

КОМПЛЕКСНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛАСТОВЫХ СИСТЕМ

УДК 551.7:551.24

А.И. Крикунов, А.Е. Рыжов, Л.А. Филиппова, Н.Ю. Канунникова

Определение местоположения ботубинского продуктивного горизонта и пластов ХМ1 и ХМ2 хамакинского продуктивного горизонта в южной части Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения

Ключевые слова:

скважина, месторождение, седиментация, размыв, горизонт, корреляция, репер.

Keywords:

well, field, sedimentation, wash-out, horizon, correlation, reference point.

Южная периферия Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ) характеризуется очень сложным строением терригенных отложений нижнего венда и совершенно недостаточной степенью их изученности. До 2000 г., когда по всем продуктивным горизонтам месторождения проводился последний подсчет запасов нефти, газа и сопутствующих им полезных компонентов, здесь было пробурено 5 скважин: 274-01, 752, 803, 806 и 808. Затем в 2009–2012 гг. пробурили скважины 321-52, 321-53, 321-54, 321-55, 321-57, 321-71, 321-74. В 2013 г. к ним добавились скважины 321-51, 321-56, 321-69, 321-70, 321-73 и 321-76. Наконец в 2014 г. пробурены скважины 321-58, 321-68 и 321-75. В этом же году на данной территории были проведены сейсморазведочные работы в формате 3D и построены структурные карты по ряду отражающих сейсмических горизонтов, имеющих место в породах кембрия и венда. Кроме прочих, графические построения велись по подошве верхнебюкских карбонатных пород, перекрывающих на большей части месторождения ботубинские нефтегазоносные песчаники, и по подошве хамакинского продуктивного горизонта. Анализ полученных материалов показывает, что расположение линий разломов на всех этих картах не зависит от возраста отложений и остается всегда постоянным, из чего можно сделать вывод, что на картах изображены лишь молодые разломы, образовавшиеся после формирования вендского терригенно-карбонатного комплекса пород, или же те, что неоднократно проявляли свою активность. Открытым на сегодня остается вопрос о существовании внутриформационных или погребенных разломов в отложениях докембрия, которые могли появиться в периоды значительных структурных преобразований, когда отложения того или иного возраста под действием тектонических сил выводились на поверхность, подвергались размыву или, наоборот, погружались на большую глубину. Довольно трудно предположить, что на протяжении венда, который охватывает временной интервал в 80 млн лет, не происходило структурных преобразований, связанных с дизъюнктивной тектоникой. Очень сложное геологическое строение южной части Чаяндинского НГКМ и явно недостаточную ее изученность демонстрирует схематическая карта, составленная путем наложения друг на друга структурных карт, построенных в разное время и разными авторами (рис. 1).

Южная оконечность Чаяндинского НГКМ, кроме перспективы увеличения за счет нее площади газовых и нефтяных залежей, привлекает к себе внимание еще и тем, что в районе скв. 808 планируется создать подземное хранилище концентрата гелия. В этом контексте вызывает интерес то обстоятельство, что разрезы пробуренных здесь скважин расчленяются и сопоставляются разными авторами не одинаково. Так, на рис. 2 приводится принятая на сегодняшний день корреляционная схема по линии скв. 321-56, 321-58 и 321-75. В этих скважинах выделены все основные продуктивные горизонты, известные на Чаяндинском НГКМ. Ботубинская подсвита

