

**ПОИСК ГРАДИЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ РАЙОНОВ С
УЧЁТОМ СИСТЕМЫ ЗОН РАЗУПЛОТНЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**Смагличенко Т.А.¹, Соколова Н.В.¹, Смагличенко А.В.², Генкин А.Л.²,
Саянкина М.К.¹**

*¹Институт проблем Нефти и Газа РАН,
Россия, г.Москва, ул. Губкина д.3*

tasmaglichr@gmail.com, sona@ipng.ru, msayankina@gmail.com

*²Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
losayelin@gmail.com, algenkin@yandex.ru*

Аннотация: Районирование большой территории, включающей энергетические ресурсы и соответственно производственно-транспортную систему, может быть сделано путём вычислений градиентных сейсмических моделей, связанных с моделированием географической оболочки. Это даёт возможность оконтурить места

риска функционирования системы, а также проявить отличительные признаки расположения месторождения.

Ключевые слова: энергетика, месторождения газа, сейсмические модели, междисциплинарные вычисления.

Введение

Центральным ядром энергетических ресурсов являются месторождения ископаемого топлива, которое после добычи проходит через производственную систему очистки и благодаря масштабной транспортной системе доставляется к потребителю. Затраты на транспортировку топлива в связи с большими расстояниями могут быть существенными.

Система нуждается в контроле. Одним из её свойств является тесная связь с окружающей средой [1]. Незначительный природный или техногенный сбой в такой связанной крупномасштабной системе может создавать угрозу её нормальному функционированию в целом, и соответственно непредсказуемому возрастанию затрат. В фокусе данного исследования – определение свойств геологической среды, которое позволит проводить районирование региона с последующим сопоставлением составляющих элементов видимой производственно-транспортной системы с разномасштабной структурой глубинной среды для обеспечения надёжности функционирования системы.

1 Районирование посредством вычисления одномерных моделей

1.1 Произвольная минимальная модель

Показательной характеристикой регионов и входящих в них районов является вычисленная одномерная минимальная модель, построенная по данным микросейсмичности (землетрясений с малыми магнитудами) [2]. Для получения модели нелинейная функция реального времени пробега сейсмической волны, распространяющейся от источника (землетрясения) до приёмника, расположенной на земной поверхности, приближается суммой значений времён, которые волна затратила на прохождение в глубинных слоях, аппроксимирующих геологическую среду. Для множества источников и станций минимизируется разница между реальными наблюдениями и значениями модельных времён, просуммированных по слоям. Найденные скорости сейсмической волны для каждого слоя определяют одномерную минимальную модель.

Такие модели дают начальное представление о глубинном распределении скорости, которая, как известно, отражает расположение горных массивов и присутствие флюидов в областях месторождений и их окружении.

1.2 Минимальная градиентная модель

Особого внимания заслуживают градиентные модели, которые показывают линейную зависимость от глубины физических параметров, включающих сейсмическую скорость, температуру и другие показатели. Факторами, влияющими на изменение градиента, могут быть различные типы пород, определённое содержание в них радиоактивных элементов, различные виды теплообмена [3]. Для поиска одномерной минимальной градиентной модели был разработан метод, использующий в качестве критерия устойчивости несмещённые статистические оценки разности реальных и модельных значений исследуемых регистрируемых данных [4]. Опыт вычислений показал невозможность построения несмещённой оценки для региона в силу разнообразных структур геологической среды на большой территории. Поэтому была разработана технология разбиения области на районы в соответствии с географическими и другими признаками, предусматривающая получение несмещённых оценок для каждого района, а также построение сейсмических аттракторов [5].

В настоящей статье мы впервые тестируем эффективность применения нового принципа районирования, базирующегося на оконтуривании зон разрядки напряжений (разуплотнения) разного ранга, в которых действуют относительно независимые литогидродинамические потоки, в том числе определяемые реками [6]. Внутри каждого такого участка часто функционируют две ортогональные динамические границы, отражающие взаимодействие противоположных потоков в ортогональных плоскостях.

