



УДК 550.834

КОРРЕЛЯЦИОННОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЕВЫХ ВИБРОГРАММ С УЧЁТОМ ИСКАЖЕНИЙ ФАЗОВЫХ СПЕКТРОВ СВИП-СИГНАЛОВ

С. И. Михеев, Е. П. Санникова

Михеев Сергей Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, s.mixeev@gmail.com

Санникова Елена Павловна, аспирант кафедры геофизики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, sannikowaep@mail.ru

В статье рассмотрен оригинальный способ корреляционного преобразования виброграмм, учитывающий искажения опорных сигналов в средах с частотно-зависимым затуханием энергии упругих колебаний. На экспериментальном материале показано, что предложенный способ вычисления коррелограмм позволяет значительно повысить качество материалов вибросейса. Обсуждается также возможность вычисления данным способом декремента затухания, несущего значительный объем дополнительной информации о строении и свойствах геологического разреза.

Ключевые слова: корреляция, виброграмма, упругие колебания, коррелограмма, вибросейс, декремент затухания, геологический разрез.

Correlation Transformation of Field Vibrogram with the Account of Distorses of Phase Spectrum of Swip-signals

S. I. Mikheev, E. P. Sannikova

Sergey I. Mikheev, ORCID 0000-0003-4804-1242, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, s.mixeev@gmail.com

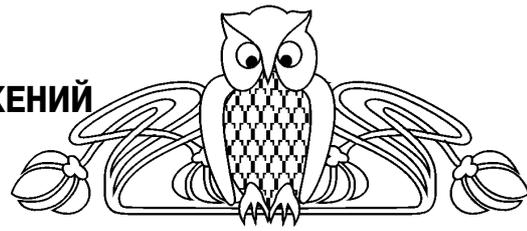
Elena P. Sannikova, ORCID 0000-0002-3658-0831, Saratov State University, 83, Astrakhanskaya Str., Saratov, 410012, Russia, sannikowaep@mail.ru

The original method of correlative transformation of vibrograms, which takes into account the distortion of reference signals in environment with frequency-dependent attenuation on the energy of elastic vibrations. The experimental material shows that the proposed method of calculating correlograms allows to significantly improve the quality of vibroseis materials. The possibility of calculating the attenuation decrement, which carries a significant amount of additional information on the structure and properties of the geological section, is also discussed.

Key words: correlation, vibrogram, elastic oscillations, correlogram, vibroseis, attenuation decrement, geological section.

DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-2-118-121

При распространении в реальных средах сейсмические сигналы испытывают значительные искажения [1, 2, 3]. Такие искажения в значительной мере определяются отличием реальных сред



от идеально упругих. Это приводит к поглощению энергии упругих колебаний, которая превращается в другие ее виды, главным образом в тепловую. Поглощение упругой энергии ведет к изменению формы и спектральной характеристики сейсмических сигналов.

В работе [1] показано, что наиболее значительные искажения формы сейсмического сигнала в средах с частотно-зависимым затуханием связаны не с изменением амплитуд гармоник спектров сигналов, а с изменением их фаз. Последние объясняются проявлением эффекта дисперсии скорости. Несмотря на бесспорность существования данного эффекта, в используемых при производстве сейсморазведочных работ способах преобразования виброграмм в коррелограммы искажения фазовых спектров опорных сигналов в среде не принимаются во внимание.

Для анализа возникающих в средах искажений сейсмического импульса $S(t)$ после прохождения им пути длиной l воспользуемся его представлением в виде интеграла Фурье:

$$S(t, l) = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(l, f) S(f) e^{i2\pi ft} df, \quad (1)$$

где f – частота; $\psi(l, f)$ – комплексная спектральная характеристика среды; $S(f)$ – комплексный спектр сигнала при $l = 0$.

Спектральную характеристику разреза запишем в показательном виде:

$$\psi(l, f) = \Phi(l, f) e^{iX(l, f)}, \quad (2)$$

где $\Phi(l, f)$, $X(l, f)$ – соответственно амплитудная и фазовая характеристика среды.

