

# ПРИМЕР РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОЦЕССОВ КАРБОНАТНОГО ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО И ПАЛЕОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗОВ

*Г.С. Хамидуллина<sup>1</sup>, Б.В. Платов<sup>1</sup>, И.А. Нуриев<sup>2</sup> И.П. Новиков<sup>3</sup>,*

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет  
<sup>2</sup>Закрытое акционерное общество «Консалтинговый центр»  
<sup>3</sup>Открытое акционерное общество «Татнефтепром»

## EXAMPLE RECONSTRUCTION PROCESS CARBONATE SEDIMENTATION ON THE BASIS SEISMOSTRATIGRAPHIC AND PALEOGEOMORPHOLOGICAL ANALYSIS

*G.S. Khamidullina, B.V. Platov, I.A. Nouriev, I.P. Novikov*

### Аннотация

В статье рассматриваются реализации сейсмостратиграфического анализа карбонатного бассейна, который базируется на основе седиментационного моделирования, проведенного на базе палеогеоморфологического анализа. Палеогеоморфологический был реализован по целевым сейсмическим горизонтам, которые являлись кровельными отражения сейсмических комплексов. Используя данные скважин, в том числе и геофизические исследования скважин, был проинтерпретирован рисунок трансформированного волнового поля и выделены сейсмические фации. В результате проведенной интерпретации были выделены потенциальные ловушки углеводородов в карбонатных породах.

Ключевые слова: сейсмический комплекс, сейсмическая фация, палеогеоморфологический анализ, волновое поле, геофизические исследования скважин, биогермная постройка.

Keywords: seismic complex, seismic facies, paleogeomorphological analysis, wave, field, well logging, bioherm building.

### Введение

Исследование сложнопостроенных карбонатных пород, в том числе и коллекторов, до сих пор остается очень сложной задачей и этой проблеме посвящено множество материалов и публикаций [1-3]. Осадочный разрез Волго-Уральской провинции преимущественно состоит их карбонатных осадков. Одним из методов диагностики карбонатных комплексов является сейсмостратиграфический анализ, факторологическую базу которого составляют разрезы отраженных волн метода общей глубинной точки (МОГТ) [4-5], сеть профилей которого относительно плотно покрывает территорию нефтегазоносной Волго-Уральской провинции, в особенности область Южно-Татарского свода. Сейсмостратиграфия, используя структурные особенности отражений, позволяет сделать предположения о геологическом строении территории, определить возможные перспективные зоны углеводородов, области развития структурных и неструктурных ловушек [4]. Тем не менее, сейсмостратиграфический анализ карбонатных пород, по оценкам исследователей, остается неоднозначным [2].

Реализации сейсмостратиграфического анализа карбонатного бассейна базируется на основе седиментационного моделирования, которое, в свою очередь, предлагается провести на базе палеогеоморфологического анализа. Палеогеоморфологический (палеоструктурный) анализ представляет собой палеореконструкцию исходного волнового разреза, где проводится выравнивание целевого сейсмического горизонта путем введения в трассы относительных сейсмических сдвигов [6]. И такое выравнивание исключает из разреза тектонические деформации осадочных слоев, которые имели место после образования данного структурно-стратиграфического подразделения. Целевыми

сейсмическими горизонтами предлагается выделять кровельные отражения сейсмических комплексов, которые являются элементами сеймостратиграфической модели [4,6]. Волновое поле характеризуется определенными закономерностями рисунка записи. Выделяются: параллельные, субпараллельные, прозрачные (неслоистые), расходящиеся, сигмовидные, косослоистые, черепицеобразные, холмовидные, бугристые, хаотичные виды конфигураций отражений сейсмической записи [4]. Принято считать, что фрагмент волновой картины сеймокомплекса отображает условия образования отложений и их фациально-литологический состав. Этот рисунок, обусловленный конфигурацией и устойчивостью осей синфазности отраженных волн, их относительной интенсивностью, особенностью и стабильностью формы колебаний, является вторым элементом сеймостратиграфического анализа, называемый сейсмической фацией. Однако однозначной зависимости рисунка сейсмической записи от вещественного состава отложений не существует, и для корректного анализа наблюдаемой волновой картины необходима привязка к скважинным материалам (описания керн и данные ГИС).