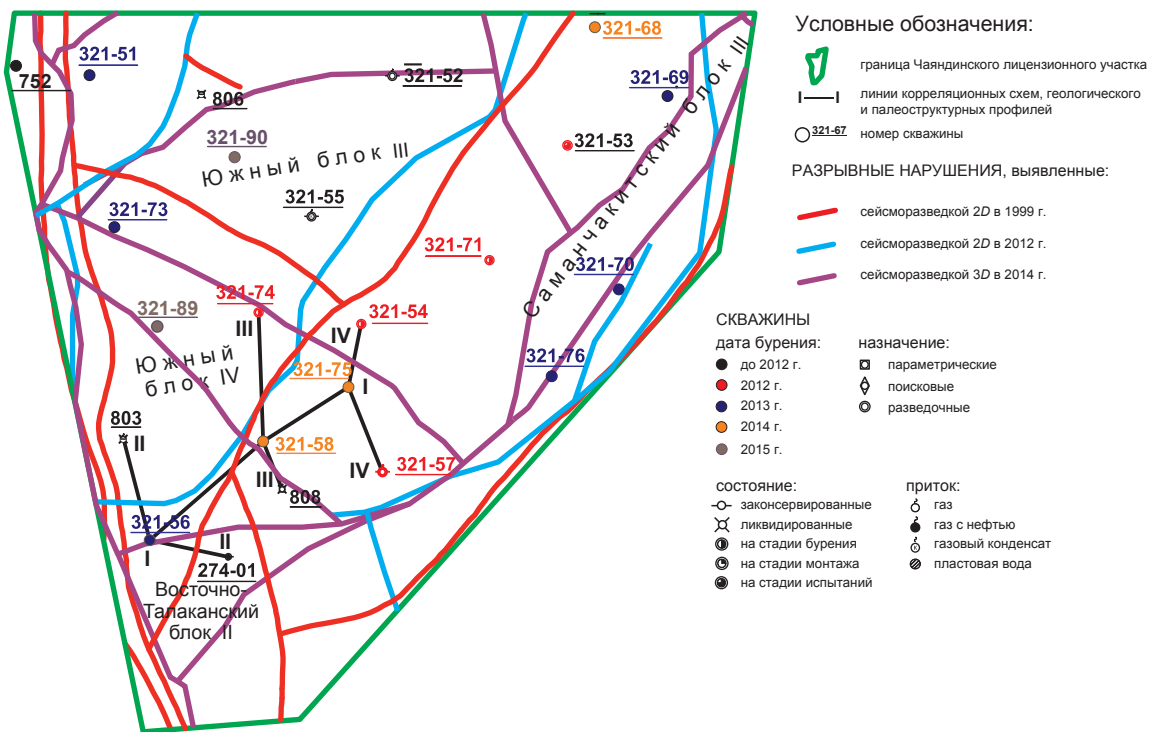


Рис. 1. Схематическая карта южной части Чаюдинского месторождения

и пласты ХМ1 и ХМ2 хамакинского продуктивного горизонта выделены во всех трех скважинах. На корреляционной схеме показано, что карбонатные отложения буюксской свиты последовательно и без какого-либо перерыва в осадконакоплении залегают на породах ботубобинской подсвиты, которые, в свою очередь, постепенно переходят в подстилающие их аргиллиты. Ниже по разрезу эти аргиллиты замещаются отложениями пласта ХМ1, которые с разрывом ложатся на аргиллиты, перекрывающие продуктивные породы пласта ХМ2. Песчаники, гравелиты и алевролиты пласта ХМ2 последовательно залегают на подстилающих заглинизированных породах нижнепаршинской подсвиты, а затем уже они замещаются породами талахского продуктивного горизонта.

С подобным расчленением и корреляцией разрезов скважин согласиться довольно сложно. В опубликованной ранее работе [1] было убедительно показано, что карбонатные отложения буюксской свиты залегают на подстилающих породах с глубоким разрывом. В силу именно данного обстоятельства в южной части Чаюдинского НГКМ продуктивные ботубобинские песчаники отсутствуют. Отсутствуют они полностью и на юго-восточной периферии месторождения, которая в границах структурных

карт, построенных в 1999 и 2012 гг., обозначалась как Саманчакитский блок. Косвенным доказательством этому служит то, что ни в одной из шестнадцати скважин, пробуренных здесь на сегодняшний день, под карбонатными отложениями буюксской свиты не только не были получены притоки газа или нефти, но не обнаружено даже пород-коллекторов. Кроме этого, вызывает сомнение обоснованность выявления некоторыми исследователями в разрезах скв. 321-56, 321-58 и 321-75 пласта ХМ1 хамакинского продуктивного горизонта. Стоит добавить, что в кровельной части пласта ХМ2 и внутри него может быть выделен целый ряд поверхностей внутрiformационных разрывов. Вполне возможно и то, что на границе между талахской и паршинской свитами тоже имеется перерыв в осадконакоплении [2, 3, 4].

Вопрос о присутствии или отсутствии ботубобинской подсвиты и пласта ХМ1 хамакинского продуктивного горизонта в интервале пород, перекрывающих пласт ХМ2, представляется довольно важным. Ведь от этого зависит качество покрышки для подземного хранилища газа, которое планируется создать в пласте ХМ2. Наличие пород-коллекторов в этом интервале отложений может серьезно ухудшить изолирующие свойства предполагаемого флюидоупора.

