

СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ

Коптев А.И., Ершов А.В.

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
(koptev06@mail.ru)*

Введение

Геодинамическая позиция Европейского региона определяется тем, что в его пределах друг на друга накладываются два источника напряжений – силы отталкивания от Северо-Атлантического хребта и коллизионные силы, действующие вдоль южной границы Евразийской плиты. При этом важно учитывать, что взаимодействие этих сил происходит на фоне сложного строения разновозрастной литосферы и достаточно расчлененного рельефа территории.

Именно в связи с неоднородностью среды в этом регионе при геодинамическом моделировании крайне важным фактором становится высокое разрешение расчетов и детальный учет как можно большего количества данных. На современном этапе имеется достаточный набор открытой информации, необходимой для соответствующего геодинамического моделирования, а технические ресурсы позволяют выполнить его с достаточной степенью детальности, что делает такого рода работы как никогда актуальными.

В настоящей работе представлены результаты численного моделирования структуры литосферы и распределения напряжений в рамках области ограниченной на западе и востоке по меридианам 25° з.д. и $35,5^\circ$ в.д., на юге и севере – по параллелям $34,25^\circ$ с.ш. и $71,5^\circ$ с.ш. соответственно. Разрешение выполненных расчетов – $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.

Расчеты мощности литосферы и распределения температур в ней производились по методике, описанной в работе [2]. Весь набор необходимых для расчетов входных данных остался неизменным относительно приведенного в [2] за исключением информации о структуре земной коры – в настоящей работе вместо глобальной модели Crust2.0 [4,8] (разрешение $2^\circ \times 2^\circ$) использовалась

локальная модель для рассматриваемого региона EuCRUST-07 [12] (разрешение $0,25^\circ \times 0,25^\circ$). В модели EuCRUST представлены данные о пространственном положении поверхности фундамента, границы верхней и нижней коры, поверхности Мохоровичича, а также информация о скорости распространения сейсмических волн в верхней и нижней коре. Эти скорости p -волн были пересчитаны в плотности соответствующих слоев по формулам, приведенным в [11].

Карта общей мощности земной коры по данным модели EuCRUST-07 приведена на рис.1, а расчетное распределение термальной мощности литосферы – на рис.2.

Полученные на основании рассчитанной модели распределения температур и плотностей в литосфере силы разности гравитационного потенциала (обобщенные топографические силы) выступали в качестве источника напряжений, распределение которых рассчитывалось по методике, описанной в работах [7,1,3].

Обобщенные топографические силы, действующие в каждом узле расчетной сетки, должны позволить учесть не только влияние локальных неоднородностей в моделируемой среде, но и «отталкивающее» воздействие со стороны Северо-Атлантического хребта (сила отталкивания от хребта – частный случай сил разности гравитационного потенциала), а также «коллизионное» взаимодействие с Африканской плитой.

В качестве граничных условий модели выступали «зафиксированные» (т.е. с постоянно равной нулю скоростью смещения) северная, западная и восточная границы области расчетов и «свободная» южная граница, а в качестве начальных – нулевые смещения, скорости смещений и напряжения во всех узлах и ячейках

расчетной сетки. Границы литосферных плит при расчетах во внимание не принимались.