Для реконструкции осадконакопления и последующей диагностики карбонатных отложений предлагается провести следующие виды исследований:

I этап: сейсмо-стратиграфическая привязка отражений (стратиграфическая идентификация отражений) с использованием данных геофизических исследований скважин, расположенных в пределах территории исследования. Применялись данные гамма-гамма плотностного и акустического каротажей, а также рассчитывались синтетические кривые плотности и акустической скорости для скважин, в которых эти виды каротажа не проводились; трассировка всех сейсмических отражений, выделенных при сейсмо-стратиграфической привязке на всей площади исследования; построение карт времен пробега сейсмической волны до интересующего горизонта; расчет сейсмических атрибутов для прогноза распространения фаций на территории исследования;

II этап: прогнозирование сеймофациальных зон на основе данных скважин с привлечением информации по геофизическим исследованиям (стандартный каротаж: кажущегося сопротивление (КС), гамма-каротажа (ГК), нейтронно-гамма каротажа (НГК));

III этап: проведение палеогеоморфологического и сеймофациального анализов на основе спрогнозированных фациальных зон и логики осадконакопления;

IV этап: перенос результатов III этапа на исходное волновое поле.

#### Результаты исследования

Сеймостратиграфический и палеоструктурный анализы волнового поля были проведены с целью изучения геологического строения одного из месторождений, расположенного, в пределах северо-западной части западного склона Южно-Татарского свода. Реконструкция процессов осадконакопления осадочного чехла проводилось по алгоритму предложенному выше.

Сеймостратиграфическая привязка отражений производилась на основе одномерного и двухмерного сеймогеологического моделирования с привлечением данных геофизических исследований скважин, расположенных в пределах месторождения. На исследуемой территории были получены синтетические сеймограммы, которые позволили выделить в волновом поле кровельные границы основных стратиграфических единиц (рис.1). Некоторые авторы для подобных задач применяли фрактальные размерности волнового поля [7].

Обозначенные границы были протрассированы в волновом поле исследуемой территории. В результате было выделено пятнадцать сеймокомплексов, которые отражают процессы седиментации в следующие временные периоды: А – живетский век; В – кыновско-саргаевское время; С – семилукское- время; D – мендымское время; Е – поздне-франкий век (воронежское+евланово-ливенское время); F – ранне-фаменский век (задонское+елецкое время); G – средне-фаменский век (данково-лебедянское время); H – поздне-фамеский век (заволжское время); I – турнейский век; J – бобриковско-тульское

время век; К – окское время; L – заборьевское время; М – старошевское время; N – башкирский век; O – верейское время.

С целью диагностики сейсмофаций проводились исследования описания ядерного и шламового материала по скважинам, а также данные стандартного каротажа (рис.2). Осадочный чехол, как было замечено ранее, в основном, сложен карбонатными породами, которые можно разделить на типовые стандартные пояса, согласно описанию Дж. Уилсона [5]. В пределах площади исследований выделены следующие пояса (фации) и их переходные зоны:

- **бассейновые фации** – это фации некомпенсированной, или заполненной впадины. Фация продиагностирована по геофизическим характеристикам  $НГК = 1,9-2,5$  усл.ед.,  $ГК = 10-35$  мкР/ч и на основе описания пород по шламу скв.1 (таблица): «известняки коричневые и коричневато-серые, тонко-кристаллические, с прослойками аргиллитов черных, известковистых, плотных». Данный тип бассейновых фаций на территории Русской плиты получил название «доманиковые фации» [1]. На территории исследования данные фации наблюдаются в сейсмокомплексе «С».

