

вышенной минерализации с местами расположения скважин, свидетельствующая о влиянии скважин на формирование этих зон. Установлено, что аномальное поле приповерхностной части разреза в пределах рассмотренных участков изменяется от 3 до 10 г/л. Отмечено некоторое понижение аномальности с повышением высотных отметок рельефа. С помощью сканирования поля электрических сопротивлений показано, что механизм хлоридного загрязнения приповерхностной части разреза может быть связан с наличием разуплотненных водопроницаемых зон как в районе затрубного скважинного пространства, так и на отдельных участках геологической среды (трещиноватых зонах), обеспечивающих возможность вертикальной восходящей миграции рассолов.

Отмечено, что, наряду с характерным понижением электрических сопротивлений вблизи скважин, имеется ряд зон резко повышенных сопротивлений приповерхностной части пространства вблизи скважин, значительно превышающих фоновый уровень. Показано, что наиболее вероятной причиной резкого повышения сопротивлений может служить нефтяное либо газовое загрязнение массива горных пород, вызванное возможными утечками при эксплуатации отмеченных объектов.

Установлено, что для обводненных гравийно-галечниковых и терригенных пород, залегающих в интервалах глубин соответственно 15...30 и 30...100 м, контрастность аномалий гидрохимического поля повышается, достигая в отдельных случаях 30 г/л.

Технология и компьютерная интерпретация результатов электрометрии, успешно применяемые при решении геоэкологических задач, связанных с поиском техногенных залежей углеводородов и линз соленых вод в приповерхностной части геологического разреза нефтяных месторождений Пермской области, могут быть использованы также для оценки естественности защищенности пресных подземных вод, учитываемой при выборе мест строительства котлованов на площадке бурения разведочных и добывающих нефтяных скважин.

Проведение систематических электрометрических исследований является одним из методов контроля и оценки эффективности работ по ликвидации техногенных аномалий в верхней части геологической среды районов добычи нефти, газа, калийных и магниевых солей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников В.П. *Обработка и интерпретация результатов вертикального электрического зондирования на ЭВМ.* — М.: Недра, 1981.
2. Кутин В.А., Колесников В.П. *Численное моделирование электрических полей для трехмерных моделей сред // Проблемы горного недроведения и системологии: Материалы научной сессии Горного института УрО РАН.* — Пермь, 1999. — С. 36—38.
3. *Электроразведка: Справочник геофизика.* — М.: Недра, 1990. — Т. 1, 2.
4. *Электроразведка методом сопротивлений / Учеб. пособ. / Под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина.* — М.: МГУ, 1994. — 160 с.

УДК 550.834.05(470.41)

## ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЗОН ПАЛЕОКАРСТОВОЙ АНГИДРИТИЗАЦИИ

В. Е. Томилини

(ОАО "Ульяновскнефть"),

Р. Х. Масагутов

(БашНИПИнефть)

Исследованы условия образования одной из разновидностей высокоскоростных зон в верхней и средней частях разреза, создающих ложные сейсмоструктуры в нефтеперспективных горизонтах. На основе фактического материала по пробуренной скважине (керна, шлифы, ГИС) доказана обусловленность их палеокарстовой ангидритизацией. Теоретически обоснован генезис этих зон. Даны качественные признаки зон палеокарстовой ангидритизации для их диагностирования на временных разрезах и отбраковки ложных сейсмоструктур, обусловленных этими зонами.

The conditions for forming of one of variety of the high-speed zones in the upper and middle part of the cut creating false seismic anticline in oil-perspective horizons have been investigated. The conditionality has been proved paleokarst angidrition. The genesis of these zones has been substantiated theoretically. Qualitative indication of the paleokarst angidrition zones have been given for their diagnosing on temporary cuts and rejecting false seismic anticline caused by these zones.

