

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 kernovому 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 геообъекты, 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-C-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.

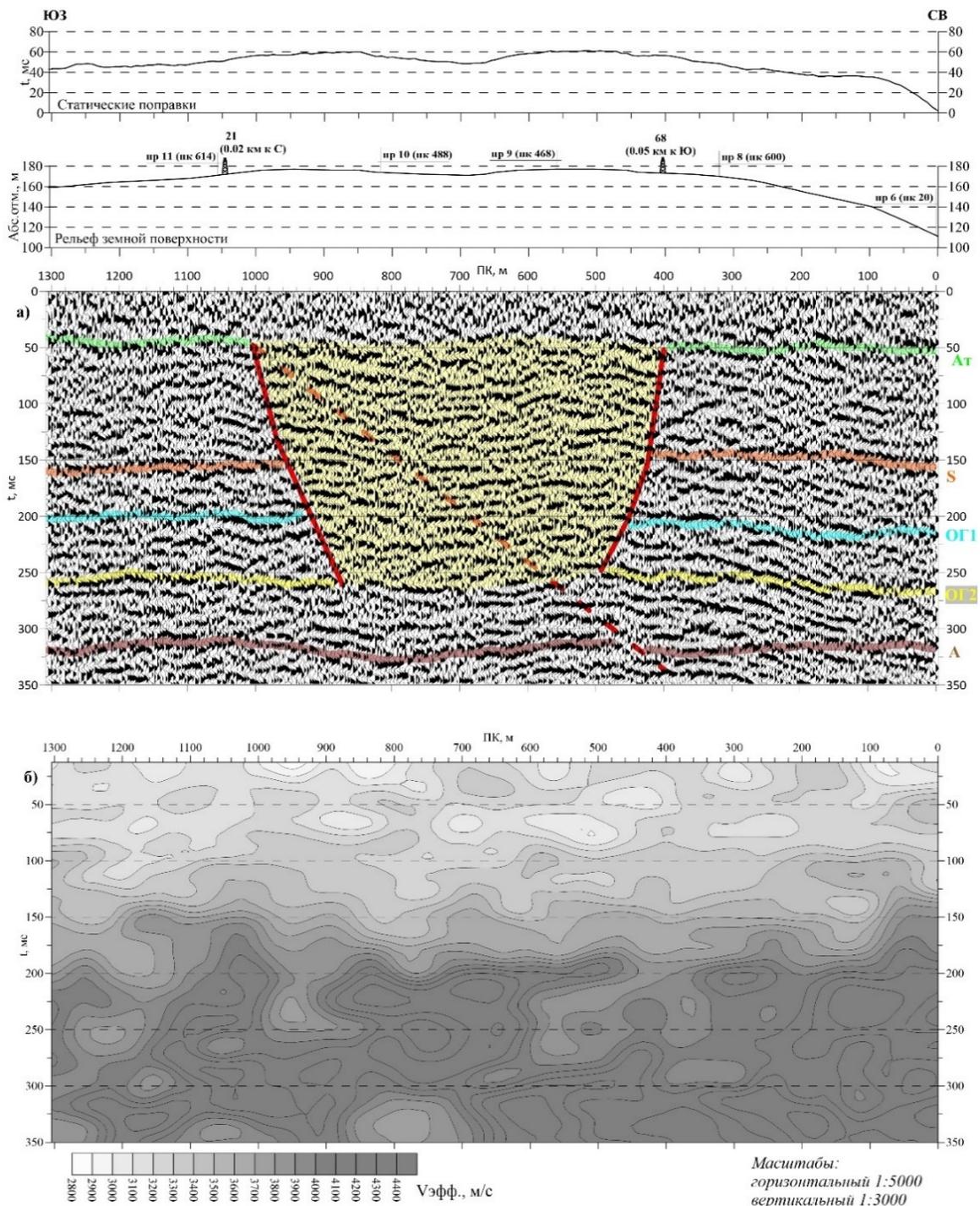
Сейсморазведочные работы выполнены в рамках комплекса геофизических исследований, направленных на уточнение особенностей строения надпродуктивной части раз-

реза на изучаемой площади, а так же для локализации на разных структурных уровнях ослабленных по физическим свойствам зон (разуплотнения, трещиноватости), благоприятных для миграции углеводородов из продуктивных горизонтов в приповерхностные карстовые полости.

