

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ  
ЛИТОЛОГО-ФАЦИАЛЬНЫХ  
И СЕЙСМОФАЦИАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
ВНУТРИСОЛЕВОЙ ТОЛЩИ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА**

**Переволоцкая Янина Александровна**, геофизик 2 категории сектора динамической интерпретации отдела сейсмической интерпретации, РУП «Производственное объединение "Белоруснефть"», Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти, Беларусь, 246003, г. Гомель, ул. Книжная, 15а, e-mail: Ya.Perevolockaya@beloil.by

**Зайцева Ольга Игоревна**, геофизик 1 категории сектора динамической интерпретации отдела сейсмической интерпретации, РУП «Производственное объединение "Белоруснефть"», Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти, Беларусь, 246003, г. Гомель, ул. Книжная, 15а, e-mail: O.Zaitseva@beloil.by

**Главацкий Александр Александрович**, геофизик 2 категории сектора динамической интерпретации отдела сейсмической интерпретации, РУП «Производственное объединение "Белоруснефть"», Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти, Беларусь, 246003, г. Гомель, ул. Книжная, 15а, e-mail: a.glavatsky@beloil.by

**Калейчик Евгений Альбертович**, геолог 1 категории отдела литологии и стратиграфии, РУП «Производственное объединение "Белоруснефть"», Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти, Беларусь, 246003, г. Гомель, ул. Книжная, 15а, e-mail: E.Kaleichik@beloil.by

На данный момент времени существует большое количество методических подходов к изучению сейсмической волновой картины. Одним из ведущих методов динамического анализа сейсмических данных, позволяющих изучить обстановку осадконакопления, является сейсмофациальный анализ. Современные методы сейсмофациального анализа используются для изучения динамических параметров (частот, амплитуд, фаз). Результаты анализа изменяющихся характеристик отражений в комплексе с данными геофизических исследований в скважинах (ГИС) и керна позволяют сделать предположения о характере распространения фаций в пределах исследуемой территории. Проведение сейсмоакустического моделирования позволяет осуществить проверку гипотез, сформированных в ходе комплекса сейсмофациальных и литолого-фациальных исследований, дополнив представление о фациальной обстановке информацией о изменении петрофизических характеристик. Комплексный подход к анализу результатов литолого-фациальных и сейсмофациальных исследований позволяет сформировать представление об особенностях выделения ряда определённых обстановок осадконакопления (фаций) в пределах изучаемой территории, а дополнительное применение сейсмоакустического моделирования, в свою очередь, – более детально изучить объект, проявляющийся в волновом сейсмическом поле аномальным увеличением мощности в интервале залесских слоёв лебедянского горизонта внутрисолевого толщи. Применение ряда методов при изучении сложностроенных месторождений Припятского прогиба позволяет не только выявить аномальные и возможно перспективные объекты, но и определить их геологическую природу и дать более детальное представление о строении территории.

**Ключевые слова:** литолого-фациальные исследования, сейсмофациальный анализ, сейсмоакустическое моделирование, внутрисолева толща

## COMPLEXATION OF RESULTS OF LITHOLOGO-FACIAL AND SEISMO-FACIAL RESEARCHES OF THE IN-SALT SERIES OF PRIPYAT TROUGH

**Perevolockaya Yanina A.**, Geophysicist of the 2nd category of the Department of Dynamic Interpretation Sector of the Seismic Interpretation, RUE Belarusneft Production Association, Belarusian Oil Research and Design Institute, 15a Knizhnaya St., Gomel, 246003, Belarus, e-mail: Ya.Perevolockaya@beloil.by

**Zajceva Olga I.**, geophysicist of the 1st category of the Department of Dynamic Interpretation Sector of the Seismic Interpretation, RUE Belarusneft Production Association, Belarusian Petroleum Research and Design Institute, 15a Knizhnaya St., Gomel, 246003, Belarus, e-mail: O.Zaitseva@beloil.by

**Glavackij Aleksandr A.**, Geophysicist of the 2nd category of the Department of Dynamic Interpretation Sector of the Seismic Interpretation, RUE Belarusneft Production Association, Belarusian Oil Research and Design Institute, 15a Knizhnaya St., Gomel, 246003, Belarus, e-mail: a.glavatsky@beloil.by

**Kalejchik Evgenij A.**, geologist of the 1st category of the Department of Lithology and Stratigraphy, RUE "Production Association Belarusneft", Belarusian Oil Research and Design Institute, 15a Knizhnaya St., Gomel, 246003, Belarus, e-mail: E.Kaleichik@beloil.by