В Башкортостане исследована локальная сейсмоаномалия, обусловленная так называемой "зоной палеокарстовой доломитизации". В результате получены данные, доказывающие связь таких аномалий с тектоническими нарушениями, позволяющими объяснить их образование и обусловленность их ангидритизацией, а не доломитизацией, как считалось ранее.

Локальные высокоскоростные зоны (ВСЗ) представляют собой важные объекты для исследований. Интерес к ним вызван не только тем, что "создают" положительные псевдоструктуры, но в первую очередь вследствие того, что данные сейсмоаномалии, по характеристике очень сходные с теми, что образованы такими нефтеперспек-

тивными объектами, как биогермы, рифы, горсты и др. Часть из ВСЗ может представлять практический интерес, так как они связаны с участками высокой тектонической активности, в пределах которых могут формироваться ловушки УВ. Одним из видов таких ВСЗ являются зоны, связанные с палеокарстами в карбонатном разрезе нижней перми, верхнего и среднего карбона. Для условий Башкортостана впервые такие зоны были выделены и описаны Ф.И. Хатъяновым [10] и в тематических работах ПО Башнефтегеофизика в 1995 г.

По идее авторов, в карстах, развитых в отложениях карбона, происходила доломитизация известняков с образованием штоков доломитовых пород. Поскольку скорость прохождения сейсмической волны в доломитах значительно выше (до 7000 м/с), чем в известняках, то эти локальные зоны "доломитизации" во вмещающих известняках создавали локальную скоростную аномалию. Вывод о доломитизации базировался на описаниях шлама и редкого керна, в которых преобладал именно доломит. Специальные исследования с отбором проб, керна и др. не проводились.

Учитывая возможные перспективы обнаружения ловушек УВ в описываемых зонах, а также с целью исследования kernового материала из них в 1997 г. был разбурен Северо-Чуюнчинский объект с четко выраженными признаками зоны палеокарстовой "доломитизации" (рис. 1). Объект расположен на склоне Русской платформы, на границе Южно-Татарского свода и Благовещенской впадины. Район характеризуется как достаточно активный в тектоническом отношении. Так, западнее объекта в 15 км проходит Сергеевско-Демский грабенообразный прогиб с залежами Давлекановского месторождения нефти, восточнее в 5 км — Аскарново-Бекетовская полоса горстовидных поднятий с залежами нефти Гордеевского месторождения. Пробуренной на объекте скв. 319—Абдрашитово не было установлено нефтеприточных объектов.

Скважина наклонно направленная с отходом забоя от устья на 0,85 км на запад. Путь скважины не освещен сейсморазведкой, так как выше отложений нижнего карбона проходит на удалении от линий отработанных сейсмопрофилей. Учитывая воронкообразный характер палеокарста, предполагаем, что ствол скважины пересекает зону палеокарста вдоль ее восточной границы.

В структурном отношении получены следующие результаты. Сейсмическая структура тектонически не подтвердилась — скважиной установлено моноклинальное залегание отложений нижнего карбона и верхнего девона. Расхождение прогнозных построений по отражающим горизонтам У и Д с данными бурения составляет более 100 м в сторону завышения.

Анализ мощностей отложений показал на увеличение толщины разреза в стратиграфическом интервале верхнего и среднего карбона на 40...50 по сравнению с фоном. При этом следует отметить, что вскрытый разрез указанных отложений не типичен

для данной площади. Он характеризуется аномально повышенным фоном ГК. По ГИС практически не коррелируется с соседними скважинами. В интервалах 1570...1640 и 1640...1710 м по ГИС наблюдается повторение разреза, выражающееся в одинаковом характере поведения кривых ГК, НГК, ПС, КС и ДС (рис. 2). Как видно, толщина повторяющейся части составляет 50 м (с учетом кривизны ствола в 30°) и объясняет ранее отмеченное увеличение толщины отложений карбона.

