

Эмиссионная сейсмическая томография по данным дистанционного зондирования Земли

Alexey Pechnikov
pechnikov@mobigroup.ru

Введение.

Одними из наиболее современных методов являются пассивные методы изучения глубинного геологического строения. Такие методы стали актуальны как вследствие растущей заботы об экологии, так и в целях экономии на проведении классических (дорогих) геофизических исследований.

Мы в своей работе используем метод анализа поля сейсмоакустической эмиссии [1], также известный как эмиссионная сейсмическая томография [2]. Здесь "эмиссионная" подразумевает пассивность метода, то есть использование существующего поля сейсмической эмиссии (как естественного, так и техногенного происхождения), а "томография" означает получение послойного изображения объемной структуры объекта [3]. Анализ сейсмического поля может проводиться как во временной области (серии временных измерений), так и в пространственной (множество одновременных измерений) [2].

Для регистрации временного и пространственного распределений сейсмического поля возможно использование набора сейсмических датчиков, которые могут иметь достаточно высокую точность, но количество используемых датчиков ограничено. Также могут быть использованы измерения проявлений сейсмического поля по данным ДДЗ [4,5,6], при этом более низкая точность измерений компенсируется гораздо большим количеством точек измерения. Например, один космический снимок Landsat 8 при разрешении панхроматического канала 15м имеет размер около 15000х15000 пикселей, то есть содержит 225 миллионов измерений на площади снимка, что совершенно недостижимо при использовании каких-либо датчиков. Для более детальных космических снимков или аэрофотоснимков с разрешением 0.5м (данные с таким разрешением могут быть доступны бесплатно) и выше возможно получение астрономического количества 200 миллиардов и более измерений на ту же территорию. Приведенные оценки показывают, почему с доступностью данных ДДЗ высокого разрешения пассивные методы, основанные на анализе данных ДДЗ, стали чрезвычайно перспективным и быстро развивающимся направлением исследований. Разумеется, такой анализ требует гигантского объема вычислений и стал возможен только с соответствующим развитием вычислительных средств.

Используемый метод.

Поле сейсмической эмиссии связано с плотностью пород, минерализацией, магнитным, гравитационным и тепловыми полями [8]. При использовании разных спектральных каналов ДДЗ возможно восстановление плотности пород для поиска структурных ловушек углеводородов [6, 7], минерализации для поиска рудных полезных ископаемых [9], тепловых потоков для геотермальных ресурсов [10].

Реализация метода основана на выявлении и анализе разномасштабных кольцевых структур [4,5], которые приурочены к неоднородностям геологических объектов и проявляются в рельефе поверхности, растительности, уплотнений в снежном покрове, геофизических полях [4,5,6,8,9,10]. Для выявления кольцевых структур и определения их характеристик используются статистические и интегральные преобразования [6,11,12]. Построение 3D модели осуществляется на основании взаимосвязи радиуса выявляемых кольцевых структур с глубиной залегания геологических объектов, что выполняется для кольцевых структур разных генезисов [6,8,12]. Большинство авторов приводит лишь информацию о линейной связи радиуса и глубины, в других источниках даются различные соотношения глубины и радиуса. Как показано нами, различие соотношений обусловлено различными методиками измерения радиуса кольца и, очевидно, разными исходными данными (рельеф, космические снимки, топокарты, гравиметрия и проч.). Для этого нами выполнено моделирование для кольцевой гравитационной аномалии и получены значения глубины залегания в зависимости от метода измерения радиуса кольца [12], согласующиеся с [6,8]. При измерении радиуса кольца по максимуму его амплитуды глубина залегания источника равна радиусу кольца, при этом форма гравитационной аномалии повторяет видимую форму на снимке поверхности [8], а при численных вычислениях значение глубины составляет 0.7 от радиуса кольца, что согласуется с [6].