At the moment, there are a large number of methodological approaches to the study of seismic wave patterns. One of leading methods of the dynamic analysis of the seismic data, allowing to study the situation of sedimentations, is seismic facies analysis. Modern methods of a seismic facies analysis are used for learning of dynamic arguments (frequencies, amplitudes, phases). The results of the analysis of the changing characteristics of reflections in combination with the data of geophysical surveys in wells and core allow us to make assumptions about the nature of the distribution of facies within the study area [1]. Conducting of seismoacoustic modelling allows to testing hypotheses formed during a complex of seismofacies and lithologic-and-facies studies, supplementing the idea of the facies environment with information about changes in petrophysical characteristics. The comprehensive approach to the analysis of the results of lithologo-facial and seismo-facies studies allows to generate submission about the features of the identification of a number of certain sedimentation conditions (facies) within the study area, and the additional application of seismoacoustic modelling in turn to learn the object that is anomalous in a wave seismic field by an increase in thickness in the interval of the zalesky layers of the lebedyansky horizon of the in-salt series. The application of a number of methods in the study of complex deposits of the Pripyat Trough allows not only to identify abnormal and possibly promising objects, but also to determine their geological nature and give a more detailed idea of the structure of the territory.

**Keywords:** lithologo-facial studies, seismo-facies analysis, seismoacoustic modelling, in-salt series

Нами рассмотрен комплексный методический подход к анализу результатов геолого-геофизических исследований с целью изучения сложного геологического строения внутрисолевого комплекса одного из месторождений Припятского прогиба.

Особенностью внутрисолевых отложений изучаемой территории является неоднородное ухудшение фильтрационно-ёмкостных свойств за счёт присутствия галита, реже – ангидрита во вторичной ёмкости. Повышенное содержание галита и ангидрита в ёмкостном пространстве, в целом, не приводит

к существенному изменению каротажных данных основных методов ГИС, поэтому выявить места с повышенным содержанием галита и ангидрита в кавернах и трещинах затруднительно. С этим связана проблематика определения положения границ пород-коллекторов, а также граничных значений пористости. Также на определение граничного значения пористости определённым образом сказывается неоднозначность получения притоков, характера насыщения, а также дебитов.

В ходе проведения динамического анализа сейсмических данных внутрисолевой толщи было выполнено моделирование сейсмоакустических свойств, которое проводилось по залесским слоям лебедянского горизонта, т. к. в изучаемом районе присутствует перспективная аномалия сейсмической записи, выраженная в увеличении мощности внутрисолевых отложений.

Временная мощность внутрисолевых отложений на изучаемой территории варьирует в пределах от 15 до 65 мс, при этом от скважины к скважине мощность изменяется. Были смоделированы две ситуации изменения волнового поля в сторону плотных пород и разуплотнённых с присутствием коллектора от скважин № 6, 16, соответственно.

В скважине № 6, которая является ближайшей к аномалии сейсмической записи, по данным ГИС, коллектор не выделен. Разрез скважины представлен в большинстве плотными породами. Мощность внутрисолевых отложений в скважине составляет 100 м, что сопоставимо с мощностью периферийной части выделенной аномалии с повышенными значениями амплитуд, максимальные значения в которой составляют порядка 140 м (рис. 1).