Объект исследований отличает интенсивное развитие поверхностных и подземных карстовых форм в гипсах и ангидридах иренского горизонта, обусловившее слабую естественную защищенность пресных подземных вод данной территории от проникновения загрязняющих веществ с поверхности и способствующее созданию вторичных источников загрязнения приповерхностной гидросферы. В юго-восточной части территории работ ранее выполнялись малоглубинные сейсморазведочные исследования. По их результатам выявлена локальная положительная структура в отложениях нижней перми и среднего карбона, осложненная по периферии зонами неоднородного строения карбонатного массива. Отмечались локальные участки с осложнениями волнового поля, характерными для разрывных нарушений и зон трещиноватости. Повышенная сосредоточенность профильных линий на отдельном участке не позволила выявить пространственные закономерности в распространении подобных осложнений на всей территории исследуемого участка.

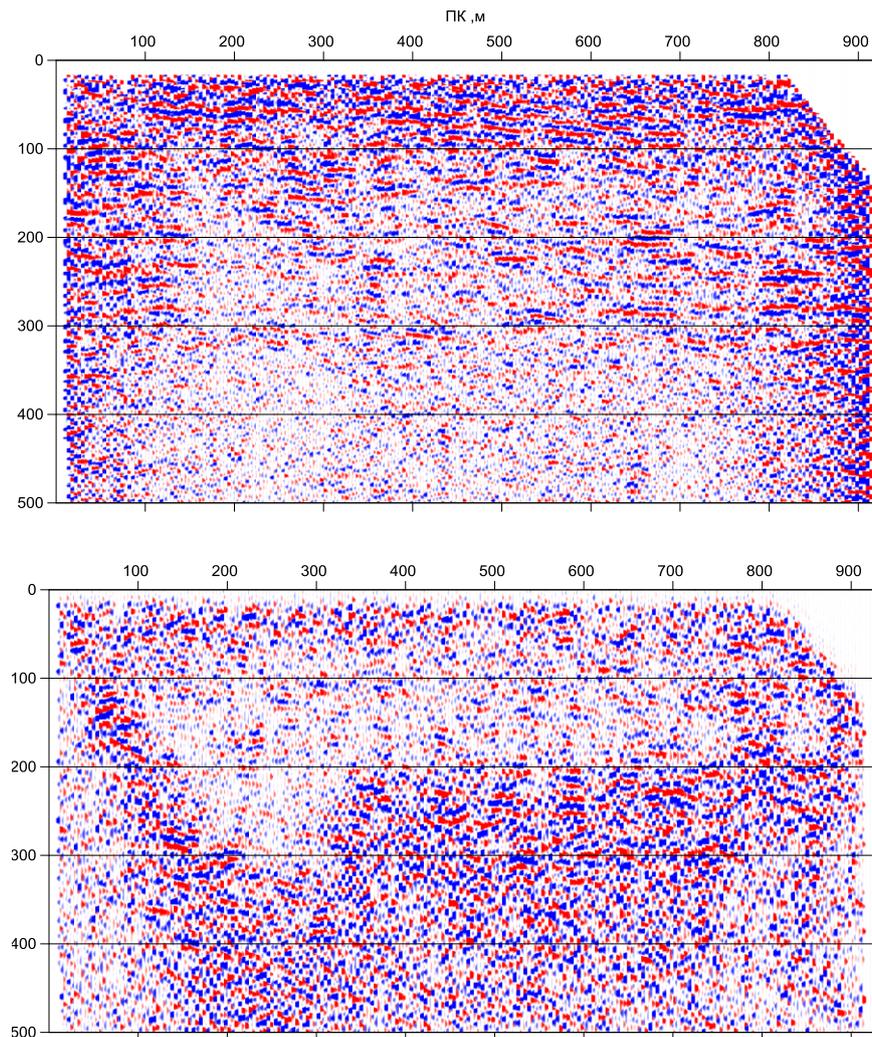
По результатам 2Д профилирования с учетом ранее полученных данных и дополнительной информации выполнены структурные построения и оценка пространственных закономерностей в распределении интервальных скоростей упругих волн. На временных разрезах выделяется несколько наиболее динамически выраженных осей синфазности, рассматриваемых в качестве отражающих горизонтов (ОГ) (рис. 1). Согласно результатам скоростного анализа и данных бурения для малоглубинных сейсморазведочных исследований, выделенные ОГ отождествляются с кровлей артинских терригенных (Ат) и ассельско-сакмарских отложений (S). ОГ 1 и 2 соответствуют выделенным в 1991 г. акустически контрастным границам в нижнепермских отложениях. ОГ А приурочен к низам сакмарского яруса. По нарушениям структуры волновой картины, снижению интенсивности и значениям скоростной характеристики на профильных линиях выделен ряд участков. При их локализации учитывалась согласованность негативных изменений анализируемых сейсмических параметров, представленная на разрезах комплексного параметра [1].