Помимо уточнения параметров, нами усовершенствована сама реализация метода эмиссионной сейсмической томографии по данным ДДЗ. В частности, описание метода в [6] верно, однако техническая его реализация, приведенная в других работах авторов, содержит неточности. Действительно, вместо вычисления фокального среднего, что является встроенной функцией распространенных GIS-пакетов [13], авторы вычисляют статистики в круге, кардинально загроуляя результат. Также статистика среднего значения является чувствительной к шумам, и ее необходимо заменять помехоустойчивой статистикой, к примеру, медианой, когда это позволяет сделать распределение данных. Кроме того, необходимо выполнять очистку исходных данных, в том числе от техногенных помех и сигналов с другими пространственными частотами, что

подробно рассмотрено в [2]. Результирующие данные также необходимо фильтровать для исключения геологически недостоверных значений [14].

Итого, наша методика включает три основных шага обработки данных ДДЗ:

1. Предварительная фильтрация техногенных помех и процессов с существенно иными пространственными масштабами,
2. Вычисление помехоустойчивой фокальной статистики, что включает в себя фильтрацию так называемых статистических выбросов,
3. Фильтрация с использованием метода взвешенной обратной дистанции для результирующих данных.

Заключение.

Полученная после проведенной обработки 3D модель глубинного строения не требует ручного редактирования и интерпретируется геологом, при этом значениям цветовой шкалы ставится в соответствие плотность, минерализация или температура среды согласно типу анализируемых данных. Работоспособность основ метода проверена десятилетиями полевых исследований и анализа данных ДДЗ [4,5,6,8], а благодаря внесенным нами улучшениям получаемая 3D модель более не является фрагментарной, как у перечисленных авторов, а показывает строение геологической среды в целом, включая слоистость, системы разломов и трещин, структурные ловушки углеводородов, геотермальные потоки и проч. геологические объекты и процессы. Отсутствие ручных модификаций на всех этапах обработки гарантирует объективность результата.

Литература:

- [1] Большая энциклопедия нефти и газа, Сейсмическая эмиссия,
<http://www.ngpedia.ru/id617045p1.html>
- [2] Чеботарева И.Я., Методы пассивного исследования геологической среды с использованием сейсмического шума, 2011
http://akzh.phys.msu.ru/pdf/2011_6_844-853.pdf
- [3] Томография, <https://ru.wikipedia.org/wiki/Томография>
- [4] Фивенский Ю.И. Использование материалов аэрокосмических съёмок для изучения земной коры / Географический факультет МГУ, 2006.
- [5] Фивенский Ю.И. Малые кольцевые структуры рыхлых отложений земной коры / Научное открытие. Диплом ОТП РАН № 02-д/02 от 22 октября 2002.
- [6] Жуков В.Т., Лазарев Г.Е., Фивенский Ю.И. Комплексный анализ и прогноз месторождений углеводородного сырья и экологических характеристик по данным аэрокосмических характеристик по данным аэрокосмической съемки, 1997.
- [7] Шехтман Г.А., Разведочная геофизика – подспорье геологии
- [8] Харченко В.М., Автореферат диссертации по теме "Структуры центрального типа, их связь с месторождениями полезных ископаемых (на примере объектов Предкавказья и сопредельных территорий)"
- [9] Ворошилов В.Г., РУДОГЕННЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОЛЯ И КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ
- [10] Делемень И.Ф., Кольцевые структуры как индикаторы глубинного строения современных гидротермальных систем Камчатки
- [11] E. T. Quinto, Radon transforms on curves in the plane, Lectures in Applied Mathematics: Tomography, Impedance Imaging and Integral Geometry, 30 (1994), 231-244.
- [12] A. Pechnikov, Using circular mean Radon transform for circular geological structures recognition and 3D geological volume reconstruction, 2018
- [13] Справка ArcGIS Desktop: Focal Statistics,
<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/focal-statistics.htm>
- [14] Saman Tavakoli, Construction of a solid 3D model of geology in Sardinia using GIS methods, 2008
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:174075/fulltext01>