

**УДК 550.834.07 (26)**

## **МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ**

*Гуленко В.И.<sup>1</sup>, Захарченко Е.И.<sup>1</sup>, Самсонов Е.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», г. Краснодар, Российская Федерация

<sup>2</sup> ЗАО «Российская морская навигационно-геодезическая компания «Ромона», г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

*E-mail: evgenia-zax@yandex.ru, v\_gul@mail.ru, esamsonov@romona.ru*

Работа посвящена актуальной задаче – повышению эффективности высокоразрешающей морской сейсморазведки при инженерных изысканиях на площадках установки морских буровых платформ. Целью работы является сравнительная оценка эффективности модификаций инженерной высокоразрешающей морской сейсморазведки (ВРС), а также анализ возможности применения атрибутов сейсмических волновых полей для интерпретации полученных данных.

**Ключевые слова:** высокоразрешающие морские сейсмические исследования, групповой пневмоисточник, атрибуты сейсмической записи.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в России и во всём мире активно осваиваются месторождения углеводородов шельфовой зоны. В этой связи активно развиваются технологии, связанные с морским бурением, создаются новые, все более высокотехнологичные, но и более тяжелые морские буровые и нефтегазодобывающие платформы, что в свою очередь увеличивает и стоимость бурения и риски при аварии. Поэтому перед постановкой морских буровых и нефтегазодобывающих платформ проведение инженерных изысканий становится все более актуальным.

Для изучения разреза до глубины 1000 м, для выявления объектов, которые могут привести к аварии при бурении (газовых карманов, тектонических нарушений) применяется высокоразрешающая сейсморазведка (ВРС). В настоящее время для детального изучения разреза при инженерных изысканиях на акваториях все чаще применяется перспективный и более высокочастотный сейсмоакустический метод с более высокой разрешающей способностью – ультравысокоразрешающая сейсморазведка (Ультра-ВРС).

Целью работы является сравнительная количественная оценка эффективности двух модификаций инженерно-геофизических методов высокоразрешающей морской сейсморазведки, а также анализ возможности применения сейсмических атрибутов для интерпретации данных ВРС и Ультра-ВРС, полученных на одном и том же профиле.

В работе [2] было показано, что необходимая эффективность анализа на основе атрибутов сейсмической записи возможна лишь при кардинальном расширении спектра частот полезных отраженных волн, что может быть достигнуто при использовании методики высокоразрешающей сейсморазведки.

Такой подход открывает новые возможности видения строения геологической

## МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

среды: технология применения атрибутов сейсмических волновых полей, например, в наземной инженерной сейсморазведке методом преломленных волн (МПВ) позволяет решать задачи по локализации участков с нарушенными прочностными и деформационными свойствами горных пород верхней части геологического разреза и других неоднородностей среды [1]. В этой связи применение атрибутивного анализа для интерпретации данных морской сейсморазведки ВРС и Ультра-ВРС также представляет большой интерес.

### 1. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ

Все данные, рассматриваемые в настоящей работе, были получены аппаратурой ЗАО «Ромона» на научно-исследовательском судне «Иван Киреев» на шельфе Охотского моря. Основные параметры методики наблюдений для каждой модификации высокоразрешающей сейсморазведки – ВРС и УВРС – были выбраны в процессе морских опытно-методических работ и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры методики для ВРС и УВРС

| Характеристики приемной группы  |   |
|---------------------------------|---|
| ВРС                             | 192 канальная цифровая коса с шагом группирования 6,25 м (1200 м);<br>заглубление косы 4 м; шаг дискретизации 1 мс                        |
| Ультра-ВРС                      | 48 канальная цифровая коса с шагом группирования 6,25 м (300 м);<br>заглубление косы 1 м; шаг дискретизации 0,25 мс                       |
| Характеристики пневмоисточников |   |
| ВРС                             | Пневматический источник 2 x 90 in <sup>3</sup> GI Gun, 2000 psi;<br>интервал пунктов возбуждения 12,5 м;<br>заглубление источника 3 м     |
| Ультра-ВРС                      | Пневматический источник 1 x 10 in <sup>3</sup> Sleeve Gun, 2000 psi;<br>интервал пунктов возбуждения 6,25 м;<br>заглубление источника 1 м |

Для цифровой регистрации данных применялась телеметрическая сейсморегистрирующая система Geometrics Geo Eel. Дифференциальная система GPS, применявшаяся в ходе работ, обеспечивала необходимую точность определения координат.