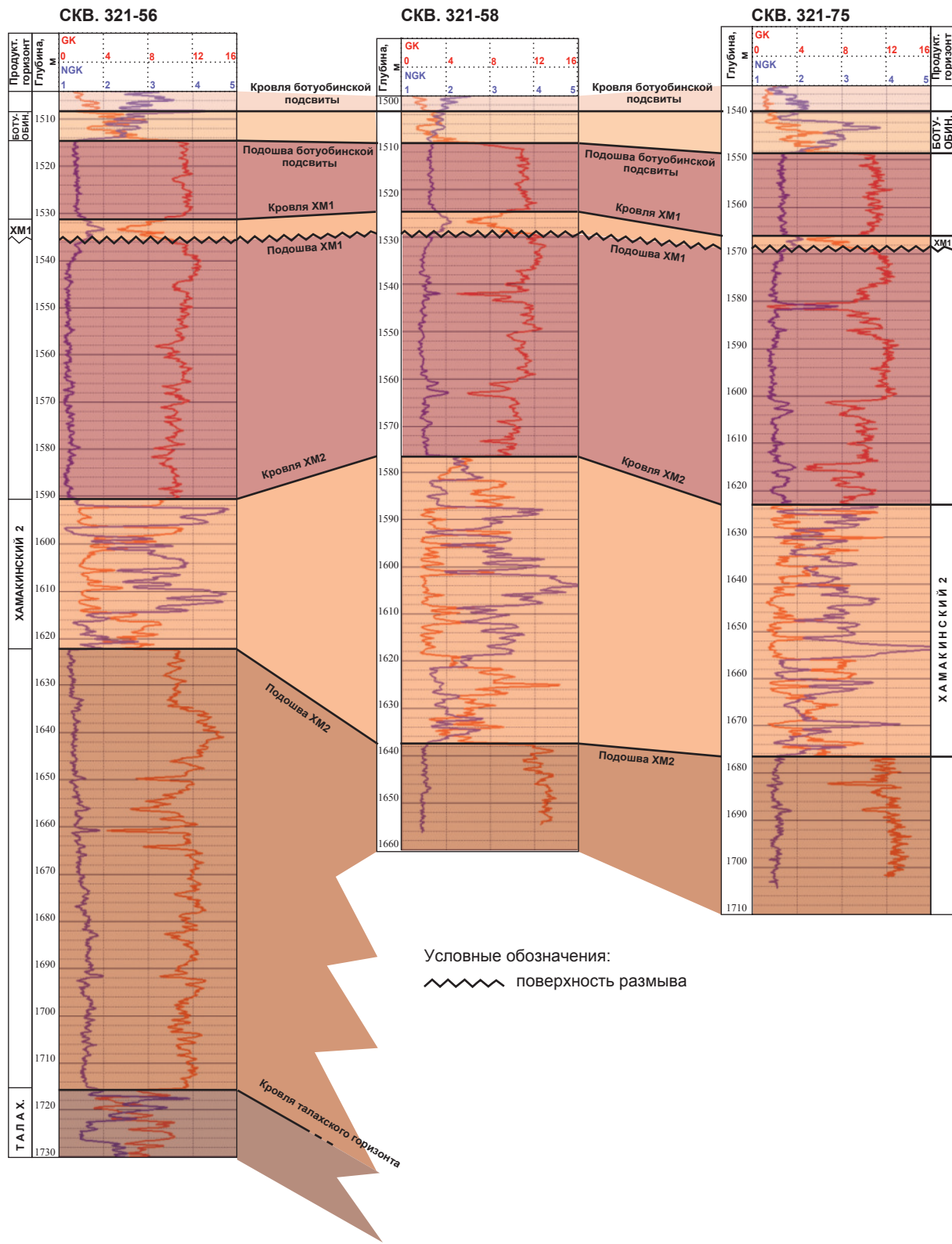


Рис. 2. Корреляционная схема Чайндинского месторождения по линии скв. 321-56 – 321-58 – 321-75:
 GK – гамма-каротаж; NGK – нейтронный гамма-каротаж
 (ООО «ЦНИП ГИС», 2014 г.)

Чтобы подтвердить представленные ранее соображения и с целью уточнения внутреннего строения комплекса терригенных пород нижнего венда, который развит в южной части Чайндинского НГКМ, в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» составлена корреляционная схема¹ по линии скв. 321-56 – 321-58 – 321-75 (рис. 3). Все три скважины характеризуются значительным объемом отобранного в них керна, что позволяет довольно уверенно определять петрографические и литолого-петрофизические свойства пород-коллекторов и флюидоупоров. Однако необходимо отметить, что, поскольку скв. 321-58 и 321-75 были пробурены лишь в 2014 г., детальное их изучение еще не закончено и на сегодняшний день можно пользоваться только результатами оперативных исследований.

На рис. 2 в скв. 321-56 в интервале пород 1508–1514,7 м выделяется ботубобинская подсвета. Данная подсвета, или ботубобинский продуктивный горизонт, представлена на подавляющей части Чайндинского НГКМ, как правило, кварцевыми песчаниками и алевролитами. Согласно же описанию керна, сделанному в ООО «Газпром ВНИИГАЗ», в скв. 321-56 на соответствующих глубинах встречены следующие породы²:

- 1511,00–1511,56 м (1507,80–1508,36 м) – ангидрит серый, светло-серый. Текстуры: облачная, пятнистая;
- 1511,56–1513,61 м (1508,36–1510,41 м) – доломит желтовато-серый с линзами и прослоями светло-серого ангидрита. Текстуры: строма-толитовая, узорчатая, линзовидная;
- 1513,61–1514,00 м (1510,41–1510,80 м) – смешанная терригенно-карбонатная порода, доломит ангидритистый, песчанистый. Цвет желтовато-серый, серый. Текстуры: тонко-параллельно-горизонтально-слоистая, слабонаклонная;

- 1514,00–1516,10 м (1510,80–1512,90 м) – доломит с частыми прослоями аргиллита. Цвет породы желтовато-серый, темно-серый, почти черный. Текстуры: оползания, тонко-параллельно-горизонтально-слоистая, слабонаклонная;

- 1516,10–1517,57 м (1512,90–1514,37 м) – переслаивание аргиллита темно-серого, почти черного, и доломита желтовато-серого. Текстуры: слоистая, прерывисто-слоистая, взмучивания, неравномерно-волнистая. Слойки доломита взломлены с образованием интракластов светло-серого мелкокристаллического ангидрита. В прослоях доломита встречаются крупные каверны (до 3 см), заполненные солью;

- 1517,57–1525,00 м (1514,37–1521,80 м) – аргиллит темно-серый, почти черный, зеленовато-серый. Текстура тонко-параллельно-горизонтально-слоистая. Отмечаются крупные кристаллы пирита до 2 см. Порода активно разбита трещинами на пластинки толщиной 1–3 см.

Приведенное краткое макроописание керна говорит о том, что весь рассматриваемый интервал отложений, идентифицируемый некоторыми исследователями как ботубобинская подсвета, представлен в основном карбонатами и сульфатами, свойственными больше верхнебюкской подсвете, чем ботубобинскому продуктивному горизонту. В основании интервала среди доломита и прослоев аргиллита встречены обломки мелкокристаллического ангидрита, присутствие которых свидетельствует о вероятном перерыве в осадконакоплении. Здесь же отмечаются каверны, заполненные солью, появление которой на Чайндинском месторождении довольно часто приурочено к поверхностям размывов.

В скв. 321-58 керн на границе бюкских карбонатов и терригенных отложений нижнего венда не отбирался.

На корреляционной схеме ЦНИП ГИС (см. рис. 2) в скв. 321-75 ботубобинская подсвета выделена в интервале глубин 1539,5–1548,5 м. Согласно оперативному описанию керна, сделанному непосредственно на скважине, интервал пород, откуда был поднят керн, представлен преимущественно карбонатными отложениями (керн в этой скважине отобран³ начиная с глубины 1544 м):

- 1544,00–1544,58 м (1542,45–1543,03 м) – доломит с примесью терригенного материала

¹ Более подробный, доработанный вариант схемы см. на рис. 2 в статье *Крикунов А.И.* Результаты циклостратиграфического анализа, проведенного с целью уточнить историю формирования отложений терригенного венда на южной периферии Чайндинского нефтегазоконденсатного месторождения / А.И. Крикунов, А.Е. Рыжов, Л.А. Филиппова и др. // Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – № 4 (24). – С. 128.

² Здесь и далее в описаниях скважин в скобках приведены глубины, уточненные для увязки керна с промыслово-геофизическими данными.

³ Для увязки с данными геофизических исследований скважин (ГИС) керн необходимо поднять вверх на 1,55 м.

