

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С., Христенко Л.А. Применение эмпирической модовой декомпозиции при обработке геофизических данных // Изв. Томского политехнич. ун-та. Инжиниринг ресурсов. – 2017. – Т. 328. – № 1. – С. 100-108.
2. Дядьков П.Г., Цибизов Л.В., Борисенко Д.А. Методика учета интенсивных промышленных помех при проведении магнитной съемки // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 2, № 2. – С. 57-62.
3. Жижикина Е.А., Мандрикова О.В., Хомутов С.Ю. Алгоритм выделения техногенных помех в геомагнитных данных // Вестник КамчатГТУ. – 2016. – № 35. – С. 21-26. – DOI: [10.17217/2079-0333-2016-35-21-26](https://doi.org/10.17217/2079-0333-2016-35-21-26).
4. Никитин А.А., Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учеб. пособие. – М.: Центр информ. Технологий в природопользовании, 2008. – 112 с.: ил.
5. Никифоров В.М., Бессонова Е.А. Опыт применения магниторазведки для обнаружения ферромагнитных объектов на акватории залива Петра Великого // Подводные исследования и робототехника. – 2007. – № 1 (3). – С.58-65.
6. Новиков К.В. Магниторазведка: учеб. пособие. Часть 1. – М.: 2013. – 141 с. – Текст электронный. – URL: http://magnetometry.ru/files/Mag_base_voll_v1.pdf. Свободный.
7. Новикова П.Н. Локализация ликвидированных скважин по данным микромагнитной съемки // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сб. науч. тр. Вып. 1 (46) / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2019. – С. 294-297.
8. Ревякин П.С., Бродовой В.В., Ревякина Э.А.. Высокоточная магниторазведка. – М.: Недра, 1986. – 272 с.: ил.
9. Novikova P.N. Application of Detailed Magnetics in Intensive Industrial Noise Coinditions // Practical and Theoretical Aspects of Geological Interpretation of Gravitational, Magnetic and Electric Fields: 45th Uspensky International Geophysical Seminar. – Kazan, 2019. – P. 371-376. – (Book series: Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences). – DOI: 10.1007/978-3-319-97670-9_43.
10. Novikova P.N., Dolgal A.S. Engineering magnetic survey for the study of underground infrastructure of urbanized areas // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. – Gelendzhik, 2019. – P. 290-296.

УДК 550.834

DOI:10.7242/echo.2020.4.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОДОЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

И.И. Семерикова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Специализированная методика распознавания трещинных объектов, разработанная в ГИ УрО РАН, базируется на комплексной интерпретации параметров-признаков в динамических параметрах отраженных продольных волн. Для исследования закономерностей изменчивости динамических параметров отраженных сейсмических волн применены независимые методы, имитирующие сейсморазведку МОГТ: в лабораторных условиях – математическое сейсмо-моделирование, физическое моделирование на крупных образцах натуральных горных пород; в условиях естественного залегания горных пород в трещиноватых зонах с известными параметрами трещин. Демонстрируются результаты применения данной методики в районах трещиноватых, трещинно-кавернозных коллекторов Тимано-Печерской НГП. В результате применения методики распознавания трещиноватых сред удастся закартировать на данных объектах коллекторы мощностью 5-9 м.

Ключевые слова: разрешающая способность, амплитудные и спектральные характеристики, длина волны, трещинный тип коллектора.

Введение

В существующих графах обработки геофизических компаний не создано унифицированной методики по поискам и разведке трещиноватых зон и коллекторов трещинно-, трещинно-кавернозного типа. За последние десять лет в геофизических компаниях разработано лишь некоторый ряд специализированных методик и технологий, обладающих своими достоинствами и недостатками в разной мере [1]. Анализ этих методов показал, что, в частности, большинство из них имеет невысокую вертикальную разрешенность сейсмозаписи. В нашей авторской методике удастся повысить детальность картирования трещиноватости с помощью использования динамических характеристик отраженных продольных волн, в полях которых нами установлены поисковые признаки трещиноватых зон как экспериментальными методами, так и методами теоретического сейсмо моделирования.