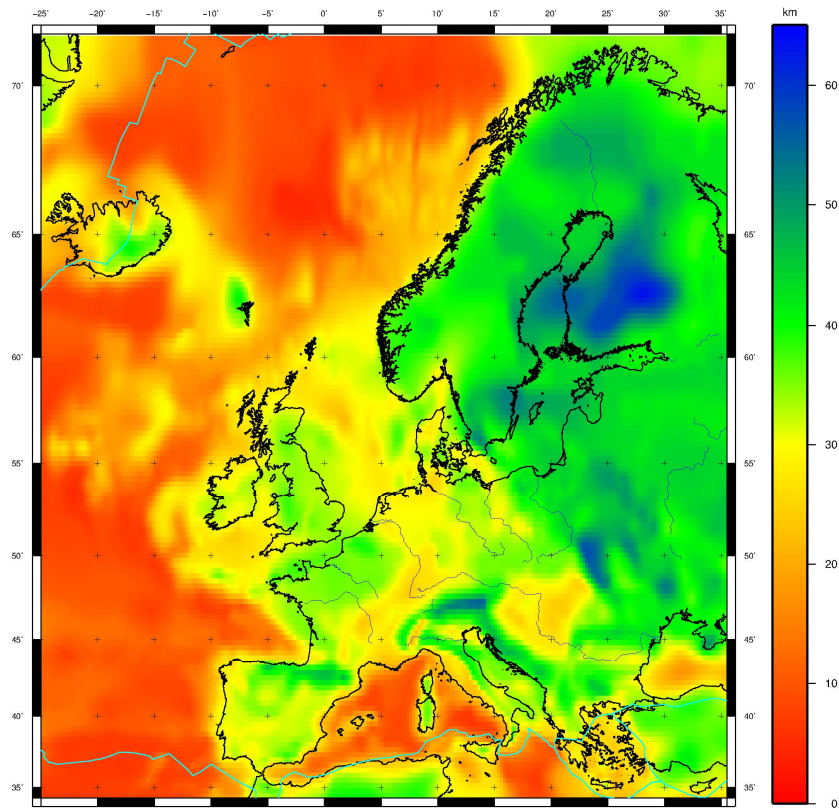


Рис.1. Общая мощность земной коры по данным модели EuCRUST-07 [12]

