

3D СЕЙСМОРАЗВЕДКА ШУМЯЩИХ СРЕД

Шубик Б.М.

Институт проблем нефти и газа РАН, 119333 Москва, ул. Губкина, 3 ИПНГ РАН
bmshubik@mail.ru

Аннотация. Присутствие источников сейсмического излучения и контрастных неоднородностей, которые в процессе переизлучения регулируют случайные волновые поля в среде, приводит к появлению когерентных компонент в волновом поле, зарегистрированном на поверхности. Используя данные сейсмической группы (приемной сейсмической антенны) и оценивая по ним энергию когерентного излучения из внутренних точек среды, мы рассчитываем трехмерные карты распределения сейсмической активности или 3D "изображение" сейсмически шумящих объектов. Эти методы позволяют извлечь информацию о строении и состоянии среды на основе регистрации микросейсм, т.е. сейсмического шума. В результате экспериментальных работ впервые были получены устойчивые картины пространственного распределения энергии эндогенных микросейсм и локализованы зоны гидротермальной активности. Полученные результаты стали основой для широкого распространения методов пассивной сейсмологии.

3D IMAGING OF NOISY OBJECTS

Shubik B.M.

Oil and Gas Research Institute RAS, 119333 Moscow, Gubkina ul., 3 OGRI RAS

Abstract. Active primary emitters of seismic waves (like seismic focus zones, volcanic tremor, seismic noise associated with ore or hydrocarbon deposits, hydrothermal zones, seismic noises caused by various technological processes of field exploration, etc.), as well as secondary sources of scattered waves (e.g. strong inhomogeneities acting as bright reradiators of any wave processes in the medium) can appear as endogenous emission sources. The presence of sources of seismic irradiation or bright inhomogeneities within the Earth results in the appearance of coherent seismic components in a stochastic wave field recorded on the surface by a seismic array. By careful processing of seismic array data these coherent components can be used to develop a 3D model of seismic activity of the media or images of noisy objects (or bright inhomogeneities). These works became the basis for further development of a variety of passive seismic techniques that are widely used in petroleum geophysics now.

По существу, томография - это эффективный способ получения данных о внутренней структуре среды путем анализа сигналов, проходящих через исследуемый объект. В методах трансмиссионной томографии источники сигналов располагаются вне исследуемого объема, а методы эмиссионной томографии базируются на анализе сигналов от источников (эммитеров), находящихся внутри среды. Эти методы позволяют извлечь информацию о строении и состоянии среды на основе регистрации микросейсмического шума. Развитию метода предшествовали исследования сейсмических шумов на поверхности земли, в штольнях и скважинах, у истоков которых стоял Е.И. Гальперин.

В качестве эндогенных эмиссионных источников могут выступать как активные первичные излучатели сейсмических сигналов (такие как очаговые зоны, вулканическое дрожание, сейсмические шумы, связанные, например, с залежами полезных ископаемых, проявлениями гидротермальной активности, или с различными технологическими процессами разработки месторождений и т.д.), так и вторичные источники рассеянных волн (например, контрастные неоднородности, действующие как яркие переизлучатели любых волновых процессов в среде). Методы сейсмической томографии не конкурируют с традиционными сейсмическими методами, которые ориентированы, как правило, на прослеживание границ, а удачно дополняют их, предоставляя новую информацию о распределении в среде источников рассеянных волн и контрастных неоднородностей.

Присутствие источников сейсмического излучения и контрастных неоднородностей, которые в процессе переизлучения регулируют случайные волновые поля в среде, приводит к появлению когерентных компонент в волновом поле, зарегистрированном на поверхности. Используя данные сейсмической группы (приемной сейсмической антенны) и оценивая по ним

энергию когерентного излучения сферических волн, исходящих из внутренних точек, мы можем рассчитать трехмерные карты распределения сейсмоземиссионной активности среды или 3D "изображение" сейсмически шумящих объектов. При этом, для оценки энергии когерентного излучения используется идея сканирования среды лучом, сформированным регистрирующей сейсмической группой. Среда сканируется в узлах кубической решетки, покрывающей исследуемый объем. Этот подход к решению сейсмоземиссионных задач был предложен в 82-83 гг в работах А.В. Николаева и П.А. Троицкого, посвященных анализу данных, зарегистрированных группой Норсар [1]. Однако метод нигде реально не использовался.

Для оценки возможностей применения эмиссионных подходов к решению сейсмоземиссионных задач нами впервые были проведены экспериментальные исследования в активной гидротермальной зоне в Исландии. Работа была ориентирована на создание нового метода сейсмоземиссионной сейсмической шумящих объектов, основанного на принципах эмиссионной томографии. В частности, нас интересовала задача получения объемного изображения областей с повышенным уровнем микросейсм.