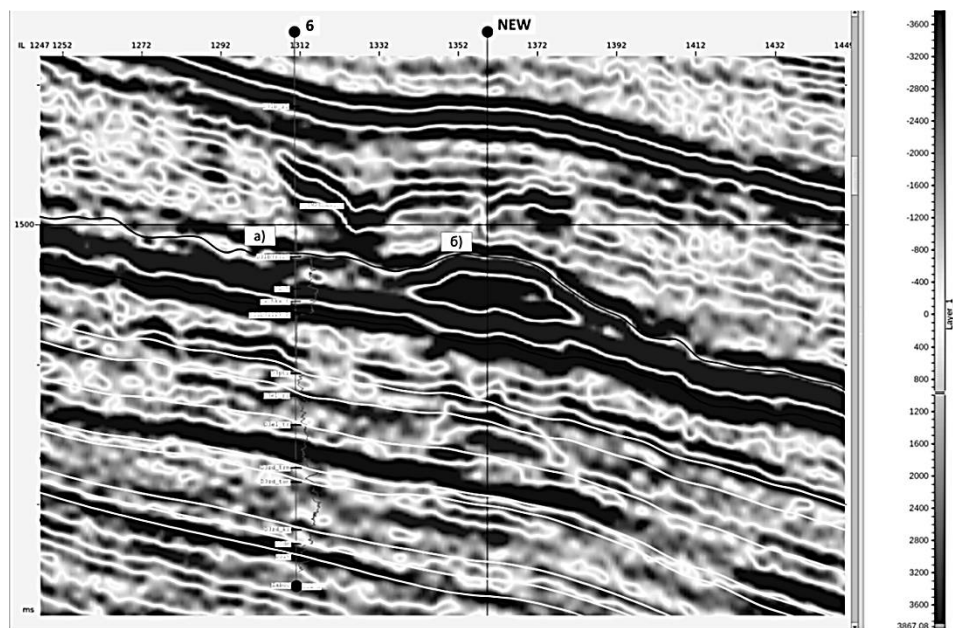


Рис. 1. Фрагмент временного разреза PSTM через:  
а) скважину № 6; б) моделируемую аномалию сейсмической записи

В скважине № 16 разрез представлен более разуплотнёнными породами, по данным ГИС выделен коллектор. Мощность внутрисолевых отложений составляет 106 м (рис. 2).

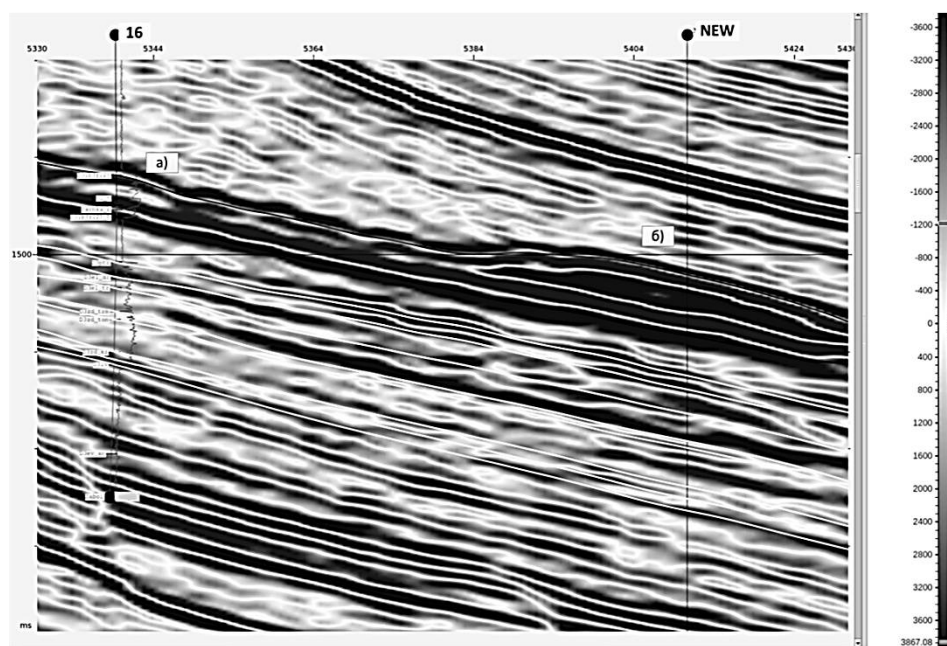


Рис. 2. Фрагмент временного разреза PSTM через:  
а) скважину № 16; б) моделируемую аномалию сейсмической записи

При моделировании ситуации учитывающей случаи при увеличении мощности и формировании имеющейся сейсмической волновой картины, осуществлено уменьшение скорости на 700 и 400 м/с и плотности на 0,3 и 0,2 г/см<sup>3</sup> по скважинам № 6, 16, соответственно. Коэффициент корреляции смоделированного аналитического импульса с сейсмическими трасами в районе аномалии сейсмической записи составил 0,66 со скважиной № 6 и 0,84 – с № 16 (рис. 3, 4).

По результатам моделирования можно сделать вывод, что зону, в которой находится аномалия сейсмической записи, связанная с увеличением мощности второго отрицательного отражения в интервале залесских слоёв лебедянского горизонта, можно приурочить к зоне разуплотнения пород, характеризующихся понижением скорости и плотности. Однако это может быть связано как с наличием коллектора, так и с наличием глин. Так как в имеющемся программном продукте нельзя смоделировать литологию пород, и выделенное прогнозное аномальное тело не вскрыто скважинами, а аналогичного по площади нет, то судить о вещественном составе пород проблематично.

В свою очередь, так как во внутрисолевом интервале наличие мощных линзовидных глинистых пород на данном участке маловероятно, а по сейсмическим данным прогнозируются разуплотнённые породы, то можно предположить наличие в разрезе данной аномалии коллектора, возможно заглинизированного.

В ходе проведения литолого-фациальных исследований по макроскопическим описаниям керна, описаниям шлифов, определениям содержания карбонатных минералов в разрезе изучаемых отложений преобладают известковые, ангидритово-известковые литотипы.