- **открытошельфовые фации** – или фации глубоководной андотемы. Фация диагностируется на основе описания шлама и геофизической характеристики. По шламу описание пород в сейсмокомплексе «Е» представлено как «переслаивание известняков серых, коричневато-серых, кристаллических с включениями черного глинистого материала и известняков светло-серых с желтоватым оттенком тонкокристаллических участками слабо доломитизированными». В пользу диагностики открытошельфовой фации говорит меняющаяся окраска пород, как результат частых изменчивых окислительно-восстановительных условий, что характерно для этой фации, а также четкая слоистость и большие пространства подобных типов пород, наблюдаемые в пределах региона [1]. По данным ГК в скв. 1 наблюдаются низкие значения 0,6-1,6 мкР/ч, по данным НГК высокие значения: от 0,3 до 5,0 усл.ед.

- **фации мелководного карбонатного шельфа** или осыпной шлейф, формирующий клинотему. Диагностика данной фации осложнена большим разнообразием осадков. Породы могут напоминать отложения бассейновых фаций (открытошельфовых и бассейновых) [5], но они менее глинистые и имеют меньшую мощность. Фации мелководного карбонатного шельфа диагностированы в сейсмокомплексах «К», «I», «D». При этом для сейсмокомплексов «К» и «I» характерны низкие значения, как по КС, так и по ГК и НГК. Диагностика сейсмокомплекса «D» больше опирается на данные других исследователей [1]. В пользу этого типа говорит и присутствие в сейсмической записи в пределах комплекса сейсмофаций типичных для органогенных построек, что не противоречит модели данной фации [5].

- **органогенный риф края платформы**. Данная фация диагностируется по описанию шлама и геофизическим параметрам. По скважинным данным фации прослеживаются в сейсмокомплексах «К», «H», «G», «F», «E». В указанных комплексах по шламу описывается светлая окраска известняков и доломитов, отсутствие терригенного материала. Также наблюдается характерная геофизическая характеристика: сравнительно высокие значения КС и НГК и низкие значения ГК. В сейсмокомплексе «E» значение удельного сопротивления достигает 3500 Ом.м. При анализе волнового поля были в пространстве близь скважины в указанных сейсмокомплексах были выявлены «аномалии типа риф», которые характеризуются резким уменьшением амплитуды, повышением хаотичности записи, потери корреляции [7].

- **фации мелководной ундатемы (отмученные пески мелководья)**. Фации диагностируется на основе описания шлама, данных других исследований [1]. Преобладающие типы пород – известняки и доломиты кристаллически-зернистые, плотные, светлой окраски. Геофизическая характеристика аналогично рифовым постройкам: высокие значения НГК, завышенные значения КС и низкие значения ГК.

- **шельфовая лагуна.** Фация диагностируется на основе как описания шлама скважины 1, так и по геофизической характеристики. Лагунные осадки характеризуются высокими значениями НГК, низкими значениями ГК и КС.

Далее в следующем этапе проводится палеогеоморфологический и сейсмофациальный анализ на основе спрогнозированных фациальных зон и «логики» осадконакопления (рис. 3). В данном примере последовательная палеорекострукция была проведена на одном из сейсмических профилей, расположенном на исследуемой территории вблизи скважины 1, по кровлям саргаевского, мендымского, евланово-ливленского горизонтам, нижнефаменского, среднефаменского подъярусам, заволжского горизонта, турнейского яруса, тульского горизонта, башкирского яруса, верейскому горизонту. Палеорекострукция (трансформация исходного волнового поля) проводилась программными средствами пакета Schlumberger Petrel. На основании проведенной палеорекострукции (интерпретации трансформированного поля) воссоздана история формирования положительной структуры современного геологического разреза (рис.4). На данном примере хорошо просматривается история формирования «атоллообразной» структуры в воронежское+евланово-ливленское время (комплекс Е). В исходном разрезе картируется крупная положительная структура, сформированное в воронежско+евланово-ливленское время, мощность которой по данным скважины 1 достигает 278м (рис.2). Однако, по скважинным данным в нижней части разреза наблюдаются переслаивание разноокрашенных известняков с включением глинистого материала (возможно открытошельфовые фации) и доломитов, которые имеют несколько завышенные значения НГК (до 5,4 ус.ед) и ГК (до 2,3 мкР/ч), что косвенно указывает на содержание в осадках глинистого материала и низких значений КС до 50 Ом.м (возможно лагунные осадки). В позднефранское время в разрезе по скважине пролеживают типичные биогермные осадки. Далее по рисунку палеоструктурного анализа в раннефаменское время на месте бывшей «атоллообразной» структуры начинает формироваться рифогенная банка.