В соответствии с теоретическими и экспериментальными данными [1, 3] функция $\Phi(l, f)$ для проходящей волны может быть записана в виде

$$\Phi(l, f) = e^{-\alpha(f)l}. \quad (3)$$

Здесь $\alpha(f) = \alpha_n(f) + \alpha_n(f)$ – эффективный коэффициент затухания; α_n и α_n – частотно-зависимые коэффициенты поглощения и рассеяния на неоднородностях соответственно.

Коэффициент $\alpha(f)$ чаще всего увеличивается с частотой по линейному или по степенному закону. Поэтому амплитудная характеристика среды

$$\Phi(l, f) = e^{-\delta f^\eta l}, \quad (4)$$

где δ – декремент затухания; η – показатель степени.

Для наиболее обоснованной и чаще всего используемой минимально-фазовой модели среды



фазовую характеристику можно определить по амплитудной с использованием преобразования Гильберта:

$$X(l, f) = \frac{2f}{\pi} \int_0^{\infty} \frac{\ln \Phi(l, \nu)}{\nu^2 - f^2} d\nu, \quad (5)$$

где ν – текущее значение частоты колебаний.

На основе анализа и некоторых дополнительных преобразований формулы (5), подстановки результатов в (2) получено [1]:

$$\psi(l, f) = e^{-\delta f l - 2\pi f l \left[1/V(f_0) + \frac{\delta}{\pi^2} \ln \frac{f}{f_0} \right]}. \quad (6)$$

Формула (6) описывает фильтрующее действие среды на сейсмические сигналы. В сложившейся практике отмеченные искажения учитываются лишь частично. Принимаются во внимание искажения амплитуд гармоник частотного спектра. Вместе с тем, как уже отмечалось, наиболее значительные искажения сейсмических сигналов в реальных средах связаны с изменением фаз гармонических составляющих их спектра.

В практике вибросейса искажения фазовых спектров опорных сигналов в среде не учитываются [4, 5]. Как следствие, нарушаются условия оптимального выделения сигналов в импульсной форме на коррелограммах. Рассмотрим это на примере наиболее распространенного в вибрационной сейсморазведке линейного частотно-модулированного сигнала:

$$S(t) = A(t) \cos \{2\pi [f_n + (f_k - f_n) t/2T] t + \varphi(t)\}. \quad (7)$$

Спектр этого сигнала

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} A(t) \cos \{2\pi [f_n + (f_k - f_n) t/2T] t + \varphi(t)\} e^{-i\omega t} dt. \quad (8)$$

Здесь f_n, f_k – начальная и конечная частота управляющего сигнала; $A(t)$ – максимальная амплитуда сигнала; ΔF – полоса частот; $T, \varphi(t)$ – длительность и фаза сигнала соответственно.

При обработке данных вибросейса вначале вычисляется функция взаимной корреляции ФБК(t) наблюдаемой виброграммы и опорного сигнала:

$$\text{ФБК}(t) = (1/T) \int_0^T S(t) S_{\Sigma}(t + \tau) d\tau, \quad (9)$$

где $S_{\Sigma}(t)$ – виброграмма.

При реализации вычислений по формуле (9) полагают неизменность опорного сигнала для всех временных интервалов виброграммы. Таким образом, в поле регистрируются искаженные в среде сигналы, но в качестве «эталона» при корреляционном преобразовании виброграмм применяется неискаженный (заданный геофизиком) свип. Очевидно, что отличие «эталона» от зарегистрированного сигнала будет тем больше, чем больше коэффициент $\alpha(f)$ и чем длиннее путь прохождения волны от источника до приемника. Экспериментально доказано, что длины опорных сигналов в результате проявления дисперсии скорости могут меняться на величину примерно 1%

на удалении менее 100 м даже для относительно низких частот 10–40 Гц.

Очевидно, что для того чтобы учесть влияние возникающих в реальных средах искажений свип-сигналов, необходимо предварительно эти искажения теоретически либо экспериментально оценить. Для такой оценки, например, можно использовать формулу (6). В ней содержатся характеристики, которые можно определить экспериментальным путем. Далее, вычислив по обсуждаемой формуле спектральную характеристику среды, можно внести в амплитуды и фазы гармоник спектра опорного сигнала соответствующие изменения перед процедурой корреляционного преобразования виброграмм. В практических ситуациях при реализации описанного подхода декремент затухания достаточно легко определить перебором значений δ , как это делается при анализе $V_{\text{отт}}$. Критерием оптимальности при подборе δ может служить широко распространенная в практике сейсморазведки количественная оценка качества сейсмического материала.