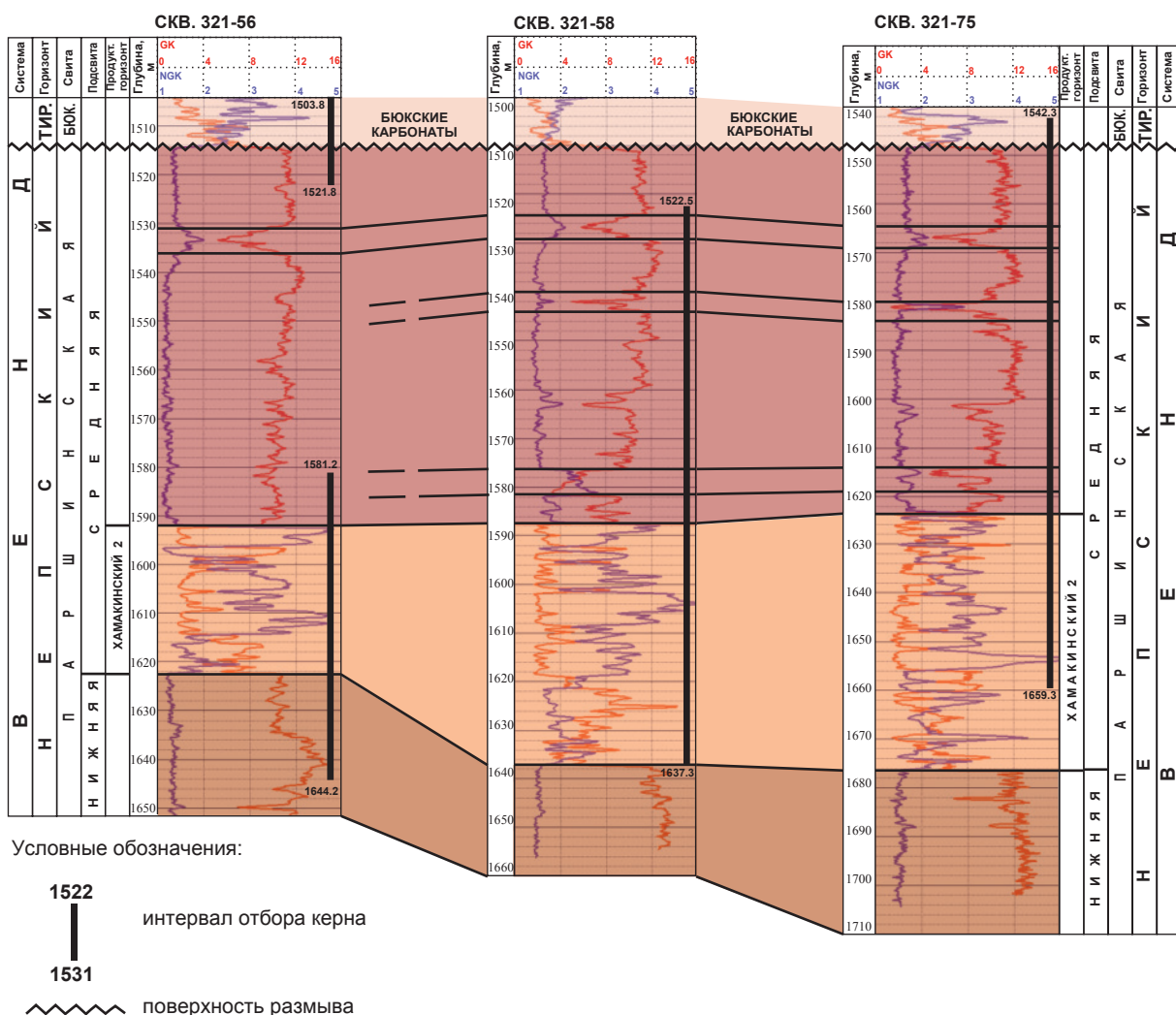


Рис. 3. Корреляционная схема Чайндинского месторождения по линии скв. 321-56 – 321-58 – 321-75 (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2014 г.)

ла псаммитовой размерности. Верхние 28 см занимает доломит серого цвета с прослоями (1–2 мм) темно-серого глинистого и редко коричневатого-серого доломита. Ниже он приобретает цвет коричневатого-серый. По всему пласту встречаются редкие нодулы (1–3 мм) ангидрита белого. Верхние 5 см пласта представлены белым ангидритом, у подошвы выделяется небольшой слой (2–5 мм) аргиллита серого, ниже залегает ангидрит белый (5–8 см);

- 1544,58–1545,05 м (1543,03–1543,50 м) – доломит серо-коричневый скрытокристаллический с неравномерными нодулами белого ангидрита (от 1–3 мм до 1–2 см);

- 1545,05–1546,25 м (1543,50–1544,70 м) – доломит серый, коричневатого-серый с неравномерными нодулами ангидрита белого от 2 мм до 2 см. Доломит местами (1,15–1,23 м от на-

чала долбления) волнисто-слоистый, угол наклона слоев 10–20°. На глубине 1,46–1,62 м присутствует аргиллит зеленовато-серый, под ним тонкий слой (1–2 см) песчанистого серо-коричневого доломита, в интервале 2,1–2,16 м от начала долбления – прослой аргиллита, на контакте с нижележащим пластом – крупные включения (2–7 см) ангидрита белого;

- 1546,25–1547,70 м (1544,70–1546,15 м) – доломит тонкослоистый серый, светло-серый, коричневый. Слоистость преимущественно горизонтальная, местами волнистая и наклонная (угол 0–30°). Встречаются окремнения округлой формы (0,5–2 см). В интервале 3,45–3,55 м от начала долбления находится прослой серых аргиллитов. В верхней части пласта (первые 3–5 см) слоистость нарушена включениями ангидрита;

- 1547,70–1548,05 м (1546,15–1546,50 м) – доломит серый с множеством тонких коротких извилистых трещин без видимого минерального выполнения;

- 1548,05–1548,38 м (1546,50–1546,83 м) – доломит коричневатого-серый с примесью терригенного материала псаммитовой размерности. В верхней части пласта переслаивается с серыми аргиллитами;

- 1548,38–1549,13 м (1546,83–1547,58 м) – доломит серый, коричневатого-серый, скрытокристаллический, местами тонкослоистый;

- 1549,13–1550,00 м (1547,58–1548,45 м) – доломит серый с зеленоватым оттенком, песчаный.