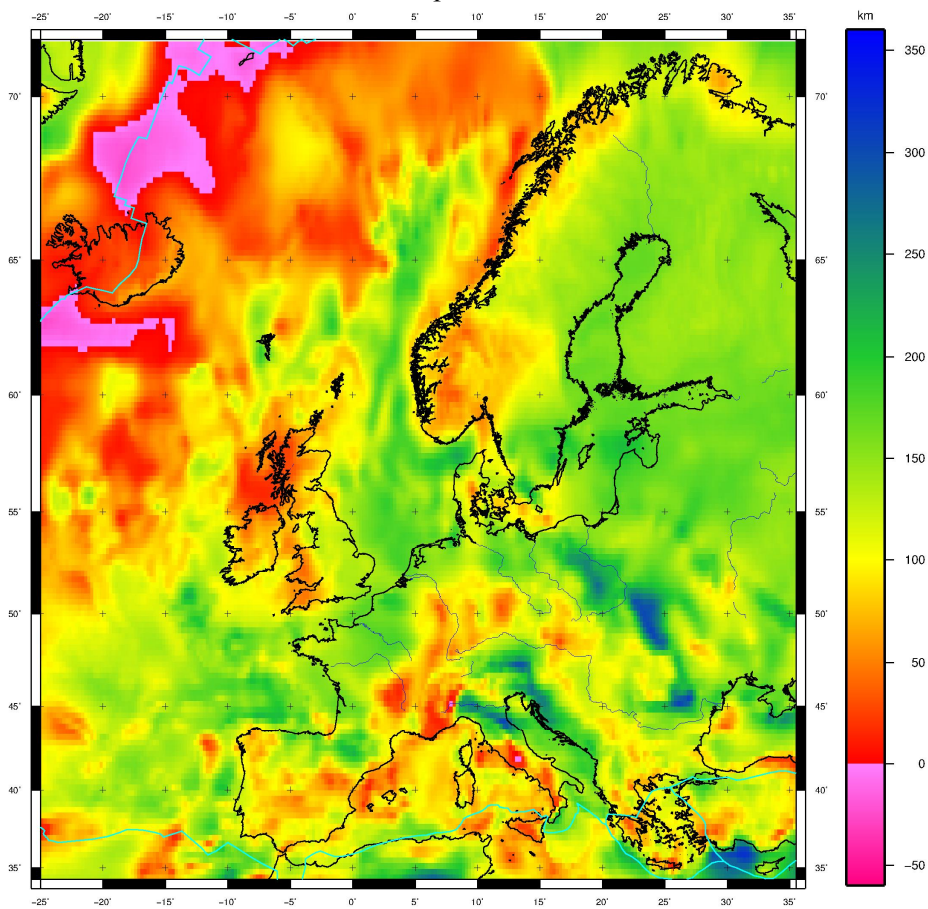


Рис.2. Расчетная мощность литосферы

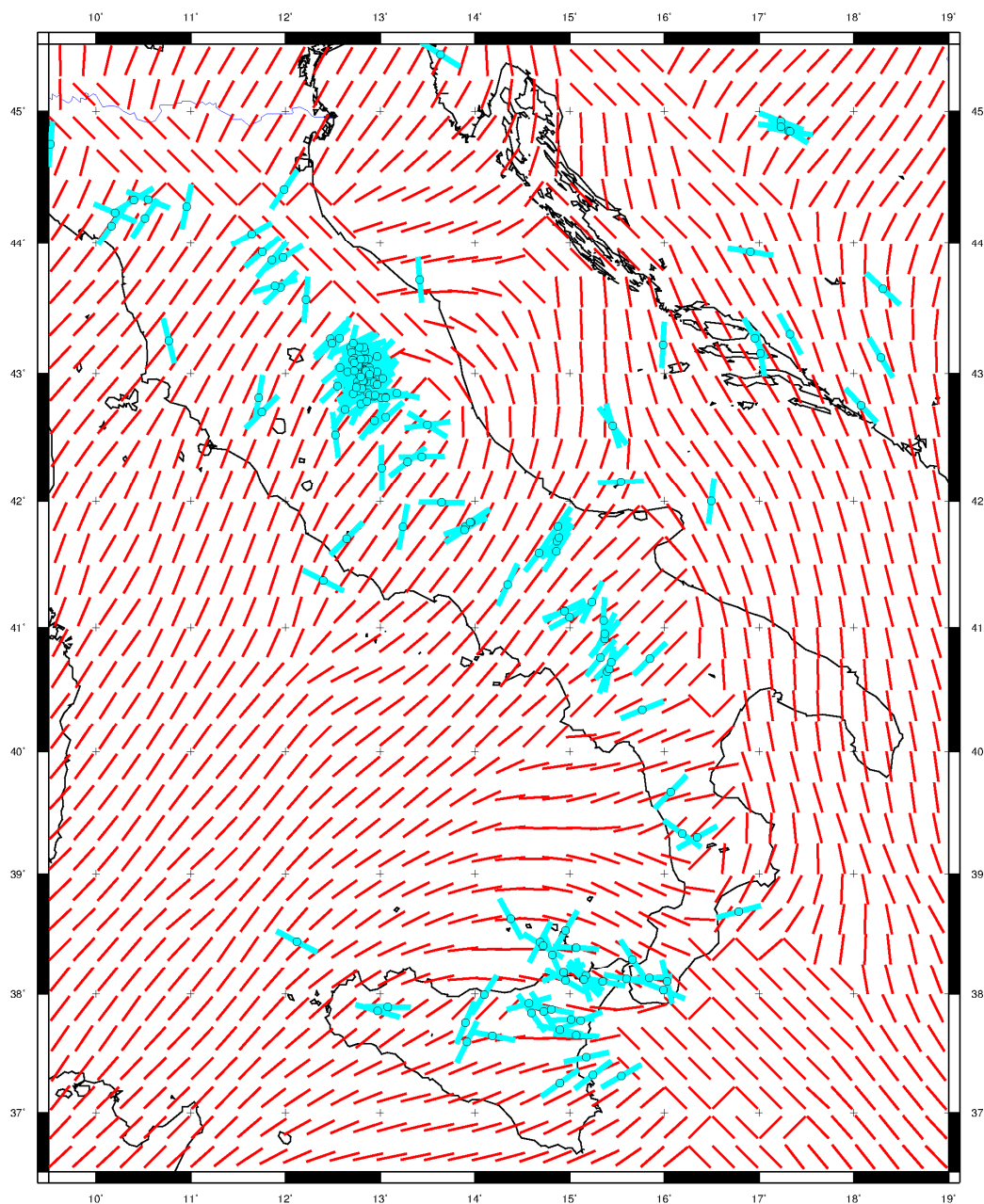


Рис.3. Апеннинский полуостров: Сравнение расчетного поля напряжений (красные линии – ориентировки максимальных осей тензоров) и наблюдаемых данных (линии цвета морской волны – проекции на горизонтальную плоскость осей растяжения для сбросовых, сдвиго-сбросовых и сдвиговых режимов деформации по данным Мировой Карты Напряжений [6])

Критерием правильности рассчитанных моделей была принята степень соответствия расчетного поля напряжений данным Мировой Карты Напряжений [6].

Результаты

Качественная картина распределения напряжений в Европейском регионе была получена почти два десятка лет назад в работе [9], когда на основе визуального анализа первого выпуска Мировой Карты Напряжений [13] было установлено, что ориентировка осей главных сжимающих

напряжений в Западной Европе имеет ориентировку от СЗ-ЮВ до ССЗ-ЮЮВ, в пределах Скандинавского полуострова она меняется на ЗСЗ-ВЮВ, в Панонском бассейне – на СВ-ЮЗ, а в Альпах – на почти субширотную (З-В). Ориентировка главных осей растяжения определялась как субмеридиональная для Эгейского моря и Западной Анатолии. Полученные позднее количественные оценки, основанные на статистическом анализе данных Мировой Карты Напряжений (напр., [5,10]) позволили

несколько уточнить характер распределения напряжений в данном регионе, в целом не

опровергая первичной качественной оценки [9] ориентировки главных осей напряжений.