В подобных средах прогнозируются повышенное рассеяние и деструктивная интерференция отраженных волн, что, соответственно, и снижает оцениваемую по суммарным временным разрезам интенсивность волнового поля. При появлении какого-либо заполнения контрастность и количество дополнительных границ снижается и в динамических характеристиках они становятся менее выраженными, чем в кинематических. Прогноз подобных ситуаций предусмотрен в процедуре AVO (amplitude vs offset) анализа [4], в котором разработаны интерпретационные модели для различных закономерностей изменения амплитуд отраженных волн в зависимости от расстояния источник-приемник, т.е. от угла падения. AVO-анализ относится к одному из видов упругой инверсии, основанному на использовании специфических коэффициентов – AVO-пересечения (*intercept-A*) и градиента (*gradient-B*) двучленной аппроксимации Шуэ [3], связанных с изучением поведения коэффициента отражения продольной сейсмической волны при различных углах падения. Подобные изменения амплитуд возникают в зонах изменения интегральных оценок физических свойств интервалов геологического разреза пород за счет флюидо- или газонасыщения (пустоты). Так, для первого случая преобладают положительные значения данных коэффициентов, а для второго – отрицательные [2] (рис. 2).



**Рис. 1.** Результаты цифровой обработки по профилю 1:  
 а) временной разрез ОГТ; б) скоростная характеристика

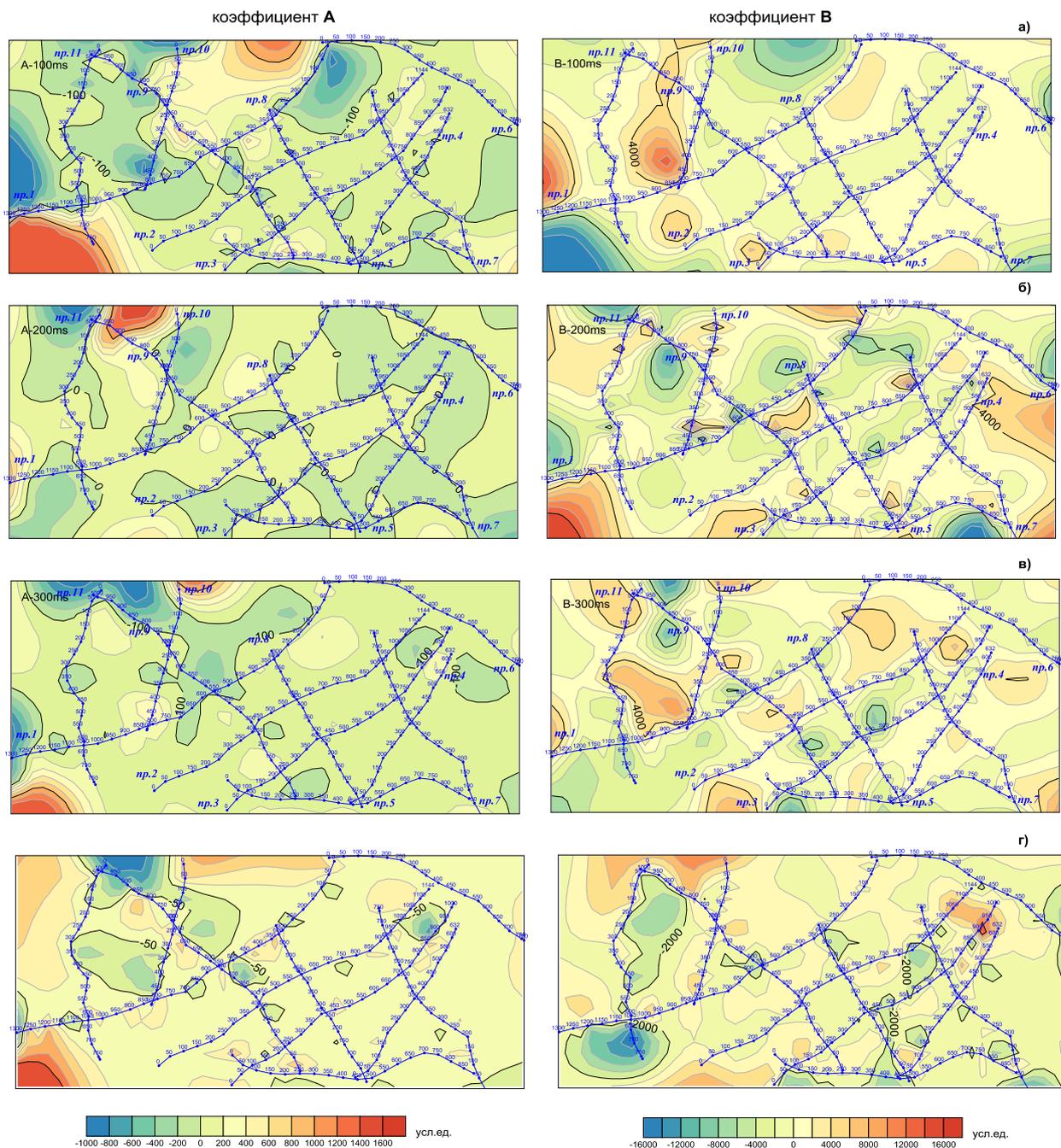
Безусловно, в тонкослоистых средах интервала малых глубин, где в причинах изменения интенсивности волнового поля преобладают интерференционные эффекты, характер подобных оценок носит экспертный и интегральный характер. Тем не менее, если сравнивать условные участки № 1 (северо-восток изучаемой площади) и № 3 (северо-запад), на распределениях значений коэффициентов для различных срезов глубин (рис. 3) и на их сумме очевидно преобладание положительных оценок для № 1 и отрицательных для № 3. Для расчета А и В использована система обработки сейсмических данных SPS-PC.



