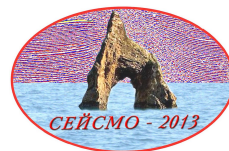


М. С. Кулинич, ведущий геолог отдела геологии, *kpmasha@mail.ru*,

И. Г. Захаров, канд. физ.-мат. наук, начальник отдела
прикладных научных исследований

(ООО “Юг-нефтегазгеология”, Украина, г. Киев)



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И МЕТОДА СПОНТАННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭМИССИИ ЗЕМЛИ

Сравнение данных сейсморазведки и метода анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли (АСЭМЭЗ) на различных геологических структурах Украины позволило выявить систематические расхождения результатов интерпретации двух методов. Проведен анализ расхождений, найдены способы повышения точности интерпретации путем комплексирования данных сейсморазведки и метода АСЭМЭЗ.

Ключевые слова: сейсморазведка, структура, пологая зона трещиноватости, интерпретация, аномалия, локальные излучатели, тектонические напряжения, волновое поле.

В топливно-энергетическом комплексе Украины остро стоит задача обеспечения потребностей населения и промышленности за счет собственного сырья. Для решения этой задачи требуется значительная активизация поискового процесса, которая в настоящее время осуществляется несколькими способами: первый – привлечение к разведке малоизученных территорий, увеличения детальности проводимых исследований; второй – пересмотр материалов геологоразведочных работ прошлых лет для обоснования повторного проведения поисков углеводородов на поднятиях, которые выведены из бурения с негативными результатам, или на недоразведанных месторождениях. Проводится изучение сложно построенных структур с большим числом отдельных блоков. Все это требует высокой точности результатов работ и детального анализа причин ошибок ранее проведенной интерпретации.

Как правило, повышение надежности интерпретации пытаются достичь путем повышения детальности съемки, каче-

ства полевых работ, а также использованием специальных методов цифровой обработки результатов полевых работ. При этом часто без внимания остается вопрос о корректности геофизического эквивалента геологического объекта в зарегистрированном физическом поле, что может проявиться при любой детальности съемки.

Другой способ – привлечение результатов новых (нетрадиционных) методов разведки, что позволяет изучить разные свойства геологического объекта и, таким образом, повысить “узнаваемость” геологического объекта в том или ином физическом поле. Однако, в силу недостаточной вовлеченности многих из этих методов в геологоразведочные работы, сложной физики явления, а также нечеткой технологии выполнения работ, имеются сложности с формированием критерия для принятия решения.

Новый метод геофизических исследований – метод АСЭМЭЗ является вторым геофизическим методом после сейсморазведки, которому доступно из-

учение слоистой структуры земных недр, что впервые создало возможности для сравнения не только результатов интерпретации двух геофизических методов – АСЭМЭЗ и сейсморазведки, но и сравнения регистрируемых физических полей – волнового поля и поля спонтанной электромагнитной эмиссии Земли (СЭМЭЗ). Первое из них формируется отражением от геологических границ (границ плотности), второе – излучением этих же границ. Конечно же, в обоих случаях в формировании поля участвуют и другие элементы геологической среды. В сейсморазведке принимается, что слои являются доминирующим источником поля, так что влияние всех других источников рассматривается как помеха, которую исключают использованием отработанной технологии проведения полевых работ и последующей цифровой обработкой. В поле СЭМЭЗ слои, разломы, зоны трещиноватости, зоны концентрации напряжений являются самостоятельными источниками излучения, что позволяет более корректно оценить их вклад в суммарное поле.

Сравнение визуализаций физических полей двух методов в виде временного разреза и неоднородности поля СЭМЭЗ на достаточно изученной территории, в том числе бурением, может дать полезную информацию об источниках волнового поля при сопоставлении результатов полевой съемки по близким профилям. Цель работы – выяснить возможные причины часто встречающихся погрешностей интерпретации волнового поля сейсморазведки путем привлечения дополнительной информации о геологическом объекте по данным о спонтанной электромагнитной эмиссии Земли.

Краткие сведения о методе АСЭМЭЗ.

Метод АСЭМЭЗ является пассивным геофизическим методом исследования земных недр. Измерительная аппаратура, теоретические и методические основы метода разработаны ООО “Юг-нефтегазгеология”. Теоретические и методические основы метода, а также первые

результаты исследований изложены на международных конференциях и периодической научной литературе [1–3, 6, 8].

Метод используется на стадиях региональных профильных работ с целью изучения глубинного геологического строения и детальных площадных исследований для поиска и разведки полезных ископаемых, прежде всего нефти и газа.

Метод позволяет проводить геофизическую съемку наземными пешеходными и автомобильными маршрутами, морскую съемку, а также воздушную съемку с использованием легких летательных аппаратов. Последний вид полевых работ в настоящее время является основным и привлекает полной независимостью от условий ландшафта, возможностью выполнять большой объем работ за минимальное время.

