

ТЕРМАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ЛИТОСФЕРЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОЙ МОДЕЛИ ЗЕМНОЙ КОРЫ ASCRUST-08

А.И. Коптев¹, А.В. Ершов², А.А. Баранов^{3,4}, В.В. Погорелов³

¹ ООО «Лаборатория геологии и моделирования осадочных бассейнов (SBmG)», г. Москва. koptev06@mail.ru

² МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, г. Москва.

³ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва.

⁴ Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва.

В настоящей работе выполнен расчет термальной мощности литосферы Центральной и Южной Азии (25° в.д. - 145° в.д.; 10° ю.ш. - 55° с.ш.), основанный на использовании двух различных моделей строения земной коры: CRUST2.0 [7,8] и AsCRUST-08 [1]. Под моделью земной коры понимается распределение толщин и плотностей для слоев, выделяемых в рамках данной модели.

В качестве прочих исходных данных были использованы: топография (цифровая модель рельефа ETOPO5 [4]), гравитационные аномалии (гравитационная модель EGM96 [10]), распределение среднегодовых температур на поверхности Земли [9, 11].

Главное отличие используемой методики расчетов [2,3] от ранее опубликованных моделей термальной мощности литосферы [5,6] заключается в корректировке «базовой» термальной модели за счет поправок на изостатическую компенсацию литосферы.

Приведенные результаты показывают значительное влияние заложенной модели земной коры на итоговое расчетное распределение положения подошвы литосферы.

Методика расчета. Термальная мощность литосферы в каждой точке земной поверхности определялась как разница между глубиной расчетной изотермы 1300°C и абсолютной отметкой рельефа. Расчет выполнялся на сетке с размером ячейки 1°x1°; границы ячеек были ориентированы вдоль параллелей и меридианов.

Распределение температур $T(z)$ с глубиной (z) в литосфере принималось стационарным и рассчитывалось в соответствии с выражением:

$$T(z) = T_0 + \int_{z_0}^z \frac{q(\zeta)}{k(\zeta)} d\zeta, \quad (1)$$

где T_0 - температура на поверхности Земли, z_0 - абсолютная отметка рельефа, $k(z)$ - коэффициент теплопроводности, $q(z)$ - тепловой поток:

$$q(z) = q_0 - \int_{z_0}^z A(\zeta) d\zeta, \quad (2)$$

где $q_0 = q(z_0)$ - тепловой поток на поверхности Земли, объемная теплогенерация пород литосферы $A(z)$ предполагалась экспоненциально убывающей с глубиной.

Поправки к этой модели за счет модели изостатической компенсации вводились следующим образом. Поверхностный тепловой поток q_0 в уравнении (2) не полагался независимым входным параметром при расчетах распределения температур, но рассчитывался из положения изотермы 1300°C (подошвы литосферы), которое предварительно определялось из условия локальной изостазии, которое предполагает, что веса любых двух вертикальных колонок литосферы от поверхности до глубины изостатической компенсации должны быть равны:

$$\int_{z_0(x_1, y_1)}^{z_1} \rho(x_1, y_1, z) dz = \int_{z_0(x_2, y_2)}^{z_1} \rho(x_2, y_2, z) dz, \quad (3)$$

где $z_0(x, y)$ - абсолютная отметка рельефа в точке с координатами (x, y) , z_1 - уровень изостатической компенсации, $\rho(x, y, z)$ - плотность слагающих литосферу пород в точке с координатами (x, y, z) .

Таким образом, изостатическая модель связывалась с термальной через условие $z_I = z_{1300}$, где z_{1300} - глубина изотермы 1300°C.

Для того, чтобы ввести поправку на гравитационные аномалии, формула (3) должна быть расширена до выражения

$$\int_{z_0(x_1, y_1)}^{z_I} \rho(x_1, y_1, z_1) dz - \int_{z_0(x_2, y_2)}^{z_I} \rho(x_2, y_2, z_2) dz = \frac{\Delta g_1 - \Delta g_2}{2\pi G}, \quad (4)$$

где Δg гравитационная аномалия в свободном воздухе, G постоянная всемирного тяготения ($6,67 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$). Формула (4) показывает, что в случае отсутствия полной изостатической компенсации разность весов разнесенных вертикальных литосферных колонок отразится в разности гравитационных аномалий над ними.

Использование изостатической поправки, применяемое в настоящей работе, позволяет снизить степень влияния на итоговый результат таких факторов как нестационарность теплового режима, неточность знаний о величине поверхностного теплового потока, коэффициента теплопроводности и параметров, определяющих теплогенерацию пород.