В районе работ исследуемый разрез от дна моря до времени 200 мс представлен неоген-четвертичными терригенными отложениями (илы, суглинки, глины), ниже залегают глинистые породы верхнего мела-палеоцена. В качестве опасных объектов в разрезе могут присутствовать газовые карманы, тектонические нарушения и связанные с ними ослабленные зоны с повышенной трещиноватостью горных пород. В качестве примера на рис. 1 приведены фрагменты сейсмограмм ОПВ, полученных методами ВРС (а) и Ультра-ВРС (б), а также осредненные амплитудные спектры донных отражений.

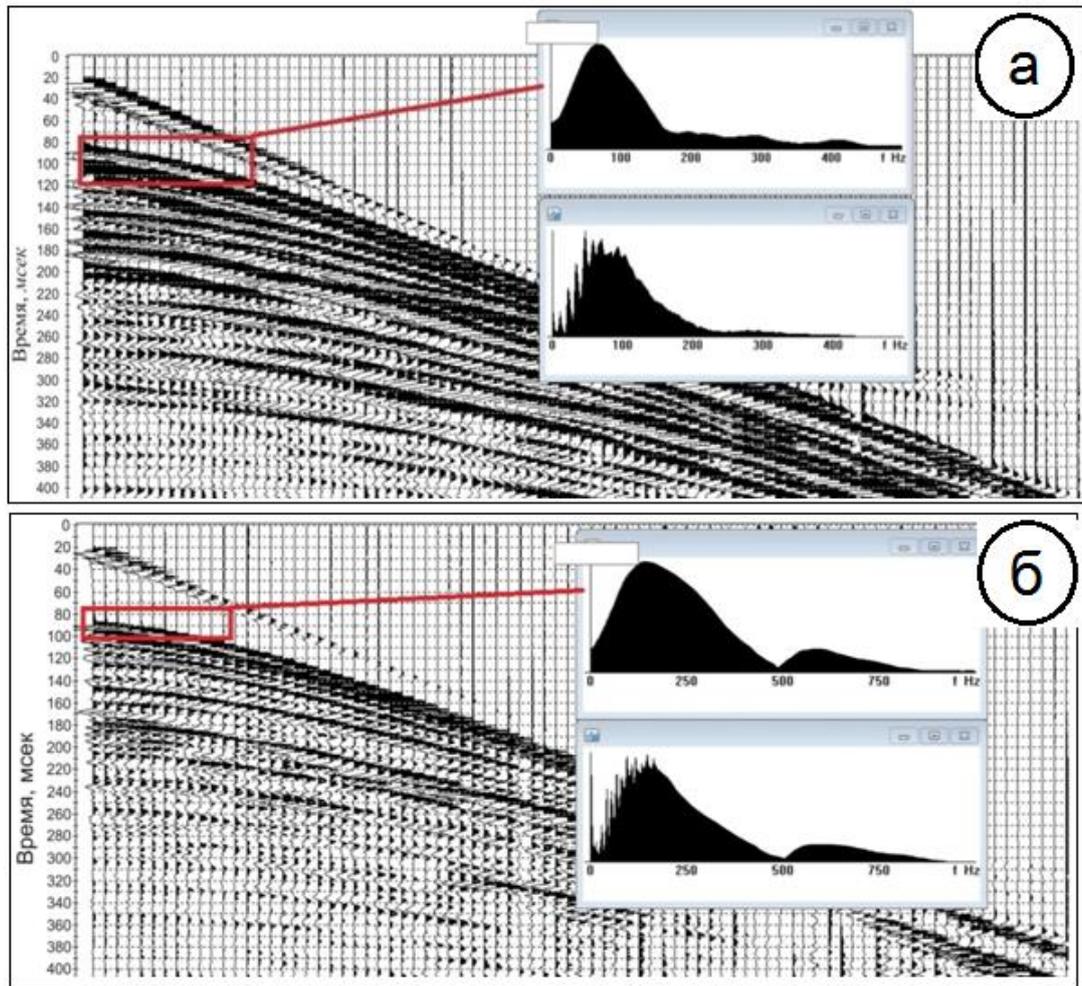


Рис.1. Сейсмограммы ОПВ: а) ВРС; б) Ультра-ВРС [3].

