического цикла. Резкое воздымание крупной территории, вывод из-под воды ранее сформировавшихся пород с их последующим размывом и нивелированием очень часто сопровождаются дизъюнктивными дислокациями со сдвигом.

**Рис. 5.** Палеоструктурный профиль (II–II) по линии скважин 321–63, 321–48 на начало формирования карбонатных отложений бюкской свиты

**Fig. 5.** Paleostructure section (II–II) along the wells 321–63, 321–48 at the beginning of the Byuksky carbonate deposits formation

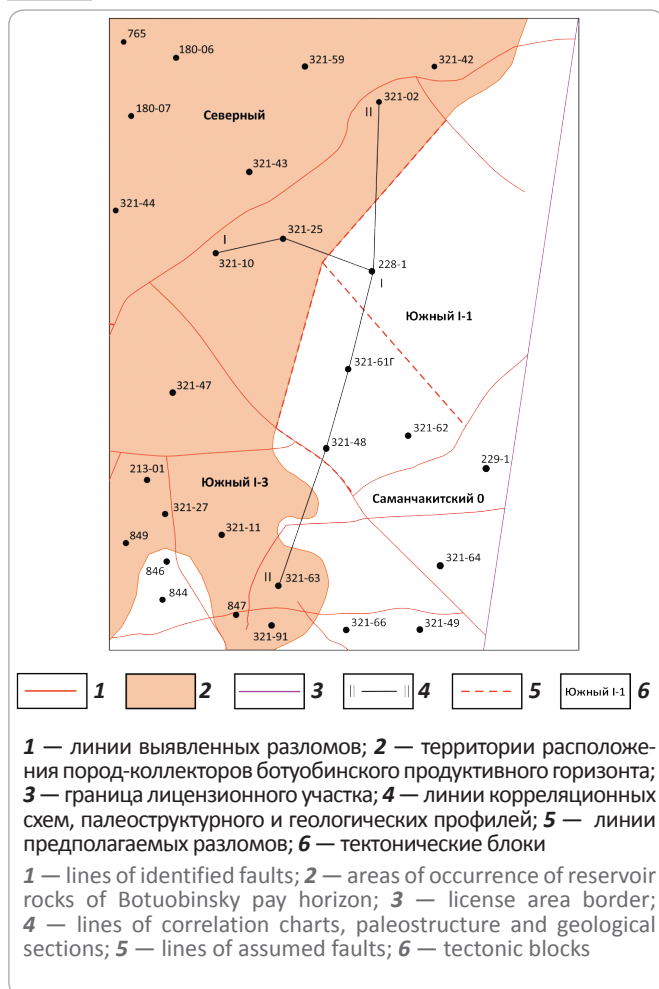


Современное строение участка Чайядинского НГКМ в районе скважин 321–63 и 321–48 показано на рис. 4. В северо-восточном направлении отмечается довольно резкое погружение отложений терригенного венда. Примерно в 6 км севернее скв. 321–63 сейсморазведочными работами обнаружен разлом с амплитудой около 10 м. В 1 км южнее скв. 321–48 обнаружен такой же малоамплитудный разлом со сдвигом около 5 м.

В конце формирования интервала пород, заключенного между синхронными реперными горизонтами  $R_1$  и  $R_2$ , рассматриваемая территория представляла собой выровненную поверхность дна относительно неглубокого моря (рис. 5). В обеих скважинах толщина данного интервала составляет 15 м. Вслед за этим, на фоне общего прогибания дна седиментационного бассейна, происходит незначительный подъем рассматриваемого района в общем направлении с юга на север. Толщина отложений в скв. 321–63 между синхронными реперными горизонтами  $R_2$  и  $R_3$  достигает 15,5 м, а в скв. 321–48 она равна 13,8 м. К завершению формирования нижнепаршинской подсвиты обстановка седиментации вновь становится практически везде одинаковой, хотя незначительный подъем в северном направлении все еще сохраняется (толщина между репером  $R_3$  и подошвой продуктивного пласта  $X_{m2}$  в скважинах равна соответственно 9,5 и 9,2 м).

**Рис. 6.** Схематическая карта тектонического блока Южный I–I с границами расположения пород-коллекторов ботуобинского продуктивного горизонта и нанесением линий ранее выявленных и предполагаемых погребенных разломов Чайядинского месторождения

**Fig. 6.** Sketch map of the Southern I–I tectonic block with shown borders of Botuobinsky pay horizon and lines of previously identified and assumed buried faults in the Chayandinsky field



Последовавший затем общий подъем морского дна привел к тому, что в осадочный бассейн стал поступать грубообломочный материал, что не происходило в более ранний период и таким образом стал формироваться преимущественно песчаный пласт  $Xm_2$  хамакинского продуктивного горизонта (толщина в скважинах 34,5 и 34,0 м соответственно). Очередное наступление моря снова изменило литологический состав аккумулирующихся осадков с псаммитового на преимущественно пелитовый. В это время формировалась алевроитоаргиллитовая толща, перекрывающая продуктивный пласт  $Xm_2$  и служащая ему непроницаемой крышкой (толщина в скважинах 321–63 и 321–48 равна соответственно 41,5 и 32,0 м).

Через некоторое время отрицательные тектонические движения на изучаемой площади вновь сменились на положительные подвижки и породы нижнего

венда были выведены из-под воды на дневную поверхность.