Результаты. По описанной выше методике выполнен расчет двух вариантов термальной мощности континентальной литосферы Центральной и Южной Азии (25° в.д. - 145° в.д.; 10° ю.ш. - 55° с.ш.). В одном случае исходные данные о строении земной коры закладывались на базе модели AsCRUST-08 [1] (рис.4), а в другом – на основании модели CRUST2.0 [7, 8] (рис.3).

В юго-западной части рассматриваемой области принципиальных различий в предлагаемых моделях мощности литосферы не наблюдается: в обоих случаях имеет место значительное утонение литосферы (вплоть до полного выклинивания мантийного прослоя) в пределах рифтовой системы Красного моря; на Аравийской плите фиксируется закономерное утолщение литосферы в северо-восточном направлении, которое достигает своего максимума в Персидском заливе (до 190 км в модели, использующей CRUST 2.0, и до 260 км в модели, рассчитанной по AsCRUST-08).

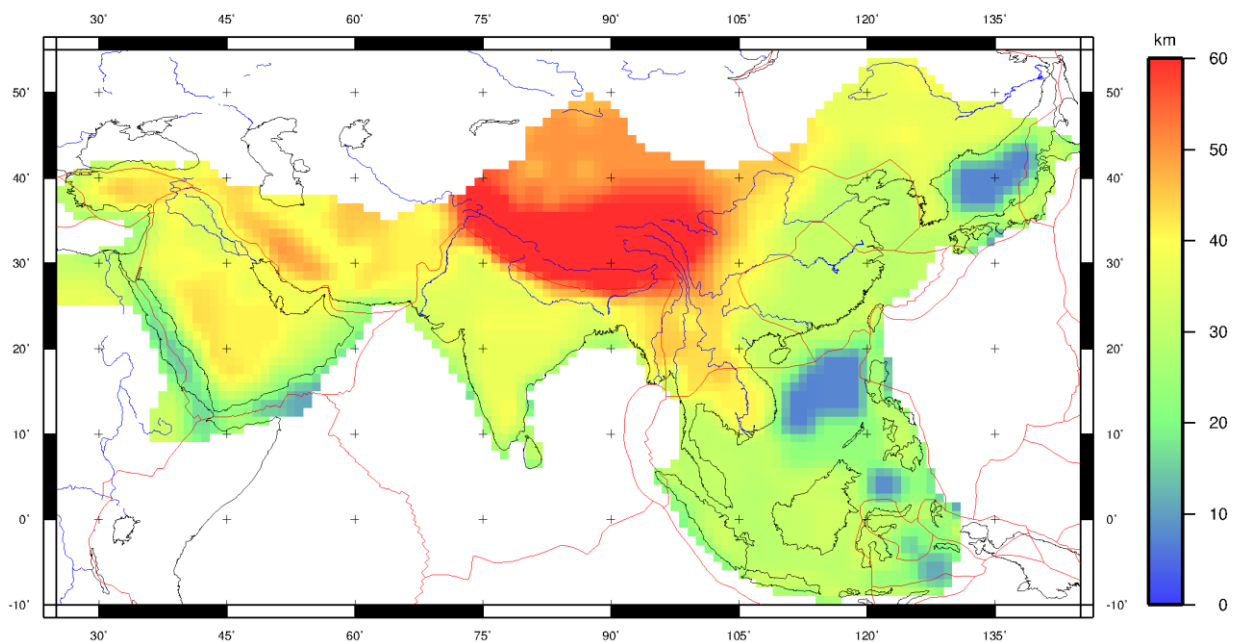


Рис.1. Мощность земной коры по модели CRUST2.0 [7,8]