На рис. 2 представлены фрагменты временных разрезов, полученных методом ВРС (а) и Ультра-ВРС (б) после стандартной обработки по алгоритму ОГТ.

МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

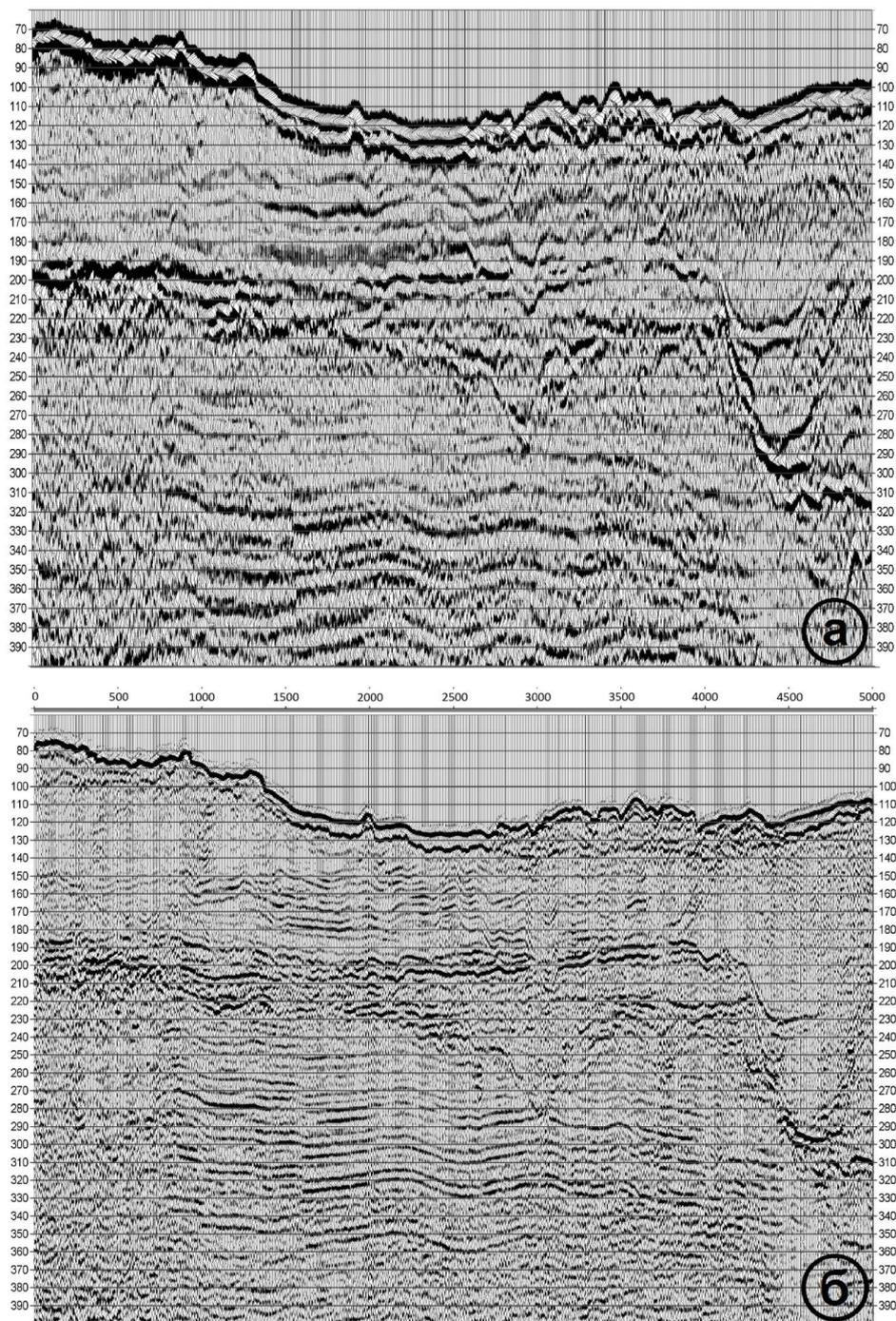


Рис. 2. Фрагменты временных разрезов ОГТ, полученных методом ВРС (а) и УльтравРС (б) на акватории Охотского моря.