Биогермные постройки являются благоприятной средой для образования ловушек углеводородов. Поэтому корректное картирование карбонатных осадков значительно увеличивает прогноз обнаружения залежей в карбонатных породах. Дальнейшее изучение фильтрационно-емкостных свойств возможно на основе анализа индекса качества коллектора [8].

В следующем этапе результаты палеорекострукции переносят на исходный волновой разрез (рис.4). Проведенная геологическая интерпретация позволяет наметить, в пределах представленного разреза, перспективные области в карбонатных породах с улучшенными коллекторскими свойствами, которыми являются биогермные постройки, сформированные практически во всех карбонатных осадках представленного разреза.

### Выводы

Проведенная палеогеоморфологическая (палеоструктурная) реконструкция, посредством интерпретации трансформированного исходного волнового поля, позволяет существенно улучшить седиментационное моделирование карбонатных осадков. При этом важными элементами этой реконструкции являются данные геофизических исследований скважин и описание проходки бурения (декадные сведения) в случае отсутствия других геологических и лабораторных исследований материалов бурения. В основу определения фациального состава осадконакопления ложится седиментационный анализ промысловой геофизики и палеорекострукция, на основе которой возможно воссоздать палеоструктурные формы, и определить «логику» осадконакопления.

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной в рамках государственной поддержки Казанского (Приволжского) федерального университета в целях повышения его конкурентоспособности среди ведущих мировых научно-образовательных центров

## Литература

1. Хисамов Р.С. и др. Геология карбонатных сложнопостроенных коллекторов девона и карбона Татарстана. – Казань: изд.во «Фэн» Академии наук РТ, 2010. -283с.
2. Жемчугова В.А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений. – М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2014.-232с.
3. Уилсон Дж.Л. Карбонатные фации в геологической истории. М.: Недра, 1980. – 463 с.
4. Сейсмическая стратиграфия. Под ред. Ч.Пейтона. Том 1– М.: Мир, 1982. -374 с.
5. Шлезингер А.Е. Региональная сейсмостратиграфия. - М.: Научный мир, 1998. – 138 с.
6. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. - Тверь: Изд-во АИС, 2006. – 744 с.
7. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М.: ООО «Издательство «Спектр», 2008. – 348с.
8. Хамидуллина Г.С., Зиганшин Э.Р., Миннибаева Э.И., Халиуллин Р.Р. Исследование фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород на основе анализа индекса качества коллектора, Нефтяное хозяйство.- №10, 2015.- с. 64-66
9. Хамидуллина Г.С., Утёмов Э.В., Харисов А.Г., Применение фрактальной размерности волнового поля для выделения сейсмических комплексов, Нефтяное хозяйство. - 2014. -№10. -С.44-47.