По краям отмеченных интервалов наблюдается разуплотнение отложений, причем без повышения показаний ГК, что не характерно для терригенных отложений веря. Более контрастный характер каротажных кривых ДС и НКГ в начале верхнего интервала объясняется тем, что до глубины 1590 м он разбуривался на технической воде.

Характеристика керна, отобранного из отложений верхнего карбона (интервал 1152...1157 м) оказалась довольно неожиданной. Вместо ожидавшейся по имевшимся представлениям доломитизации пород установлена их ангидритизация. Анализ геохимической и тектонической обстановки на участке аномалии, обобщенные результаты исследования процессов карстообразования, доломитизации и ангидритизации по литературным данным [1—4, 6, 7, 11, 12] показали, что полученный материал иным быть не может.

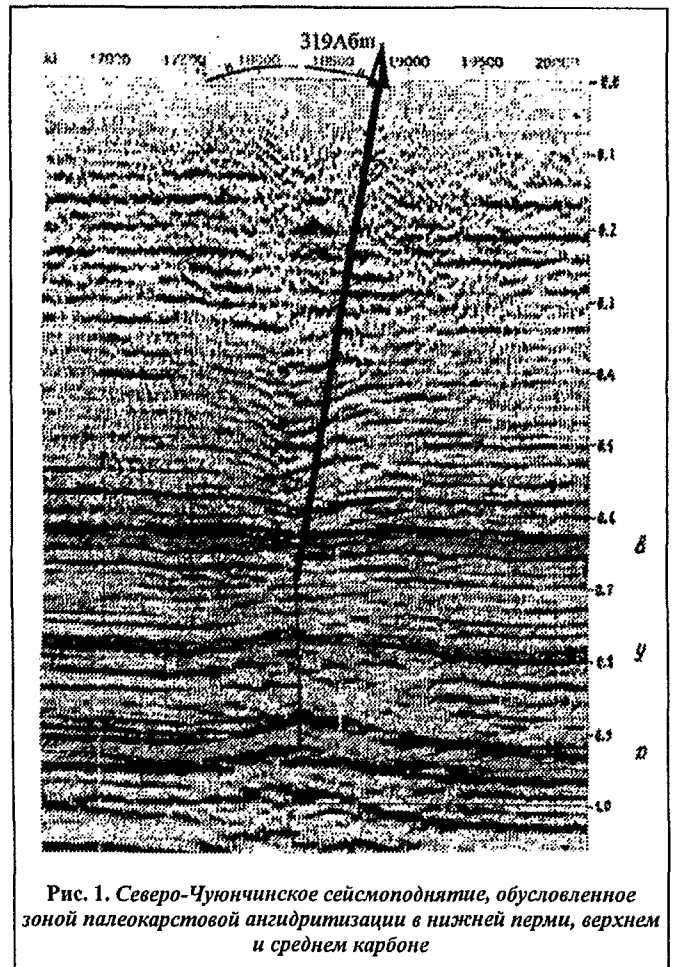


Рис. 1. Северо-Чуюнчинское сейсмоподняtie, обусловленное зоной палеокарстовой ангидритизации в нижней перми, верхнем и среднем карбоне

