

УДК 553.9; 51-74

**А.Е. Руннова, А.А. Короновский, А.В. Иванов, А.Н. Павлов,
С.А. Куркин, И.А. Яшков, А.Е. Храмов**

**ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОГО ВЕЙВЛЕТНОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЛНОВЫХ КОМПОНЕНТ
ЦИФРОВЫХ ДАННЫХ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ**

Представлены результаты изучения различных возможностей адаптации непрерывного вейвлетного анализа для диагностики характерных компонент сейсмической записи цифровых данных наземной сейсморазведки. Предложены методы построения численных базисов непрерывного вейвлетного преобразования на основе геофизических данных. Приведены результаты обработки экспериментальных данных.

Вейвлетный анализ, цифровой сигнал, сейсморазведка, звуковые и поверхностные волны

**A.E. Runnova, A.A. Koronovskii, A.V. Ivanov, A.N. Pavlov,
S.A. Kurkin, A.I. Yashkov, A.E. Khramov**

**ADAPTIVE WAVELET ANALYSIS FOR DIAGNOSING VARIOUS WAVE COMPONENTS
OF THE DIGITAL DATA FOR SEISMIC PROSPECTING**

The article deals with the study of the various adaptation possibilities referring the continuous wavelet analysis for diagnosing specific wave components of the seismic digital data. The methods for constructing the continuous wavelet transform bases founded on the experimental geophysical data are developed. The results of the experimental data are presented.

Wavelet analysis, digital signal, seismic prospecting, sound and surface waves

На сегодняшний день потребности современной промышленности и экономики в энергетических ресурсах не перестают возрастать, приводя к необходимости повышения уровня эффективности методов поиска, добычи и эксплуатации запасов таких невозобновляемых источников энергии, как нефть и газ. Нефть и природный газ являются одними из основных полезных ископаемых, которые использовались человеком еще в глубокой древности. Особенно быстрыми темпами добыча нефти стала расти после того, как для ее извлечения из недр земли стали применяться буровые скважины. Отметим, что хотя в современном понимании нефтяная промышленность в разных странах мира существует всего 110-140 лет, за этот отрезок времени добыча нефти и газа увеличилась более чем в 40 тысяч раз. В 1860 г. мировая добыча нефти составляла всего 70 тысяч тонн, в 1970 г. было извлечено 2280 миллионов тонн, а в 1996 г. уже 3168 миллионов тонн. Быстрый рост добычи связан с условиями залегания и извлечения этого полезного ископаемого. Нефть и газ приурочены к осадочным породам и распространены регионально. Причем в каждом седиментационном бассейне отмечается концентрация основных их запасов в сравнительно ограниченном количестве месторождений. Все это с учетом возрастающего потребления нефти и газа в промышленности и возможностью их быстрого и экономичного извлечения из недр делают эти полезные ископаемые объектом первоочередных поисков. Целью поисково-разведочных работ является выявление, оценка запасов и подготовка к разработке промышленных залежей нефти и газа. В ходе поисково-разведочных работ применяются геологические, геофизические, гидрогеохимические методы, а также бурение скважин и их исследование. В настоящее время одним из лидирующих способов поисково-разведочных работ и методов исследований строения земной коры является сейсмическая разведка [1-3]. Хорошо известны недостатки первичного этапа полевых работ сейсмогеологических исследований, а именно, высокая стоимость и относительная

экологическая небезопасность, которые, однако, вполне компенсируются достижением высокой детальности при большой глубинности приобретаемой в ходе информации о земных недрах. Вместе с тем, окончательный результат прогнозирования литологического состава и нефтегазоносности изучаемого участка недр определяется не только наличием фактических первичных материалов, но и качественным проведением камеральных геофизических работ – обработки и интерпретации. Получение сейсмогеологической информации из полевых данных ведется путем обработки экспериментальных временных рядов с постоянным интервалом дискретизации, записанных с помощью современной аппаратуры цифровой регистрации сейсмических данных. Геофизики традиционно работают в частотной области 0-150 Гц, причем чаще всего в низкочастотной части этого диапазона. Отметим, что стоимость камеральных исследований может быть весьма высока даже для сухопутных сейсморазведочных работ сравнительно небольшого количественного объема и достигать стоимости проведения полевых экспериментов. Кроме того, с каждым годом перед специалистами в области обработки и интерпретации геофизических данных сейсмической разведки встают всё более и более сложные задачи, определяемые тем, что потребности в освоении новых месторождений, доразведки старых и изучения геологического строения района постоянно растут, а все наиболее простые и «лежащие на поверхности» объекты уже открыты, и, кроме того, все время повышается актуальность проблемы разработки малотолщинных пластов по мере выработки запасов нефти основных пластов [4, 5]. Хорошо известно, что ввод в активную разработку малотолщинных пластов является существенным резервом замедления темпа падения добычи нефти на месторождении. При этом получение искомой геолого-геофизической информации о разрезе базируется на решении обратной задачи теории сейсморазведки – задачи определения сейсмогеологических параметров среды на изучаемой территории по наблюдаемому в ходе экспериментальных полевых работ полю упругих волн. Успешное решение обратной задачи теории сейсморазведки зависит от многих факторов, в первую очередь, соответствующего уровня проведения полевых работ, а затем наличия априорной информации о геологическом разрезе, уже имеющихся геофизических исследований и т.д. Однако современное развитие вычислительной техники, математического аппарата теории обработки сложных и случайных зашумленных данных и, соответственно, программных обрабатывающих комплексов позволяют говорить о принципиальной важности фактора качественной обработки сейсмоматериалов, позволяющей на новом уровне произвести геологическую интерпретацию результатов сейсмического профилирования и составить прогноз нефтегазоносности исследуемой территории.

