

Связь структуры земной коры и верхней мантии со степенью зрелости нефтематеринских толщ

И.Н. Огнев* (ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»),
Д.К. Нурғалиев (ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»)

Введение

Данная работа направлена на изучение связи между строением земной коры и степенью зрелости нефтематеринских толщ на основе современных спутниковых гравитационных данных.

Локализация месторождений углеводородов в земной коре зависит от нескольких факторов, одним из которых является степень зрелости нефтематеринских пород. Зрелость нефтематеринских пород зависит от количества тепла, доступного в нефтегазоносном бассейне. Количество тепла зависит от теплового потока в данном бассейне. Тепловой поток находится под влиянием глубинных структур Земли, таких как мощность земной коры и мощность литосферы. Таким образом, знание о строении Земной коры позволяет создавать модели теплового потока, который, в свою очередь, определяет зрелость нефтематеринских пород и локализацию скоплений углеводородов.

В настоящее время, строение земной коры может быть исследовано множеством способов с сейсмическими методами, выходящими на первую строчку в плане точности определения геометрии отражающих границ. Однако, сейсмические исследования покрывают не всю земную поверхность, а только локальные её участки и, зачастую, глубины исследования сейсмическими методами ограничиваются осадочным чехлом, не давая определить структуру земной коры в полном объёме.

Возникает запрос на метод, имеющий глобальное покрытие и способный давать сведения о структуре земной коры с достаточной точностью. Таким методом может выступить спутниковая гравиразведка. Инверсия спутникового гравитационного поля позволяет определить глубину залегания границы Мохо для определённых территорий и, как следствие, построить более точные модели теплового потока, а значит, и карты зрелости нефтематеринских пород.

Метод

В настоящий момент было запущено четыре спутниковых гравитационных миссии, обладающие различными характеристиками (таблица 1).

Таблица 1. Основные параметры спутниковых гравитационных миссии (Zheng et Xu, 2015).

| Параметры | Спутниковые гравитационные миссии | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
| | CHAMP | GRACE | GRACE-FO | GOCE |
| Научный институт | GFZ | NASA, DLR | NASA, GFZ | ESA |
| Время активности миссии | 15.07.2000- 19.09.2010 | 17.03.2002- 27.10.2017 | 22.05.2018 - | 17.03.2009- 10.11.2013 |
| Режим наблюдения | SST-HL | SST-HL/LL | SST-HL/LL | SST-HL, SGG |
| Орбитальная альтитуда | 300-454 км | 300-500 км | ~ 250 км | 225-255 км |
| Пространственное разрешение | 285 км | 166 км | 55 км | 80 км |

DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Germany
NASA: National Aeronautics and Space Administration, USA
GFZ: GeoForschungsZentrum, Potsdam, Germany
ESA: European Space Agency

Данные миссии позволяют записывать гравитационное поле в разных режимах наблюдения. Satellite-to-satellite tracking high-low (SST-HL) – режим наблюдения за орбитой низко-орбитального спутника высоко-орбитальными спутниками GPS. Satellite-to-satellite tracking low-low (SST-LL) – режим наблюдения, при котором запускаются два низкоорбитальных спутника и помимо наблюдения за их орбитами, для большей точности измеряется расстояние между ними. Satellite gravity gradiometry (SGG) – съёмка градиента гравитационного поля, установленными на борту спутника чувствительными градиометрами.

Базы данных по трём из завершённых на сегодняшний день миссий открыты и на их основе создано множество спутниковых моделей гравитационного поля. По архиву сайта глобальных гравитационных моделей Потсдамского университета <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>, на данный момент таких моделей насчитывается 145.

В данной работе принимаются во внимание спутниковые модели, соответствующие определённым критериям:

- 1) Построение на основе данных спутника с самым высоким пространственным разрешением GOCE;
- 2) Ранее успешное применение с целью инверсии при нахождении глубины Мохо.

На основе данных критериев, на передний план выходит модель EIGEN-6с4 и карта градиентов гравитационного поля, рассчитанная на высоте полёта спутника от J. Bouman.

На данный момент существует множество программных продуктов для определения границы Мохо. Некоторые из них приведены в таблице 2.

Наиболее доступным среди нижеприведённых программных продуктов является Lithoflex (Braitenberg, et. al, 2007), базирующийся на классических алгоритмах инверсии (Oldenburg et. al, 1974). Двумя главными параметрами, необходимыми для качественной инверсии гравитационного поля являются референсная глубина Мохо и контраста плотности на разделе кора-мантия.