Ниже перечисленных карбонатных отложений залегают массивные зеленоватого-серые аргиллиты паршинской свиты.

Из приведенного описания керна следует, что интервал пород на глубинах 1539,5–1548,5 м из скв. 321-75 относится к ботубинскому продуктивному горизонту едва ли корректно.

Рассмотрим теперь, как обстоит дело с описанием керна из скважин, которые пробурены поблизости и окружают те, что помещены на корреляционные схемы (см. рис. 2 и 3). Для удобства восприятия данных в ООО «Газпром ВНИИГАЗ» составлены еще три детализированные корреляционные схемы II–II (рис. 4), III–III (рис. 5) и IV–IV (рис. 6), которые почти под прямым углом пересекают линию скважин 321-56, 321-58 и 321-75 и на которых выделены 19 синхронных реперных горизонтов.

В скв. 274-01, 321-54, 321-74 и 808 керн на границе карбонатных и терригенных пород венда не отбирался. В скв. 803 кровля терригенного нижнего венда по данным ГИС отбивается на глубине 1440 м. Керн в этой скважине был отобран в интервале пород на глубинах 1437,7–1464,7 м, но ни он сам, ни его описание по объективным причинам не сохранились. В скв. 321-57 кровля терригенного венда расположена на глубине 1429,5 м (см. рис. 4). В интервале глубин 1421–1430 м был отобран керн⁴:

- 1421,00–1422,00 м (1423,00–1424,00 м) – ангидрит светло-серый, серый. Текстура пятнистая. Порода плотная, массивная, крепкая, присутствуют единичные прослои аргиллитов мощностью до 0,5 см;

- 1422,00–1423,00 м (1424,00–1425,00 м) – частое тонкое переслаивание доломитов с ангидритом. Цвет пород зеленоватого-серый, серый, желтоватого-серый;

- 1423,00–1424,00 м (1425,00–1426,00 м) – доломит с ангидритом желтоватого-серый, серый. Текстуры: узорчатые, слоистые. Тонкие прослои доломитов нарушены ангидритом. Присутствуют единичные прослои аргиллита до 5 см;

- 1424,00–1425,37 м (1426,00–1427,37 м) – доломит с ангидритом. Ангидрита мало. Включения ангидрита практически не нарушают тонкой параллельной слоистости. Порода желтоватого-серая, местами серая. Текстуры: слоистая, тонкослоистая, узорчатая, линзовидная из-за единичных линз ангидрита размером до 5 см;

- 1425,37–1426,00 м (1427,37–1428,00 м) – доломит слоистый, тонкослоистый. Плотный, массивный. Цвет породы желтоватого-серый;

- 1426,00–1428,11 м (1428,00–1430,11 м) – доломит желтоватого-серый и аргиллит серый, зеленоватого-серый. Доломит преобладает. В аргиллите иногда встречаются обломки доломита и терригенные обломки. Прослои аргиллитов достигают 10 см;

- 1428,11–1430,00 м (1430,11–1432,00 м) – аргиллиты зеленоватого-серые с редкими прослоями серых и зеленоватого-серых алевролитов. В верхней части в аргиллитах присутствуют терригенные обломки размером до 1 мм. Зона дробления. Большое количество зеркал скольжения. Порода сильно разбита трещинами.

Все сказанное дает основание не показывать на корреляционной схеме (см. рис. 3) в кровле терригенного венда в скв. 321-56, 321-58 и 321-75 наличия ботубинского горизонта, или ботубинской подсвиты. По нашему представлению, продуктивные ботубинские песчаники в этом районе Чайндинского месторождения полностью размыты и карбонатные отложения бюксской свиты залегают на подстилающих породах с размывом. Этот вывод подтверждается отрицательными результатами опробования испытателем пластов в скв. 321-56 на глубине 1502–1525 м и отсутствием (по данным ГИС) пород-коллекторов в скв. 321-58 и 321-75 в интервале пород, который располагается под карбонатными отложениями верхнебюксской подсвиты.

Ниже подошвы ботубинской подсвиты (14–18 м) на корреляционной схеме ЦНИП ГИС

⁴ Чтобы увязать глубину отбора керна с данными ГИС, керн необходимо опустить на 2 м.