На сегодняшний день мировым стандартом обработки геофизических данных, полученных в результате сейсмогеологических исследований земной коры, является динамический подход, основанный на одновременном количественном и качественном анализе как времени прихода, так и формы и интенсивности зарегистрированных сейсмических колебаний. Динамическая обработка позволяет достигнуть существенного повышения разрешения и точности методов сейсморазведки для изучения продуктивных пластов мелких залежей и завершения изучения старых площадей, а также делает возможным получение достоверных сведений не только о форме сейсмических границ, но и о характере распределения во всем разрезе акустической жесткости и коэффициентов поглощения упругих волн. Получаемые в ходе выполнения качественной динамической обработки достоверные геофизические сведения позволяют извлечь из материалов сейсморазведки дополнительную информацию о тонких особенностях строения изучаемой геологической среды, в частности, становится возможно восстановить историю формирования осадочной толщи в районе исследований, изучить детальные особенности структуры геологических границ и фациального состава отдельных слоев, установить наличие и тип флюидов в слоях и т. п. [6-8]. Очевидно, что динамический подход к исследованию недр требует и соответствующего уровня методов и подходов к обработке материалов полевых работ – правильного сейсмического профилирования и соответствующего качественного «отстрела» профилей с обязательным наличием каротажа [9].

Теория динамического подхода к обработке сейсмических данных постоянно обогащается новыми методами и подходами к анализу временных рядов, которые основаны на новых математических алгоритмах и подходах, уже апробированных в других областях естественных наук (например, в нелинейной физике, биологии и радиофизике) [10]. Такая ситуация постоянных улучшений и модернизации существующего теоретико-математического аппарата обработки геофизических данных о земной коре связана, во-первых, со сложностью самих данных, являющихся конгломератором регулярных волн-помех разнообразной природы, случайных сигналов и полезных данных, требующих рассмотрения и изучения в много- и одноканальных комбинациях для решения всего комплекса стоящих задач. Во-вторых, современное состояние запасов и темпов освоения

нефтяных месторождений обуславливает необходимость существенного повышения разрешенности и точности методов сейсморазведки для изучения продуктивных пластов мелких залежей и доизучения старых площадей уже известных продуктивных территорий.

Одним из наиболее перспективных в применении из апробированных на сегодня новых математических методов к задачам поисковой сейсмической геофизики является вейвлетный анализ. В [10, 11] предоставлены результаты разработок различных методов диагностики и фильтрации волновых компонент на полевых данных наземной сейсмической разведки МОВ МОГТ на основе непрерывного вейвлетного анализа. Среди основных достоинств разрабатываемых на основе вейвлетных преобразований методов можно особо подчеркнуть следующие: принципиальные возможности автоматизации процесса обработки и одноканальности разработанных алгоритмов, незначительные затраты машинного времени, высокая точность и устойчивость к шумам.