На разрезах определяются зоны концентрации напряжений, слои с различными физическими свойствами и разломы различных типов, глубины их проникновения и наклоны. Это дает возможность устанавливать границы тектонических блоков, проследить генетическую связь разломов и их роль в формировании строения фундамента и осадочного чехла. Метод позволяет определять признаки нефтегазоносности в разрезе, что создает возможность на стадии поисков и разведки определять предполагаемый контур нефтегазоносности.

В основу метода АСЭМЭЗ положена регистрация сигналов, обусловленных нелинейными процессами генерации и распространения излучения, а именно акусто-сейсмoeлектромагнитного шума литосферы, который имеет диффузную природу и образуется при просачивании глубинных флюидов через твердотельную компоненту земных недр. Подобные нелинейные процессы происходят в открытой (активной) неравновесной среде, которой и является литосфера. Фронт концентрации флюида формирует всплеск комплексной диэлектрической проницаемости, рассеивание которого ведет к генерации электромагнитных и других возмущений.

Излучение распространяется в конусе независимо от геоэлектрических характеристик разреза [8].

Распространение связанных акусто-электромагнитных состояний, возникающих в активных диссипативных системах с диффузией, описывается системой уравнений типа “реакция-диффузия”, в которой уравнения Максвелла – только их составляющая. Как следствие, становится возможным сверхдальнее распространение возмущения (по сравнению с распространением плоской монохроматической волны в среде).

СЭМЭЗ регистрируется повсеместно, но более мощное излучение приурочено к напряженно-деформированным участкам земной коры.

Более подробную информацию о сопоставлении линейных и нелинейных электромагнитных явлений в литосфере можно найти в работе [8].

Полевые работы методом АСЭМЭЗ выполняются прибором “Астрогон” с широкополосной трехкоординатной антенной, регистрирующей магнитную компоненту литосферного сигнала в диапазоне частот 2,5–50 кГц. Изменяемая величина – число импульсов за 1 с с амплитудой выше заданного порога дискриминации. Значительный частотный диапазон выбран исходя из широкополосности регистрируемого сигнала. Дополнительно выделение литосферного сигнала на фоне других источников излучения обеспечивается вейвлет-анализом с использованием специально подобранных вейвлет-функций.

Интерпретационная модель метода базируется на экспериментальных и теоретических исследованиях. Так как генерация излучения происходит в локальных областях, размеры которых значительно меньше размеров геологических объектов, принято, что излучение, зарегистрированное на дневной поверхности, является суммой излучения большого количества локальных (точечных) излучателей (ЛИ). Их глубину определяют по ширине аномалий в зарегистрированном сигнале

независимо от геоэлектрических характеристик разреза, интенсивность излучения принимается пропорциональной амплитуде аномалии.

Применение выбранной модели не ограничивается толщиной скин-слоя, поскольку скин-слой является характеристикой плоской монохроматической волны в среде, тогда как поведение СЭМЭЗ описывается автоволнами, которые формируют в неоднородной геосреде стоячие волны; для них использование таких понятий, как волновая траектория или монохроматическая волна, проблематично [8].

Поскольку расположение ЛИ в земных недрах определяется прежде всего тектоническими напряжениями, интерпретация полученных материалов базируется на тектонофизических принципах, прежде всего на сходстве систем напряжений подобных по форме геологических объектов [5, 7].

Неоднородность поля СЕМЭЗ зависит также от вещественного состава горных пород; породы разного состава имеют разную упругость, пористость, текстуру (как следствие, по-разному растрескиваются), что позволяет выделять слои с разными свойствами, в том числе флюидонасыщенные.

Вследствие подобия систем напряжений, в сходных по форме объектах будет также сходное расположение ЛИ и суммарное излучение от объекта в целом при наличии дополнительных особенностей, обусловленных петрофизическими свойствами пород. В качестве примера на рис. 1 приведены некоторые характерные аномалии, которые несут информацию о геологических объектах определенного типа.

Таким образом, схему интерпретации в методе АСЭМЭЗ можно представить следующим образом: аномалии, выделенные по вейвлет-преобразованному сигналу – положение в разрезе ЛИ – неоднородность поля СЭМЭЗ, отражающая как зоны напряжений, так и собственно геологические объекты – разрез, максимально очищенный от влияния напряжений.

Последний, несмотря на различие физических полей, внешне похож на сейсмический (временной) разрез (рис. 2), но отображает не отражающие, а излучающие слои, часто это одни и те же слои.

Одной из наиболее распространенных в геологической среде ситуаций является изгиб геологического слоя: собственно изгиб, изгиб перед разломом, изгиб в складке. Изгибу соответствует вполне определенная система напряжений, показанная на рис. 3. Наибольший интерес здесь представляют оси касательных напряжений, которые, как известно, отвечают за образование разломов: субвертикальная,

которая действительно часто завершается разломом, и субгоризонтальная, которая не достигает стадии разломообразования; здесь формируется слабонаклонная (пологая) зона трещиноватости (ПЗТ).