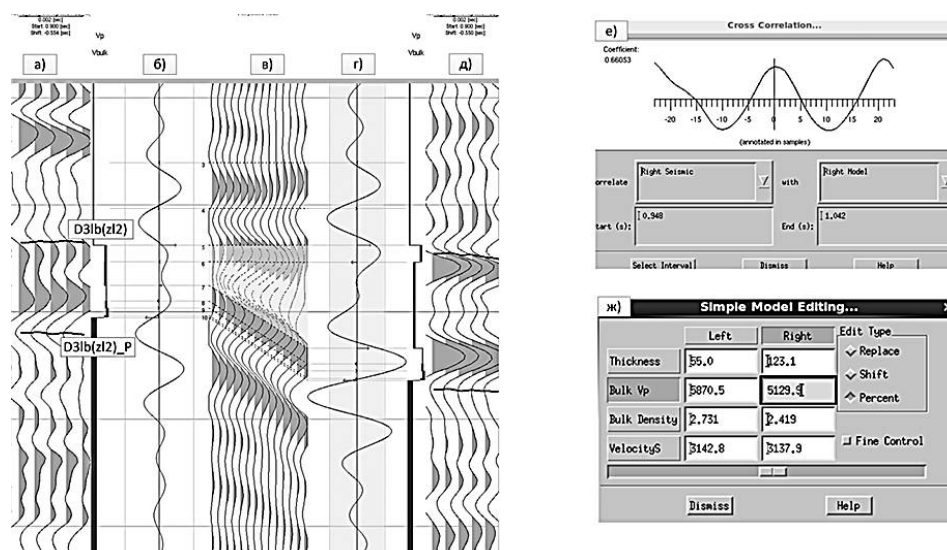


Рис. 3. Сейсмоакустическая модель: а) сейсмические трассы в районе скважины № 6; б) импульс Вохсаг; в) смоделированные сейсмические трассы; г) изменённый в процессе моделирования аналитический импульс; д) сейсмические трассы в районе повышенных значений RMS амплитуд; е) график коэффициента корреляции между Г и Д; ж) параметры моделирования

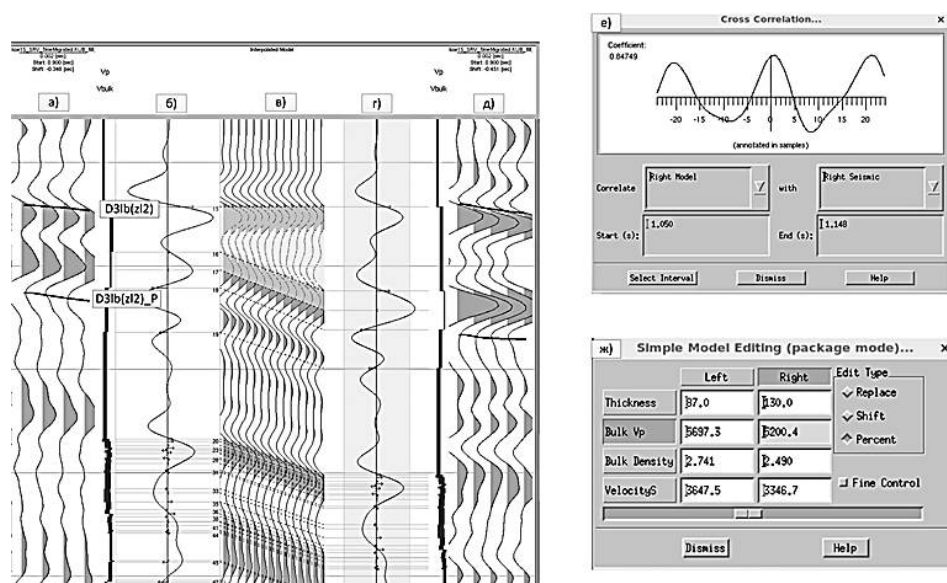


Рис. 4. Сейсмоакустическая модель. а) сейсмические трассы в районе скважины № 16; б) импульс Вохсаг; в) смоделированные сейсмические трассы; г) изменённый в процессе моделирования аналитический импульс; д) сейсмические трассы в районе повышенных значений RMS амплитуд; е) график коэффициента корреляции между Г и Д; ж) параметры моделирования

Разрез по литологическому составу в целом довольно однородный – взаимопереходы известковых и ангидритовых разностей. К второстепенным литотипам относятся слабглинистые и глинистые, известковистые доломиты, доломитовые мергели, а также тонкослоистые глинистые известняки и известковые мергели.