Настоящая статья посвящена вопросам адаптации вейвлетного преобразования к конкретным задачам геофизической разведки и к характерным особенностям цифровых сигналов, получаемых в результате проведения наземной сейсмической съемки. Непрерывное вейвлетное преобразование с комплексным материнским вейвлетом для хаотического временного ряда $x(t)$ осуществляется [12]:

$$W(s, t_0) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi_{s, t_0}^*(t) dt \quad (1)$$

где $\psi_{s, t_0}(t)$ – вейвлетная функция, получающаяся из материнского вейвлета:

$$\psi_{s, t_0}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi_0\left(\frac{t - t_0}{s}\right). \quad (2)$$

Параметр s , называемый масштабом вейвлетного преобразования ($s \in \mathbb{R}^+$), отвечает за ширину вейвлета $\psi_{s, t_0}(t)$, а $t_0 \in \mathbb{R}$ – параметр сдвига, определяющий положение вейвлета на временной оси t . В формуле (1) символ «*» означает комплексное сопряжение. Необходимо отметить, что при проведении вейвлетного анализа термин «временной масштаб» используется вместо термина «частота», традиционного для Фурье-анализа.

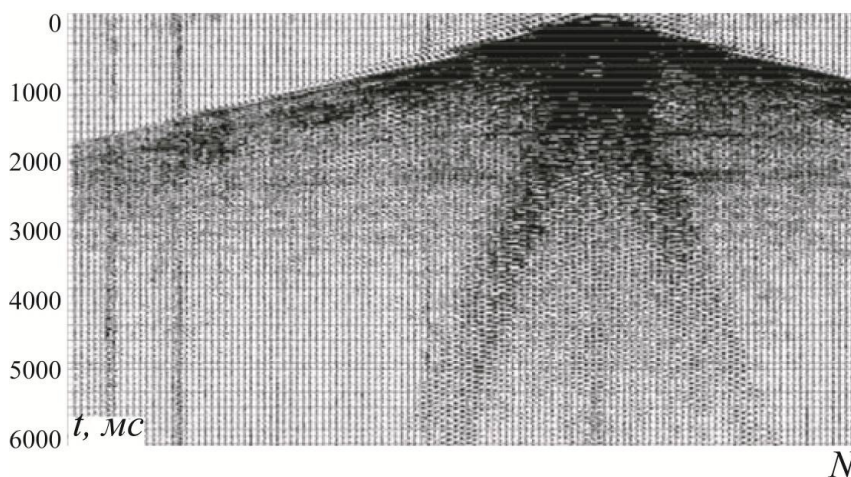


Рис. 1. Сейсмограмма общего пункта возбуждения волнового поля первичного полевого материала, отработанного на территории Узбекистана. По оси абсцисс отложен номер трассы N , по оси ординат – время t

Очевидно, что возможности анализа сигналов на основе конкретного вейвлетного преобразования целиком будут определяться видом и свойствами материнского вейвлета. Известен достаточно обширный ряд классических базовых вейвлетных функций, хорошо зарекомендовавших себя для изучения сложных нестационарных сигналов различной природы. Среди наиболее распространенных и универсальных по своим возможностям классических материнских вейвлетов можно выделить следующие базисные функции: морлет-вейвлет, МНАТ-вейвлет; паул-вейвлет [12-15]. В представленной статье приведены результаты расчетов вейвлетных спектральных и фазовых характеристик материалов сейсморазведки на основе различных базисных функций. Проведенная затем геофизическая интерпретация полученных результатов позволила совершить оптимальный выбор

параметров вейвлетного преобразования для различных задач, стоящих перед обработкой и интерпретацией сейсмических материалов.

В качестве тестовых материалов для проведения вышеуказанных расчетов были выбраны первичные полевые материалы, отработанные на территории Узбекистана. На рисунке 1 представлен внешний вид сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ) исследуемого полевого материала. Территория полевых исследований принадлежит западной равнинной части Узбекистана. Сейсмогеологические условия участка работ весьма удобны для расчета вейвлетных спектральных и фазовых характеристик материалов, поскольку влияние верхней части разреза (ВЧР) на глубинные отражения практически отсутствует. Сразу же можно ориентировочно идентифицировать зарегистрированные четыре отраженных волны от различных сейсмогеологических границ. Для большей наглядности на рис. 2 приведена та же сейсмограмма ОПВ после проведения одноканальной процедуры автоматической регулировки усиления (АРУ), на которой выделены времена регистрации сигналов, свидетельствующих о наличии отражающих горизонтов в геологической среде. Для проведения цифровых исследований были выбраны трассы пунктов приема (ПП) №№ 85 и 87, время записи которых содержит полезную информацию, шумовой сигнал и сигналы помехи, в частности, зарегистрированные поверхностные и звуковые волны. Рассчитанный вейвлетный спектр $W(t_0, s) = |W(t_0, s)|e^{-j\varphi_W(t_0, s)}$ одномерного временного ряда представляет собой две поверхности амплитуды $|W|$ и фазы φ_W коэффициентов вейвлетного преобразования в трехмерном пространстве.