Все геологические и тектонические элементы, показанные на рисунке, доступны для определения методом АСЭМЭЗ. Наиболее сходными в поле СЭМЭЗ, в силу геометрических причин, являются геологические слои и ПЗТ, поэтому для их различения мы используем анализ положения и типа ЛИ: излучение из слоя формирует на поверхности преимущественно однотипные аномалии, а ПЗТ – аномалии

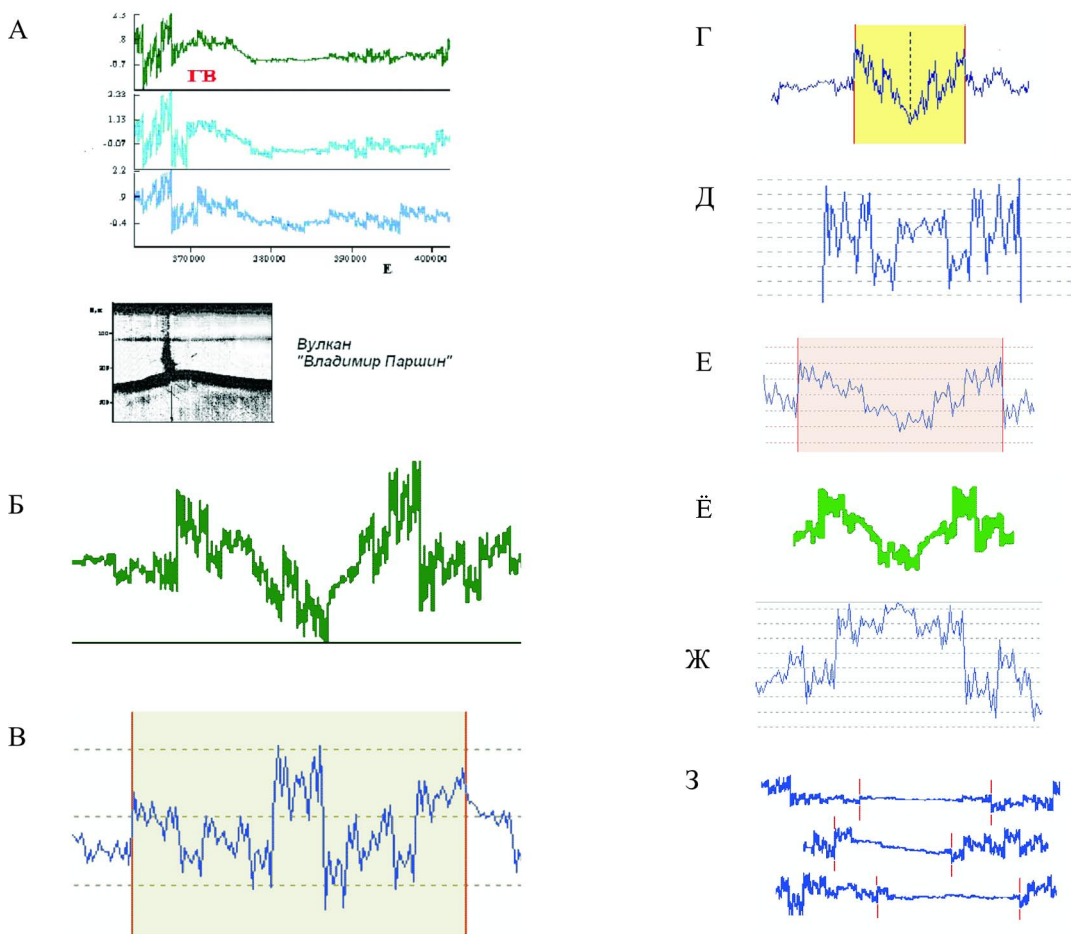


Рис. 1. Аномалии сигнала СЭМЭЗ

Слева – обусловленные формой объекта: А – грязевой вулкан; Б – тектоническое нарушение; В – шток; справа – обусловленные составом объекта: Г – пористый песчаник; Д – уплотненный песчаник; Е – известняк; Ё – аргиллит; Ж – интрузия; З – нефтяная залежь