Методика распознавания трещиноватых сред

Предлагаемая специализированная методика распознавания трещинных объектов, разработанная в ГИ УрО РАН [2, 4, 5], базируется на комплексной интерпретации параметров-признаков в динамических параметрах отраженных продольных волн. Исследования закономерностей изменчивости динамических параметров проводились по результатам независимых методов: в лабораторных условиях – физическое моделирование системы наблюдений МОВ ОГТ на больших образцах натуральных горных пород и из искусственных материалов; математическое сейсмо моделирование полей продольных отраженных волн; а так же по данным полевых сейсмических работ в условиях естественного залегания на трещиноватых объектах с известными параметрами трещиноватости. В результате исследований эмпирических связей «динамические параметры – параметры трещиноватости» установлены поисковые признаки для трещиноватых объектов в динамических параметрах отраженных продольных волн. Эффективность использования этих связей базируется на объективных предпосылках: появление определенного вида аномалий амплитудных и спектральных параметров, вызванное наличием трещин различных параметров; проявление закономерной согласованности в поведении данных аномалий параметров; превышение уровня аномалий над уровнем помех и погрешностей [2, 4]. Различия в их поведении в зависимости от параметров трещиноватости позволяют производить распознавание зон, различающихся внутренней структурой: зоны развития мелких разноориентированных трещин (линейные размеры трещины много меньше длины волны сигнала) и зоны развития протяженных трещин (линейные размеры трещины соизмеримы или много больше длины волны). На основе анализа комплекса найденных поисковых признаков оценивается вероятность наличия трещиноватого объекта того или иного класса. Исходя из формализованной постановки задачи комплексной интерпретации, такой анализ позволил найти, определить критерии комплексной интерпретации признаков, на базе которых осуществляется свертка признаков в функцию, определяющую тип геологической среды: зоны развития протяженных трещин или зоны мелких разноориентированных трещин. Эта функция по сути является эффективным параметром, который характеризует вероятность наличия трещиноватого объекта того или иного класса.

Применение методики для выделения трещиноватых коллекторов в Тимано-Печорской нефтегазовой провинции

Представим пример использования специализированной методики распознавания трещиноватых сред на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной про-

винции Южно-Торавейского месторождения в пределах тектонической структуры – Вала Сорокина. Вал Сорокина приурочен к зоне развития древнего Варандейского разлома. Крылья вала осложнены флексурами и системой кулисообразно расположенных глубинных разломов. Тектонические нарушения имеют взбросовый и взбросово-надвиговый характер. Вследствие данных тектонических обстоятельств прогнозируем присутствие систем разрывных нарушений различного ранга и, соответственно, зон развития трещин, сопровождающих тектонические разломы. Кроме трещин, обусловленных тектоническими процессами, здесь, согласно априорным данным, развиты зоны мелких разноориентированных трещин иного генезиса.

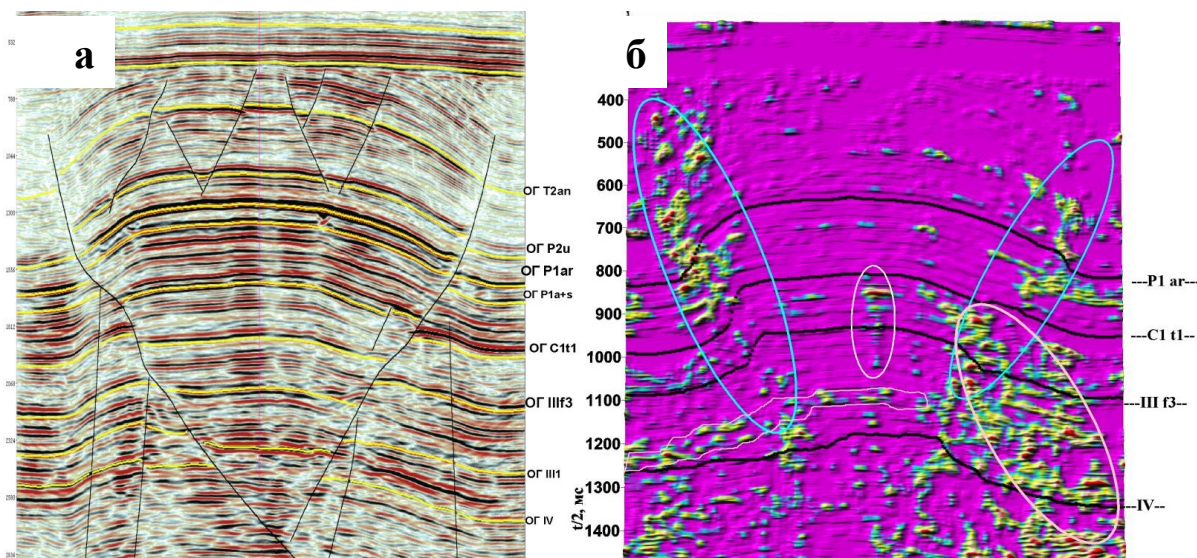


Рис. 1. Сопоставление временного разреза в крест простирания Вала Сорокина (а) и разреза эффективного параметра, характеризующего вероятность наличия протяженных трещин (б)