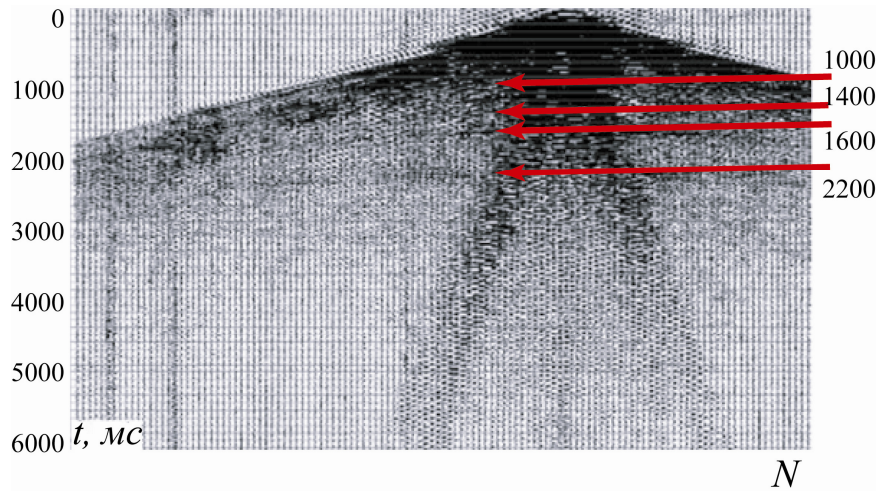


Рис. 2. Сейсмограмма общего пункта возбуждения волнового поля полевого материала, отработанного на территории Узбекистана, после проведения одноканальной потрассной процедуры автоматической регуляции амплитуд. По оси абсцисс отложен номер трассы N , по оси ординат – время t

На рис. 3 представлен временной ряд данных, составляющих полевой материал, снятый в ПП № 85 при выбранном ПВ и результаты построения соответствующих проекций распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученных с помощью различных базисных вейвлетных функций (морлет-вейвлета (а), МНАТ-вейвлета (б); паул-вейвлета (в)). На рисунке 4 представлены результаты аналогичного исследования, проведенные для трассы № 87. Отметим, что наилучшее разрешение по частоте предоставляет использование в качестве материнской функции – морлет-вейвлета:

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} \exp(j\omega_0\eta) \exp(-\eta^2/2), \quad (3)$$

где ω_0 – параметр вейвлета. Очевидно, что при увеличении ω_0 будет расти локализация представления результатов в Фурье-пространстве, но будет ухудшаться разрешение данных в реальном времени [12, 16].

Наилучшую локализованность наблюдающихся волновых компонент во времени демонстрирует применение вейвлетного анализа с действительным базисным МНАТ-вейвлетом:

$$\psi_0(\eta) = \frac{(-1)^{m+1} j^m m!}{\left[\Gamma\left(m + \frac{1}{2}\right)\right]^{0.5}} \frac{d^m}{d\eta^m} e^{-\frac{\eta^2}{2}}, \quad (4)$$

где материнский вейвлет, соответствующий $m=2$ и называется МНАТ-вейвлетом (Mexican Hat – «Мексиканская шляпа»).

Отметим, что, кроме перечисленных базисных функций, широкой популярностью пользуется вейвлет Паула:

$$\psi_0(\eta) = \frac{2^m j^m m!}{\sqrt{\pi(2m!)}} (1 - j\eta)^{-(m+1)}, \quad (5)$$

где m – порядок вейвлета.

Для задач анализа особенностей опытных сигналов сейсморазведки оптимальным выбором параметров вейвлетного преобразования представляется использование материнского морлет-вейвлета. Параметр базиса для расчета всех вейвлетных характеристик геофизических данных выбран $\omega_0 = 6.0$, позволяющий, в первую очередь, произвести лёгкое сравнение результатов с классическим фурье-анализом [17], а во-вторых, обеспечивающий вполне достаточную дискретизацию как в частотной, так и во временной областях. Отметим, что сильная локализованность волновых компонент во временной области, достигаемая применением вейвлетного преобразования с действительным базисным МНАТ-вейвлетом, является для данной задачи нефизичным решением и «ловит» малые дребезжания, лишь затрудняющие проведение геофизической интерпретации рассчитанных характеристик. Однако для некоторых задач, например, изучения полевого материала, отработанного для глубинных геологических сред, характеризующихся большим количеством тонких пластов, наличием сложных разрывов и т.д., вопрос дискретизации материала может стоять весьма остро. В таких случаях вейвлетный анализ на МНАТ-базисе может быть полезен для поиска и разделения слабых, практически сливающихся при обработке отражений. Оценив временной диапазон, в котором по результатам вейвлет-МНАТ-анализа можно предполагать наличие зарегистрированных волн от близко расположенных отражающих геологических границ, геофизик может провести более тщательный подбор кинематического закона на этих глубинах и, возможно, действительно обнаружить искомые отражающие границы.