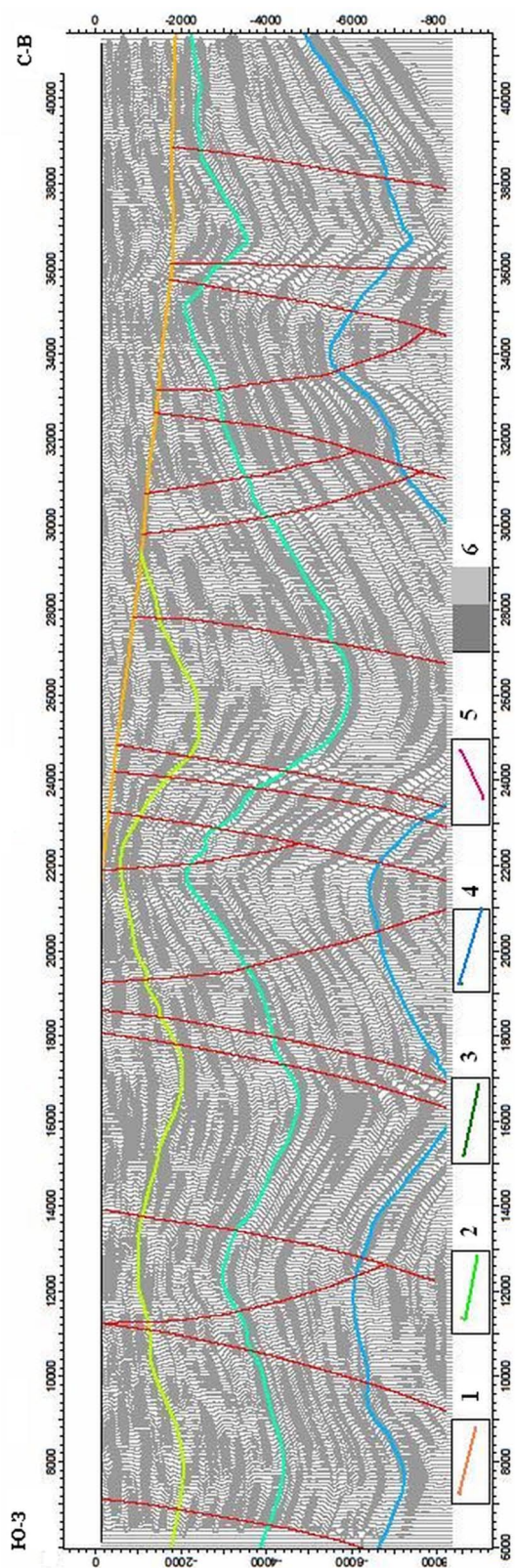


Рис. 2. Пример геолого-геофизического разреза по данным метода АСЭМЭЗ
 Горизонты излучения: 1 – I (поверхность предмиоценового размыва); 2 – II (вблизи кровли майкопа); 3 – III (вблизи кровли верхнего мела); 4 – IV (вблизи подошвы нижнего мела); 5 – разрывное нарушение; 6 – слой

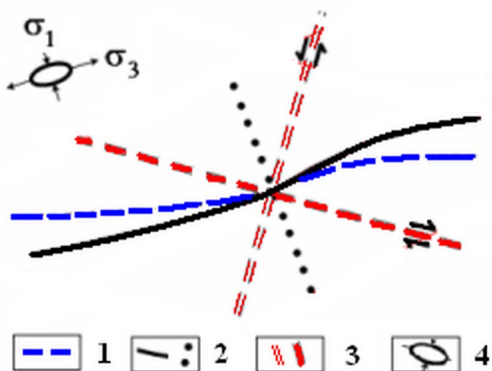


Рис. 3. Оси напряжений, возникающие при изгибе геологического горизонта [5]:

1 – геологический горизонт; 2 – оси главных напряжений; 3 – оси касательных напряжений; 4 – эллипс деформации

разного типа. Особенно наглядно это проявляется в складке.

Зоны трещиноватости так или иначе влияют и на формирование волнового поля, регистрируемого в сейсморазведке, о чем свидетельствуют многочисленные публикации. К сожалению, возможная роль одной из наиболее распространенных зон трещиноватости – ПЗТ – при этом остается без внимания как при проведении геофизических исследований, так и проведении геологоразведочных работ на нефть и газ. Сходство способов визуализации физических полей – волнового поля и поля СЭМЭЗ, а также возможность выделения излучения ПЗТ на фоне излучений других объектов позволяет нам рассмотреть возможное влияние ПЗТ на волновое поле. Это тем более важно, что сопоставление результатов разных методов проводится обычно на уровне готовых результатов. Рассмотрим этот вопрос на нескольких примерах.

Результаты работ. Сопоставления проведены на Базалеевской площади северного борта ДДВ с привлечением данных по другим площадям, Оболонской астроблеме, а также на одной из структур прикерченского шельфа Чёрного моря. Во всех случаях имелись данные бурения, что повышало надежность сопоставления.

Анализ результатов таких сопоставлений выявил ряд характерных закономерностей. Наиболее наглядно они проявляются для антиклинальных структур с тектонически экранированными залежами.