На высокоперспективном Южно-Торавейской многопластовом месторождении в пределах вала Сорокина потенциально нефтеносными выделяют 8 нефтегазовых комплексов на различных структурных стратиграфических этапах: от верхнего силура до среднего триаса включительно. Распределение залежей углеводородов неравномерно как по площади, так и по разрезу. Большую часть коллекторов относят к трещинно-каверновому типу. Большинство пластов карбонатных коллекторов приурочены к перерывам осадконакоплений, в период которых реализуются гипергенные процессы: процессы выщелачивания, трещинообразования, кавернообразования, палеокарста и т.п. Таким образом, в эти периоды формируются коллекторы трещинно-, трещинно-кавернового типа. На рис. 1а представлен выделенный из подвергнутого традиционной обработке куба данных временной разрез вкрест простирания Вала Сорокина. Целевой интервал исследования расположен между отражающими горизонтами (ОГ): от триаса (ОГ Т2) до силура (ОГ IV). На временном разрезе хорошо выделяются кулисообразные высокоамплитудные глубинные разломы взбросового и взбросово-надвигового характера амплитудой от 200 м до 850 м. Эти высокоамплитудные нарушения выделяются по классическим признакам: нарушению корреляции и смещению (срыву) осей синфазности вдоль оси времен вблизи поверхности смещения. Однако в природе крайне редко встречаются тектонические разрывные нарушения, ограничивающиеся гладкой плоскостью смещения без образования сопутствующей

ших зон дробления и трещиноватости, «зоной влияния разлома». Амплитуда сброса/взброса при этом должна быть не менее $\frac{1}{4} \lambda$ длины волны, иначе на волновой картине вертикальные смещения осей синфазности маскируются интерференцией отражений от кровли и подошвы пласта, расстояние между которыми определяет вертикальную разрешенность сейсмозаписи [3, 6]. Кстати, наличие зон трещиноватости может явиться признаком нарушения малоамплитудного или безамплитудного взброса/сброса/ сдвига. Отметим, длина волны для данной сейсмозаписи в зависимости от вариаций значений скорости распространения волны составляет 75-95 м, и, следовательно, вертикальная разрешенность – 18-23 м. Одной из целей применения методики распознавания трещиноватых зон явился факт заводнения залежи в отложениях карбона, причину которого геологи не могли определить, как и местоположение перетоков. Картина распределения эффективного параметра наличия протяженных трещин (рис. 1б) гораздо более дифференцирована по сравнению с временным разрезом. Обращают на себя внимание, прежде всего, распространяющиеся вглубь по разрезу субвертикальные зоны протяженных трещин на востоке и западе приподнятого блока, сопровождающие генеральные разрывные нарушения, выделены голубыми овалами; наиболее мощная зона трещиноватости в отложениях между франским ярусом и сулурийскими (между ОГ IIIf1 и IV), развитая в узле сочленения разломов, выделена розовым овалом; интересна субвертикальная зона в куполе антиклинали в центре профиля между кровлей турнейских отложений и франскими (между ОГ C1t1 и IIIf1), выделена белым овалом, она не выделяется по классическим признакам на временных разрезах, потенциально подозреваемая как причина и местоположение перетоков, заводняющих залежь в отложениях карбона (между ОГ C1t1 и IIIf1). Рассчитан также куб эффективного параметра, оценивающего вероятность наличия мелкой разноориентированной трещиноватости.

Рис. 2, где сопоставлены традиционный временной разрез и разрез эффективного параметра, характеризующего вероятность наличия мелких разноориентированных трещин, демонстрирует возможность дифференцированного картирования и оценки мощности меньшей вертикальной разрешающей способности трещиноватого пласта. На рис. 2б для наглядности в укрупненном масштабе представлен разрез эффективного параметра мелкой трещиноватости. Здесь выделяются субвертикальные распространяющиеся с глубиной по разрезу зоны мелкой трещиноватости, и, очевидно, так же как и протяженные трещины, сопровождающие западное и восточное генеральные разрывные нарушения «зоны дробления». Чтобы не загружать рисунок, эти очевидные зоны овалами не выделены. На рисунке 2а традиционного временного разреза изменчивость волновой картины внутри целевых интервалов не отличается какими-либо особенностями на локальных участках между собой как по латерали, так и по разрезу. Определение природы и идентификация особенностей волновой картины с физическими особенностями коллекторов по морфологии сейсмозаписи представляет существенную трудность, а практически невозможность. Однако на рис. 2б эффективного параметра отложения четко дифференцируются по текстуре и типу коллектора, ярко выделяется трещиноватость, распространяющаяся по пластам, пропласткам вдоль антиклинальной структуры на разных структурных этажах, указанным стрелками. Детально можно проанализировать их распространение. Так, например, можно оценить мощность пропластка, указанного стрелкой, в куполе под ОГ P1ar. Она варьирует 2-4 дискреты, что составляет от 5 до 9 м, и что меньше разрешающей способности в классической формулировке в 3,5 раза.