Эффективность учета искажений опорных сигналов при распространении их в средах с частотно-зависимым затуханием предложенным способом иллюстрируется монтажом коррелограмм (рис. 1), полученных в пределах Степновского сложного вала (Саратовская область). Результаты стандартной корреляции, а также корреляции с неоптимально и оптимально подобранными параметрами показаны на рис. 1. Выигрыш в прослеживаемости отражений и разрешенности сейсмической записи очевиден даже в случае использования при расчетах неоптимального значения δ .

Отметим, что рис. 1 иллюстрирует также процедуру подбора оптимального свипа для корреляционного преобразования. Графики отношений сигнал/помеха, вычисленные при различных декрементах затухания и использованные при оптимизации коррелограмм, показаны на рис. 2. На указанных графиках прослеживается уменьшение значений оптимальных значений δ по мере увеличения времени регистрации волн, что соответствует экспериментальным данным об уменьшении поглощения сейсмической энергии в разрезе с ростом глубины залегания пород. Таким образом, отмеченная закономерность в поведении δ косвенно свидетельствует об адекватности использованной при расчетах модели затухания энергии сейсмических волн физическим явлениям и процессам в реальных средах.

Важно отметить, что определяемый при оптимизации процедуры корреляционного преобразования декремент затухания имеет большое самостоятельное значение. Действительно, коэффициент δ широко применяется в задачах прогнозирования состава и свойств геологического разреза, особенно при выявлении нефтегазоносных объектов. Он может быть рекомендован

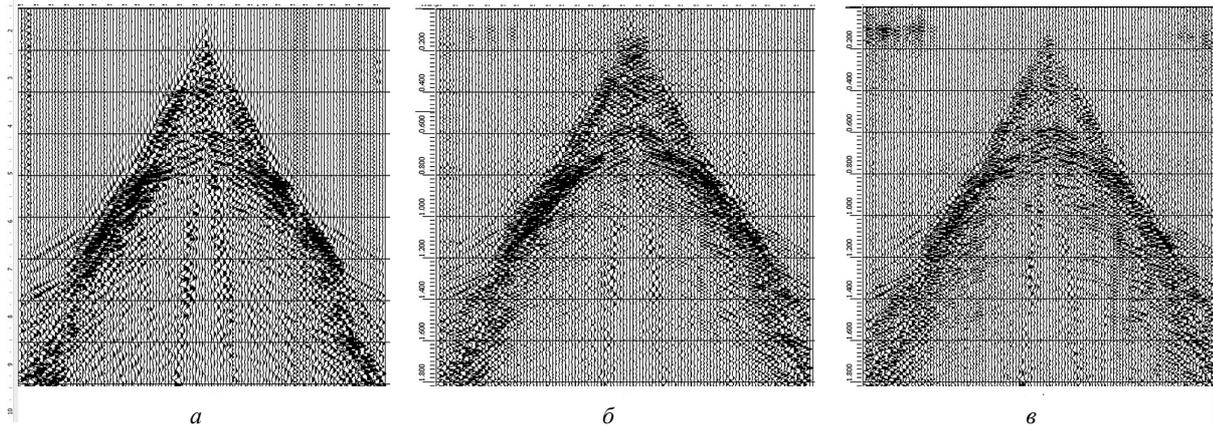


Рис. 1. Иллюстрация эффективности процедуры подбора параметров корреляционного преобразования: *a* – вариант корреляционного преобразования без учета дисперсии скоростей; *b*, *v* – варианты корреляционного преобразования с учетом дисперсии скоростей в случае задания неоптимальных и оптимальных параметров затухания соответственно