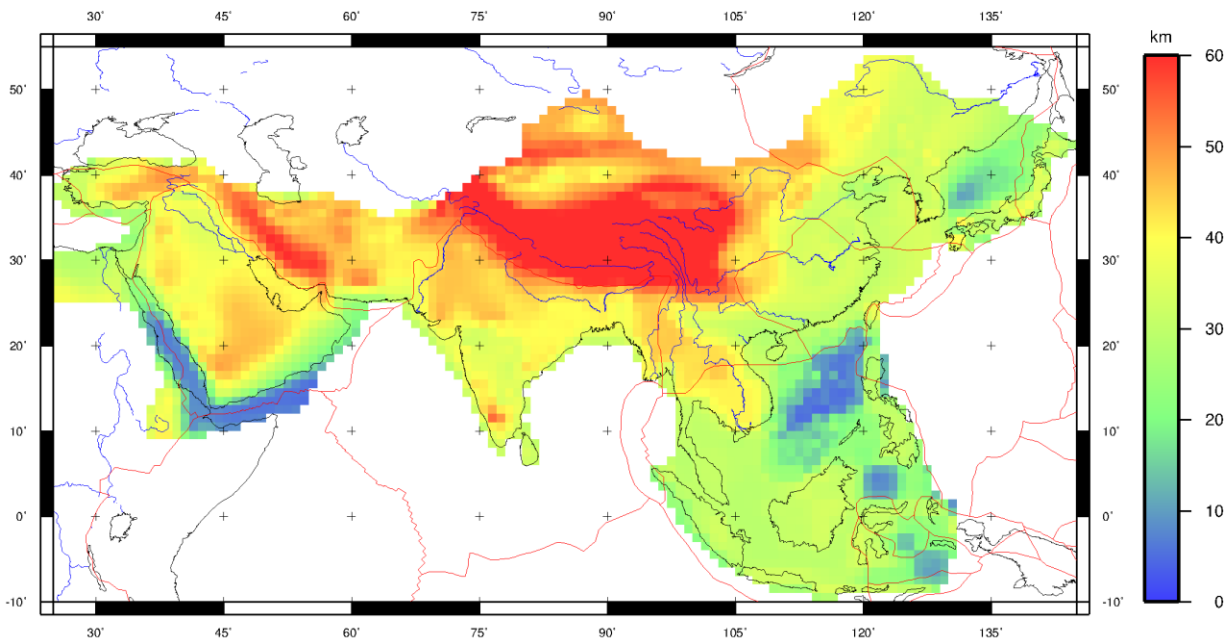


Рис.2. Мощность земной коры по модели AsCRUST-08 [1]

В модели, полученной при использовании данных AsCRUST-08, отмечаются достаточно высокие значения мощности литосферы в пределах горно-складчатой системы Загроса, а также западном приэльбурсье (200-230 км), которые сменяются умеренными значениями в пустынях Кавир и Лут (150-200 км). Модель, рассчитанная по CRUST2.0, дает значительные понижения мощности (до 60 км) в западном приэльбурсье, а также в целом более низкие значения на территории современного Ирана (100-150 км).