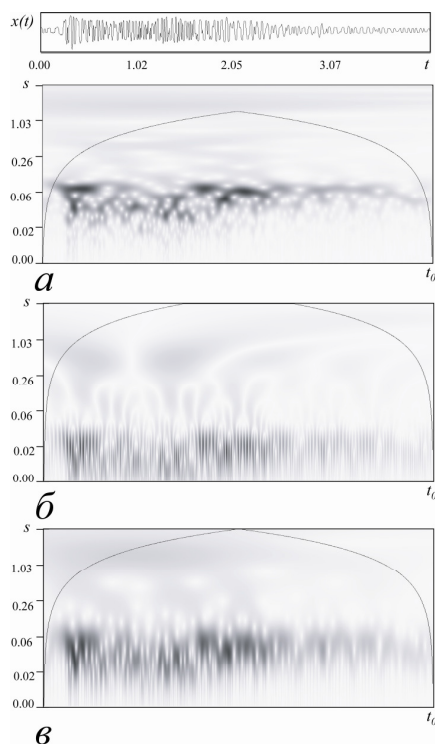


Рис. 3. Временная реализация, полученная регистрацией в ПП № 85 сейсмического отклика геологической среды на взрыв, проведенный в выбранном ПВ (см. рис. 1), соответствующая проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного морлет-вейвлета ($\omega = 6.0$) (а); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным МНАТ-вейвлетом (б); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным паул-вейвлетом (в). Длительность временной реализации $N = 2^{11}$ отсчетов, $\Delta t = 0.002$. Конус отмечает область влияния краевых эффектов

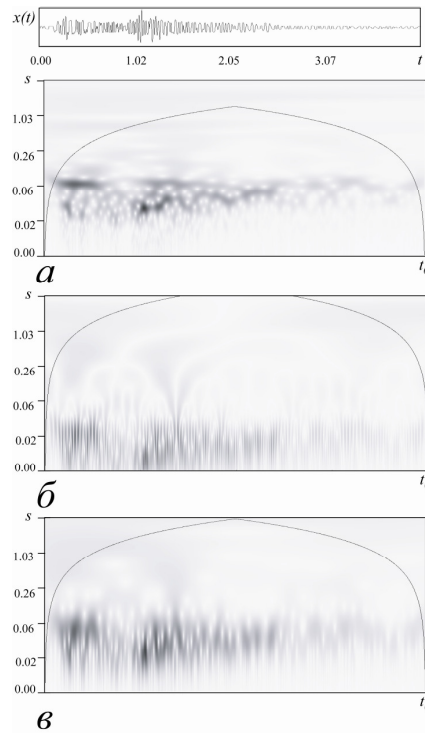


Рис. 4. Временная реализация, полученная регистрацией в ПП № 87 сейсмического отклика геологической среды на взрыв, проведенный в выбранном ПВ (см. рис. 1), соответствующая проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученная с помощью базисного морлет-вейвлета ($\omega = 6.0$) (а); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным МНАТ-вейвлетом (б); проекция распределения амплитуды вейвлетного преобразования с базисным паул-вейвлетом (в). Длительность временной реализации $N = 2^{11}$ отсчетов, $\Delta t = 0.002$. Конус отмечает область влияния краевых эффектов

Теперь рассмотрим вопрос о возможности построения вейвлетного материнского базиса на основе теоретических представлений о форме сейсмического импульса. Заметим, что поскольку фокус внимания наших исследований нацелен на изучение материалов наземной сейсмической разведки, полученной в результате невзрывных работ, импульс отраженной волны, регистрируемой сейсмоприемником, стремится к нуль-фазовому виду, описываемому в идеальном случае например, импульсом Пузырева [2, 3, 18, 19]:

$$U(t) = U_0 e^{-\beta t} \cos(2\pi f t). \quad (6)$$

В случае классического импульса Пузырева можно утверждать, что идеальной базисной функцией для проведения анализа на основе вейвлетного преобразования является материнский вейвлет Морле, практически повторяющий в своей действительной части форму импульса Пузырева или, иными словами, адаптивно настроенный на форму такого идеального сигнала. Также хорошо подходят для изучения сейсмических данных МНАТ- и Паул-вейвлеты. Однако с другой стороны, очевидно, что для реальных сейсмических данных нельзя утверждать абсолютное преобладание нуль- или минимально-фазового состояния зарегистрированных сейсмоприемником колебаний [3]. К сожалению, вид сейсмического импульса очень сильно зависит как от записывающей и передающей аппаратуры, так и от непосредственных сейсмических свойств геологической среды. Это свидетельствует, с одной стороны, о крайней сложности проблемы, с другой – также и о недостаточном количестве экспериментальных работ, которые нужны для ее разрешения, в которых влияние, оказываемое искажениями, изучалось бы при соблюдении постоянства всех прочих факторов и самые эти искажения строго контролировались. Таким образом, по большому счету, в каждом конкретном случае, если необходимо точное знание о характере импульса на сейсмозаписях (например, для решения прямой задачи геофизики и моделирования геологических разрезов), приходится проводить его прямую оценку из сейсмического материала. Определение формы импульса отраженной волны на конкретной сейсмической записи является весьма непростой задачей. Иногда выполняют наблюдения с целью регистрации прямой (падающей) волны, за счет которой образуются отражения. Однако возможности записи прямой волны во внутренних точках среды

ограничены необходимостью иметь скважины для проведения вертикального сейсмического профилирования (ВСП). В этом отношении более благоприятны условия при морской сейсморазведке, где проще обеспечить во время профилирования регистрацию прямой волны от источника.

В качестве альтернативного варианта выбора вейвлетного базиса, оптимизированного для конкретных сейсмогеологических условий, можно предложить численное конструирование адаптивных вейвлетов на основе отрезков анализируемых временных рядов. Подобный адаптивный вейвлетный базис служит для выделения из сигналов (в том числе и в присутствии шумов) тех или иных характерных особенностей и структур. В ходе наших исследований использовалась следующая процедура построения комплексной вейвлетной функции на основе временного ряда $x(t)$. В качестве временного ряда выбирался характерный для данной площади работ сигнал на среднем удалении от ПВ.

Выделим характерный временной масштаб τ (или соответствующую ему частоту $\omega_\tau = 2\pi/\tau$) нерегулярного нестационарного процесса $x(t)$. В случае периодических колебаний τ совпадает с периодом колебаний. В случае исследуемых нерегулярных временных рядов геофизической природы величина τ будет сильно варьироваться для различных колебаний, суперпозицией которых данный сигнал является. В частности, разнообразные регулярные помехи и полезные отклики от отражающих геологических границ будут иметь различные характерные частоты ω_τ , что даёт возможность тонкой настройки вейвлетного преобразования для конкретных задач диагностики, стоящих перед геофизиком. Далее, определившись с периодом τ искомым колебаний, выберем некий отсчет t_0 во временной реализации сигнала $x(t)$, относительно которого будем строить вейвлетный базис. Реальная и мнимая части вейвлетной функции будут строиться в соответствии со следующими формулами [12, 15, 20]:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \psi(t) &= \pi^{-1/4} \left\langle x(t-t_0) \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(t-t_0)^p}{(n\tau)^p} \right) \right\rangle, \\ \operatorname{Im} \psi(t) &= \pi^{-1/4} \left\langle x(t-t_0 + \tau/2) \exp \left(-\frac{1}{2} \frac{(t-t_0)^p}{(n\tau)^p} \right) \right\rangle, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\langle \dots \rangle$ обозначает операцию удаления среднего значения для удовлетворения условия нулевого среднего, n и p – параметры вейвлета. Из формулы (7) видно, что параметр t_0 вейвлета характеризует отрезок ряда $x(t)$, который оказывает наибольшее влияние на вейвлетный спектр $W(t, s)$. Таким образом, вейвлетное преобразование с базисом (7) позволит эффективно выделять из сигнала участки длиной $\Delta t \approx 4\pi\tau$, которые будут «похожи» или «однородны» с участком временного ряда $x(t)$, где $t \in (t_0 - 2\pi\tau, t_0 + 2\pi\tau)$.

На рис. 5 продемонстрированы результаты расчета адаптивных вейвлетных функций (7) по трассе ПП № 85 при выбранном ПВ (см. рис. 1, 2). Видно, что в зависимости от выбора t_0 при сохранении всех остальных параметров неизменными вид вейвлетной функции сильно меняется и определяется видом волновой компоненты, преобладающей на соответствующем временном интервале. На рис. 5а показан вид вейвлет-базиса, построенного по данным временной реализации, отвечающим первому сильному отраженному отклику на 1000-1100 мс, рис. 5б демонстрирует аналогичную вейвлетную функцию, рассчитанную по временному интервалу вблизи 1400 мс отражения от второго характерного горизонта.