## 2. АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Как видно из сопоставления представленных выше сейсмограмм, осредненных амплитудных спектров донных отражений и временных разрезов, записи, полученные методами ВРС и Ультра-ВРС, существенно различаются по амплитуде и длительности зондирующих импульсов, а также по их спектральному составу. Разрез ВРС, полученный с более мощным источником, имеет более низкочастотный спектральный состав, характеризуется существенно большей глубиной, однако заметно уступает разрезу Ультра-ВРС по разрешенности записи.

Анализируя особенности отображения на этих разрезах различных геологических структур, можно отметить, что в совокупности они несут гораздо больше геологической информации, чем каждый из них в отдельности.

Для количественных оценок были рассмотрены следующие атрибуты сейсмической записи по каждому из временных разрезов, представленных на рис.2:

1. Амплитудно-взвешенные параметры: кажущаяся полярность (Amplitude-Weighted Apparent Polarity), мгновенная частота сигнала в скользящем временном окне (Amplitude-Weigh Instantaneous Frequency, определяемая как скорость изменения мгновенной фазы), мгновенная фаза (Amplitude-Weighted Instantaneous Phase).

2. Статистические и спектральные характеристики записи: среднеквадратическое отклонение частоты (Standard Deviation of frequency), среднеквадратическая частота (RMS frequency), средняя частота (Average Frequency), преобладающая частота (Dominant Frequency), мгновенная добротность  $Q$  (Instantaneous  $Q$ ). Все спектральные характеристики при этом рассчитываются в скользящих временных окнах в диапазоне помехоустойчивых составляющих и осредняются по  $m$  трассам ( $m = 10-20$ ).

Алгоритмы расчета атрибутов в основном соответствуют описанным в известной работе Птецова С.Н. [2]. Расчет атрибутов выполнен с помощью программного обеспечения Epos Data Management фирмы Paradigm по временным разрезам МОВ ОГТ, полученным при стандартной обработке в пакете ProMax.

В ходе расчетов по каждому из разрезов были получены карты всех перечисленных выше атрибутов волновых полей. Все эти карты атрибутов характеризуются разной степенью информативности.

Так, наиболее информативными являются все амплитудно-взвешенные параметры: кажущаяся полярность (рис. 3), мгновенная частота сигнала (рис. 4), а также мгновенная фаза (рис. 5). Представленные на этих рисунках атрибуты, вероятно, могут быть использованы для выявления в разрезе загазованных интервалов, характеризующихся локальными понижениями скорости упругих волн и более высоким поглощением.

Признаками наличия в разрезе таких зон могут быть аномалии амплитудно-взвешенных атрибутов, как это, например, наблюдается в интервале координат 2800–3200 м на временах 150–200 мс с одновременным локальным уменьшением скорости упругих волн, приводящим к появлению в разрезе небольших фиктивных синклиналильных складок – см. рисунок 2(б) в том же интервале времен и координат.

МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

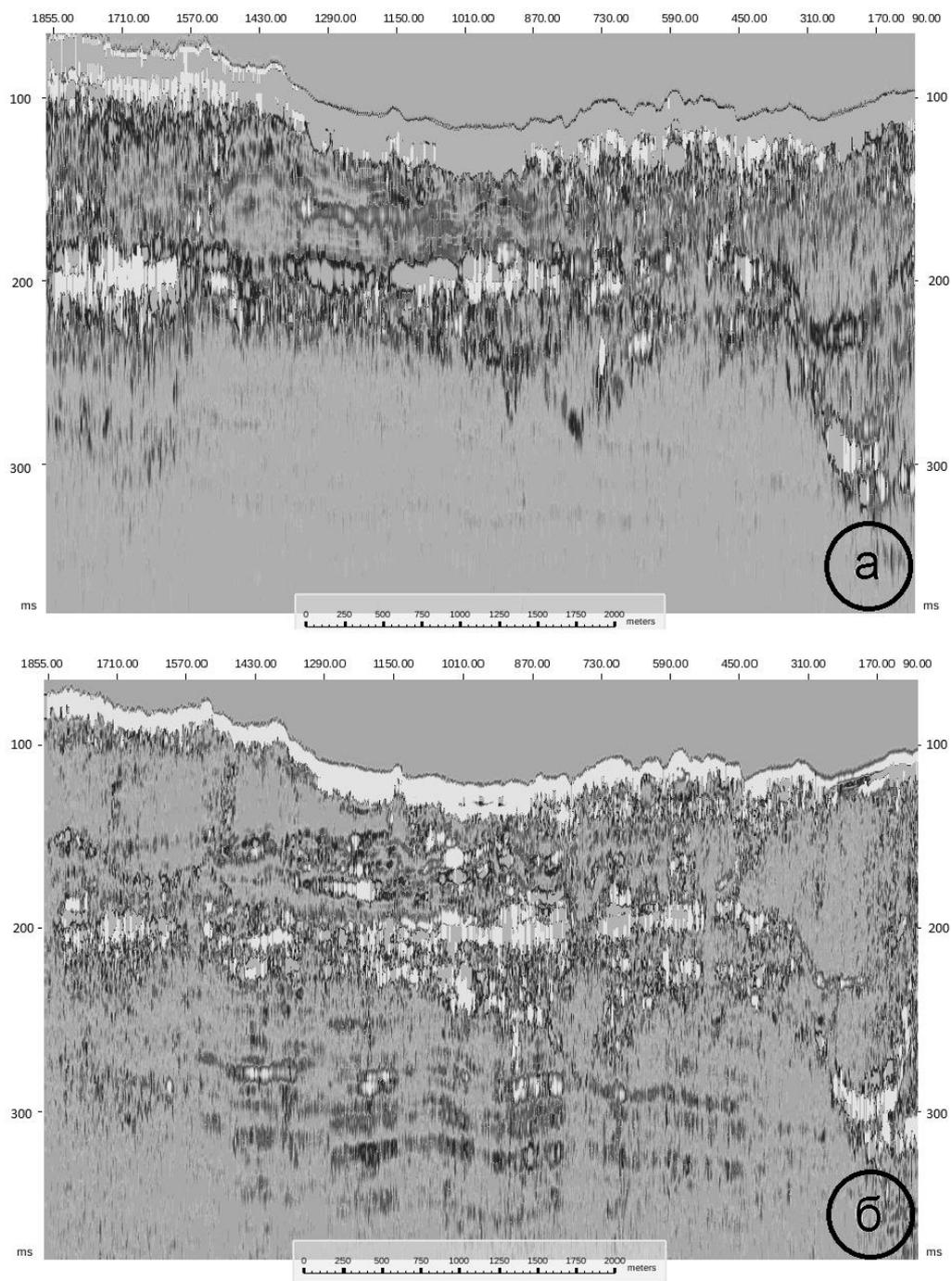


Рис.3. Амплитудно-взвешенная кажущаяся полярность (Amplitude-Weighted Apparent Polarity), полученная по временным разрезам ВРС (а) и Ультра-ВРС (б).