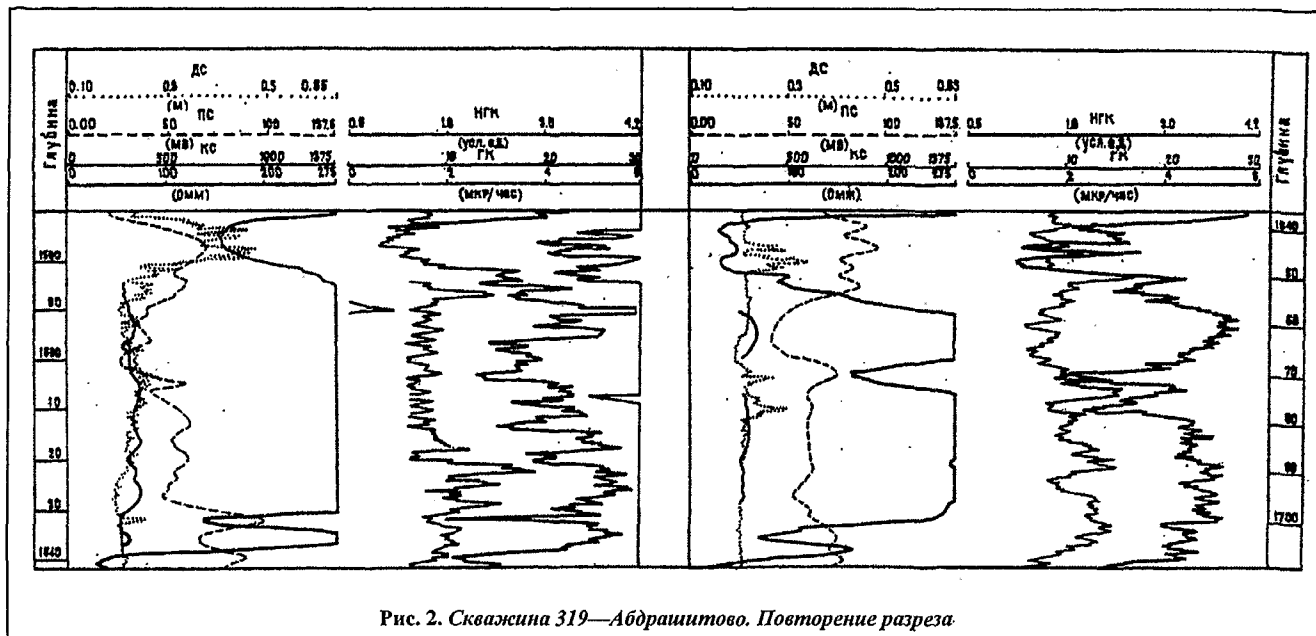


Рис. 2. Скважина 319—Абдрашитово. Повторение разреза

Приведем макро- и микроописание керна из отложений карбона в интервале 1152...1157 м скв. 319—Абдрашитово, выполненное в БашНИПИнефть канд. геол.-минерал. наук А.М. Тюрихиним.

**Образец 32**

*Макро:*

Брекчия, состоящая из обломков доломита буровато-темно-серого, скрытокристаллического, слабоизветковистого с раковистым изломом, сцементированных голубовато-светло-серым кристаллически-зернистым ("сахаровидным") ангидритом. Обломки имеют преимущественно угловатую форму, размеры до 4...9 см, резкие контуры и различную ориентировку, местами трещиноваты (рис. 3); на плоскостях отдельных трещин наблюдаются пленки черного глинисто-органического вещества, а также слабо выраженные зеркала скольжения и мелкие борозды скольжения (рис. 4).

Развитие трещин в целом контролируется литологическим контактом обломков доломита с цементной

сульфатной массой. В основной части тип цементации базальный.

*Микро:*

Обломки доломита в основной массе характеризуются микрозернисто-сгустовой структурой породообразующего компонента. Пронизаны густой сетью включений мелкопризматических кристаллов и агрегатов ангидрита, микрочастками переходящего в гипс. Местами ангидрит распространен в форме прожилок и гнездообразных выделений мелкопризматических, игольчатых и пластинчатых кристаллов. Местами доломит перекристаллизован с выделением псевдоморфоз ангидрита по доломиту, редко ромбоэдрических кристаллов доломита поздней генерации. С участками перекристаллизации местами сопряжены пустоты выщелачивания с резкоизвилистыми контурами, инкрустированные ангидритом. Одновременно с выщелачиванием наблюдаются признаки метасоматоза ангидрита по доломиту.