Согласно сейсмическим данным, перспективные структуры северного борта ДДВ представляют собой брахиантиклинальные складки, одно крыло которых “срезано” нарушением, которое одновременно является экраном углеводородов. Форма разлома также достаточно типичная и характеризуется появлением более или менее вытянутого пологого участка, огибающего эту брахиантиклиналь. Схематически такая часто встречающаяся сейсмическая модель структур северного борта ДДВ показана на рис. 4.

После бурения поисковых скважин проводилась переинтерпретация сейсмического материала, в результате которой “рисовка” структур изменилась: структуры приобретали выраженное блоковое строение, при этом и геологические горизонты, и разломы лишены значительных изгибов (рис. 4–5). При этом пробуренная скважина оказывалась в 1–3 км от

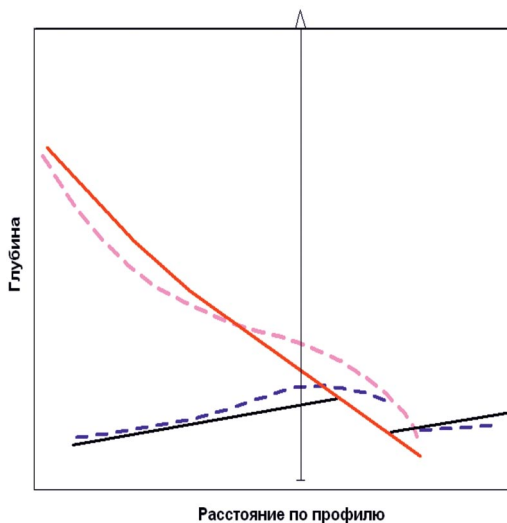


Рис. 4. Схематический разрез по данным сейсморазведки на северном борту ДДВ

(пунктирные линии – вид перспективной структуры до бурения, сплошные линии – после проведения буровых работ)