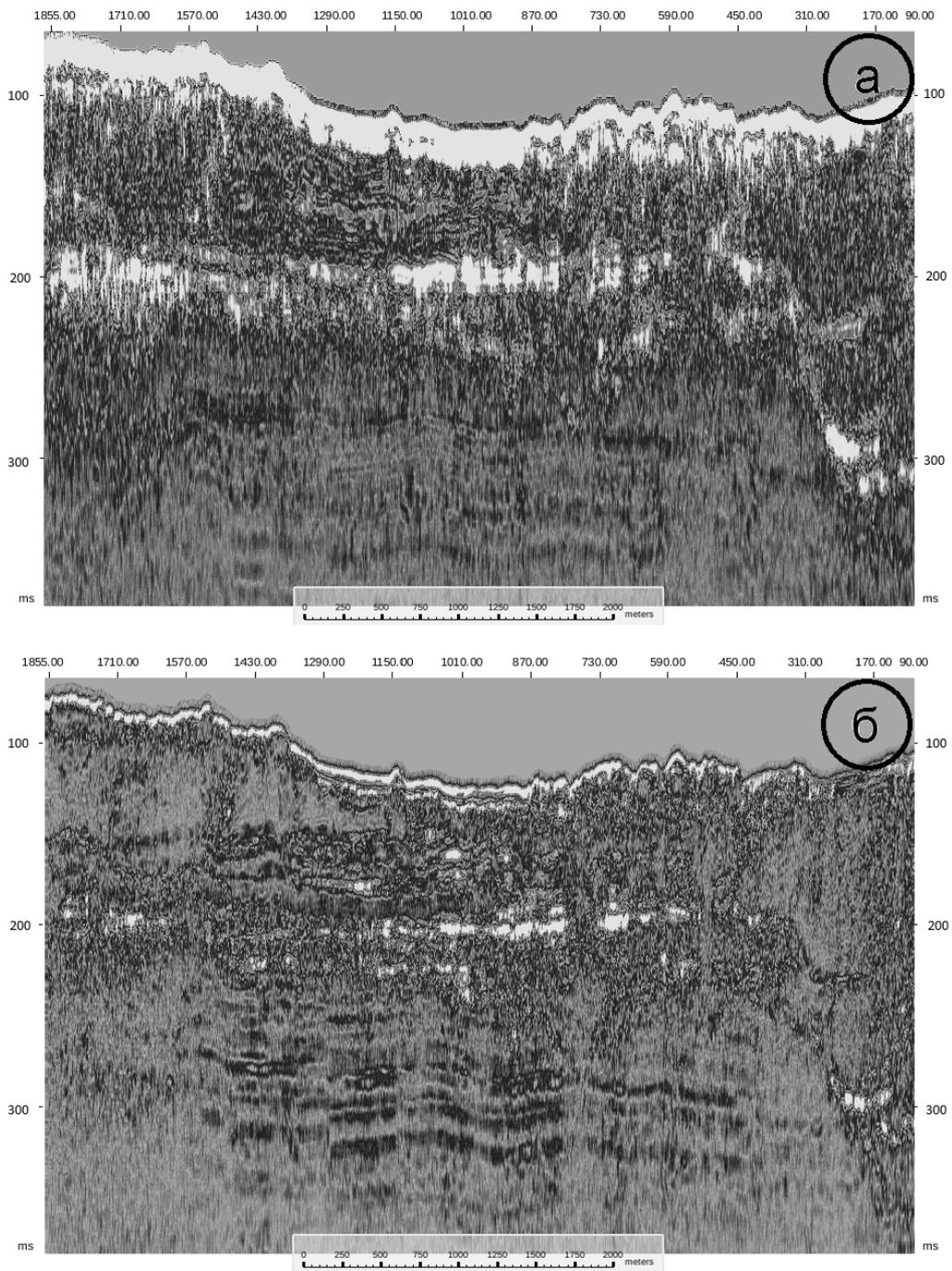


Рис.4. Амплитудно-взвешенная мгновенная частота сигнала (Amplitude-Weight Instantaneous Frequency), полученная по временным разрезам ВРС (а) и Ультра-ВРС (б).

МОРСКАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ПРИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА АКВАТОРИЯХ