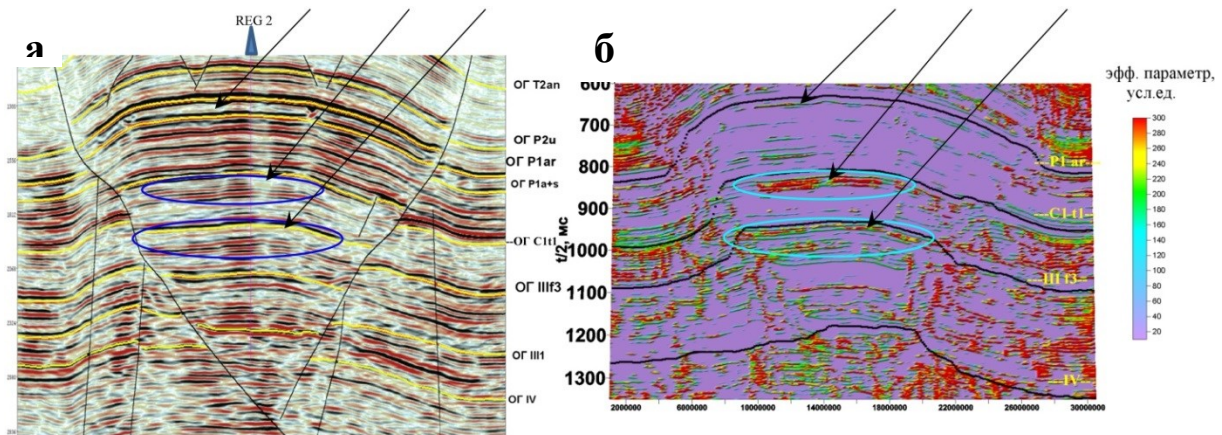


Рис. 2. Сравнение детальности выделения тонких трещиноватых коллекторов на разрезе эффективного параметра, характеризующего вероятность наличия зон мелких разноориентированных трещин (б) и на временном разрезе (а)

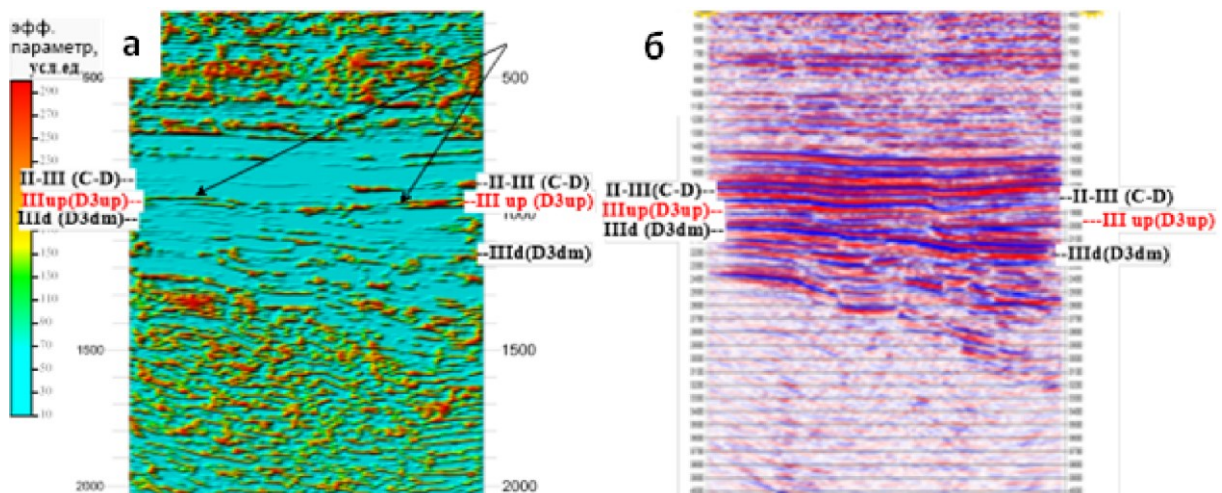


Рис. 3. Дифференцированное выявление коллектора трещинного типа на разрезе эффективного параметра, характеризующего вероятность наличия зон мелких разноориентированных трещин (а) и на временном разрезе (б)