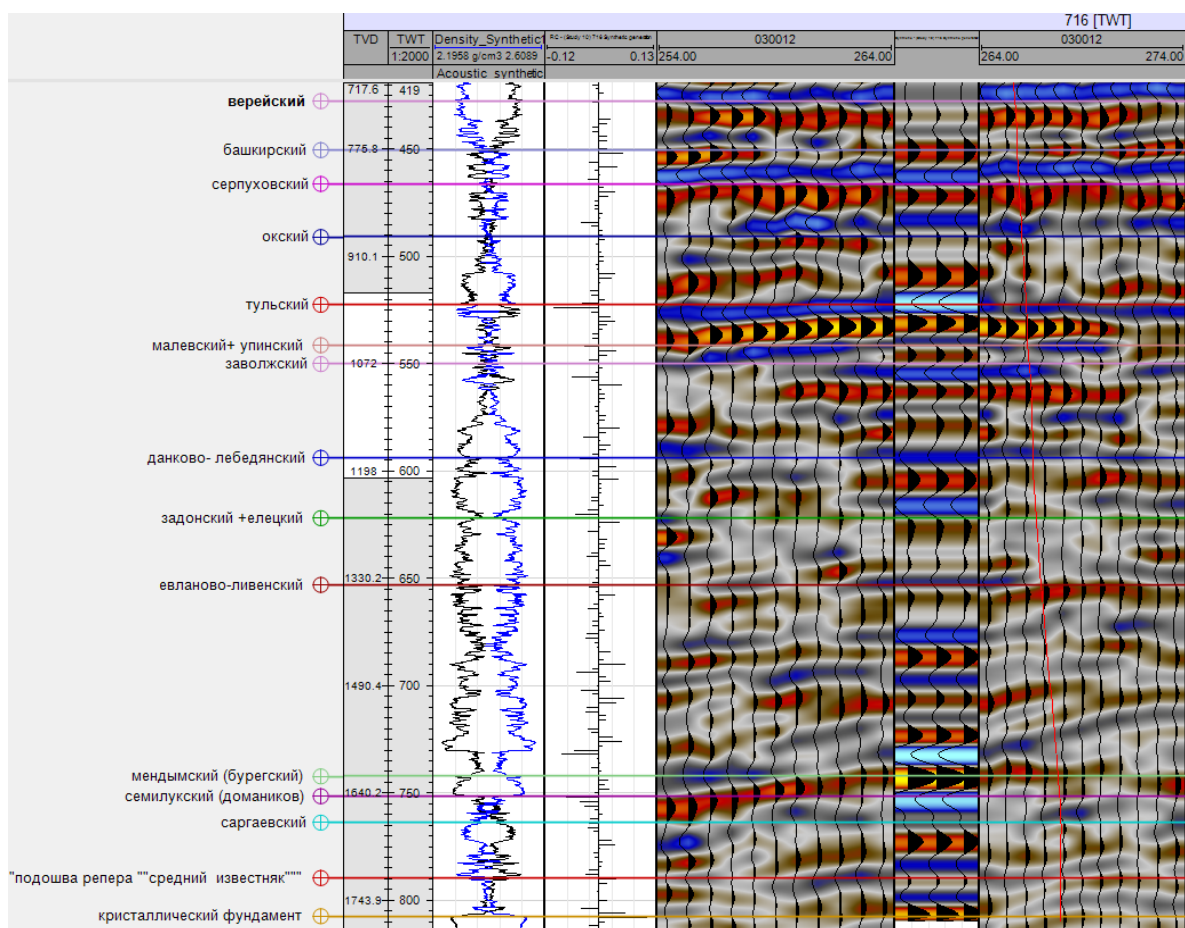