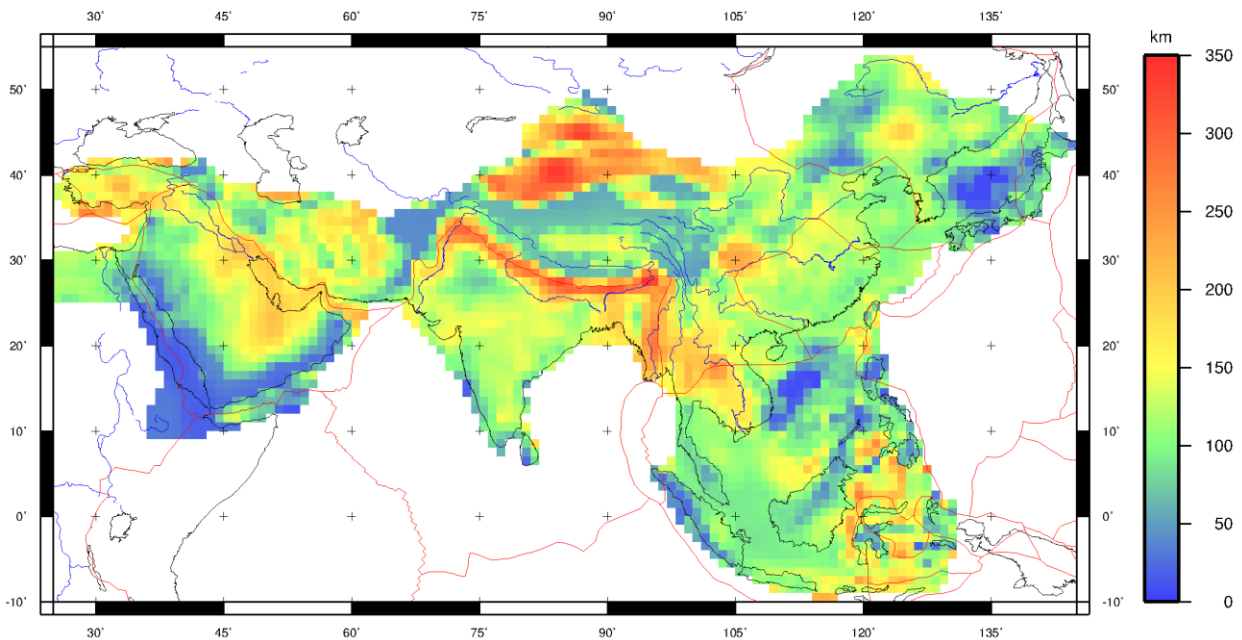


Рис.3. Расчетная мощность литосферы с использованием модели CRUST2.0

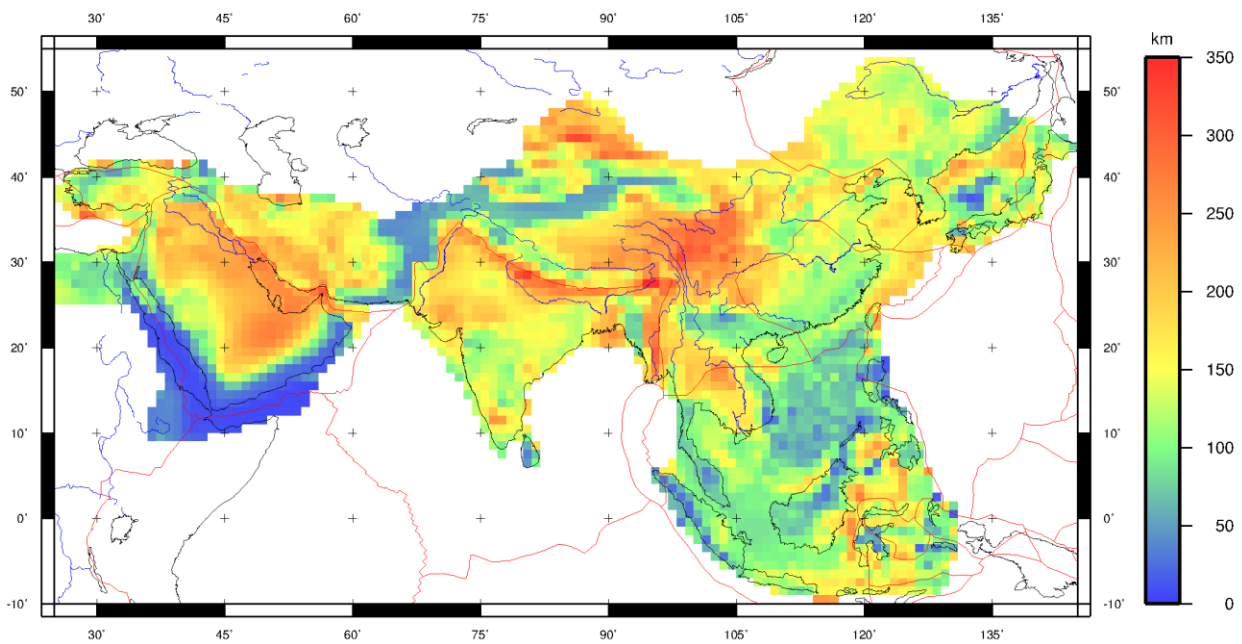


Рис.4. Расчетная мощность литосферы, полученная с использованием модели AsCRUST-08

На северо-западе рассмотренной области (Анатолийская плита) обе рассчитанные модели демонстрируют сходное распределение мощности литосферы: на большей части этой территории она в среднем составляет 150-180 км, варьируя в достаточно широком диапазоне (от 50 до 250 км).

В пределах горного сооружения Гиндукуш обе модели имеют отрицательные расчетные мощности мантийной литосферы. Необходимо отметить, что южнее (на территории современного западного Пакистана) имеет место продолжение области отсутствия мантийного прослоя.

Согласно обеим предлагаемым моделям в континентальной части Индийской плиты доминируют значения мощности литосферы в 100-150 км, которые на территории, примыкающей к восточной границе с Евразийской плитой (современный восточный Пакистан), увеличиваются до 150-200 км. Вдоль северной и восточной границ Индийской литосферной плиты значения мощности литосферы составляют 250-300 км, местами достигая максимальных отметок – 300-350 км.

В пределах области, расположенной севернее субширотного участка границы между Евразийской и Индийской плитами, имеются значительные различия в характере распределения мощности литосферы по разным моделям.

В модели, использовавшей данные CRUST2.0, мощность мантийного прослоя литосферы в центральной части Тибетского нагорья составляет в среднем 50 км. При этом в южной и восточной части Тибетского плато, а также горных сооружениях Алтынтаг и Гоби, ограничивающих нагорье с севера, имеют место отрицательные значения расчетной мощности мантийной литосферы. Располагающийся севернее Таримский бассейн характеризуется гораздо большими значениями мощности литосферы: порядка 250 км в восточной части и 300-350 км – в западной. При переходе к горно-складчатому сооружению Тянь-Шань мощность литосферы уменьшается до 150 км.