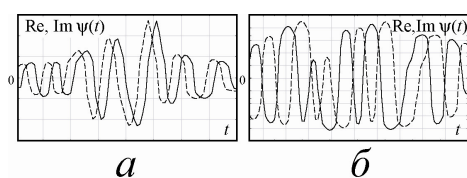


Рис. 5. Вид адаптивных численно рассчитанных вейвлетных базисов (7) на основе временного ряда из трассы ПП № 85. Параметры n и p на рисунках а и б одинаковы и выбраны равными 2 и 4, соответственно

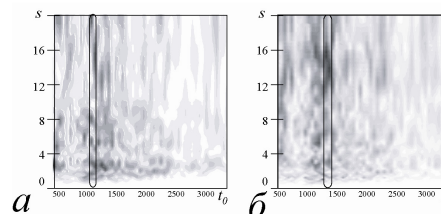


Рис. 6. Проекция распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученные с помощью адаптивных вейвлет-базисов, для трассы ПП № 85: а – вейвлет-базис рассчитан вблизи $t_0 = 1050$ мс; б – вейвлет-базис рассчитан вблизи $t_0 = 1454$ мс

На рис. 6 приведены результаты построения соответствующих проекций распределения амплитуды $|W(t_0, s)|$ вейвлетного преобразования, полученных с помощью созданных адаптивных базисных вейвлетных функций для трассы № 85. Хорошо видно, что разработанные базисы позволяют осуществить «тонкую» настройку вейвлетного преобразования на определенные волновые

особенности и позволяют легко диагностировать искомые участки геофизических сигналов, а именно время прихода целевых отражений от первой и второй отражающих геологических границ.

Итак, подытоживая вышесказанное, оценим адекватный выбор вида материнской вейвлетной функции для проведения анализа сложных данных геофизической сейсмической разведки. Для решения задач анализа, фильтрации и обработки данных форма функции базисного вейвлета должна выбираться наиболее близкой к форме сейсмического импульса. Для данных, полученных путем проведения наземной сейсмической вибрационной разведки, форма сейсмического импульса оказывается хотя и близкой к нуль-фазовой, но с несколько смещенным из центра максимум и возрастанием энергии импульса в начальной его части. Иными словами, полевой материал демонстрирует далеко не идеальный случай нуль-фазового импульса, далёкий от модельных сигналов. Таким образом, становится очевидным, что построение вейвлетного анализа на основе базисных функций, построенных на основе идеальных сейсмических импульсов (например, импульс Рикера), по своим свойствам будет аналогично применению вейвлетного анализа на классических базисных функциях (таких как вейвлет Морле или Паула). Наилучший результат выделения различных волновых компонент, наблюдаемых на сейсмозаписях, предоставит вейвлетный анализ, подстраивающийся под каждый конкретный полевой материал, демонстрирующий конкретно свой уникальный тип смещения минимально- и нуль-фазовых импульсов, для которого базисная функция будет создаваться путем численного моделирования формы выбранного характерного для конкретных сейсмоматериалов волнового паттерна. Однако такой путь численной оценки формы сейсмического импульса доступен лишь для высококогерентных полевых материалов, характеризующихся высоким качеством полевой отработки, безупречным проведением первичной обработки (например, изучение и учёт влияния зоны ВЧР), хорошей зоной непосредственной просматриваемости целевых отражений и т.д. Иными словами, для условий реальных полевых испытаний в сложных петрофизических и сейсмогеологических условиях, затрудненных возможными погодными и технологическими факторами, возможности такого метода представляются крайне затрудненными, а использование универсального математического аппарата оказывается более выгодным.

