

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОГО СОДЕРЖАНИЯ МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ СЕЙСМОГРАММОВ ОГТ, ПОЛУЧЕННЫХ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДНОГО ШЕЛЬФА (ОБСКАЯ ГУБА)

В. И. Дубянский, Ю. В. Рослов*, К. Ю. Силкин

*Воронежский государственный университет,
ФГУНПП «Севморгео», Санкт-Петербург

Поступила в редакцию 27 февраля 2009 г.

Аннотация. В статье предложены методические приемы и рассмотрены предварительные результаты обработки записей микросейсм на сейсмограммах МОВ ОГТ с целью изучения их информативного содержания. Установлено, что спектральные характеристики микросейсмических шумов отображают важные структурно-вещественные и геодинамические особенности строения среды в дополнение к данным сейсморазведочных работ.

Ключевые слова: микросейсм, сейсморазведка, спектр микросейсм, спектральные изображения.

Abstract. This article contains methodical receptions and preliminary results of microseismic recordings on CDP data processing. The informative contents of them is investigated. It is established, that spectral characteristics of microseismic noise display the important structural, material and geodynamic features of the Earth bowels. They supplement the information of standard seismic researches.

Key words: microseisms, exploration seismology, spectral images.

В мировой практике геофизики уже более двух десятилетий ведутся исследования возможностей использования естественных микросейсмических полей Земли в разведочных целях. В частности, сообщается о положительных результатах прямого обнаружения и локализации залежей углеводородов по амплитудно-частотным аномалиям сейсмического шума [1; 2]. Представляемые работы выполнялись впервые, с целью предварительного изучения возможности извлечения дополнительной полезной информации, без проведения специализированных полевых работ, из микросейсм, записанных на сейсмограммах МОВ ОГТ до первых вступлений основных волн, в условиях шельфа. Методика использования микросейсм сейсмограмм МОВ ОГТ, впервые предложенная Г. В. Ведерниковым [3], дала положительные результаты при индикации известных и потенциальных залежей нефти и газа [4]. Важное достоинство этого метода заключается в возможности параллельного использования волн, имеющих иной генезис, наряду с зеркально отраженными волнами, записанными на сейсмограммах МОВ. Задача исследований состояла в изучении геологической информативности записей микросейсмических шумов, полученных

в процессе разведочных работ МОГТ со стандартной аппаратурой и методикой регистрации сейсмограмм.

Обработке и анализу подвергались магнитные записи микросейсм сейсмограмм (далее – МС) МОВ ОГТ до первых вступлений на участке профиля № 4, пересекающем Обскую губу в меридиональном направлении.

Из фрагментов записей МС длительностью во времени, в среднем, 2,5 с и примененной кратностью системы наблюдений МОВ ОГТ на ПР 4, возможно составить монтаж последовательности этих фрагментов суммарной длительностью во времени до 250 с в каждом пункте приема вдоль профиля. Практически установлено, что для получения стабильных результатов обработки МС достаточно иметь массив фрагментов сейсмограмм длительностью 25–50 с.

Типичная волновая картина микросейсм представляет собой запись сейсмических шумов, интенсивность которых существенно различается вдоль профиля при синхронных наблюдениях в пределах одной расстановки приемников, а также на соседних стоянках. Как правило, чередование интенсивных и слабых сигналов стабильно выдерживается во времени и пространстве (вдоль горизонтальной оси профиля), образуя полосовые

аномалии. Указанные особенности практически исчезают или сглаживаются при фильтрациях 0,0–7,5 и 0,0–15 Гц. Последняя фильтрация выбрана за основную при последующей обработке сейсмограмм микросейсм.

В составе волнового поля МС присутствуют интенсивные волны с постоянными частотами колебания 23 и 25 Гц от неподвижных техногенных источников, находящихся на поверхности среды (возможно работающие агрегаты судов).

Воспроизведение микросейсм, записанных до первых вступлений сейсмограмм МОВ, в различных режимах усиления и фильтрации также показало, что волновая картина МС весьма чувствительна к частотной фильтрации и представлена полем колебаний шумового типа с фрагментами разноориентированных коротких осей синфазности.

Непрерывный во времени процесс излучения микросейсмических волн не позволяет очевидным образом осуществить временную привязку каких-либо особенностей наблюдаемого поля к разрезу среды, как это делается в методе отраженных волн. Поэтому все методы «пассивной сейсморазведки»

используют спектральные характеристики микросейсм для получения информации о строении и динамическом состоянии недр.