**Образец 36**

*Макро:*

Ангидритодоломит в основной массе серый пятнами, светло-серый, кристаллически-разнозернистый,

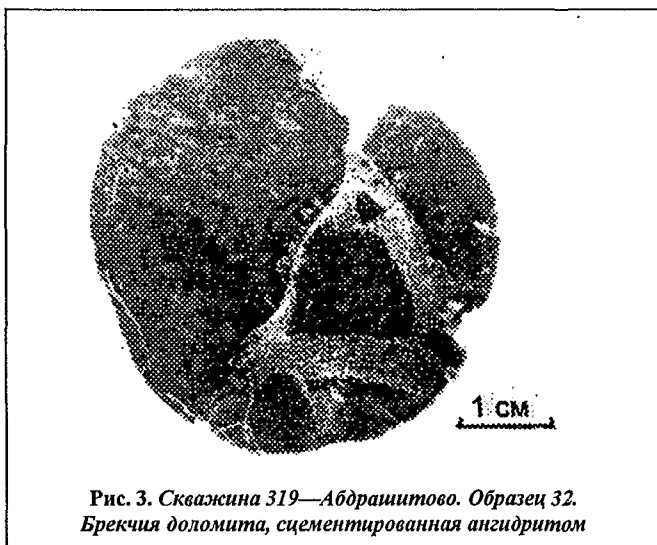


Рис. 3. Скважина 319—Абдрашитово. Образец 32. Брекчия доломита, сцементированная ангидритом

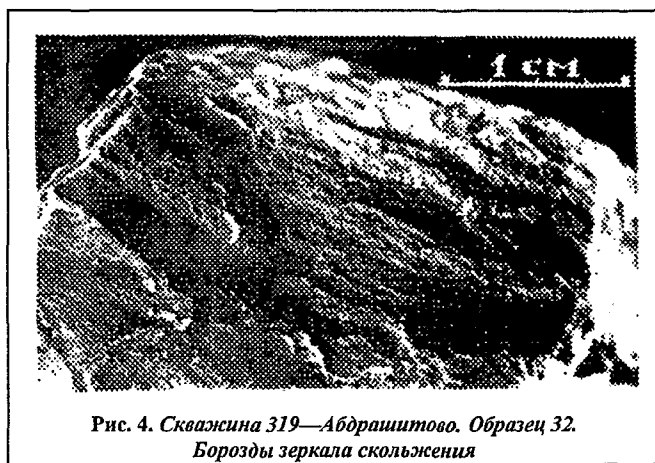


Рис. 4. Скважина 319—Абдрашитово. Образец 32. Борозды зеркала скольжения

массивный, плотный с густой сетью прожилок светло-серого ангидрита, преимущественно вертикальных, извилистых, с частыми расширениями, с неровно ступенчатым (местами раковистым) изломом, слабо известковистый.

*Микро:*

Основная минеральная масса характеризуется тонкокристаллически-зернистой структурой с размером зерен меньше или равным 0,1 мм, на фоне которой выделяются кристаллически-зернистые агрегаты ангидрита в форме микропрожилок, единичных вкраплений и сегрегаций. Наряду с ангидритом отмечены прожилки гипса (меньше или равные 0,01 мм), а также преобразование ангидрита в гипс. Местами наблюдаются редкие пустоты выщелачивания округлой и неправильной формы размером до 1,2 мм, инкрустированные вторичным ангидритом, иногда доломитом. Пустоты связаны с микротрещинами. Среди зернистой минеральной массы наблюдаются псевдоморфозы ангидрита по доломиту. В целом порода охвачена перекристаллизацией, сопровождающейся одновременно селективным метасоматозом.

Таким образом, описания керна и шлифов показывают, что из вторичных процессов в породах зоны карста наблюдается практически лишь ангидритизация.

Аномальная характеристика по ГИС отложений верхнего и среднего карбона, наблюдающееся повторение разреза в интервалах 1570...1640 и 1640...1710 м, разуплотнение отложений по краям этих интервалов, брекчия и зеркала скольжения на образцах керна (см. рис. 3 и 4) свидетельствуют о том, что скважина пересекла зону тектонического разлома. Признаки разлома наблюдаются и на временных разрезах. Установленная амплитуда разлома (до 50 м) достаточна, чтобы он распространился от отложений додевона до толщи нижней перми.