Суть обработки сводится к сравнительной оценке энергии сигналов, излучаемых различными точками исследуемого объема среды. В процессе сканирования каждому узлу сетки опроса (ijk) присваивается вес, пропорциональный экспериментальной оценке энергии сигнала, исходящего из данной точки. Для сравнительной оценки энергии когерентного излучения из внутренних точек среды мы рассчитываем по зарегистрированной сейсмограмме интегральные оценки отношения сигнал/помеха SNR_{ijk} для каждого опрашиваемого узла. Алгоритм обработки основан на линейной аддитивной модели сигналов и шумов. Если в традиционных задачах мы используем при анализе записей по возможности более узкие временные окна для лучшего разрешения сейсмических сигналов во времени, то в данной модели мы используем максимальную длительность записи для лучшего пространственного разрешения точек по уровню эмиссионной способности.

Эти оценки очень чувствительны к присутствию когерентных компонент в многоканальной сейсмограмме. Если координаты данного опрашиваемого узла совпадают или наиболее близки к координатам реального источника излучения, то величина отношения сигнал/помеха, вычисленная для данной точки, будет превышать значения сигнал/помеха для соседних точек. Совокупность вычисленных таким образом оценок сигнал/помеха для всех узлов образует трехмерную SNR карту, которая отражает пространственное распределение эмиссионных источников внутри среды или изображение контрастных неоднородностей. На базе принципов эмиссионной томографии нами были разработаны новые эффективные методы локализации гидротермальных зон и сейсмически шумящих объектов, автоматического определения моментов возникновения, глубины и координат эпицентров сейсмических событий, а также новые методы трехмерной сейсмоземиссионной томографии.

В соответствии с выбранной (на основании численного моделирования) методикой экспериментальных работ была организована многократная регистрация сейсмических шумов передвижной 24 канальной группой размером 1000м x 600м (шаг между геофонами 200м). Длительность одного кадра регистрации составляла около 1 мин. На каждой из 17 площадок размещения сейсмических антенн в течение 1-2х недель записывались от 10 до 50 сейсмограмм в наиболее тихое время суток.

Был разработан программно-алгоритмический комплекс, в котором были реализованы различные методы адаптивной обработки. Комплекс обеспечивал решение всего круга задач регистрации, моделирования, обработки и визуализации данных.

Помехоустойчивость, разрешающая способность метода, требования к каналам регистрации и параметрам обработки оценивались в процессе предварительного численного моделирования. Программа моделирования позволяла наряду с эндогенными сигналами синтезировать сложное поле помех, включающее некоррелированный поверхностный шум и коррелированные компоненты от источников, расположенных вне исследуемого объема. Результаты численного моделирования показали, что 24-х элементная сейсмическая антенна размером 1000м x 600м потенциально обеспечивает возможность обнаружения и локализации активных областей на глубинах до 2-х километров, излучающих слабые стационарные

стохастические сигналы, при отношении сигнал/помеха в точках приема порядка 0.01. Такая сейсмическая группа в выбранном частотном диапазоне позволяет получить пространственное разрешение эмиттеров порядка 100м в заданном диапазоне глубин. На практике помехоустойчивость и разрешающая способность в значительной степени определяются такими факторами, как достоверность априорной скоростной модели, реальные значения отношения сигнал/помеха в точках приема, точностью определения координат установки сейсмоприемников, фазовой стабильностью каналов регистрации и др.

В результате обработки каждой сейсмограммы мы рассчитываем трехмерную матрицу значений *SNR*-критерия (*SNR*-карту), отражающую пространственное распределение микросейсмической активности под группой. Данные сканирования могут быть представлены набором произвольных сечений, выбранных из рассчитанного куба значений *SNR*.

Было показано, что *SNR* - карты достаточно стабильны, т.е. пространственное распределение энергии микросейсм в среде мало меняется со временем. Во время воздействия сильных ветровых и волновых помех картина распределения эмиссионной энергии разрушается, но эта картина восстанавливается после прекращения воздействия поверхностных шумов.

Интересно отметить, что изображения участков с повышенным уровнем эмиссионной активности, рассчитанные по данным разных антенн, которые были зарегистрированы в разное время (даже с перерывом в один год), не противоречат, но хорошо согласуются друг с другом. Область повышенного уровня сейсмической эмиссии приурочена к области проявления высокотемпературной гидротермальной активности и согласуется с аномалиями других геофизических полей.

Полученные данные позволили построить обобщенные трехмерные изображения эмиссионной активности всего района исследований (6км x 4.5км x 2км) в единой системе координат для всех геофонов сейсмических антенн и всех узлов обобщенной сетки опроса. В этом случае мы рассчитывали обобщенные *SNR* - карты для всего района по данным каждой из антенн. Достоверность результирующего обобщенного изображения повышается путем усреднения *SNR* - карт, вычисленных по данным каждой из антенн.

Разработанное программное обеспечение использовалось нами также для обработки сейсмологических данных, зарегистрированных сетью в нефтегазоносной провинции в сейсмоактивном районе Колумбии (данные проф. Аршамбо, университет Болдер, США).

Некоторые результаты экспериментальных работ, сопоставление с данными электроразведки и результаты обработки сейсмологических данных, показаны на Рис 1-3.