Спектры микросейсм на ПР 4 вычислялись для каждого пункта приема методом стандартного преобразования Фурье. Отметим, что количество спектров в пунктах приема может достигать кратности системы наблюдений МОВ ОГТ и ограничивается заданной длительностью регистрации микросейсм. Примеры типичных форм спектров показаны на рис. 1А. Общая особенность состоит в том, что практически все спектры имеют максимум в диапазоне низких частот: 0–5 Гц. Анализ совокупности спектров в диапазоне частот от нуля до 100 Гц и выше показал, что амплитуды спектральных составляющих, как и следует ожидать, изменяются и во времени и в пространстве (вдоль профиля). Различия достигают двух порядков величин по причинам естественных временных вариаций микросейсмического поля (часовых, суточных и т. д.). Для исключения этого фактора применялась процедура среднестатистического накопления амплитуд спектров для каждой частотной со-

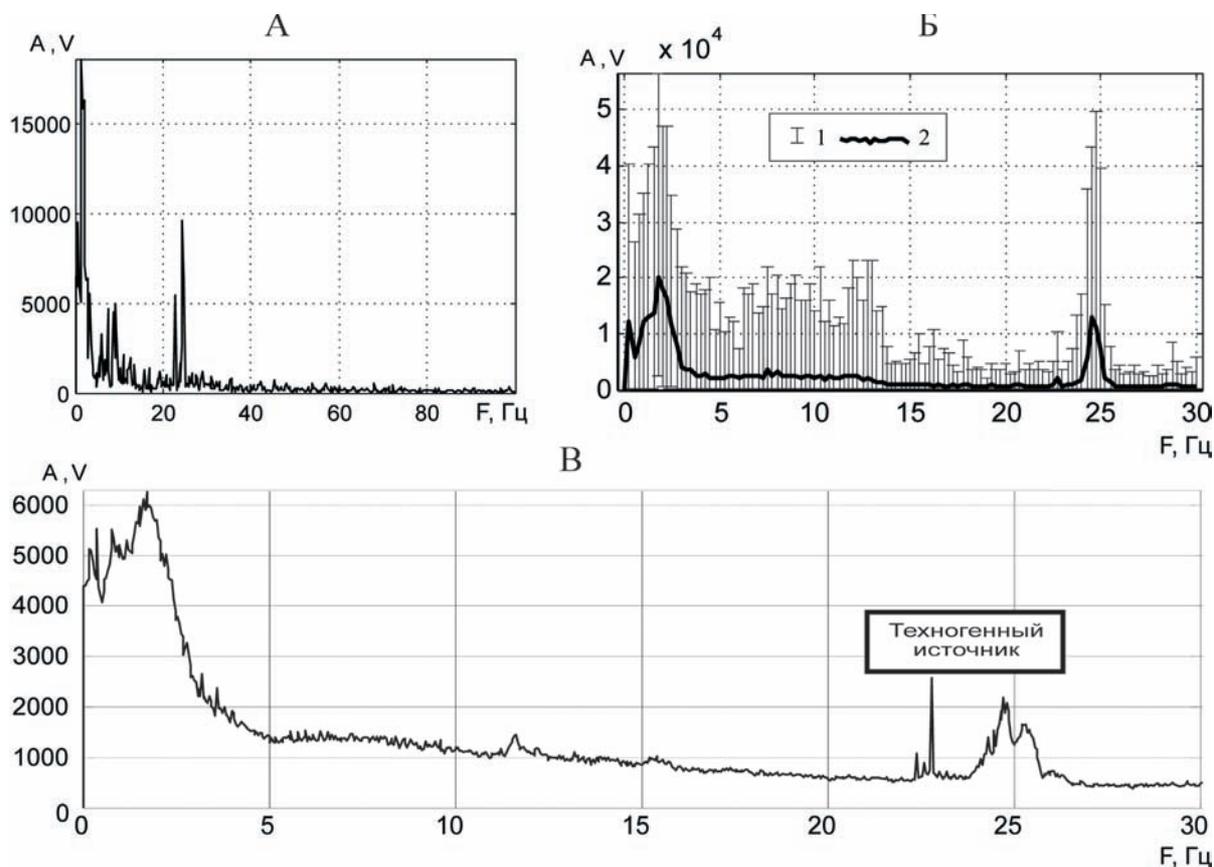


Рис. 1. Спектры микросейсм по сейсмограммам МОВ ОГТ профиля 4 (Обская губа), длительность записи – 4 с: А – одиночный фрагмент; Б – накопленный средний спектр по 100 фрагментам (1 – предельные значения спектральных амплитуд среди всех фрагментов на данной частоте, 2 – среднее значение); В – средний спектр по всем трассам профиля