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение 14.B37.21.0632).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке / А.Г. Авербух. М.: Недра, 1982.
2. Бондарев В.И. Основы обработки и интерпретации данных сейсморазведки / В.И. Бондарев, С.М. Крылатков. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001.
3. Yilmaz O. Seismic Data Analysis / Yilmaz O. V. I, II. USA: Tulsa, Society of Exploration Geophysicists, 2001.
4. Корпеев В.А. Прогнозирование объектов для поисков залежей углеводородного сырья по сейсмогеологическим данным / В.А. Корпеев. Тюмень: ТюмГНГУ, 2000.
5. Конторович С.А. Сейсмогеологические адаптивные методы прогноза качества коллекторов и подготовки сложнопостроенных ловушек нефти и газа в верхней юре центральных и южных районов Западной Сибири (горизонт Ювасюганской свиты) / С.А. Конторович, С.А. Бердникова, Л.М. Калинина, А.А. Поляков // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 79-90.
6. Корягин В.В. Математическое моделирование в сейсморазведке / В.В. Корягин, Ю.П. Сахаров. М.: Наука, 1988.
7. Нежданов А.А. Геологическая интерпретация сейсморазведочных данных / А.А. Нежданов. Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 2000.
8. Корягин В.В. Проблемы структурной сейсморазведки / В.В. Корягин. Самара: СНЦ РАН, 2006.
9. Потапов О.А. Технология полевых сейсморазведочных работ / О.А. Потапов М.: Недра, 1987.
10. Успехи и перспективы применения вейвлетных преобразований для анализа нестационарных нелинейных данных в современной геофизике / А.Е. Филатова, А.Е. Артемьев, А.А. Короновский, А.Н. Павлов, А.Е. Храмов // Изв. вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2010. Т. 18. № 3. С. 3.
11. Филатова А.Е. Применение вейвлетного преобразования для диагностики волн-помех звукового и поверхностного типов по цифровым данным наземной сейсморазведки / А.Е. Филатова, А.А. Овчинников, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // Вестник ТГУ. 2010. Т. 15. № 2. С. 524.
12. Короновский А.А. Непрерывный вейвлетный анализ и его приложения / А.А. Короновский, А.Е. Храмов. М.: Физматлит, 2003.
13. Morlet J. Wave propagation and sampling theory – Part I: Complex signal and scattering in multi-layered media / J. Morlet, G. Arens, E. Fourgeau, D. Glard // Geophysics. 1982. Vol. 47. № 2. P. 203.
14. Foufoula-Georgiou E. Wavelets in geophysics / E. Foufoula-Georgiou, P. Kumar. N.Y.: Academic Press, 1994.

15. Дремин И.М. Вейвлеты и их применение / И.М. Дремин, О.В. Иванов, А.С. Нечитайло // УФН. 2001. Т. 171. № 5. С. 465.
16. Euskai M.B. Wavelets and their applications and data analysis / M.B. Euskai, G. Beylkin, E. Coifman. Boston: Jones and Bartlett, 1992.
17. Новиков Л.В. Адаптивный вейвлет-анализ сигналов / Л.В. Новиков // Научное приборостроение. 1999. Т. 9. № 2. С. 47.
18. Stanley W.D. Digital Signal Processing / W.D. Stanley. Reston publishing Company, Inc, 1975.
19. Клаербоут Д.Ф. Теоретические основы обработки геофизической информации с приложением к разведке нефти / Д.Ф. Клаербоут. М.: Недра, 1981.
20. Гусев В.А. Применение адаптивных вейвлетных базисов к анализу нелинейных систем с хаотической динамикой / В.А. Гусев, А.А. Короновский, А.Е. Храмов // Письма в ЖТФ. 2003. Т. 29. № 18. С. 61.

Руннова Анастасия Евгеньевна –

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Anastasiya E. Runnova –

Ph. D., Senior Researcher
Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Короновский Алексей Александрович –

доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey A. Koronovsky –

Dr. Sc., Professor, Leading Scientific Researcher
Scientific and Education Center «Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Иванов Алексей Викторович –

кандидат геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геоэкология и инженерная геоэкология», декан факультета экологии и сервиса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey V. Ivanov –

Ph. D., Professor
Head: Department of Geoecology and Engineering Geoecology,
Dean: Faculty of Ecology and Service,
Gagarin Saratov State Technical University

Яшков Иван Александрович –

кандидат географических наук, доцент кафедры «Геоэкология и инженерная геоэкология», заместитель декана факультета экологии и сервиса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Ivan A. Yashkov –

Ph. D., Associate Professor
Department of Geoecology and Engineering Geoecology,
Vice-Dean: Faculty of Ecology and Service,
Gagarin Saratov State Technical University

Павлов Алексей Николаевич –

доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexey N. Pavlov –

Dr. Sc., Professor,
Leading Scientific Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Куркин Семён Андреевич –

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Физика открытых систем» факультета нелинейных процессов Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского

Semen A. Kurkin –

Ph. D., Associate Professor
Department of Physics of Open Systems,
Faculty of Nonlinear Processes,
Chernyshevsky Saratov State University

Храмов Александр Евгеньевич –

доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Нелинейная динамика сложных систем» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Alexander E. Hramov –

Dr. Sc., Professor
Leading Scientific Researcher:
Scientific and Education Center
«Nonlinear Dynamics of Complex Systems»,
Gagarin Saratov State Technical University

Статья поступила в редакцию 15.01.13, принята к опубликованию 20.02.13