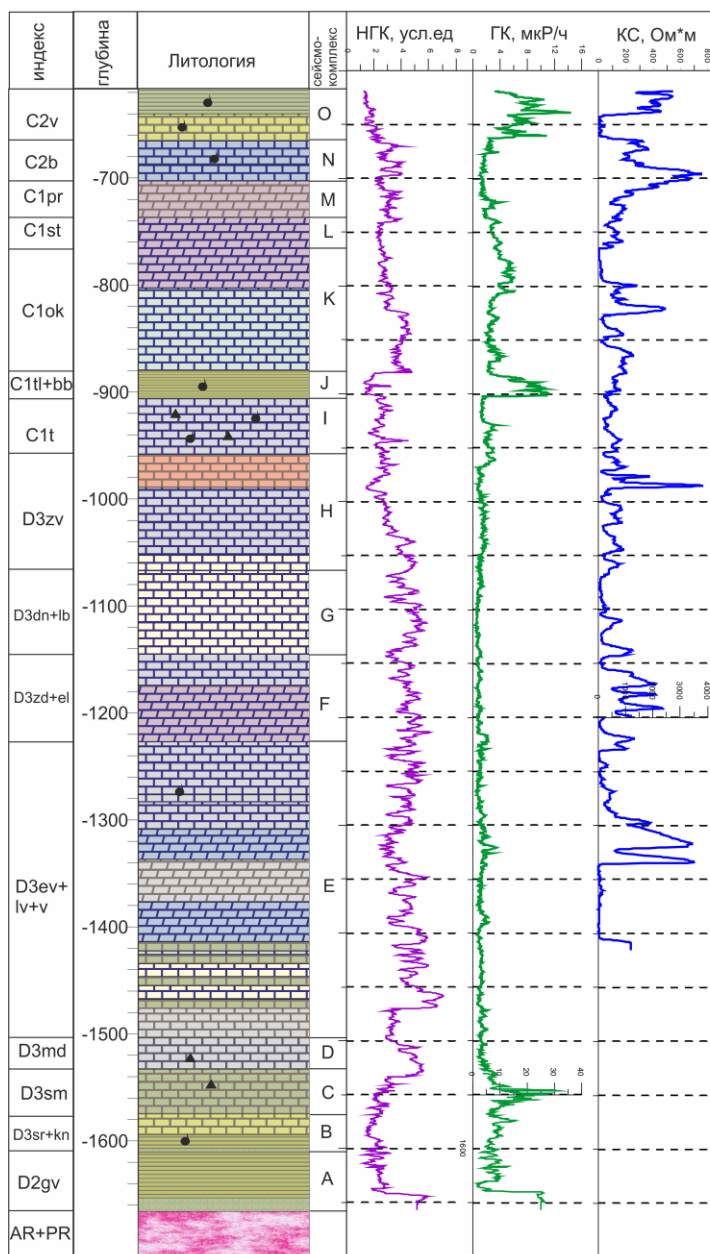