ставляющей на каждом пункте приема (см. рис. 1Б). Интересно отметить, что форма полученных среднестатистических спектров различается вдоль профиля, а огибающая к максимальным значениям на каждом пикете повторяет форму средней кривой. Этот результат свидетельствует о том, что, несмотря на значительные изменения интенсивности частотных составляющих микросейсм во времени в каждой точке приема, форма спектра определяется местом установки сейсмоприемника, где проявляется так называемый «сайт эффект» [5; 6]. Качество установки сейсмоприемников на грунт, а также влияние верхней части геологического разреза не отображаются на распределении «накопленных» спектральных составляющих (то есть на форме спектральных кривых), но определяют общий уровень интенсивности регистрируемых колебаний.

Для выявления аномальных эффектов и выравнивания шкалы цветodelения при визуализации результатов спектральных преобразований МС применялись операции нормирования спектров по осям частот и расстояний по профилю.

Пусть A_{ij} – модуль амплитуды i -й гармоники исходного спектра на j -м пикете профиля. Здесь $i = 0, 1, \dots, m$; m – число гармоник спектра; $j = 1, 2, \dots, n$; n – количество пикетов на профиле.

Тогда однократная нормировка по оси частот может быть записана как:

$$A_{ij}^{(f)} = A_{ij} \bar{A}^{(f)} / \bar{A}_j,$$

где \bar{A}_j – среднее значение амплитуд гармоник спектра на j -м пикете профиля перед нормировкой по частоте, $\bar{A}^{(f)}$ – среднее значение амплитуд гармоник спектра по всему профилю перед нормировкой по частоте. \bar{A}_j можно выразить как:

$$\bar{A}_j = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m A_{ij},$$

а $\bar{A}^{(f)}$ определяется следующим образом:

$$\bar{A}^{(f)} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{A}_j.$$

Двукратная нормировка по оси частот и оси расстояний выражается как повторение описанных вычислений по оси расстояний к результатам нормировки по оси частот. Это может быть записано в следующем виде:

$A_{ij}^{(f,x)} = A_{ij}^{(f)} \bar{A}^{(x)} / \bar{A}_i$,
где \bar{A}_i – среднее значение амплитуд i -х гармоник спектров всего профиля перед нормировкой по расстоянию, $\bar{A}^{(x)}$ – среднее значение амплитуд гармоник спектра по всему профилю перед нормировкой по расстоянию. \bar{A}_i можно выразить как:

$$\bar{A}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{ij}^{(f)},$$

а $\bar{A}^{(x)}$ определяется следующим образом:

$$\bar{A}^{(x)} = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m \bar{A}_i.$$

С целью выявления спектральных аномалий в поле наблюдаемых на ПР 4 микросейсм опробовались различные процедуры параметризации спектров МС. Наиболее выразительные, на наш взгляд, результаты были получены при вычислении распределения вдоль профиля параметра:

$$B(x) = E_{(25-100)} / E_{(0-7,5)},$$

где на каждом пикете, в числителе величина $E_{(25-100)}$ представляет собой среднюю энергию МС в широкой полосе частот 25–100 Гц, а в знаменателе – среднюю энергию $E_{(0-7,5)}$ в низкочастотной области спектра 0–7,5 Гц этой же трассы.

Мигрированный временной сейсмический разрез МОГТ на исследуемом участке профиля выявляет субгоризонтальное строение осадочной толщи, перекрывающей акустический фундамент, характеризующийся отрицательной структурой в левой (южной) части и волнообразным поднятием в правой (северной) части (см. далее рис. 2). Сочленение указанных структур образует «аномальные» зоны выклинивания, которые представляют интерес как возможные потенциальные накопители углеводородов.