2 Результаты вычислений, связанных с информацией о потоках земного вещества

Вычисление минимальной градиентной модели основаны на линеаризации посредством ряда Тейлора нелинейной функции времени t пробега сейсмической волны, зарегистрированной приёмником на поверхности. В отличие от произвольной минимальной модели, которая опирается на вычисления функции в стартовой точке разложения, определяемой известными модельными значениями времён в

глубинных слоях, градиентная минимальная модель строится от двух отправных значений v_0^0 и v_1^0 стартовой модели, заданной прямолинейной функцией $V^0(z) = v_0^0 + v_1^0 * z$, где z глубина [4]:

$$(1) \quad t(v_0, v_1) = t(v_0^0, v_1^0) + \frac{\partial t}{\partial v_0} (v_0 - v_0^0) + \frac{\partial t}{\partial v_1} (v_1 - v_1^0) + e(v_0, v_1).$$

В уравнении (1) значения временной функции $t(v_0^0, v_1^0)$, а также её производных $\frac{\partial t}{\partial v_0}$ и $\frac{\partial t}{\partial v_1}$ вычисляются для известной скоростной функции $V^0(z)$. Значения $e(v_0, v_1)$ соответствуют ошибке аппроксимации. Неизвестные значения V_0 и V_1 , определяющие минимальную градиентную модель, находятся путём минимизации квадратичной ошибки разностей $t(v_0, v_1) - t(v_0^0, v_1^0)$ для всех зарегистрированных событий. В случае, если статистический разброс значений $t(v_0, v_1) - t(v_0^0, v_1^0)$ вокруг среднего значения и стандартное отклонение близки к нулю, то градиентная модель считается построенной, в противном случае процесс итерационно повторяется.

Понятно, что близость получаемых значений к несмещённым оценкам означает, что модель изучаемого района хорошо отражает её градиентные свойства. Однако, условие не всегда выполняется, и поэтому в настоящей работе мы предлагаем связывать вычисления с моделями строения географической оболочки.

Для исследования крупномасштабной системы в качестве примера мы рассматриваем достаточно большую территорию на юге Исландии. Известно, что в данном регионе задействованы возобновляемые энергетические ресурсы. Геотермальные ресурсы вблизи вулканической системы позволили построить и эксплуатировать теплоэлектростанции Несьяветлир и Хетглисхейди и снабжать горячей водой г. Рейкьявик. Однако, в тоже время неоднократный анализ образцов пород, проведённый в этом регионе, подтверждает значительное присутствие углеводородов там [7]. Таким образом, опыт изучения данной территории необходим для стран, содержащих возобновляемые источники энергии. Более того, мы получили результаты разработанной методики в области, включающей месторождение чистого природного газа CO₂. Микросейсмичность была зарегистрирована немногочисленной сетью постоянно действующих сейсмических станций в условиях эксперимента, приближенного к современным российским условиям. Данные были представлены в рамках сотрудничества с исландским фондом RANNIS. Отметим, что исландские сейсмические станции оснащены трёхкомпонентными датчиками, достаточно чувствительной аппаратурой, чтобы выделять сейсмические события малых магнитуд.

Рисунок 1 демонстрирует несколько градиентных скоростных моделей, в том числе в районе вулкана Гримснес, вблизи которого расположен завод в Хайдаренди по производству жидкой углекислоты CO₂, используемой в коммерческих целях. Производственная система осваивает месторождение, содержащее большой процент газа.