Наиболее перспективным литотипом являются известняки пористо-кавернозно-трещиноватые, характеризующиеся высокими ёмкостными и фильтрационными свойствами, при отсутствии кальматации пустотного пространства каменной солью и ангидритом. Оценить масштабы засоления довольно сложно, по лабораторным анализам каменная соль и ангидрит входят в состав нерастворимого остатка, не представляется возможным разделить данные компоненты.

Кроме засоления и ангидритизации в отложениях широко развиты вторичные процессы: перекристаллизация микрозернистого кальцита в пустотах в мелко- и среднезернистый (спарит), развитие сферолитов (возможно, пизоидов или вадоидов) в виде крупных радиально-концентрических тел, наростов.

На комплексированной сейсмо- и литолого-фациальной карте (рис. 5, 6) выделяются пять литолого-фациальных полей субширотной формы, которые распространяются преимущественно в северо-северо-восточном направлении, указывают направление увеличения глубины осадконакопления. Каждое поле характеризуется определённым разрезом с набором литотипов и фаунистических остатков, геофизической моделью и сейсмофациальной рисовкой. Поле 5 распространено за пределами контура выполнения динамического анализа.

Отложения залесских слоёв лебедянского горизонта, согласно концептуальной модели окаймленной карбонатной платформы [2], накапливались во время регрессивного цикла с привносом нормально-соленых морских вод в условиях внутренней части платформы: приливно-отливное побережье, лагуна и открытое море – фациальные пояса 7–10 (рис. 7, 8).

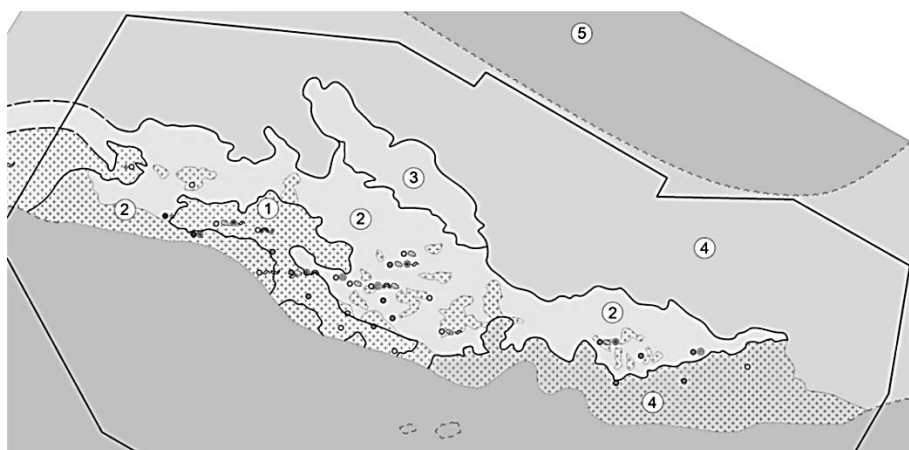


Рис. 5. Комплексированная литолого-фациальная карта залесских слоёв лебедянского горизонта ( $D_3lb(zl2)$ )

Литолого-фациальное поле 1 – отмель приливно-отливного побережья, на концептуальной модели данное поле соответствует фациальному поясу 10, оно находится в зоне литорали (приливно-отливная зона) и супралиторали (выше уровня нормальных приливов). В данных условиях на донном субстрате развивались карбонатные наросты строматолитов толщиной несколько сантиметров, образованные микробными матами, в дальнейшем они образовывали многометровые биостромы и биогермы. Поля 1 и 2 образовывали в бассейне субширотно вытянутые отмели (острова) с очень пологими склонами. По результатам исследований [3] изучаемая площадь входит в состав цепочки Октябрьско-Казанско-Славянских островов.