Линия тренда параметра $B(x)$ качественно коррелирует со структурным планом акустического фундамента (АФ), заметно возрастая к правой (северной) половине профиля (рис. 2). Это позволяет предположить, что именно ярко выраженные поднятия и зоны выклинивания влияют на энергетику поля микросейсм, а не субгоризонтальная структура покрывающих отложений.

На фоне тренда параметра $B(x)$ выделяются две положительные аномалии, которые, очевидно, от-

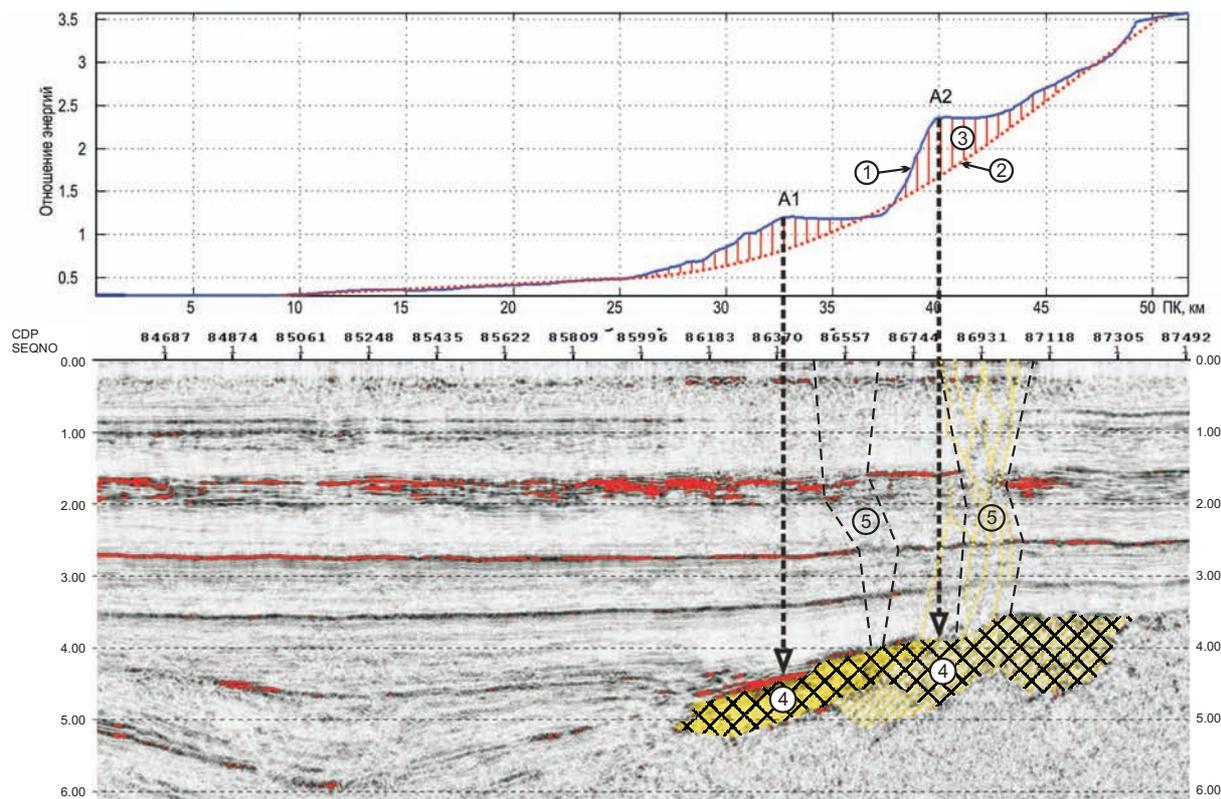


Рис. 2. График интегрального параметра спектров микросейсм $B(x)$ вдоль ПР 4 в сравнении с динамическим временным разрезом МОВ ОГТ: 1 – график интегрального параметра спектров микросейсм $B(x)$; 2 – линия тренда для $B(x)$; 3 – «аномальные» области графика; 4 – «аномальные» области разреза; 5 – зоны нарушения корреляции отраженных волн; АФ – акустический фундамент

носятся к зонам выклинивания в верхней части фундамента. Более детальное сравнение аномалий $B(x)$ с динамическим временным разрезом МОВ ОГТ показывает, что левая аномалия А1 наблюдается над зоной выклинивания перекрытой сильной, отражающей границей на изображении динамического разреза, а правая А2 – приурочена к «размытой» отражающей границе (см. вертикальные стрелки на рис. 2). Можно предположить, что определяющим фактором для энергии микросейсм в данном случае являются рельеф, структура и акустические свойства среды, находящейся ниже поверхности фундамента. К деталям сравнения разреза с графиком $B(x)$ относится приуроченность максимальных значений аномалий параметра к участкам вертикального смещения отражений и восходящим к поверхности зонам нарушения корреляции отраженных волн (см. рис. 2).