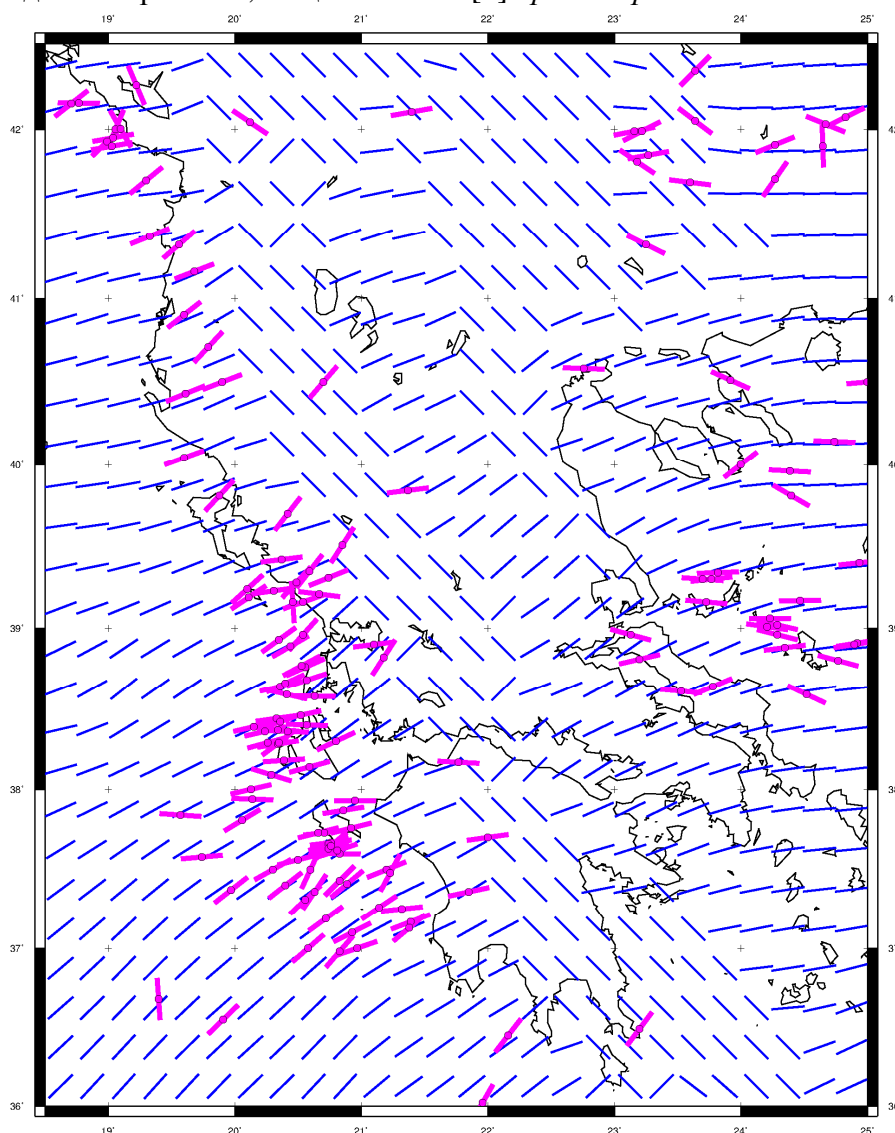


Рис.4. Южная часть Балканского полуострова: Сравнение расчетного поля напряжений (синие линии – ориентировки минимальных осей тензоров) и наблюдаемых данных (фиолетовые линии – проекции на горизонтальную плоскость осей сжатия для взбросовых, сдвиго-взбросовых и сдвиговых режимов деформации по данным Мировой Карты Напряжений [6])

Для рассчитанного в рамках настоящей работы модельного распределения напряжений характерна ориентировка главных осей, в целом хорошо согласующаяся с полученной в результате визуального [9] и количественного [10] усреднения данных Мировой Карты Напряжений. Что касается распределения режимов деформаций, то оно не противоречит предлагаемому в работе [10]: в пределах континентальной части Европы в целом преобладают близкие к сдвиговым растягивающие деформации, обстановка растяжения проявлена в горных поясах

Пиренеев и Альп, Эгейском море и Апеннинском полуострове, а сжатия – в Тирренском, Адриатическом и Ионическом морях.