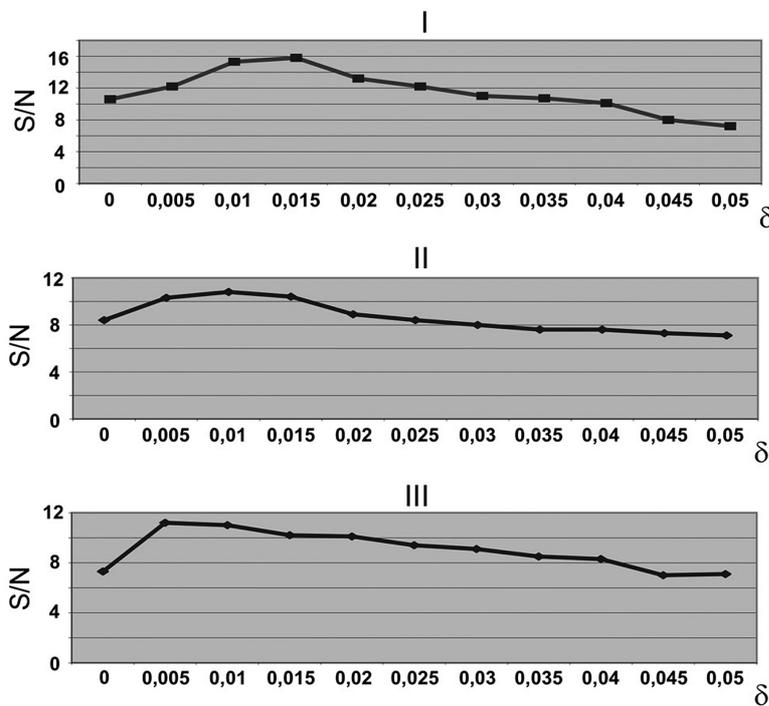


Рис. 2. Монтаж оценок отношения сигнал/помеха (S/N), вычисленных по коррелограммам во временных окнах: $T_0 = 0.2\text{c} - 5\text{c}$ (I), $5\text{c} - 9\text{c}$ (II) и $9\text{c} - 18\text{c}$ (III)

для внедрения в практику сейсморазведки при нефтегазопроисловых работах.

Таким образом, рассмотренный в статье способ учёта искажений свип-сигналов в среде позволяет повысить качество сейсмических материалов, а также оригинальным способом вычислить декремент затухания сейсмической энергии, несущий дополнительную информацию о свойствах геологического разреза. Широкому внедрению описанного способа повышения качества и информативности данных вибросейса будет препятствовать то обстоятельство, что сейчас корреляционное преобразование осуществляется

в полевых условиях по стандартным алгоритмам. В результате в стационарные вычислительные центры представляются коррелограммы, не пригодные для нестандартных преобразований и оригинальных методов анализа экспериментальных данных. По нашему мнению, сложившуюся практику следует менять. Необходимо поставлять с поля не коррелограммы, а виброграммы. Это позволит извлекать из полевых материалов значительный объём дополнительной информации о строении и свойствах изучаемых разрезов описанным или другими новыми способами обработки сейсмических данных.



Библиографический список

1. *Авербух А. Г.* Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке. М. : Недра, 1982. 232 с.
2. *Мушин И. А., Бродов Л. Ю., Козлов Е. А.* Структурно-формационная интерпретация сейсмических данных. М. : Недра, 1990. 229 с.
3. Сейсморазведка : справочник геофизика : в 2 т. / под ред. В. П. Номоконова. 2-е изд. М. : Недра, 1990. Т. 1. 360 с.
4. *Жуков А. П., Колесов С. В., Шехтман Г. А., Шнеерсон М. Б.* Сейсморазведка с вибрационными источниками. Тверь : ООО «Изд-во ГЕРС», 2011. 412 с.
5. *Кострыгин Ю. П.* Вибросейсмический и кодоимпульсный методы сейсмической разведки. Краснодар : Просвещение-Юг, 2014. 494 с.

Образец для цитирования:

Михеев С. И., Санникова Е. П. Корреляционное преобразование полевых виброграмм с учётом искажений фазовых спектров свип-сигналов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 118–121. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-2-118-121.

Cite this article as:

Mikheev S. I., Sannikova E. P. Correlation Transformation of Field Vibrogram with the Account of Distortions of Phase Spectrum of Swip-signals. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 118–121 (in Russian). DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-2-118-121.