Таким образом, выявленные спектральные аномалии поля микросейсм отображают особое, по сравнению с другими участками профиля, современное динамическое состояние геологической среды. Относительное возрастание энергии высо-

кочастотных составляющих МС шумов может быть связано с наличием блоков пород с повышенной акустической жесткостью и (или) стрессовыми напряжениями в местах положительных форм рельефа, наблюдаемых на разрезе МОВ ОГТ. С другой стороны, повышенная микросейсмическая эмиссия, как отмечается [1; 2], связывается с флюидонасыщенными телами – ловушками углеводородов (в нашем случае, возможно, зоны выклинивания). Заметим, что в результате многолетних исследований [7] установлено, что связь механически жестких подстилающих «экранов» и залежей флюидного генезиса имеет всеобщий характер для рудных и нефтеносных районов и может служить поисковым критерием.

С целью изучения распределения спектральных составляющих МС в плоскости сейсмического разреза $S(x,t)$ проводилась его сравнение со «спектральными изображениями» профиля $A(f,x)$. Для удобства восприятия шкала частот спектров трасс сейсмограмм совмещалась с осью времен сейсмического разреза, на каждом пикете профиля. Нуль

шкалы частот спектрального изображения помещался в область максимального времени разреза МОВ ОГТ таким образом, чтобы вертикальный и горизонтальный масштабы сейсмического разреза и спектрального изображения зрительно совпадали (рис. 3А). Таким образом, спектральное изображение разреза $A(f,x)$ качественно отображает общий

физический принцип: «меньше частота – больше глубина».

Для выявления «аномальных» зон в спектральном поле МС по всем трассам и частотам вычислялся обобщенный (средний) спектр на исследуемом участке ПР 4 (см. рис. 1В). Спектры микросейсм, нормированные к среднему спектру по