Рисунок 1. Синтетическая сейсмограмма по скважине 1. Программный пакет Schlumberger Petrel.



Условные обозначения:

описание по шламу:

- известняк серый, перекристаллизованный с примазками голубовато-серых глин по трещинам и стилолитовыми швами
- доломит светло-серые, кристаллически зернистый, плотный
- доломит коричнево-серый и серый с прослойками известняков крепких
- известняки коричнево-бурые кристаллически-зернистые с прослойками доломитов аналогичной структуры
- известняк серый, кристаллически-зернистый, плотный с редким включениями гипса, (доломита, ангидрита)
- известняк светло-серый до белого, иногда пелитоморфный
- доломиты светло-серые и редко с коричневатым оттенком, тонкокристаллические, редко трещиноватые
- известняк серый, коричнево-серый кристаллический с включениями черного глинистого материпала
- известняк серый, с коричневатым оттенком тонкокристаллические, слабо трещиноватые
- известняк коричнево-серый, кристаллический
- известняк серый с зеленоватым оттенком с тонкими прослоями зеленовато-серых глин
- аргиллиты и аллевролиты
- песчаники
- нефтеносность, битуминозность

Рисунок 2. Геолого-геофизический разрез по скважине 1

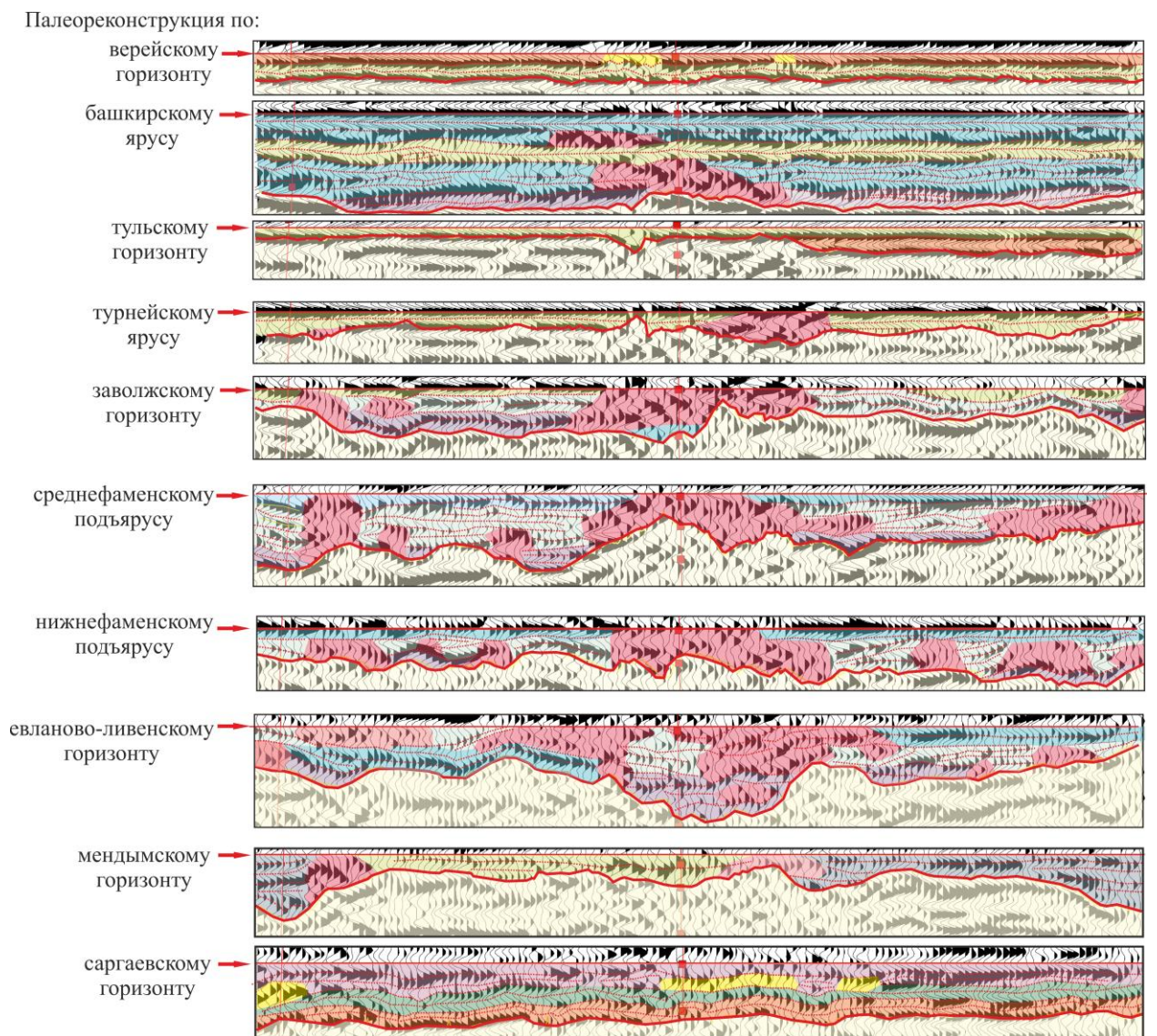
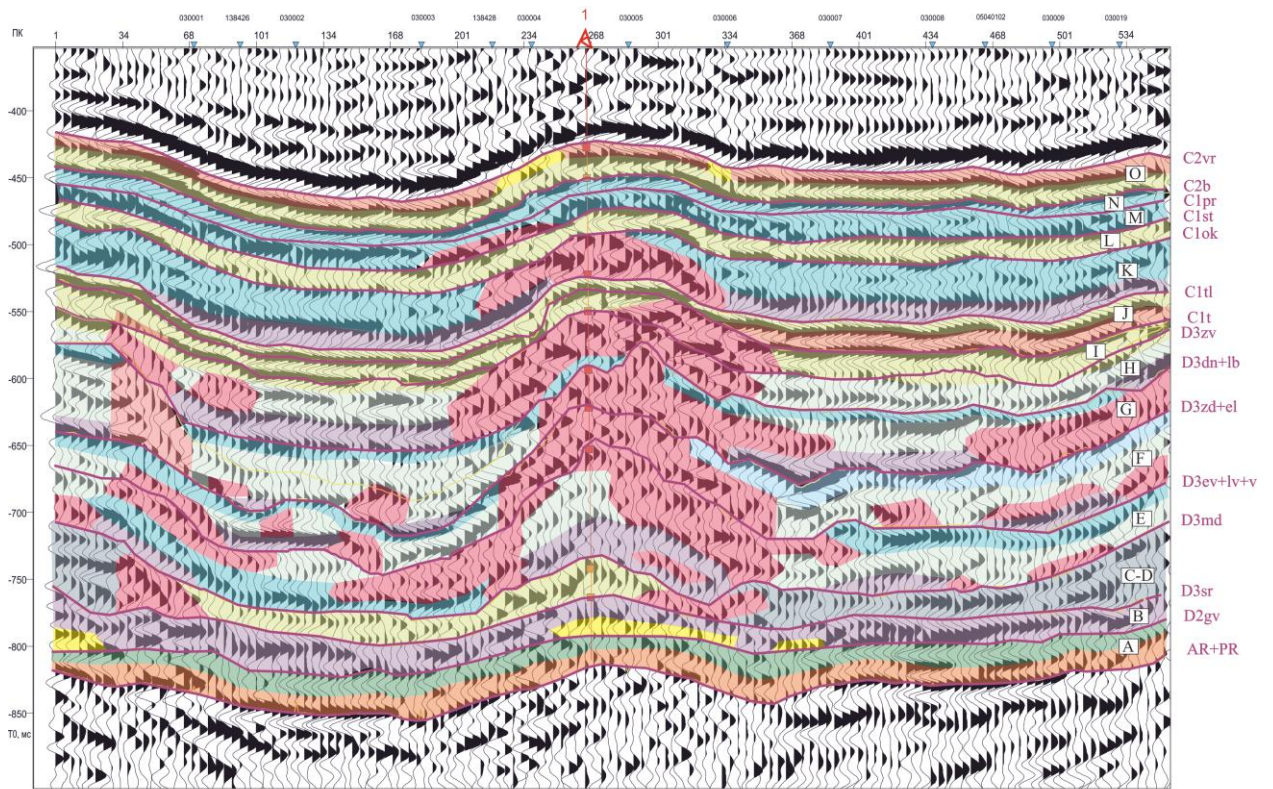


Рисунок 3 Палеогеоморфологический (палеоструктурный) анализ по сейсмическому профилю. Условные обозначения см. на рисунке 4.



Условные обозначения:









- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   | - бассейновые фации, «доманикоиды», фондотема          |   | - шельфовая лагуна  |
|  | - шельфовые фации (глубоководная андотема)             |  | - шельф с ограниченным водообменом, приливо-отливное побережье          |
|  | - область мелководного карбонатного шельфа             |  | - открытый мелководный шельф, аллювиально-дельтовые фации,              |
|  | -ограногенная постройка, биогерма                      |  | - прибрежные песчано-алевролитовые фации, последующая трансгрессия моря |
|  | - мелководная ундатема (отмученные карбонатные осадки) |   |   |

Рисунок 4 Результат сеймостратиграфического и сеймофациального анализа по сейсмическому профилю