Начало формирования пласта  $Xm_1$  хамакинского продуктивного горизонта (толщина в скважинах соответственно 5,6 и 5,0 м) ознаменовалось отложением грубообломочных пород (конгломератов, брекчий, гравелитов и др.), которые выше по разрезу постепенно замещаются средне- и мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Далее следовал очередной трансгрессивно-регрессивный цикл осадконакопления, в начале которого шло равномерное и устойчивое прогибание, а в завершающей регрессивной стадии откладывались мелководные кварцевые песчаники ботуобинского продуктивного горизонта. Отсутствие этих песчаников в скв. 321–48 во многом объясняется появлением разлома с амплитудой 9 м на границе непского и тирского стратиграфических горизонтов и взбросом северной более приподнятой части структуры (см. рис. 5). Намного позже данный разлом, видимо, возродился вторично, но теперь уже с отрицательным значением амплитуды примерно 5 м. Именно поэтому нижние горизонты, вскрытые скв. 321–48, не опущены относительно южной части блока, а наоборот, приподняты на 4 м (см. рис. 4).

При завершении формирования терригенных отложений нижнего венда произошел региональный подъем морского дна всей рассматриваемой территории и наблюдался существенный размыв ранее образовавшихся пород, в том числе и ботуобинских песчаников. После этого размыва уже в следующем цикле осадконакопления, из-за изменившихся условий седиментации, стали отлагаться верхневендские доломиты и ангидриты.

То, что сейсморазведочные работы не выявляют предбюкские и, возможно, более ранние по возрасту разломы, объясняется отсутствием очевидных отражающих сейсмических горизонтов внутри нижневендского терригенного разреза. Если основной сейсмический отражающий горизонт КВ (т. е. граница между доломитоангидритовыми отложениями верхнего венда и терригенными породами нижнего венда) не затронут нарушениями, то обнаружить разломы внутри толщи постоянно чередующегося переслаивания маломощных пропластков алевролитов, песчаников и аргиллитов довольно сложно [6].

Разрывные нарушения играют существенную роль в формировании, сохранении и разработке залежей УВ. Это не вызывает каких-либо сомнений, но на сегодняшний день более актуальным становится вопрос об использовании иных методов, с помощью которых, наряду с сейсморазведкой, можно было бы уверенно определять местоположение разломов, в том числе и погребенных. Одним из таких методов можно признать комплексный подход с использованием циклостратиграфического анализа, основанного на единстве противоречивых явлений

– унаследованности развития и его постоянной изменчивости. Суть данного метода заключается в сопоставлении разрезов скважин на основе выявления и прослеживания по разрезу и площади синхронных реперных горизонтов, соответствующих определенным стратиграфическим подразделениям. Анализ толщин пропластков, выделенных таким образом, и использование целого ряда иных геологических признаков позволяют с большой уверенностью судить о существовании или отсутствии на изучаемых площадях дизъюнктивных дислокаций со сдвигом. На схематической карте, которая приведена на рис. 6, линии предполагаемых погребенных разломов, выявленных в результате проведенных исследований в границах тектонического блока Южный I–I, проведены либо по границе, которая контролирует распространение высокоемких отложений, либо в ослабленных тектонических зонах. В заключение следует отметить, что нельзя исключать вероятность того, что кроме показанных на карте уже выявленных относительно молодых

и предполагаемых древних внутриформационных разломов, при дальнейшем бурении эксплуатационных скважин и с появлением новых геолого-геофизических материалов, в блоке Южный I–I будут обнаружены дополнительные разрывные нарушения. Они могут обозначить новые тектонические блоки, но уже более мелких размеров. Внутри этих блоков, в зависимости от направленности тектонических движений и последующих размывов, может отсутствовать верхняя часть терригенного венда, включая ботубобинские песчаники, или, наоборот, скважины вскроют этот продуктивный горизонт в неожиданном месте. В таком случае на карте расположения ботубобинских пород-коллекторов границы продуктивного горизонта в очередной раз изменят свое местоположение.

Геологическую модель Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения необходимо уточнять и совершенствовать по мере получения новых данных.

#### Литература

1. Семенов Е.О., Крикунов А.И., Канунникова Н.Ю. Определение местоположения нижней границы ботубобинского горизонта на Чаяндинском месторождении / Под ред. Б.А. Григорьева // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сб. науч. ст. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2010. – С. 59–70.
2. Рыжов А.Е., Крикунов А.И., Рыжова Л.А., Канунникова Н.Ю. Уточнение геологической модели Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения / Под ред. Б.А. Григорьева // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сб. науч. ст. Ч. 1 – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2011. – С. 132–145.
3. Рыжов А.Е., Крикунов А.И., Рыжова Л.А., Канунникова Н.Ю., Саприна О.А. Уточнение положения границы между нижнебюкской и верхнебюкской подсвитами Чаяндинского НГКМ с привлечением литологических, промыслово-геофизических и сейсмических критериев / Под ред. Б.А. Григорьева // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сб. науч. ст. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – С. 161–173.
4. Рыжов А.Е., Крикунов А.И., Филиппова (Рыжова) Л.А., Канунникова Н.Ю., Саприна О.А. Определение степени влияния тектонического фактора на формирование залежей углеводородов на Саманчакитском блоке Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения / Под ред. В.А. Скоробогатова // Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих регионов России: сб. науч. ст. – М. : Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – С. 99–105.
5. Рыжов А.Е., Крикунов А.И., Филиппова Л.А., Н.Ю. Канунникова Н.Ю. Выяснение наличия погребенных разломов в отложениях нижнего венда на Чаяндинском НГКМ / Под ред. Б.А. Григорьева // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов: сб. науч. ст. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2017. – С. 150–161.
6. Крекнин С.Г., Погрецкий А.В., Крылов Д.Н., Трухин В.Ю., Ситдииков Н.Р. Современная геолого-геофизическая модель Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения // Геология нефти и газа. – 2016. – № 2. – С. 44–55.