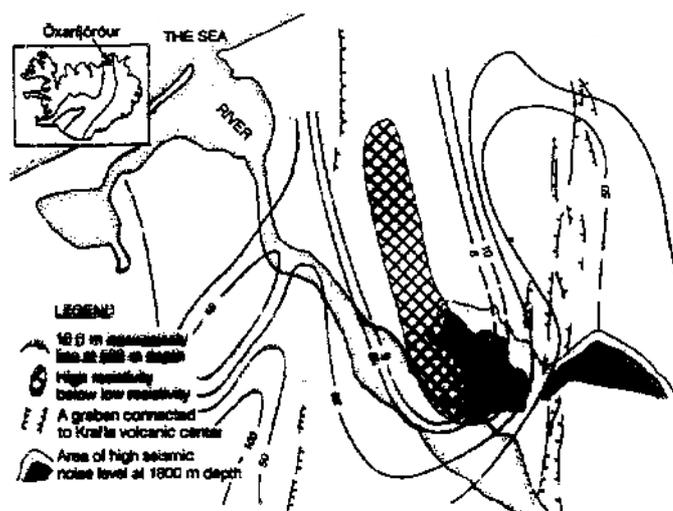
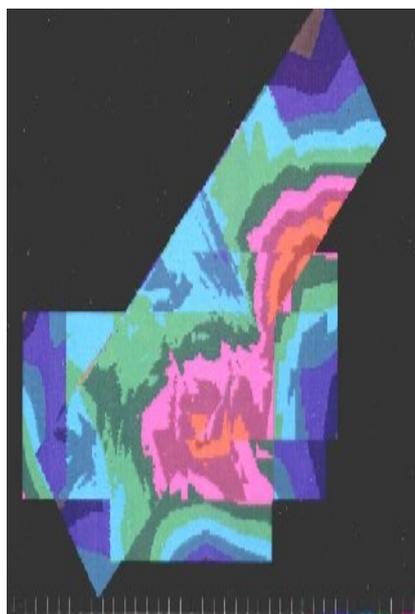


Рис. 1. Компильция усредненных по времени SNR -карт, рассчитанных по сейсмограммам всех 10 площадных групп в гидротермальной зоне. Горизонтальное сечение 3D матрицы SNR на глубине 1800 м. (общая площадь 6км x 4.5км)

Рис. 2. Картирование температурной аномалии по данным электроразведочных работ, выполненных исландскими геофизиками в районе микросейсмических исследований. (Árnason, K., Flóvenz, O.G. [2])

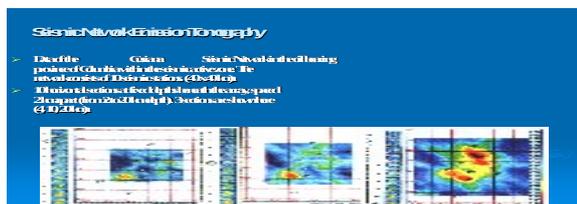


Рис. 3. Пример обработки сейсмологических данных, зарегистрированных сетью (10 станций на площади 40 x 40 км) в нефтегазонасной провинции в сейсмоактивном районе Колумбии. Показаны 3 горизонтальных сечения из рассчитанного куба SNR данных для глубин 4, 10 и 20 км. Анализировалась сейсмограмма с записью микросейсм длительностью 1 час.

Результаты обработки экспериментальных данных позволили впервые получить стабильную во времени картину пространственного распределения энергии эндогенных микросейсм и локализовать их источники в исследуемом объеме (около 5км x 6км до 2км глубины), расположенном в гидротермальной области. Анализ пространственного распределения интенсивности шумов и сопоставление этой модели с другими геофизическими полями, температурными аномалиями и обнаруженными проявлениями гидротермальной активности, выполненный исландскими геофизиками, подтверждают гипотезу о том, что полученные "шумовые портреты" района работа соответствуют пространственному распределению гидротермальной активности, а разработанная методика может использоваться для решения многих разведочных задач.

Эти работы стали основой для развития в дальнейшем многообразных методов пассивной сейсмоики, которые ныне широко применяются в нефтяной геофизике.

Работы были инициированы чл.корр. РАН А.В. Николаевым. В подготовке и проведении экспериментальных исследований участвовали сотрудники ИФЗ РАН В.С. Лавров, А.В.

Севальнев, В.Л. Киселевич. В.Л. Киселевич разработал программы регистрации и визуализации данных и принимал участие в обработке данных. Автор выражает им глубокую благодарность.

Литература

1. Nikolaev A.V., and Troitsky P.A. Lithospheric studies based on array analysis of P-coda and microseisms, *Tectonophysics*, v.140, No. 2, pp.103-113.
2. Árnason, K., and Flóvenz, O.G. Evaluation of physical methods in geothermal exploration of rifted volcanic crust. *Transactions of Geothermal Resources Council*, v. 16, pp.207-217.