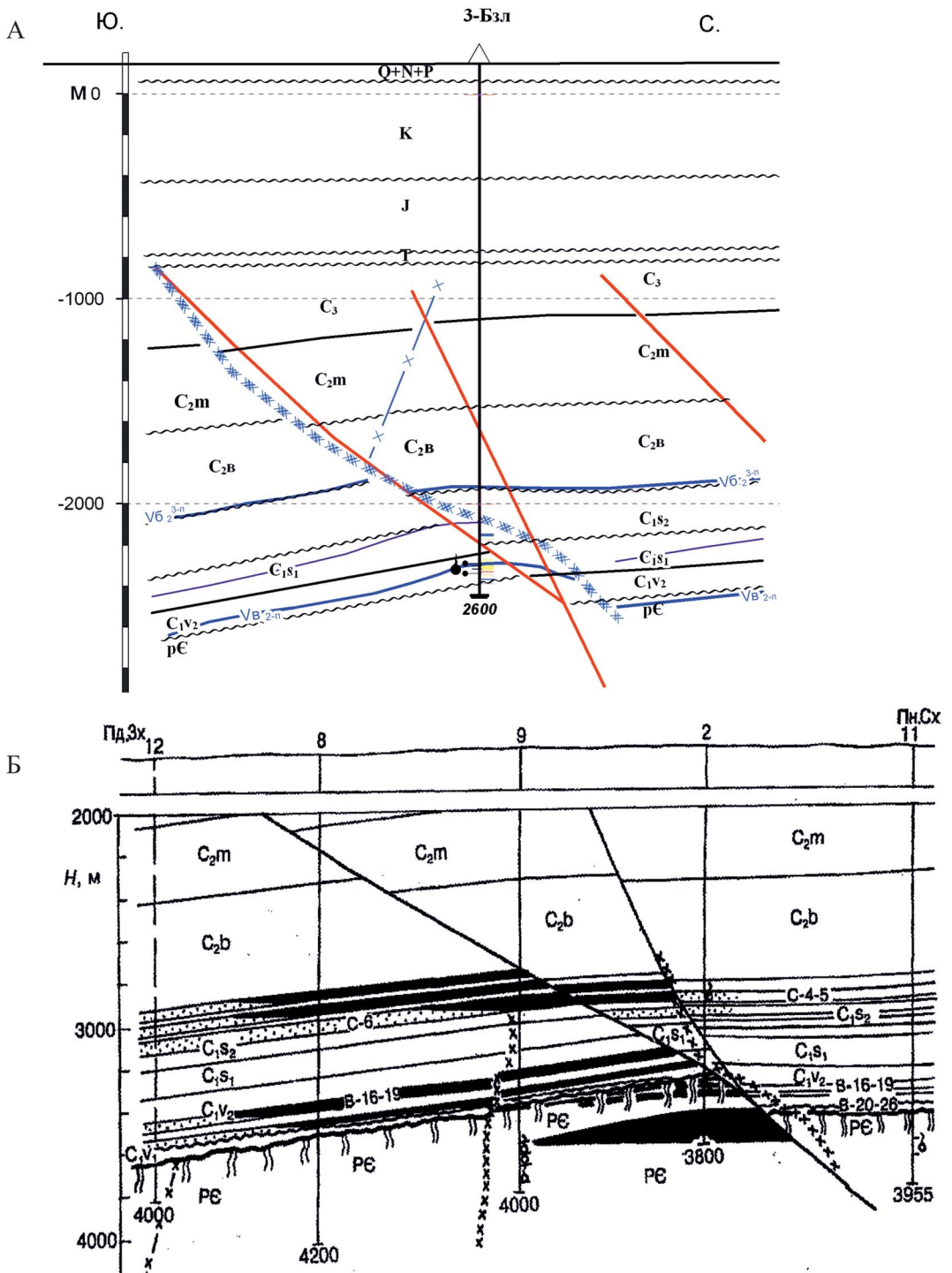


Рис. 5. Типичные разрезы северного борта ДВБ:

А – геолого-геофизический разрез через Базалеевскую структуру; Б – геолого-геофизический разрез через Юльевскую структуру [4]

прогнозируемого положения апикальной части ловушки, в том числе за контуром продуктивности. Вследствие этого часть скважин оказывались “сухими”, часть поднятий были выведены из бурения с отрицательными результатами, несмотря на возможную залежь. Указанные различия прогнозов и результатов бурения свидетельствуют о наличии систематических ошибок интерпретации временных разрезов.

Сравнение данных сейсморазведки и метода АСЭМЭЗ показало, что наиболее вероятной причиной неточностей сейсмической интерпретации могут быть ПЗТ, неизбежно возникающие при изгибе толщи земных пород, в том числе с последующим ее разрывом [5]. В результате в приразломной зоне линии синфазности волнового поля уже не отображают геологические горизонты, а идут по более “ярким” зонам трещиноватости. Таким образом, сейсмический горизонт для

структур, аналогичных приведенным на рис. 4–5, проведен сначала по геологическому горизонту, далее – по ПЗТ вплоть до разлома.

Аналогичная ситуация перехода с горизонта на ПЗТ была отмечена нами во время работ на одной из антиклинальных структур керченского шельфа Чёрного моря (рис. 6). В данном случае мы не располагали информацией о волновом поле исследуемого участка, а имели лишь положение отражающего горизонта. Согласно данным сейсморазведки, апикальная часть структуры расположена на 12–14 км профиля и имеет практически симметричную форму. По данным метода АСЭМЭЗ, апикальная часть прогнозируемой структуры смещена на 14,5 км профиля и представляет собой ассиметричную складку с пологим южным и крутым северным крыльями.

На геолого-геофизический разрез по данным метода АСЭМЭЗ нанесены зоны

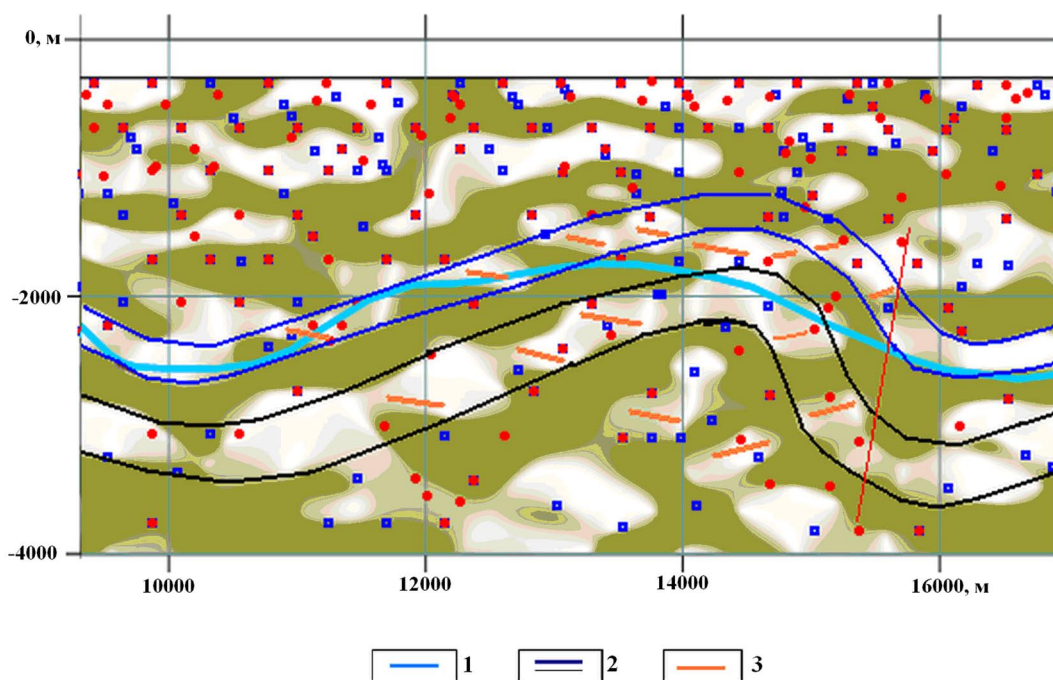


Рис. 6. Разрез через складку на прикерченском шельфе Чёрного моря. Неоднородность поля СЭМЭЗ с положением локальных излучателей:

1 – сейсмический горизонт; 2 – горизонт метода АСЭМЭЗ; 3 – зоны трещиноватости

трещиноватости (оранжевый цвет на рисунке). Их углы наклона совпадают с углом падения (наклона) северного крыла складки по данным сейсморазведки. Такое совпадение позволяет допустить, что ПЗТ являются важным источником волнового поля, которое, по крайней мере вблизи разломов, может стать доминирующим и полностью или частично маскирует геологические горизонты. Как следствие, получают горизонты, которые визуально напоминают форму брахиантиклинальной складки, при этом положение ее наиболее приподнятой части оказывается смещенной в сторону от разлома.

На рис. 7 приведен фрагмент 3D сейсмического разреза через Оболонскую структуру (И. Г. Захаров и др., 2012 г.) Чтобы максимально сохранить вид линий синфазности, данные метода АСЭМЭЗ

представлены в усеченном виде – только положение ЛИ. Видно, что на отдельном участке (12–14 км профиля) положения ЛИ почти точно приходятся на положение сейсмического горизонта. Далее вдоль сейсмического горизонта также есть большое число ЛИ (с увеличением глубины), которая затем резко переходит в подъем вдоль разлома. Однако, исходя из типа ЛИ и их количества (в метода АСЕМЭЗ геологические горизонты почти никогда не бывают наиболее “яркими” элементом разреза), можно с высокой вероятностью утверждать, что они образованы последовательностью трещин, формирующих пологую зону трещиноватости. Наличие ПЗТ означает, что геологический горизонт продолжает подниматься выше (маркируется редкой последовательностью однотипных ЛИ),

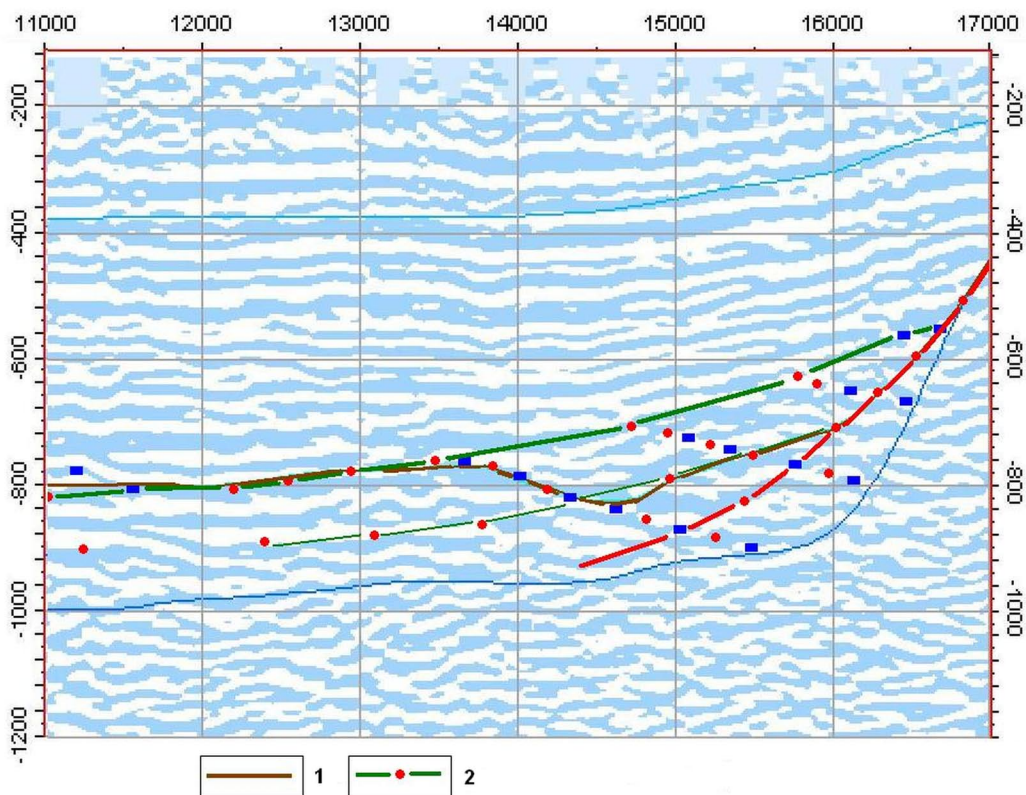


Рис. 7. Сейсмогеофизический разрез через Оболонскую структуру:
1 – сейсмический горизонт; 2 – горизонт метода АСЭМЭЗ

пока не закончится ПЗТ. Таким образом, сейсмический горизонт, по нашему мнению, проведен сначала по геологическому горизонту, далее – по ПЗТ, далее – по более низкому горизонту (показан на рис. 7 тонкой зеленой линией).