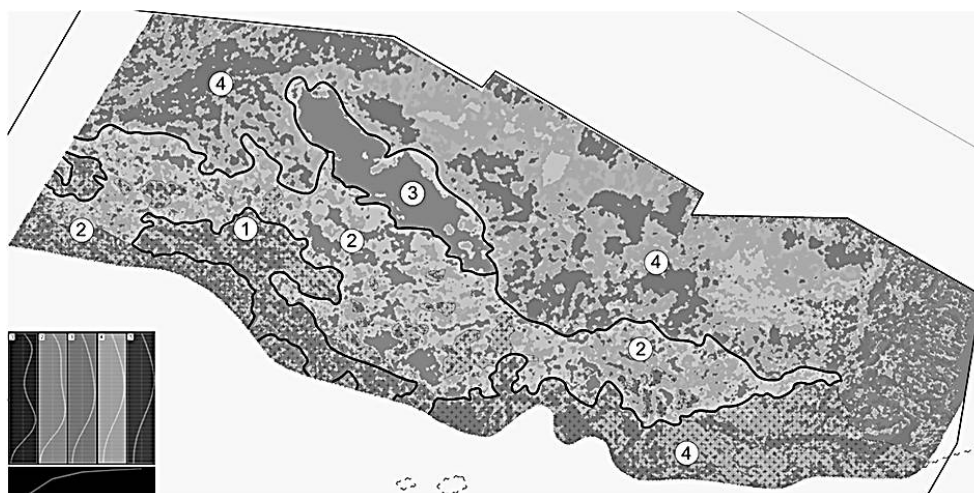


Рис. 6. Сейсмофациальная карта залеских слоёв лебедянского горизонта (D<sub>3</sub>lb(zl2))

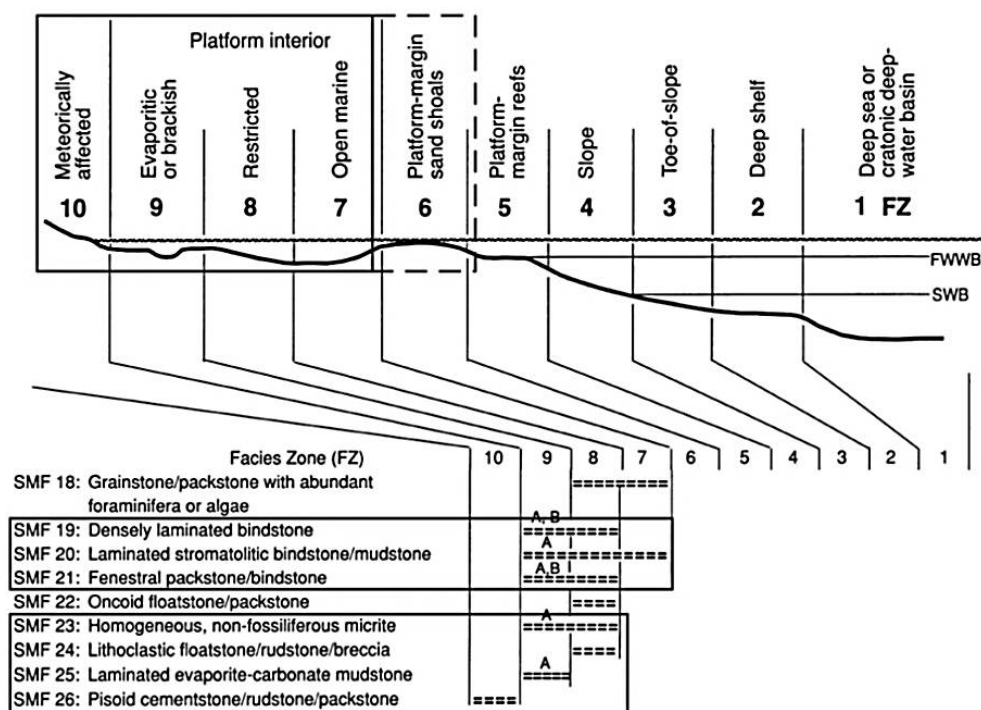


Рис. 7. Концептуальная модель окаймлённой карбонатной платформы [2]

В приповерхностных условиях развивались процессы волновой эрозии, активные процессы выветривания – выщелачивания, карстообразования, обвалов кровли и стенок карстовых каверн и кристаллизации с ростом сферолитов в кавернах. Отложения были разбиты многочисленными трещинами усыхания на многоугольные дециметровые плитки [4]. Все перечисленные процессы формировали кавернозно-трещиноватые и интракластовые текстуры пород.

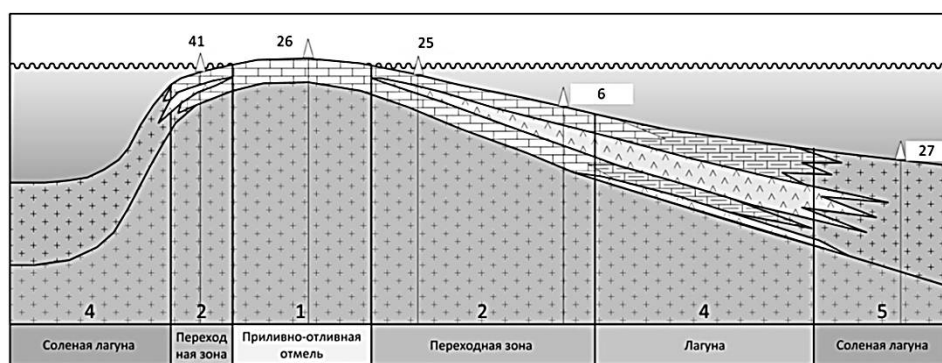


Рис. 8. Схематическое строение палеобассейна и условий формирования в пределах территории исследований

Границы поля 1 довольно изрезаны, часто с заливами различной формы. Разрез поля состоит из двух карбонатных пачек, нижняя из которых более плотная, ангидритово-известковая. В отложениях поля повсеместно развито засоление пустотного пространства, которое довольно уверенно прослеживается по скважинам на сейсмофациальной карте не только для поля 1, но и для поля 2.