Таблица 2. Программное обеспечение для определения положения границы Мохо по гравитационному полю

| Название софта | Ключевые достоинства | Недостатки | Платформа | Разработчик | Пример применения |
|----------------|---|--|-----------|--|-------------------------------|
| IGMAS+ | Работает с градиентами гравитационного поля | Не решает обратной задачи | Linux | H.-J. Götze, Sabine Schmidt etc. (Schmidt et. al, 2011) | (Holzrichter et Ebbing, 2016) |
| Geomodeller | Работает с градиентами гравитационного поля | Не Open-source | Windows | Intrepid Geophysics (Guillen et. al, 2008) | (Schreiber et al., 2010) |
| VPmg | Работает с градиентами гравитационного поля | Не Open-source | Windows | Fullagar geophysics (Fullagar et. al, 2008) | (Aitken, 2010) |
| Lithoflex | Использует модель тессероидов при расчётах | Не может работать с градиентами гравитационного поля | Windows | Carla Braitenberg, Susann Wienecke, etc. (Braitenberg, et. al, 2007) | (Steffen et. al, 2017) |

Пример построения карт степени зрелости нефтематеринских пород по спутниковым гравитационным данным

На настоящий момент создано множество моделей Земной коры на основе спутниковых гравитационных данных. Помимо указанных примеров построения модели Земной коры в таблице 2, выделяется модель, построенная для Аравийского полуострова (Bouman et. al, 2015). В данном исследовании авторы сделали шаг вперёд, применив построенную ими модель Мохо в бассейновом моделировании, посредством создания на её основе модели теплового потока. В результате были получены карты зрелости нефтематеринских пород.

Для инверсии гравитационного поля в данной работе использовались grids градиентов поля, рассчитанные J. Bouman (Bouman et. al, 2015). Данная работа показывает, как данные спутниковой гравиразведки могут применяться для прогнозирования нефтеносности определённой территории.

Выводы

Принимая во внимание исследование (Bouman et. al, 2015), а также большой выбор гравитационных моделей и программного обеспечения для их инверсии, задача о региональном исследовании определённой территории с целью определения её нефтеносности обретает выполнимый характер.

Такая задача обладает большим потенциалом на территории Российской Федерации, в связи с отсутствием подобных исследований на её территории.

Одной из перспективных территорий для исследования является Волго-Уральская нефтегазоносная провинция. Данная территория имеет большую степень геолого-геофизической изученности, но тем не менее, до сих пор остаются вопросы о возрасте механизмах созревания доманиковых отложений и на данный момент не было построено ни одной удовлетворительной 3D-бассейновой модели для данного региона. Также, наличие проведённых на данной территории региональных сейсмических исследований по геотранверсу ТАТСЕЙС-2003 позволит создать более достоверную модель границы Мохо.