Можно видеть, что модель в районе месторождения (выделенная линия) отличается от остальных, соседствующих с месторождением в низменности районов, завышенным значением градиента. Расчленение исследуемой территории согласно принципам районирования с применением моделирования географической оболочки, изложенным в работе [6], позволило получить лучшие статистические оценки и сделать это отличие более явным по сравнению с предыдущим результатом, описанным в работе [5]. Завышенный градиент означает, что район месторождения характеризуют достаточно высокие по сравнению с остальными районами сейсмические скорости, которые, как известно, отвечают плотным породам. Эти породы создают защитную природную оболочку площади выхода газа. В целом, результаты показывают, что граница между районом месторождения и районом, расположенными в западной части системы реки Тьюурсау, является критической в смысле сейсмического риска, так как происходит резкий скачок значений сейсмической скорости в связи с сильной разницей в градиентах. Таким образом, можно сделать вывод о вероятном повышенном напряжённом состоянии геологической среды вдоль границы оконтуривания этих районов. Если предположить, что в рассматриваемом регионе функционирует транспортная масштабная система, то соответствующие рекомендации могут иметь место. Предложенный подход деления территории на части в соответствии с оценкой характеристик геологической среды может быть расширен для контроля других крупномасштабных промышленных систем.

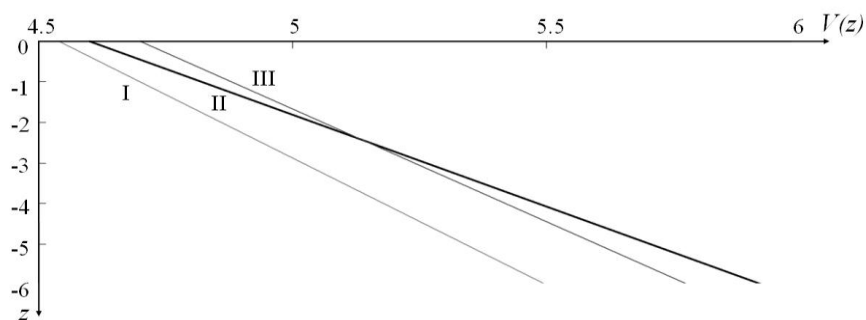


Рис. 1. Градиентные модели: I – в районе западной части системы реки Тьоурсау; II – в районе месторождения газа; III – в районе к востоку от центральной части реки Тьоурсау.

Работа выполнена в рамках тем НИР № АААА-А19-119013190038-2, № 10.331-17.

Литература

1. Цвиркун А.Д. Управление развитием крупномасштабных систем в новых условиях // Проблемы управления. 2003, №1. – С.34-43.
2. Husen S., Kissling E., Clinton J. Local and Regional Minimum 1D Models for Earthquake Location and Data Quality Assessment in Complex Tectonic Regions: Application to Switzerland // Swiss Journal of Geosciences. Vol. 104. 2011, №3. – P.455-469. Doi:10.1007/s00015-011-0071-3.
3. Changwei L., Kewen L., Youguang C., Jinlong C. Geothermal Gradient in the Oilfields in China // Proceedings. 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California. February 22-24, 2016. SGP-TR-209. – 9 pp.
4. Smaglichenko T., Bjarnason I., Smaglichenko A., Jacoby W. R. Method to find the minimum 1D linear gradient model for seismic tomography // Fundamenta Informaticae. 2016, №146. – P.211-217.
5. Smaglichenko T.A., Smaglichenko A.V., Zelinka I., Chigarev B. Seismic attractor can assist in finding of geothermal area? // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. Vol. 33. 2018, №5. – P.503-512.
6. Соколова Н.В. Изучение условий формирования месторождений углеводородов с учетом пространственной самоорганизации потоков земного вещества разного ранга [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы нефти и газа: Науч. сет. изд. Вып. 4. 2018, №23. – 8 с. Режим доступа: http://oilgasjournal.ru/issue_23/sokolova-conference.html свободный. Загл. с экрана. Doi: 10.29222/ijpns.2078-5712.2018-23.art47
7. Geptner A.R., Kristmannsdottir H., Kristjansson J., Marteinson V. Biogenic saponite from an active submarine hot spring, Iceland // Clay and Clay Minerals. Vol. 50. 2002, № 2. – P.174-185.