Литолого-фациальное поле 2 является переходным от фации отмели к лагуне. Разрез поля 2 состоит из трёх пачек: ангидритово-карбонатной, ангидритовой и карбонатной, совмещающей особенности полей 1 и 4. В середине времени накопления отложений в пределах поля существовали аридные условия с формированием пластов ангидритов различной толщины в замкнутой мелководной лагуне. Как и в тремлянское время, образовалось «ангидритовое кольцо», окаймляющее отмель. Позже лагуна опреснилась, и ангидритообразование сменилось ростом известковых строматолитовых массивов. Поле 2 распространено в виде широкой единой полосы с изрезанными краями по большей части в северных и центральных частях площадей.

Литолого-фациальное поле 3 относится к аномальной области: этот крупный по площади участок имеет вытянутую форму, не имеет аналогов в пределах площади исследований, характеризуется резким увеличением толщин, отчётливо выделяется на сейсмофациальной карте. Осадконакопление и литологический разрез данного участка определить довольно проблематично, предлагаются две концепции развития.

Первая концепция, пессимистичная с точки зрения поиска коллекторов, предполагает развитие обозначенного участка в лагунных условиях (поле 3), соответствующих фациальному поясу 9 (рис. 7), с накоплением пластов ангидритов, глинистых известняков и мергелей (мадстоунов) в изолированной части бассейна с пассивным гидродинамическим режимом. Но у данной концепции есть недостатки – необъяснимо высокие значения толщин и их резкое возрастание, нехарактерные для лагунных отложений; локальность данного участка, т. е. седиментогенез, проходил в специфических условиях, развитых на ограниченном участке.

Вторая концепция, оптимистичная с точки зрения поиска коллекторов, основывается на недостатках первой концепции – резко высокие значения толщин и ограниченность участка. Данные особенности характерны для карбонатного биогермного рифа (возможно экологического типа), скорость роста которого значительно превышает скорость осадконакопления. По сейсмическим данным тело рифа находится в верхнем флюидоупоре, заключено между двумя пластами ангидритово-карбонатных пород и имеет линзовидную форму.



На литолого-фациальной карте по степени отдалённости от свода риф относится к барьерному типу, согласно концептуальной модели окаймленной платформы расположен в поясе 6 (рис. 7). Предположительно, организмом-рифостроителем также могут являться цианобионты (строматолиты) либо строматопоры и кораллы. Недостатки данной концепции основываются на преимуществах первой концепции – рифовое тело должно было сформироваться в условиях аномально высокой солёности замкнутого бассейна с пассивным гидродинамическим режимом, в данных условиях угнетённости развиваются единичные организмы, образуя маломощные тела; рифовое тело должно иметь чистый, слабоглинистый известковый состав.

Литолого-фациальное поле 4 относится к лагуне. Разрез отложений данного поля характеризуется известково-ангидритовым составом, отмечается преобладание пластов ангидритов в средней и нижней пачках с подчинёнными прослоями известняков, редко – глинистых известняков и мергелей. В северном направлении, к границе литологического замещения, содержание и толщины ангидритовых пластов в разрезе увеличиваются.

Нефтегазопрооявления по керну в отложениях встречаются часто и по всему разрезу. Наиболее перспективным участком для поиска пород-коллекторов является литолого-фациальное поле 2, характеризующееся нефтегазопрооявлениями по керну и отсутствием засоления пустотного пространства, однако следует отметить, что данные участки имеют довольно ограниченное распространение по латерали.

#### **Выводы:**

- Осуществлено выявление нового объекта в интервале внутрисолевой толщи, который не вскрыт не одной скважиной, не имеет аналогов в пределах площади исследований, характеризуется резким увеличением толщин.
- Анализ результатов сейсмофациальных и литолого-фациальных исследований позволил восстановить особенности обстановки осадконакопления (фаций) в пределах изучаемой территории.
- Применение сейсмоакустического моделирования позволило более детально изучить объект, проявляющийся в волновом сейсмическом поле аномальным увеличением мощности в интервале залесских слоёв лебедянского горизонта внутрисолевой толщи, и заложить концепции о геологической природе выявленной аномальной зоны.