**Рис. 2.** AVO-analysis профиль 9ВЗТ: а) коэффициент А (Шуэ). б) коэффициент В (Шуэ)  $F=10-40\text{Гц}$

На основании данных интерпретационных подходов можно предположить нарастание заполнения зон трещиноватости флюидами (углеводородами?) с запада на восток и снизу вверх по разрезу от участка № 3 к участку № 1. Участок № 2 (центр широтной зоны осложнений) занимает промежуточное положение. Наличие положительной структуры на востоке участка № 1 в интервале от -150 м до -380 м может способствовать аккумуляции и последующей разгрузки углеводородов по «сквозным» низкоскоростным зонам, примыкающим к структуре с юго-запада и северо-востока.

В распределении структурно-физических параметров верхней части разреза выделяется ряд пространственных закономерностей. На общем фоне погружения отражающих границ в направлении понижения рельефа отмечаются и локальные отрицательные структурные формы преимущественно северо-западного и северо-восточного простирания, коррелируемые с низкоскоростными областями в интервале глубин в первом случае от 30 до 90 м, а во втором – до 30 м. Подобное согласование структурных и физических параметров наиболее очевидно для северной широтной зоны осложненного волнового поля инженерной сейсморазведки с предполагаемой вертикально-ориентированной трещиноватостью. Совпадение восточного фланга этой зоны и участка № 1, выделенного по данным малоглубинной сейсморазведки, как наиболее перспективного на аккумуляцию углеводородов, может обуславливать в интервале 30-90 м преимущественное северо-западное, а до 30 м – северо-восточное направления гидрогеологических процессов и возможных перетоков углеводородов.



**Рис. 2.** Горизонтальные срезы распределения коэффициентов Шуэ А и В для абсолютных отметок:  
 а) -62м (ОГ Ат-As), б) -290м (ОГ1), в) -500м (ОГ А),  
 г) суммарный горизонтальный срез в интервале ОГ Ат-ОГА

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Санфиров И.А. Прийма Г.Ю. «Сейсмоизображение» гидрогеологической аномалии // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 9. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2011. – С. 152-153.
2. Фаткин К.Б. Прогноз типа насыщения нарушенных зон водозащитной толщи с использованием AVO-анализа // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 221-223. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.60.
3. Rutherford S.R. Williams.S.H. Amplitude-versus-offset variations in gas sands // Geophysics. – 1989. – V. 54, № 6. – P. 680-688.
4. Воскресенский Ю.Н., Иноземцев А.Н., Резванов Р.А. Атрибутный AVO-анализ для разделения угольных и УВ-аномалий // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 12. – 24 с.