Тектонический разлом, пересекая все водоносные комплексы палеозоя, разрушил изолирующие их флюидоупоры. В результате происходят локальные межкомплексные перетоки пластовых вод. Вследствие перемешивания разных по составу вод возникают различные геохимические процессы. Логично предположить, что вначале были нисходящие потоки в закарстованные серпуховские отложения. Пресные воды, двигаясь по зоне тектонического разлома из терригенных отложений нижней перми в нижележащие карбонатные толщи, стали выщелачивать последние [3]. По мере продвижения вниз происходит осолонение вод как в результате растворения карбонатов, так и из-за перемешивания с солеными водами перми и карбона. Вследствие этого с глубиной происходит постепенное сужение зоны эрозии. Карст приобретает воронкообразную форму (см. рис. 1).

В последующем интенсивность водотоков и, следовательно, опреснение пластовых вод должны замедлиться в результате перезаполнения резервуара разгрузки, или вследствие истощения запасов дренируемых пресных вод. На смену процессам преимущест-

венного выщелачивания приходит геохимическое осаждение осадков от смешивания пластовых и опресненных вод [1].

Наблюдения, выполнявшиеся при закачке пресных вод при разработке нефтяных месторождений, показали, что при этом часто происходит выпадение в осадки карбонатов или сульфатов кальция [1]. Наиболее интенсивное осаждение солей происходит при смешивании вод хлоркальциевого типа с гидрокарбонатными [12]. В отложениях карбона Башкирии развиты воды хлоркальциевого типа. Для терригенных отложений нижней перми воды гидрокарбонатного типа занимают ведущее место [4, 2]. Следовательно, складываются благоприятные гидрогеохимические условия для осаждения гипса. Высокие пластовые давления и температура инициируют последующую дегидратацию гипса с образованием ангидрита [7]. Это же видно на образцах керна, отобранных из разреза верхнего и среднего карбона скв. 319—Абдрашитово. Ангидрит часто встречается в керне и шламе из карбонатных отложений нижней перми, верхнего и среднего карбона в большинстве других скважин, пробуренных через подобные зоны (3-Абл, 18-Абл, 105-Абл, 107-Брз, 119-Клн, 34-Клн, 37-Кзг, 53-Узб и др.).

Рассмотрим вероятность образования доломита в зоне карста. Проблеме происхождения доломита уделялось достаточно много внимания, хотя остается еще много неосвещенных вопросов. В целом сложилось следующее представление.

Образование любых доломитов (сингенетических, диагенетических и эпигенетических) возможно при следующих ключевых условиях [6].

*1. Наличие высококонцентрированных рассолов.*

Однако в условиях карстообразования, протекающего от воздействия пресных вод, будет происходить наоборот опреснение пластовых вод. Следовательно, создается неблагоприятная обстановка для доломитообразования.

*2. Необходимо повышение содержания  $Mg^{+2}$  в растворе при отношении  $Mg^{+2}/Ca^{+2} > 0,8$ .*

В наших условиях источником  $Mg^{+2}$  могут быть воды кунгурского яруса. В скв. 919—Урш, ближайшей, где были исследованы эти воды, содержание  $Mg^{+2}$  в несколько раз выше, чем в водах карбона. Но соотношение  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$  здесь то же (24/39 мг-экв./100), что и в карбоне. Источником  $Mg^{+2}$  могут быть и рассолы нижележащих отложений карбона и девона, где содержание его в пластовых водах достигает 1,5...4,0 г-экв. (вероятность их восхождения по тектонической зоне не исключается). По данным БашНИПИнефти, с глубиной отношение  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$  уменьшается, достигая в терригенном девоне 0,2, а в рифее 0,1. Таким образом, при перемешивании пластовых вод будет сохраняться равновесное состояние их с доломитом и известняком. Более того, в случае восходящих девонских вод, вызывающих уменьшение отношения  $Mg^{+2}/Ca^{+2}$  в пластовых водах карбона, доломит будет переходить в известняк. Правда, при осаждении гипса при поступлении пресных вод в смешивающихся водах будет

уменьшаться содержание  $\text{Ca}^{+2}$ , а следовательно, и увеличение отношения  $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ . Однако первое условие (высокая концентрация рассола) при этом не будет обеспечено.