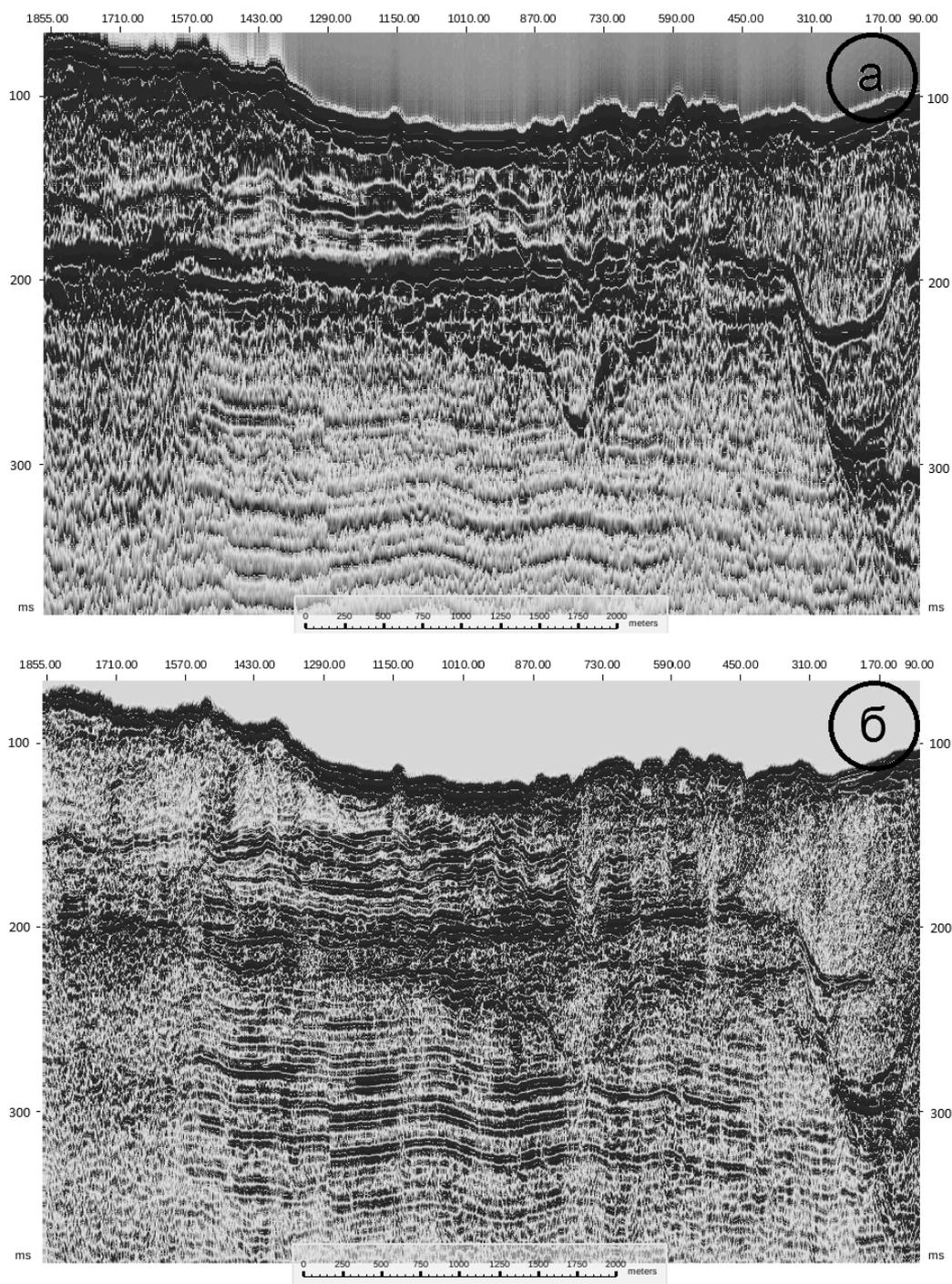


Рис. 5. Амплитудно-взвешенная мгновенная фаза (Amplitude-Weighted Instantaneous Phase), полученная по временным разрезам ВРС (а) и Ультра-ВРС (б).

Несогласно залегающая граница в верхней части разреза, особенно отчетливо прослеживаемая на разрезах амплитудно-взвешенной мгновенной фазы, вполне может быть приурочена к залежи газогидратов в криолитозоне в донных отложениях.

Оценки спектральных характеристик – средние, а также преобладающие частоты в скользящем  $m$ -окне вследствие небольшой дифференциации значений этого параметра оказались менее информативными. Сравнение полей преобладающих и средних частот спектра в скользящем окне Хемминга показывает лишь общее различие в спектральных характеристиках исходных временных разрезов, визуально наблюдаемое и на рисунке 2.