В методе АСЭМЭЗ для разделения излучения от слоев и ПЗТ проводят анализ типа локальных излучателей, каждому из которых соответствует определенная форма аномалии на поверхности. В сейсморазведке, в том числе 3D, такие критерии, по-видимому, отсутствуют, что может приводить к увеличению погрешности интерпретации, особенно вблизи апикальных частей структур (неверное определение положения апикальной части) или вблизи разломов, особенно серии разломов.

Учет лишь рассмотренной особенности позволяет объяснить значительную часть расхождений данных сейсморазведки и метода АСЭМЭЗ. Учет этих расхождений позволяет повысить точность интерпретации в сейсморазведке.

Выводы

Для повышения эффективности сейсморазведки и геологоразведочных работ в целом необходимо учитывать системы напряжений, характерные для различных типов геологических объектов. В частности, необходимо учитывать широко распространенные пологие зоны трещиноватости, которые часто формируют поля (волновые, электромагнитные), схожие на поля геологических горизонтов.

Метод анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли является важным источником информации как о геологических объектах, так и системах трещиноватости. Использование в комплексе двух методов (сейсморазведка и метод АСЭМЭЗ) позволяет повысить надежность результатов геологоразведочных работ.

Таким образом, новые возможности, предоставляемые методом АСЭМЭЗ, в том числе возможность сравнения физических полей двух методов, позволяют

более объективно изучить особенности влияния отдельных геологических элементов на формирование регистрируемого на поверхности поля и, таким образом, повысить точность интерпретации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов Ю. А., Бондаренко Н. В., Захаров И. Г. и др. Аппаратурно-методическое обеспечение метода анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли//Геофизический журнал. 2009. Т. 31, № 4. С. 34–43.
2. Богданов Ю. А., Захаров И. Г., Ващенко В. Н., Павлович В. Н. Изучение глубинного строения земной коры у побережья Антарктиды методом геополяритонного зондирования//Украинский антарктический журнал. 2006. № 4–5 (спецвыпуск). С. 102–108.
3. Богданов Ю. А., Коболев В. П., Русаков О. М., Захаров И. Г. Геополяритонное зондирование газоносных структур северо-западного шельфа Чёрного моря//Геология и полезные ископаемые мирового океана. 2007. Т. 22. № 4. С. 37–61.
4. Євдошук М. І, Чебаненко І. І., Гавриш В. К. Теоретичні основи нетрадиційних геологічних методів пошуку вуглеводнів. К., 2001. 288 с.
5. Зубков М. Ю., Бондаренко П. М. Прогноз зон вторичной трещиноватости на основе данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования//Геология нефти и газа. 1999. № 11–12. С. 31–40. (<http://geolib.narod.ru/Journals/OilGasGeo/1999/12/content.html>).
6. Старостенко В. И., Лукин А. Е., Коболев В. П. и др. Модель глубинного строения Донецкого складчатого сооружения и прилегающих структур по данным региональных геофизических наблюдений//Геофизический журнал. 2009. Т. 31. № 4. С. 44–68.
7. Фрохт М. М. Фотоупругость. Поляриционно-оптический метод исследования напряжений. М.–Л.: Гостехтеоретиздат, 1948. 432 с.
8. Шуман В. Н., Коболев В. П., Старостенко В. И., Буркинский И. Б., Лойко Н. П., Захаров И. Г., Яцота Д. А. Метод анализа спонтанной электромагнитной эмиссии Земли: физические предпосылки, полевой эксперимент, элементы теории//Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 40–61.

Рукопис отримано 15.10.2013.

Порівняння даних сейсмозвідки та методу аналізу спонтанної електромагнітної емісії Землі (АСЕМЕЗ) на різних геологічних структурах України дало можливість виявити систематичні розбіжності інтерпретації результатів двох методів. Проведено аналіз розбіжностей, знайдено способи підвищення точності інтерпретації способом комплексування даних сейсмозвідки та методу АСЕМЕЗ.

Ключові слова: *сейсмозвідка, структура, полого зона тріщинуватості, інтерпретація, аномалія, синфазність, локальні випромінювачі, тектонічні напруги, хвильове поле, електромагнітна емісія.*

Comparison of seismic and Earth's electromagnetic spontaneous emission method (EEMSEM) on different geological structures of Ukraine is conducted. Systematic differences between the interpretation results of two methods are defined. The analysis of divergences is conducted, the way of increase of interpretation accuracy using data both methods is found.

Keywords: *seismic survey, structure, flat fractured zone, interpretation, anomaly, local emitters, tectonic stresses, wave field, electromagnetic emission.*