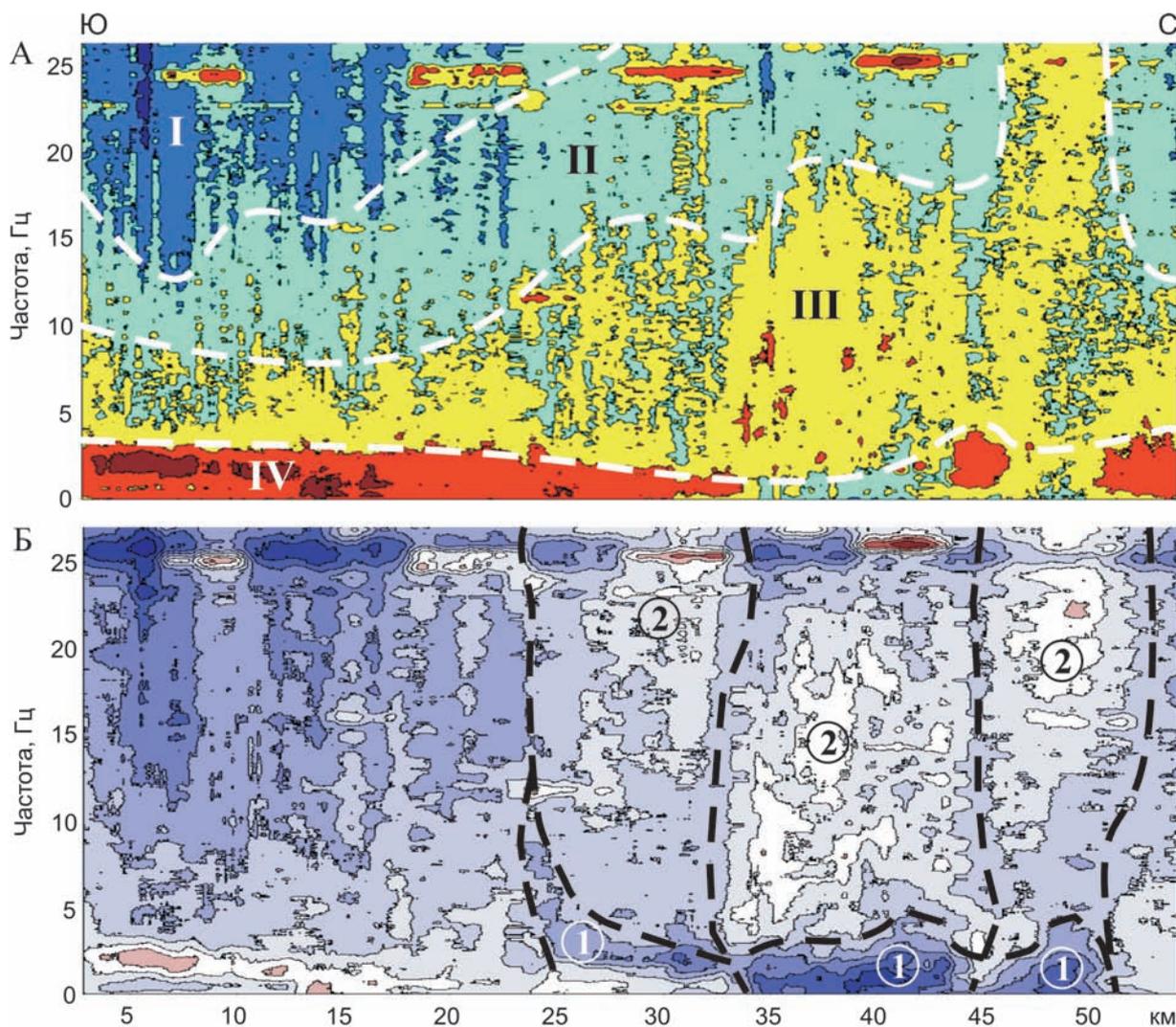


Рис. 3. Спектральные изображения микросейсм ПР 4 (Обская губа): А – спектр микросейсм, нормированный по оси частот (I–IV – номера и границы зон (пунктир) с различным средним уровнем спектров микросейсм); Б – спектральное изображение аномального поля микросейсм: 1 – жесткие блоки в акустическом фундаменте; 2 – области повышенной эмиссии энергии микросейсм. Цветовые шкалы проградуированы в относительных единицах

частотам и трассам, отображают только «аномальные», то есть отличающиеся от среднего для каждой частоты вдоль профиля, зоны распределения энергии $A(f,x)$ в частотно-метрической плоскости профиля (см. рис. 3).

Спектральные изображения демонстрируют выразительную картину распределения спектральной энергии поля микросейсм по горизонтали и вертикали в широком частотном диапазоне от 0,1 до 35 Гц (см. рис. 3А):

– возрастание средней энергетической компоненты спектра к правой части разреза коррелирует со структурами акустического фундамента, а не с горизонтально слоистой структурой покрывающих отложений (см. рис 2 и 3А);

– вертикальные аномальные зоны, локальные яркие пятна и «спектральные факелы», где спектральная энергия МС сигналов распределяется в виде столбообразного потока повышенной энергии во всем отображаемом диапазоне частот, приурочены к зонам выклинивания в апикальной части положительных структур акустического фундамента (см. рис. 2 и 3А);

– спектральные аномалии микросейсм разделяют профиль на две половины, где в левой части значения относительной энергии отрицательные, а энергия концентрируется в области низких частот (0,1–5,0 Гц) и приурочена к отрицательной структуре (рис. 3Б);

– в правой половине профиля, где на временных разрезах МОВ ОГТ наблюдаются зоны выклинивания и поднятия структур, низкие частоты в диапазоне 0–5 Гц имеют минимальные значения (зоны 1), а спектральная аномалия с высокими значениями (зоны 2) заполняет диапазон частот до 25 Гц (рис. 3Б). Таким образом, проявляется эффект перекачки энергии МС от низких частот к высоким;

– обозначаются яркие пятна всплесков спектральной энергии.

Спектральные изображения микросейсм по горизонтали объективно демонстрируют изменчивость структурно-вещественного строения среды с разрешающей способностью не менее шага сейсмоприемников (50 м).

Распределение спектральной энергии микросейсм по вертикальной оси частот предоставляет дополнительную информацию об интенсивности непрерывного во времени микросейсмического процесса, локализации аномальных зон вдоль горизонтальной оси разреза среды в диапазоне частот, значительно превышающем информативный интервал частот в методе отраженных волн.