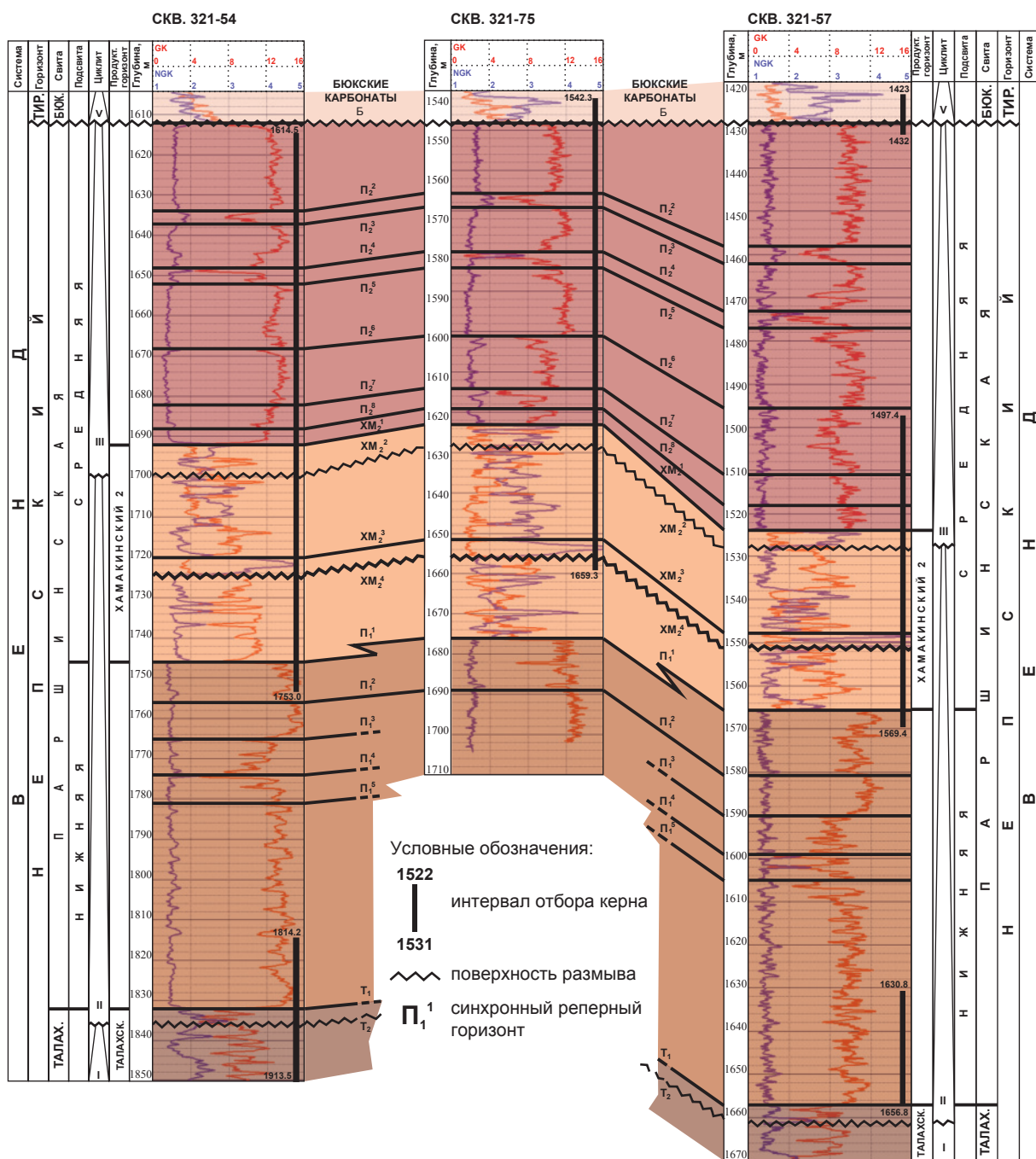


Рис. 4. Чаяндинское месторождение: корреляционная схема по линии скв. 321-54 – 321-75 – 321-57

(см. рис. 2) выделяется верхний пласт хамакинского продуктивного горизонта (ХМ1). На Чаяндинском месторождении он имеет, как правило, толщину около 4–8 м. В литологическом плане этот пласт представлен обычно крупнозернистыми песчаниками, гравелитами, реже – конгломератами или брекчией. В основании пласта ХМ1 расположена поверхность регионального размыва, которая отмечается

практически на всей территории Чаяндинского месторождения. Следует иметь в виду, что по данным ГИС ни в одной из трех скважин в интервалах глубин, указанных на корреляционной схеме ООО «ЦНИП ГИС» как продуктивный пласт ХМ1, породы-коллекторы не выделяются. В скв. 321-56 там, где показан пласт ХМ1, керн не отбирался. В скв. 321-58 и 321-75 согласно предварительному описанию керна,