На рис.3 показано распределение расчетных и наблюдаемых напряжений на Апеннинском полуострове. В пределах данного района, как говорилось выше, имеет место обстановка растяжения, поэтому на данном рисунке показаны ориентировки максимальных осей расчетных тензоров напряжений (растяжение при вычислениях полагалось положительным). Преимущественно СВ-ЮЗ простираение этих

осей на самом полуострове переходит в ВСВ-ЗЮЗ до субширотного на острове Сицилия. В качестве фактических данных, используемых в данном случае для сравнения, выступают ориентировки проекций на горизонтальную плоскость растягивающих осей для замеров из Мировой Карты Напряжений, которым соответствуют режимы деформаций, не имеющие в своем составе взбросовой компоненты (сбросы, сдвиги-сбросы, сдвиги). Визуальное сопоставление этих данных позволяет говорить об очень хорошем соответствии модельных напряжений данным конкретным замеров для материковой части показанного на рис.3 района.

Восточная часть Ионического моря, омывающая юго-западный берег Балканского полуострова, характеризуется достаточно высокой сейсмической активностью, причем большая часть механизмов землетрясений в данном районе взбросовые, что указывает на обстановку регионального сжатия. Ориентировка проекций на горизонтальную плоскость осей сжатия этих механизмов имеет СВ-ЮЗ простирание, перпендикулярное простиранию береговой линии. Ориентировки главных минимальных осей рассчитанных тензоров напряжений (сжатие при вычислениях полагалось отрицательным) демонстрирует практически точное совпадение с главным направлением сжатия по фактическим данным (рис.4).

Таким образом, даже в таком сложном с тектонической точки зрения регионе как Европа при детальном учете достаточного количества входной информации компьютерное моделирование может дать хорошо согласующиеся с наблюдаемыми данными результаты.

Литература

1. *Контев А.И.* Компьютерная модель напряженного состояния в литосфере Земли // Материалы XLIII Тектонического совещания «Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя». Москва. МГУ. 2-5 февраля 2010 г. т. 1. 356-359 с.
2. *Контев А.И., Ершов А.В.* Количественная модель термальной мощности литосферы Земли. Тезисы международной конференции, посвященной памяти В.Е. Хаина "Современное состояние наук о Земле". 1-4 февраля 2011 г. Москва. МГУ.
3. *Контев А.И., Ершов А.В.* Роль гравитационного потенциала литосферы в формировании глобального поля напряжений // Физика Земли. 2010. №12. с. 66-81.
4. *Bassin C., Laske G., Masters G.* The Current Limits of Resolution for Surface Wave Tomography in North America // EOS Trans AGU. 2000. 81. F. 897.
5. *Heidbach O., Tingay M., Barth A., Reinecker J., Kurfeß D., Müller B.* Global crustal stress pattern based on the World Stress Map data base release 2008 // Tectonophysics. 2010. V. 482. P. 3-15.
6. *Heidbach O., Tingay M., Barth A., Reinecker J., Kurfeß D., Müller B. (eds.)* The World Stress Map – Release 2008. Commission for the Geological Map of the World. 2008. Paris.
7. *Koptev A.I., Ershov A.V.* Modelling of global lithospheric stress field on the spherical Earth // 3rd World Stress Map Conference. Potsdam. 15-17 October 2008. P. 77.
8. *Mooney A., Laske G., Masters G.* Crust 5.1: a global crustal model at 5x5 degrees // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. P. 727-747.
9. *Müller B., Zoback M.L., Fuchs K., Mastin L., Gregersen S., Pavoni N., Stephansson O., Ljunggren C.* Regional patterns of tectonic stress in Europe // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. P. 11783-11803.
10. *Olaiz A.J., Muñoz-Martín A., DeVicente G., Vegas R., Cloetingh S.* European continuous active tectonic strain-stress map // Tectonophysics. 2009. V. 474. P. 33-40.
11. *Rybach L., Buntebarth G.* Relationships between the petrophysical properties: density, seismic velocity, heat generation and mineralogical constitution // Earth Planet Sci. Lett. 1982. Vol. 57. P. 367-376.
12. *Tesauro M., Kaban M. K., Cloetingh S.A.P.L.* EuCRUST-07: A new reference model for the European crust // Geophys. Res. Lett. 2008. V. 35. L05313. doi:10.1029/2007GL32244.
13. *Zoback M.L.* First and second order patterns of stress in the lithosphere: The World Stress Map Project // J. Geophys. Res. 1992. V. 97. P. 11703-11728.