На другом геобъекте съемка 3-D выполнена в той же нефтегазоносной провинции на участке Новой площади в пределах Верхнепечорской впадины. На рис. 3б представлен временной разрез, извлеченный из куба 3-D съемки. Целевой интервал на разрезах распространён от ОГ II-III(C-D), формирующийся на границе фаменских и турнейских отложений, до ОГ IIIд(D3 fm), приуроченного к подошве доманиковых отложений. На Новой площади бурение не велось. Корреляция отражений проведена на основании комплексного использования традиционных методов сопоставления разрезов по промыслово-геофизическим данным скважин на сопредельных территориях, ближайшая к участку скважина при этом расположена в 10 км. Внутри целевого интервала выделяется целый ряд отражающих горизонтов. Согласно скважинным данным, пласты представлены как плотными породами (известняками, мергелями, алевролитами, аргеллитами), так присутствуют и породы, являющиеся коллекторами трещинного, трещинно-кавернозного типа. Однако на традиционных временных разрезах эти пласты и пропластки различить по морфологии сейсмозаписи невозможно. На рисунке эффективного параметра 3а практически весь целевой интервал выглядит как плотные

породы. Лишь пара тонких пропластков, участками сливающихся в один, отличаются повышенными значениями эффективного параметра, характеризующего вероятность наличия мелкой трещиноватости, указаны на рисунке стрелками, среднего фамена усть-печорского возраста. Согласно керновому материалу, в соседних скважинах они представлены известняками и доломитами различной текстуры, в частности, трещиноватыми, трещиновато-кавернозно-поровыми и органогенно-обломочными разной размерности. Толщина проницаемых пропластков варьирует от 0,4 до 4,3 м.

Таким образом, применение методики распознавания трещиноватых сред, базирующейся на динамических характеристиках отраженных продольных волн, позволяет выделять геобъекты, линейные размеры которых в несколько раз меньше разрешающей способности сейсмической записи в классическом ее определении.

Исследование выполнено в рамках Программы ФНИ, проект № 0422-2019-0146-С-02

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки для подсчета запасов углеводородов в условиях карбонатных пород с пористостью трещинно-кавернового типа / Левянт В.Б. [и др.]. – М.: ЦГЭ, 2010. – 250 с.: ил.
2. Семерикова И.И. Методика распознавания трещиноватых сред в полях отраженных волн для прогноза коллекторов углеводородов // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – № 6 (45). – С. 44-48.
3. Спасский Б.А., Герасимова И. Ю. Сейсмостратиграфия: учеб.-метод. пособие. – Пермь: Изд-во ПГУ, 2007. – 245 с.: ил.
4. Semerikova I.I., Russ E.J., Booth D.C., Dai H., Blinova T.S. A new technique for recognizing fractured zones in P-P reflection fields, applied to the study of a North Sea oil reservoir // Russian Journal of Earth Sciences. – 2012. – V. 12, № 5, October. – DOI: 10.2205/2012IES000523.
5. Semerikova I.I. Technique for Recognizing of Fractured Zones Based on the Analysis of Amplitude and Frequency Attributes of the P-P Reflections // 74th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition 2012 Incorporating SPE EUROPEC 2012: Responsibly Securing Natural Resources. – Copenhagen, Denmark, 2012. – W044.
6. Semerikova I. Studies of the spectral characteristics of reflected seismic waves recorded in earth with scattering heterogeneity // Geomodel 2019 – 21st Conference on Oil and Gas Geological Exploration and Development. – Gelendzhik, 2019. – DOI: 10.3997/2214-4609.201950144.

УДК 550.834.05

DOI:10.7242/echo.2020.4.16

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ АНОМАЛИЙ ВОЛНОВОГО ПОЛЯ С ЗОНАМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ АТТРИБУТОВ НА ПЛОЩАДИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРСТОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

К.Б. Фатькин

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: Для уточнения пространственного распространения зон карстообразования в надпродуктивной части разреза и определения типа флюидо- или газозаполнения этих зон выполнено сопоставление скоростных аномалий волнового поля и атрибутов динамического анализа, описывающих различные закономерности изменения амплитуд отраженных волн в зависимости от расстояния источник-приемник.

Ключевые слова: малоглубинная сейсморазведка, динамические атрибуты, волновое поле, АVO-анализ, карст.

Сейсморазведочные работы выполнены в рамках комплекса геофизических исследований, направленных на уточнение особенностей строения надпродуктивной части раз-