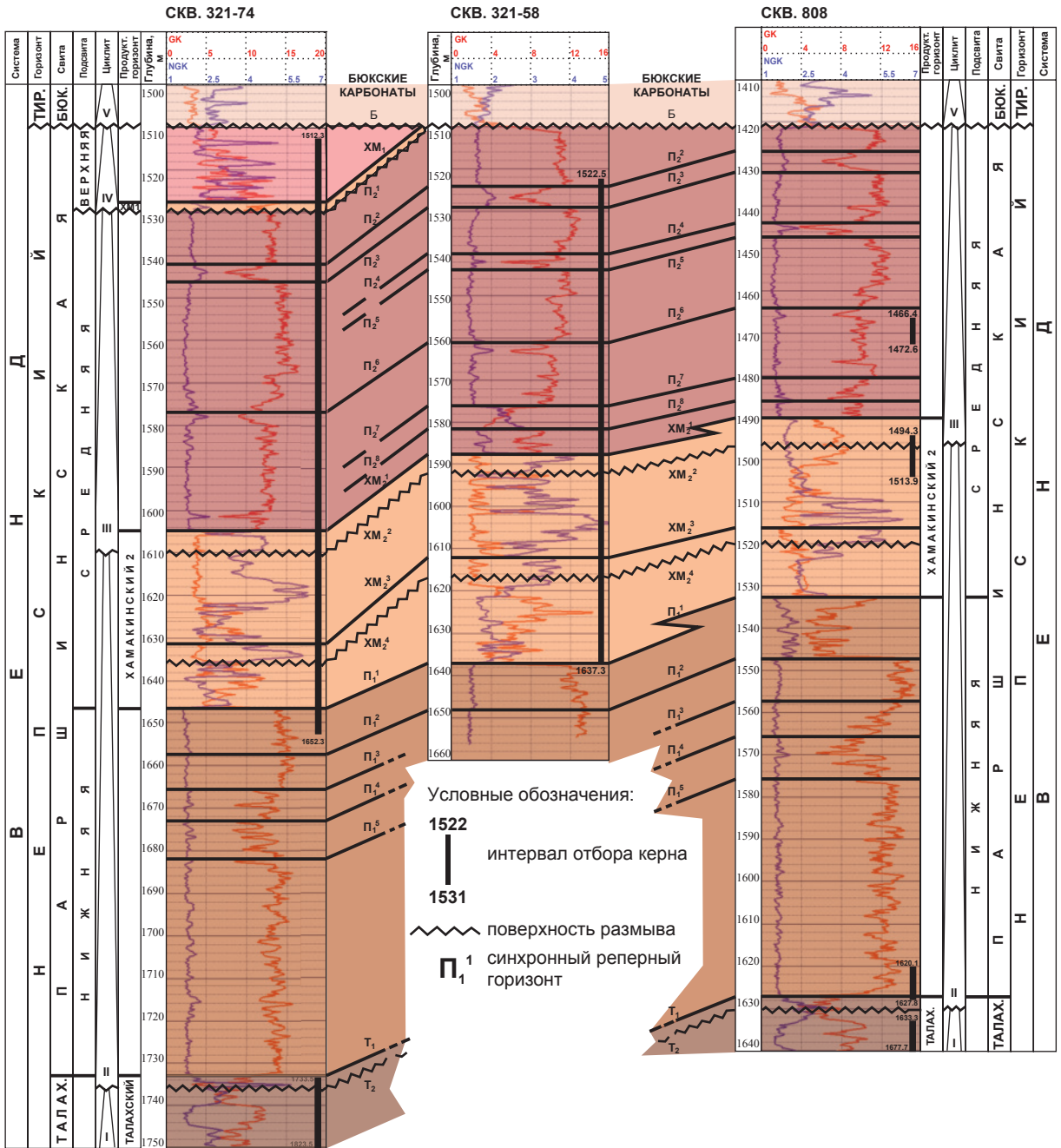


Рис. 5. Чаиндинское месторождение: корреляционная схема по линии скв. 321-74 – 321-58 – 808

сделанному непосредственно в местах его отбора, породы представлены доломитами с тонкими прослоями аргиллитов. Применительно к расположенным рядом скв. 274-01, 321-57, 803 и 808 данных об отложениях соответствующих пород нет из-за отсутствия керна. В скв. 321-54 аналогичный интервал пород выделяется на глубине 1634–1637 м (см. рис. 4). Далее приводится описание керна, который,

чтобы увязать с данными ГИС, необходимо приподнять на 0,8 м:

- 1615,30–1635,30 м (1614,5–1634,5 м) – аргиллит темно-серый, почти черный, с редкими серыми прослоями алевролитов. Текстуры: тонко-параллельно-горизонтально слоистые, штриховидные, линзовидные, неясно слоистые. КERN активно разбит трещинами по напластованию;

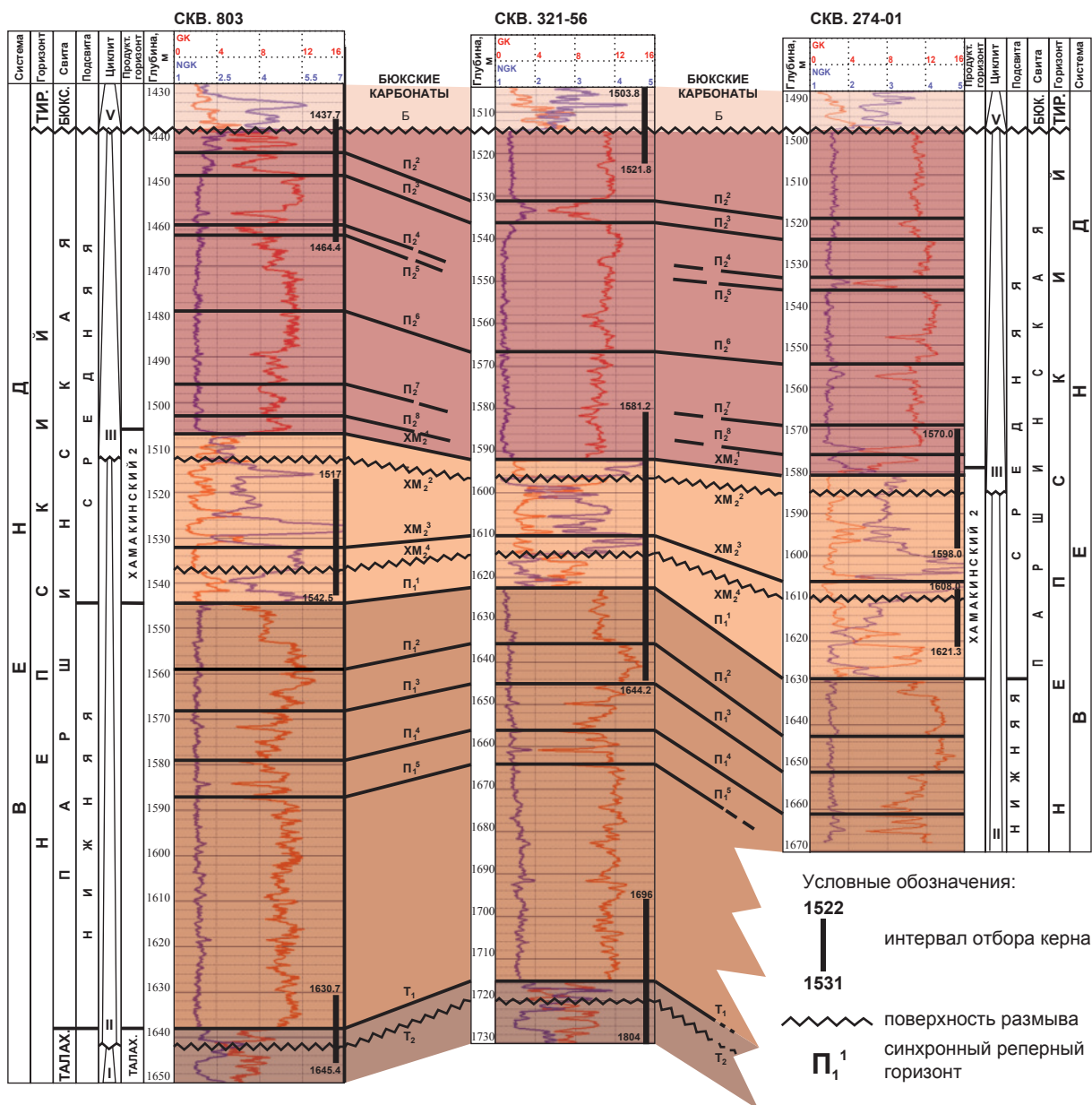


Рис. 6. Чаяндинское месторождение: корреляционная схема по линии скв. 803 – 321-56 – 274-1