Таким образом, имеющаяся геохимическая обстановка не отвечает ни одному из отмеченных основополагающих условий доломитизации.

Допустим, палеообстановка была иной, более благоприятной и доломитизация в карсте совершилась. В этом случае должно произойти восстановление сульфата гипса до  $\text{H}_2\text{S}$ , до сульфидов железа и самородной серы [6]. Однако повышения содержания этих компонентов в породе и воде не зафиксировано. При доломитизации известняков должно происходить увеличение пористости, так как доломит, как более плотный, будет занимать меньший объем, чем кальцит. Особенно заметно это происходит при содержании в доломитизированной породе более 50 % доломита [6]. В отобранных образцах содержание доломита достигает 75...85 %, однако пористость и проницаемость практически отсутствуют (по данным БашНИПИнефти, Проныков В.А., 1998).

Таким образом, процесс доломитизации в карстовых зонах перми и карбона маловероятен. Выводы авторов "доломитизации" основываются на том, что в керне и шламе скважин действительно наблюдается доломит в той части разреза, где развиты зоны палеокарста. Однако в отложениях перми и карбона доломит явление нормальное. Но в зонах палеокарста практически везде встречается и ангидрит. Меньшее его количество фиксируется из-за большей его истираемости при бурении вследствие меньшей твердости. В качестве примера, доказывающего справедливость этого утверждения, можно привести данные по скв. 319—Абдрашитово, где в интервале отбора керна с ангидритом последний при описании шлама не отмечен. Кроме того, вывод в работе [10] о преобладании доломита сделан на анализе данных ГИС. Но по проводимому в скважинах комплексу ГИС отличить доломит от ангидрита практически невозможно [8, 5].

Вместе с тем, доломитизация известняков вследствие метасоматических процессов вполне возможна. В "Справочном руководстве по петрографии осадочных пород" отмечается, что эпигенетические доломиты образуют линзы, тела в известняках размером до нескольких километров, без определенной стратиграфической приуроченности [9]. Как ранее отмечалось, доломитизация сопровождается уменьшением объема породы в 1,5...2,0 раза. Последнее обуславливает локальные понижения в проекции доломитизированных пород. И действительно, на практике часто приходится сталкиваться с приуроченностью локальных скоростных аномалий к локальным понижениям по отложениям нижней перми, верхнего и среднего карбона. На временных разрезах это выражается в зеркальном отображении малоамплитудных локальных впадин по вышележащим отражениям сводов сейсмоструктур.

В настоящее время не так актуально, каким вещественным составом вызвана скоростная аномалия — доломитом или ангидритом. Более важно, как отличать "псевдоструктуры", обусловленные этими скоростными аномалиями, от сейсмоструктур, отражающих геологическое строение. В этом отношении в работах Ф.И. Хатянова [10] и др. проведен анализ и разработаны рекомендации по идентификации первых, что имеет важное практическое значение.

Таким образом, главной причиной образования зон ангидритизации является разрушение флюидоупора, разделяющего пресноводный комплекс от минерализованного. Наличие областей разгрузки вод, таких, как закарстованные серпуховские отложения, является важным условием лишь для выщелачивания и образования карста в известняках. Возникает вопрос, почему при протяженных тектонических разломах связанный с ними карст и зоны ангидритизации имеют локальный характер? Объяснение, по-видимому, в том, что зоны разуплотнения, как и всякое геологическое образование, неоднородные. Проницаемость на разных участках тектонического разлома будет различная. Процессы выщелачивания будут более интенсивны на участках с большей проницаемостью. Это и определяет локальный характер зон ангидритизации.