#### **Список литературы**

1. Топычанова, Е. Б. Роль сейсмофациального анализа при выявлении литологических залежей неокома по данным пространственной съёмки 3D / Е. Б. Топычанова, А. В. Матаев // Нефтяное хозяйство. – 2011. – № 9. – С. 87–89.
2. Flugel, E. Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application / E. Flugel. – Springer, 2004. – 976 p.
3. Обровец, С. М. Условия формирования отложений корневской пачки верхнесоленосной формации и перспективы их нефтеносности / С. М. Обровец, Е. Ф. Никуленко, В. И. Багаева // Эффективные пути поисков, разведки и разработки залежей нефти Беларуси. – Гомель, 2007. – С. 135–147.
4. Жемчугова, В. А. Резервуарная седиментология карбонатных отложений / В. А. Жемчугова. – Москва : ЕАГЕ Геомодель, 2014. – 232 с.

#### **References**

1. Topychkanova, E. B., Mataev, A. V. Rol seysmofatsialnogo analiza pri vyyavlenii litologicheskikh zalezhey neokoma po dannym prostranstvennoy semki 3D [The role of seismic facies analysis in identifying Neocomian lithological deposits according to 3D spatial data]. *Neftyanoe khozyaystvo* [Oil industry], 2011, no. 9, pp. 87–89.

2. Flugel, E. *Microfacies of Carbonate Rocks. Analysis, Interpretation and Application*. Springer, 2004, 976 p.

3. Obrovets, S. M., Nikulenko, E. F. Bagaeva, V. I. *Usloviya formirovaniya otlozheniy korenevskoy pachki verhnesholenosnoy formatsii i perspektivy ikh neftenosnosti* [The conditions for the formation of sediments of the root pack of the upper saliferous formation and the prospects for their oil content]. *Effektivnye puti poiskov, razvedki i razrabotki zalezhej nefti Belarusi* [Effective Ways of Exploration, Exploration and Development of Belarus Oil Reserves]. Gomel, 2007, pp. 135–147.

4. Zhemchugova, V. A. *Rezervuarnaya sedimentologiya karbonatnykh otlozheniy* [Reservoir sedimentology of carbonate deposits]. Moscow, EAGE Geomodel Publ., 2014, 232 p.

## КЛАСТЕРИЗАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ ЮЖНОГО СКЛОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

**Бондаренко Николай Антонович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Кубанский государственный университет, Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: nik\_bond@mail.ru

**Любимова Татьяна Владимировна**, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Кубанский государственный университет, Российская Федерация, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: TV-Luy@yandex.ru

В связи с интенсивным освоением территории Черноморского побережья Кавказа наибольшую актуальность приобретают опережающие инженерно-геотектонические исследования при детальном сейсмическом районировании, а также при проведении инженерно-геологических изысканий под строительство объектов повышенного уровня ответственности. В ходе сейсмотектонических исследований в пределах Анапско-Геленджикского участка южного склона С-З Кавказа установлено, что очаги сейсмических событий образуют визуально выделяемые линейно-ориентированные зоны (сейсмолинеamentы), характеризующиеся субвертикальной ориентировкой. В плане данные зоны наиболее точно соответствуют выраженным в рельефе новейшим структурам, большинство из которых локализуется в пределах поперечных флексурно-разрывных зон, которые, по-видимому, являются глубокими и долгоживущими мантийными структурами. Построение пространственно-статистических моделей по различным критериям позволило установить кластеризацию сейсмических событий Анапско-Геленджикского участка по значению их магнитуд, причем обнаружена кластеризация точек с низкими значениями. Данные кластеры соответствуют в большей степени линейным сейсмогенерирующим структурам, а не морфоструктурным узлам.

**Ключевые слова:** геодинамика, неотектоника, линеamentный анализ, сейсмическое событие, очаг землетрясения, магнитуда, глубина очага, пространственная статистика, индекс кластеризации, индекс пространственной автокорреляции

## CLUSTERING OF REGIONAL SEISMIC EVENTS OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE NORTH-WEST CAUCASUS

**Bondarenko Nikolay A.**, D. Sc. in Geology and Mineralogy, Professor, Kuban State University, 149 Stavropol'skaya St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, e-mail: nik\_bond@mail.ru

**Lyubimova Tatyana V.**, Ph. D. in Geology and Mineralogy, Associate Professor, Kuban State University, 149 Stavropol St., Krasnodar, 350040, Russian Federation, e-mail: TV-Luy@yandex.ru