- 1635,30–1637,30 м (1634,5–1636,5 м) – аргиллит алевритистый, серый, темно-серый, почти черный. Текстуры: тонко-параллельно-горизонтально слоистая с элементами градиционной слоистости, продавливания и проседания осадка. Породы сильно разбиты трещинами по напластованию;
- 1637,30–1645,99 м (1636,5–1645,19 м) – аргиллит темно-серый, почти черный, с редкими серыми прослоями алевролитов. Текстуры: тонко-параллельно-горизонтально слоистые, штриховидные, линзовидные, неясно слои-

стые. Керна активно разбит трещинами по напластованию.

В скв. 321-74 соответствующий интервал пород, по данным ГИС, находится на глубине⁵ 1542–1546 м (см. рис. 6):

- 1527,34–1540,32 м (1529,64–1542,62 м) – аргиллит темно-серый, почти черный. Текстуры: неясно-слоистая, прерывисто-слоистая. Керна разбит трещинами на отдельные плитки;

⁵ Чтобы увязать описание керна с результатами промыслово-геофизических исследований, его необходимо опустить на 2,3 м.

• 1540,32–1543,20 м (1542,62–1545,50 м) – аргиллит зеленовато-серый, серый. Тонко-параллельно-горизонтально-слоистый, слабо-наклонно-слоистый, слабо взмученный. В нижней части в интервале 1543,00–1543,20 м находится прослой песчаника среднезернистого и мелкозернистого, желтовато-серого (следы мутьевого потока). Трещины развиты по напластованию;

• 1543,20–1547,00 м (1545,5–1549,30 м) – аргиллит темно-серый, почти черный, с прослоями алевролита серого. Текстуры: тонко-параллельно-горизонтально-слоистая, линзовидная. Трещины развиты по напластованию.

Во всех рассмотренных скважинах в соответствующем интервале отложений грубообломочные породы не встречены.

Если в основании продуктивного пласта ХМ1 находится поверхность крупного регионального размыва, как это указывается на корреляционной схеме ООО «ЦНИП ГИС» (см. рис. 2), то неясно, что же размывается в скв. 321-58 и 321-75, которые расположены друг от друга на расстоянии около 7 км. В обеих скважинах ровно 11 метрами ниже предполагаемой поверхности размыва на каротажных диаграммах отчетливо виден какой-то плотный пропласток, который можно использовать для сопоставления разрезов скважин в качестве синхронного реперного горизонта. Мощность этого пропластка составляет около 4 м, и он

в южном направлении в сторону скв. 321-56 постепенно замещается на более глинистые отложения (см. рис. 3, 5). Если бы размыв на самом деле имел место, то вряд ли над этим пропластком в скв. 321-58 и 321-75 сохранились бы породы толщиной 11 м.

Из всего сказанного следует, что отмеченное на корреляционной схеме ООО «ЦНИП ГИС» (см. рис. 2) наличие продуктивного пласта ХМ1 и поверхности регионального размыва в его подошве следует поставить под большое сомнение. С пространственным размещением кровли и подошвы продуктивного пласта ХМ2 нужно согласиться. Подозрение вызывает лишь верхняя граница пласта в скв. 321-58. По нашему мнению, она неоправданно завышена, и таким образом к пласту ХМ2 присоединен песчаный пропласток общей мощностью около 6 м (см. рис. 3).

Все ранее перечисленные примеры убедительно свидетельствуют о том, что в разрезах скв. 321-56, 321-58, 321-75 нет ни ботубинской подсветы, ни пласта ХМ1 хамакинского продуктивного горизонта. Отсутствие согласно данным ГИС и макроописанию керна возможных пластов-коллекторов в толще, перекрывающей пласт ХМ2, говорит в пользу того, что данную толщу можно с большой долей уверенности принимать за непроницаемую покрывку для подземного хранилища гелия.

Список литературы

1. Рыжов А.Е. Уточнение положения границы между нижнебюкской и верхнебюкской подсветами Чайядинского НГКМ с привлечением литологических, промыслово-геофизических и сейсмических критериев / А.Е. Рыжов, А.И. Крикунов, Л.А. Рыжова и др. // Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2013. – № 1 (12). – С. 161–173.
2. Рыжов А.Е. Уточнение истории формирования в докембрийское время Южного и Саманчакитского блоков, выделяемых на Чайядинском месторождении / А.Е. Рыжов, А.И. Крикунов, Л.А. Филиппова // Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 2 (18). – С. 12–18.
3. Рыжов А.Е. Выяснение внутреннего строения хамакинского продуктивного горизонта и местоположения его стратиграфических границ в южной части Чайядинского месторождения / А.Е. Рыжов, А.И. Крикунов, Л.А. Филиппова // Вести газовой науки: Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 2 (18). – С. 19–26.
4. Рыжов А.Е. Определение степени влияния тектонического фактора на формирование залежей углеводородов на Саманчакитском блоке Чайядинского нефтегазоконденсатного месторождения / А.Е. Рыжов, А.И. Крикунов, Л.А. Филиппова // Вести газовой науки: Проблемы ресурсного обеспечения газодобывающих регионов России. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 3 (19). – С. 99–105.