Предложенный механизм образования высокоскоростных аномалий, обусловленных палеокарстовой ангидритизацией, объясняет неэффективность сейсморазведки МОГТ на участках со сквозными тектоническими разломами. В частности, отсутствие успеха при опосредованном поиске сейсмических структур на северо-востоке Башкортостана в Аскинско-Биавашской зоне, на линиях, так называемых, постседиментационных грабенообразных прогибов, имеющих сквозной характер, объясняется скоростным характером выделенных положительных сейсмоаномалий, обусловленных локальными зонами ангидритизации. Последние из-за низкого качества временных разрезов по отложениям нижней перми и верхнего карбона, обычного в этих случаях, не диагностируются.

### Выводы

Возможность процесса доломитизации в карстовых зонах нижней перми, верхнего и среднего карбона не находит теоретического объяснения и не подтверждена специальными исследованиями. С точки зрения вновь полученных данных правильно называть их "зоны палеокарстовой ангидритизации".

Обоснована следующая схема образования зоны палеокарстовой ангидритизации.

1. Образование карста в карбонатных отложениях нижней перми, верхнего и среднего карбона обусловлено выщелачиванием пород в результате перетоков по зоне разлома опресненных вод из вышележащих отложений.

2. В результате последующего изменения гидродинамического режима и смешивания дочерних пластовых вод с привнесенными произошло геохимическое осаждение гипса. Дальнейшая дегидратация гипса под

термодинамическим воздействием привела к образованию ангидрита.

3. Вследствие заполнения карстовых полостей и цементации ангидритом тектонически разрушенных пород образовался ангидрит-доломит-известняковый шток. Высокоскоростной характер штока за счет ангидрита, сложное его внутреннее строение, тектонические нарушения создают сейсмическую аномалию, сходную с аномалией биогермов, горстов и других нефтеперспективных объектов.

Зоны палеокарстовой ангидритизации развиваются в карбонатных породах на участках тектонических разломов, способных разрушить флюидоупор, разделяющий пресноводный комплекс от минерализованного. Поэтому при выделении приразломных сейсмических структур важно провести анализ на возможный их скоростной характер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карцев А.А. *Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений*. — М., 1963.

2. Попов В.Г. *Формирование подземных вод северо-западной Башкирии*. — М.: Наука, 1976.

3. Максимович Г.А. *Основы карстоведения: В 2 томах*. — Пермь, 1989.

4. *Гидрогеология Восточно-Уральской нефтегазоносной области / Г.В. Богомолов, В.Г. Герасимов и др.* — М.: Недра, 1967.

5. Кожеевников Д.А. *Нейтронные характеристики горных пород и их использование в нефтегазопромысловой геологии*. — М.: Недра, 1974.

6. Чилингара Дж., Биссема Г. и др. *Карбонатные породы: В 2 томах*. — М.: Мир, 1970.

7. *Минералогическая энциклопедия / Под ред. К. Фрея*. — Л.: Недра, 1985.

8. Перьков Н.А. *Интерпретация результатов каротажа скважин*. — М., 1983.

9. *Справочное руководство по петрографии осадочных пород / Под ред. Л.Б. Рухина*. — Л.: Гостоптехиздат, 1958.

10. Хатьянов Ф.И. *Сейсмоформационное прогнозирование*. — М.: 1985. — (Обзор. информ. / ВНИИОЭНГ; Вып. 11).

11. Гаттенбергер Ю.П. *Гидрогеология и гидродинамика подземных вод*. — М.: Недра, 1971.

12. Гаттенбергер Ю.П., Дьяконов В.П. *Гидрогеологические методы исследований при разведке и разработке нефтяных месторождений*. — М.: Недра, 1979.