Построение спектральных изображений и трактовка результатов допускают различные варианты и подходы, требующие специального изучения на

основе теоретического моделирования и экспериментальных работ на эталонных геологических объектах. Тем не менее полученные данные позволяют сделать следующие предварительные выводы.

1. Установленным фактом можно считать, что распределение спектральных составляющих МС определенным образом отображает вещественно-структурные особенности строения среды в диапазоне частот от нуля до 25 Гц, то есть в сейсмическом диапазоне частот.

2. В результате применения различных методов обработки спектров МС сигналов, записанных при синхронных и одновременных наблюдениях в процессе производства работ МОВ ОГТ, на шельфе, оказалось возможным скомпенсировать не только неоднозначность условий регистрации сигналов, но и временные вариации микросейсмического фона, а также уверенно выявить области проявлений аномалий спектров МС.

3. Показано, что интегральные параметры энергии микросейсм в условиях шельфа образуют заметные аномалии над участками разреза, которые в принципе могут трактоваться как потенциальные резервуары углеводородов.

4. Опробованы различные методы построения «спектральных изображений» в координатах: расстояние по профилю – частота и сравнения результатов с разрезами МОВ ОГТ, полученных на этом же профиле. Спектральные изображения позволяют получить новые данные о современной динамике среды. Например, оказалось возможным проследить эволюцию сигналов микросейсмического поля от низких частот к высоким. Появление аномальных зон и «частотных факелов» над местами нарушения корреляции отраженных волн на разрезе МОВ ОГТ, возможно, маркирует действующие в настоящее время источники микросейсмического шума, которыми являются зоны дегазации или движения флюидов к поверхности. Различия в яркости и размерах «частотных факелов» микросейсм могут отображать интенсивность флюидодинамических процессов в отмеченных зонах деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов О. Л. КТ-сейсморастворка : основы, методология, практика / О. Л. Кузнецов, И. А. Чиркин, С. И. Шлёнкин, И. А. Курьянов, А. С. Жуков // Технологии сейсморастворки. – 2007. – № 3. – С. 61–68.

2. Graf R. Passive low frequency spectral analysis : Exploring a new field in geophysics / R. Graf, S. M. Schmal-

holz, Y. Podladchicov, E. Saenger // World Oil. – January. – 2007, issue. – P. 47–52.

3. Ведерников Г. В. Способ сейсмической разведки : Патент РФ, № 2263932 С1 G 01v/00 с приоритетом от 30.07.2004. – 2005.

4. Ведерников Г. В. Новые возможности изучения геодинамических шумов от нефтегазоносных залежей /

Г. В. Ведерников // Геофизика. – 2006. – № 5. – С. 9–12.

5. *Aki K. Local site effects on strong ground motion / K. Aki // Proc. Of Earth. Engineering and Soil Dynamics 11, GT Div/ASCE, Park City, Utah. – 1988.*

6. *Lermo J. Site effect evaluation using spectral ratios with only one station / J. Lermo, F. J. Chavez Garcia // Bull. Seism. Soc. Am, 1993.*

В. И. Дубянский, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Воронежский государственный университет; тел.: (8-4732) 208-682; e-mail: vdb20062@yandex.ru

Ю. В. Рослов, кандидат физико-математических наук, начальник отдела ФГУНПП «Севморгео»; тел.: (+7 812) 252-22-84; e-mail: roslov@sevmorgeo.com

К. Ю. Силкин, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, Воронежский государственный университет; тел.: (8-4732) 208-385; e-mail: const@geol.vsu.ru

7. *Кузин А. М. Диалектика интерпретации сейсмических данных / А. М. Кузин // Мат-лы Всероссийской конференции «Дегазация Земли : геодинамика, геофлюиды, нефть, газ и их парагенезы». – М., 2008. – С. 242–246.*

V. I. Dubyanskiy, Candidate of Geology-Mineralogical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University; tel.: (8-4732) 208-682; e-mail: vdb20062@yandex.ru

Y. V. Roslov, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Chief of Department of FGUNPP «Sevmorgeo»; tel.: (+7 812) 252-22-84; e-mail: roslov@sevmorgeo.com

C. Y. Silkin, Candidate of Geology-Mineralogical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University; tel.: (8-4732) 208-385; e-mail: const@geol.vsu.ru