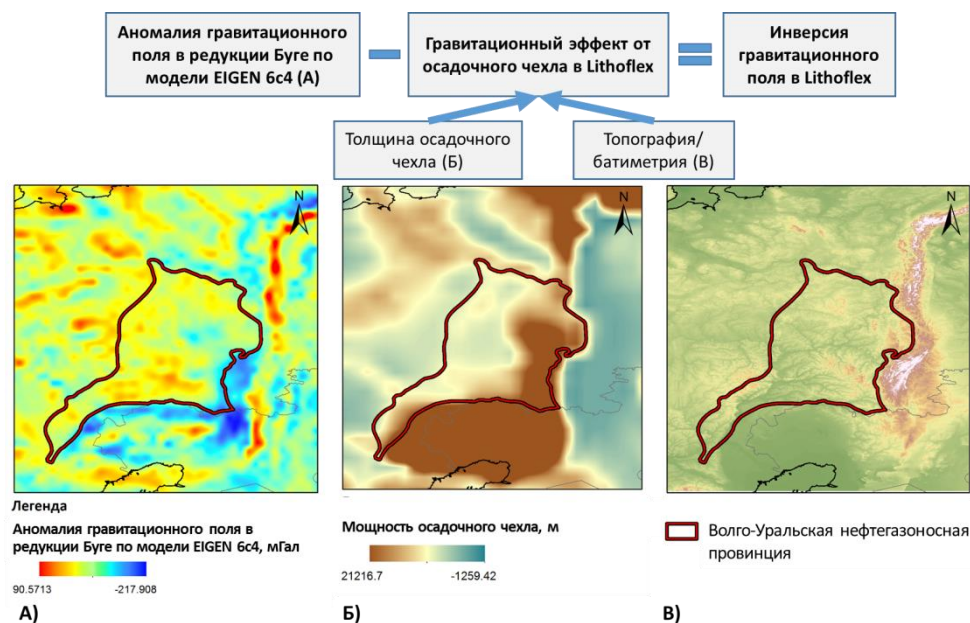


Рисунок 1. Схематичный рабочий процесс для данного исследования. А – карта гравитационных аномалий в редукции Буге по модели EIGEN 6с4; Б – мощность осадочного чехла по модели CRUST 1.0 (Laske et. Al, 2013), В – рельеф ETOPO1 (Amante et Eakins, 2009)

В связи со сказанным выше, территория Волго-Уральской нефтегазоносной провинции является хорошим полигоном для метода регионального прогнозирования нефтегазоносности по спутниковым гравитационным данным. На рисунке 1 показан схематичный рабочий процесс для данного исследования.

Библиография

1. Aitken, A.R.A., 2010. Moho geometry gravity inversion experiment (MoGGIE): a refined model of the Australian Moho, and its tectonic and isostatic implications. *Earth and Planetary Science Letters* 297, 71–83.
2. Amante, C. and Eakins, B. W. [2009] ETOPO1 1 Arc-Minute Global Relief Model: Procedures, Data Sources and Analysis, *NOAA Technical Memorandum NESDIS*, NGDC-24, National Geophysical Data Center, NOAA, 25 pp.
3. Bouman, J., & Ebbing, J., & Fuchs, M., & Sebera, J., & Lieb, V., & Szwillus, W., & Haagmans, R., & Novák, P. [2016] Satellite gravity gradient grids for geophysics. *Scientific Reports*. 6. 21050. 10.1038/srep21050.
4. Bouman, J., Ebbing, J., Meekes, S., Fattah, R. A., Fuchs, M., Gradmann, S., et al. [2015] GOCE gravity gradient data for lithospheric modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 16–30.
5. Braitenberg C., Wienecke, S., Born, W., Yang, Y., Uieda, L. [2007] Joint gravity and isostatic analysis for basement studies - a novel tool. Extended Abstracts, EGM 2007 International Workshop, *Innovation in EM, Grav and Mag Methods: a new Perspective for Exploration*, Villa Orlandi, Capri – Italy.
6. Förste, C., Bruinsma, S.L., Abrikosov, O., Lemoine, J.-M., Marty, J.C., Flechtner, F., Balmino, G., Barthelmes, F., Biancale, R. [2014] EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse. GFZ Data Services.
7. Fullagar, P.K., Pears, G.A., McMonnies, B. [2008] Constrained inversion of geologic surfaces — pushing the boundaries. *The Leading Edge*, 27, 98–105.
8. Guillen, A., Calcagno, P., Courrioux, G., Joly, A., Ledru, P. [2008] Geological modelling from field data and geological knowledge. Part II. Modelling validation using gravity and magnetic data inversion. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 171, 158–169.
9. Holzrichter, N., Ebbing, J. [2016] A regional background model for the Arabian Peninsula from modeling satellite gravity gradients and their invariants. *Tectonophysics*, 86–94.
10. Laske, G., Masters, G., Ma, Z. and Pasyanos, M. [2013] Update on CRUST1.0 - A 1-degree Global Model of Earth's Crust. *Geophys. Res. Abstracts*, 15, Abstract EGU2013-2658.
11. Oldenburg, D. W. [1974] The Inversion and Interpretation of Gravity Anomalies. *Geophysics*, 39, 526-536.
12. Schmidt, S., Plonka, C., Götze, H.-J., Lahmeyer, B. [2011] Hybrid modeling of gravity, gravity gradients and magnetic fields. *Geophysical Prospecting*, 59 (6), 1046–1051.
13. Schreiber, D., Lardeaux, J.-M., Martelet, G., Courrioux, G., Guillen, A. [2010] 3-D modelling of Alpine Mohos in Southwestern Alps. *Geophysical Journal International*, 180, 961–975.
14. Steffen, R., Strykowski, G., Lund, B. [2017] High-resolution Moho model for Greenland from EIGEN-6C4 gravity data. *Tectonophysics*. 706-707, 206–220.
15. Zheng, W., Xu, H. [2015] Progress in satellite gravity recovery from implemented CHAMP, GRACE and GOCE and future GRACE Follow-On missions. *Geodesy and Geodynamics*, 6 (4), 241-247.