Неоднозначными и сложными для анализа являются поля статистических характеристик частотного состава записи – среднеквадратическое отклонение частоты в скользящем окне и среднеквадратическая частота, а также и такой параметр, как мгновенная добротность  $Q$ . Подобный результат свидетельствует, скорее всего, лишь о необходимости совершенствования методики атрибутного анализа, а также применения и других атрибутов, таких, например, как отношение энергий спектров в разных частотных диапазонах, с помощью которого можно было бы выявить наличие зон с аномально высоким поглощением и уточнить их положение в разрезе.

### **ВЫВОДЫ**

Рассматривая выполненную работу как первый этап исследований, можно отметить следующее:

1. Выполнена сравнительная оценка эффективности двух модификаций высокоразрешающей морской сейсморазведки (ВРС) применительно к решению задач инженерной геологии.

2. Выполнен расчет атрибутов сейсмических волновых полей по временным разрезам ВРС и Ультра-ВРС, полученным при инженерных изысканиях на акватории Охотского моря.

3. По результатам анализа полученных результатов намечены пути совершенствования методики атрибутного анализа для решения задач инженерной геологии на основе применения высокоразрешающей сейсморазведки.

### **Список литературы**

1. Крылаткова Н.А. Атрибуты сейсмических волновых полей и их использование при решении задач инженерной геологии: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2008. 24 с.
2. Птецов С.Н. Анализ волновых полей для прогнозирования геологического разреза. М.: Недра, 1989. 135 с.
3. Самсонов Е.А. Сравнительная характеристика высокоразрешающей сейсморазведки при инженерных изысканиях на акваториях // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей. Материалы 39-ой сессии Международного научного семинара им. Д.Г. Успенского, Воронеж, 2012. С. 247–250.

## HIGH-RESOLUTION MARINE SEISMIC SURVEY IN ENGINEERING

### SURVEYS IN THE WATERS

*Gulenko V.I.<sup>1</sup>, Zakharchenko E.I.<sup>1</sup>, Samsonov E.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Kuban state University, Krasnodar, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Russian sea navigation and geodetic company Romona, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation*

*E-mail: evgenia-zax@yandex.ru, v\_gul@mail.ru, esamsonov@romona.ru*

This work is devoted to the actual task: increasing in efficiency of high-resolution marine seismic for engineering researches on sites of installation of offshore platforms.

The purpose of the work is comparative evaluation of efficiency to two modifications of engineering high-resolution marine seismic and analysis of the possibility of applying to seismic wave fields attributes for interpretation of the data. Valuation is made with the help of Epos Data Management program Paradigm's company by time section of Common depth point reflection profiling received by «Romona» development works in Sea of Okhotsk water areas.

The paper provides a comparative assessment of the effectiveness of two modifications of high-resolution marine seismic (HRV) applied to solving problems of engineering Geology. The calculation of attributes of seismic wave fields was performed using time sections of HRV and Ultra-HRV obtained during engineering surveys in the water area of the sea of Okhotsk. Based on the results of the analysis of the obtained results, ways to improve the methods of attribute analysis for solving the problems of engineering Geology based on the use of high-resolution seismic.

**Keywords:** high-resolution marine seismic survey, air gun array, the attributes of seismic records.

#### References

1. Krylatkova N.A. Atributy seismicheskikh volnovykh polej i ih ispol'zovanie pri reshenii zadach inzhenernoj geologii (The attributes of seismic wave fields and their use in solving problems of engineering Geology). PhD thesis. Ekaterinburg, 2008, 24 p. (in Russian).
2. Ptetsov S.N. Analiz volnovykh polej dlja prognozirovaniya geologicheskogo razreza (Analysis of wave fields for prediction of geological section). M.: Izdatelstvo Nedra, 1989, 135 p. (in Russian).
3. Samsonov E.A. Sravnitel'naja harakteristika vysokorazreshajushhej sejsmorazvedki pri inzhenernykh izyskaniyah na akvatorijah (Comparative characteristics of high-resolution seismic exploration in engineering surveys in water areas). Problems of theory and practice of geological interpretation of geophysical fields. Proceedings of the 39th session of the International scientific seminar D.G. Uspensky, Voronezh, 2012, pp. 247–250 (in Russian).

*Поступила в редакцию 10.08.2019*