Модель, рассчитанная по данным AsCRUST-08, показывает, что на данной территории выклинивание мантийного прослоя имеет место только вдоль зоны горных сооружений Алтынтаг и Гоби, не распространяясь (как в случае ранее описанной модели) вдоль южной и восточной границ нагорья. Мощность литосферы в пределах Тибетского нагорья увеличивается с запада на восток от 150 до 300 км. Четкого отражения в мощности литосферы таких структур, как Таримский бассейн и горное сооружение Тянь-Шань, не наблюдается.

В восточной части рассматриваемой территории значительных различий в характере модельных распределений мощности литосферы не фиксируется. Средние значения мощности литосферы на восточной окраине Евразийского континента составляют около 100-150 км (наибольшие значения (до 200-250 км) фиксируются на полуострове Индокитай). Окраинные бассейны – бассейн Японского моря и бассейн Южно-Китайского моря – характеризуются значительным утонением мощности литосферы (вплоть до выклинивания мантийного прослоя).

Несмотря на отмеченный схожий характер распределений мощности литосферы, полученных в разных моделях, для юго-западной и восточной частей рассматриваемой области, на данных

территориях модель, использовавшая данные AsCRUST-08, имеет несколько более высокие значения мощности литосферы. Общим объяснением этого факта может быть в целом более высокие значения мощности коры по данным модели AsCRUST-08 (рис.1, 2), формирующие относительно большие недостатки массы, которые при используемом алгоритме, предполагающем введение изостатической поправки, необходимо компенсировать избытком более плотного (мантийного) материала, что отражается в увеличении мощности мантийного слоя литосферы.

Выводы. В рамках настоящей работы выполнены расчеты двух вариантов (основанных на использовании разных моделей строения земной коры) термальной мощности литосферы Центральной и Южной Азии (25° в.д. - 145° в.д.; 10° ю.ш. - 55° с.ш.).

По сравнению с ранее опубликованными подходами [5,6] использованная методика вычислений учитывает изостатическую поправку при расчетах термального режима литосферы [3].

Полученные результаты демонстрируют достаточно высокую степень чувствительности итогового распределения термальной мощности литосферы к задаваемой в качестве исходных данных модели земной коры. Наибольшие различия в рассчитанных моделях имеют место в центральной части рассматриваемой области: в пределах Тибетского нагорья и окаймляющих его структур.

Данные о термальной мощности литосферы будут использованы при сравнительном геодинамическом анализе различных тектонических структур, а также в качестве исходных данных для численных расчетов регионального поля напряжений и деформации литосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.А. Новая модель коры Центральной и Южной Азии. // Физика Земли, 2010, №1, с.37-50
2. Контев А.И., Еришов А.В. Количественная модель термальной мощности литосферы Земли // Тезисы международной конференции, посвященной памяти В.Е. Хаина "Современное состояние наук о Земле". Москва, МГУ, 1-4 февраля 2011 г.
3. Контев А.И., Еришов А.В. Термальная мощность литосферы: численная модель // Вестник Московского Университета. Сер.4. Геология. 2011. №5. с. 25-32.
4. National Geophysical Data Center. ETOPO-5 bathymetry and topography data // Data Announc. 88-MGG-02. NOAA, Boulder, Colorado, 1988.
5. Artemieva I. M., Mooney W.D. Thermal thickness and evolution of Precambrian lithosphere: A global study // JGR. 2001, vol. 106 (B8), p. 16,387-16,144.
6. Artemieva I.M. Global 1°×1° thermal model TC1 for the continental lithosphere: Implications for lithosphere secular evolution // Tectonophysics, 2006, vol. 416, p. 245-277.
7. Bassin C., Laske G., Masters G. The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America // EOS TransAGU. 2000, vol. 81, p. 897.
8. Mooney A., Laske G., Masters G. Crust 5.1: a global crustal model at 5x5 degrees // JGR, 1998, V. 103, p. 727-747.
9. Leemans R., Cramer W. The IIASA database for mean monthly values of temperature, precipitation and cloudiness on a global terrestrial grid // Research Report RR-91-18, International Institute of Applied Systems Analyses, Laxenburg, November 1991, p. 61.
10. Lemoine F.G., Kenyon S.C., Factor J.K., Trimmer R.G., Pavlis N.K., Chinn D.S., Cox C.M., Klosko S.M., Luthcke S.B., Torrence M.H., Wang Y.M., Williamson R.G., Pavlis E.C., Rapp R.H., Olson T.R. The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96 // NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 20771, USA, July 1998.
11. Lieth H. Modelling the primary productivity of the earth. Nature and resources // UNESCO, 1972, VIII, 2. p.5-10.