

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ И ЛИТОСФЕРНЫХ СКЛАДОВ В ЧЕРНОМОРСКО-КАВКАЗСКО-КАСПИЙСКОМ РЕГИОНЕ

**Коптев А.И., Ершов А.В.**

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

### **Введение**

Подход к математическому моделированию напряженного состояния на основе использования в качестве главного источника напряжений и деформаций сил разности гравитационного потенциала литосферы был успешно применен для построения глобальных моделей поля напряжений [13,3,5] и порожденных этими напряжениями литосферных складок [12].

Региональные модели напряжений и складок в литосфере за счет своей большей детальности могут дать более точное представление о распределении рассчитываемых полей в рассматриваемых регионах и сделать некоторые выводы об их геодинамике и истории геологического развития.

В настоящей работе представлены результаты моделирования напряженного состояния и складкообразования в литосфере в пределах Черноморско-Кавказско-Каспийского региона. Расчеты выполнены с разрешением  $0,2^\circ \times 0,2^\circ$ .

Одной из проблем в понимании истории развития Черноморской и Каспийской впадин является природа значительного увеличения скорости погружения этих бассейнов в плиоцен-четвертичное время. Оно было выявлено в результате численного моделирования истории погружения этих бассейнов в работах [14,9], где использовалась стандартная процедура бэк-стриппинга [17] с поправкой на уплотнение осадков и информацию о глубине палеобассейнов [2,11,6]. Аналогичные результаты получены при моделировании погружения Черного моря в работах [15,16]. Правильная интерпретация источников этого быстрого погружения особенно важна в свете того, что именно с ним обычно связана нефтегазоносность осадочных бассейнов.

В работах [14,9] для объяснения быстрого плиоцен-четвертичного

погружения Черноморской и Каспийской впадин была предложена модель прогибания литосферы под воздействием сжимающих напряжений, которые, как известно [7], доминируют в данном регионе начиная с олигоцена вследствие коллизии Аравийской и Евразийской плит. Данная модель была подтверждена численными расчетами, которые показали возможность подбора таких сжимающих сил на границах моделируемого разреза, что вызванное этими силами прогибание упругой пластины, по свойствам отождествляемой с реальной литосферой, будет сопоставимо с наблюдаемыми данными. Это объяснение природы быстрого погружения в осадочных бассейнах противопоставляется другой точке зрения, согласно которой его главной причиной является уплотнение пород основного состава в нижней части коры вследствие перехода базальта (габбро) в гранатовые гранулиты и эклогит [1].

Произведенное в рамках настоящей работы численное моделирование поля напряжений позволило получить не только общую картину распространения в тех или иных частях рассматриваемого региона напряжений сжатия и растяжения, но и количественную оценку значений и направлений этих напряжений. Таким образом, при расчете изгиба литосферы использовались не искусственно подобранные значения напряжений (как это делалось в работах [14,9]), а их величины, полученные в результате действия тектонических сил, имеющих реальную физическую природу (силы разности гравитационного потенциала) [13,3,5]. Полученное в результате этих расчетов распределение изгиба литосферы должно было показать насколько обоснована модель быстрого погружения осадочных бассейнов под воздействием тектонических напряжений.

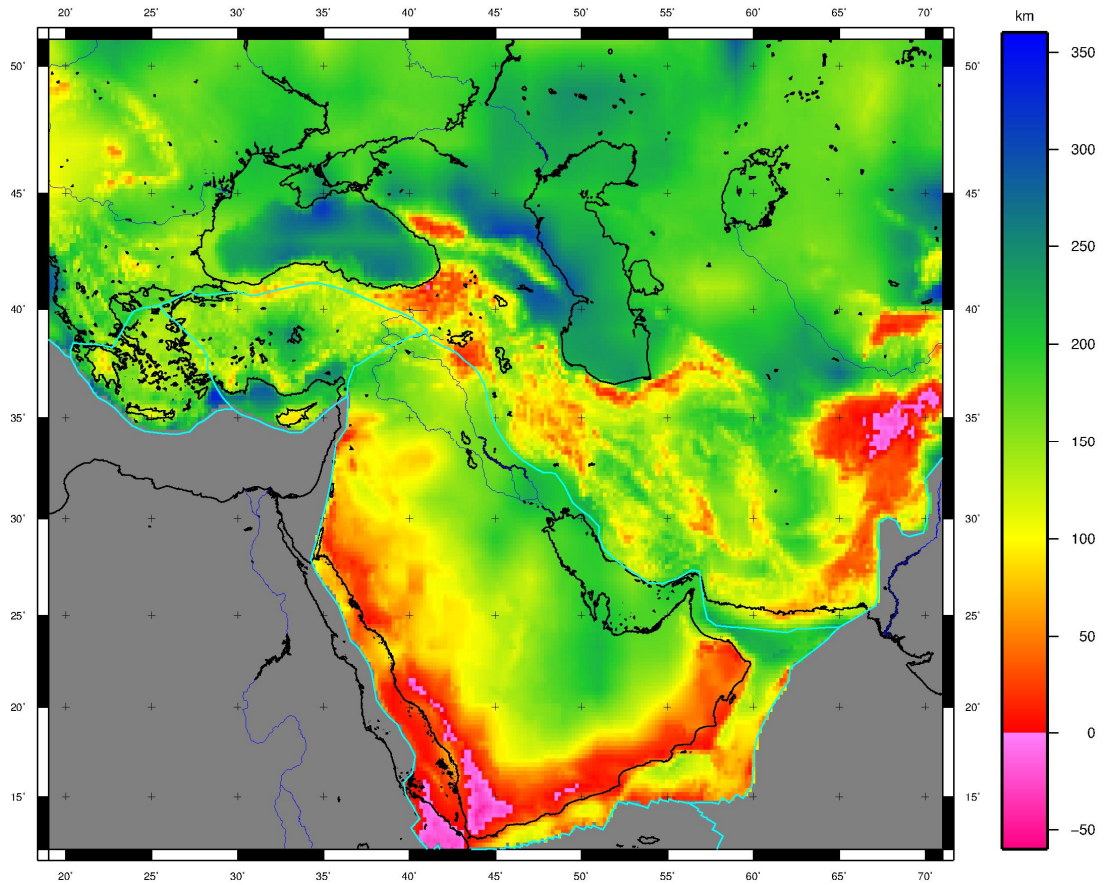


Рис.1. Расчетная термальная мощность литосферы

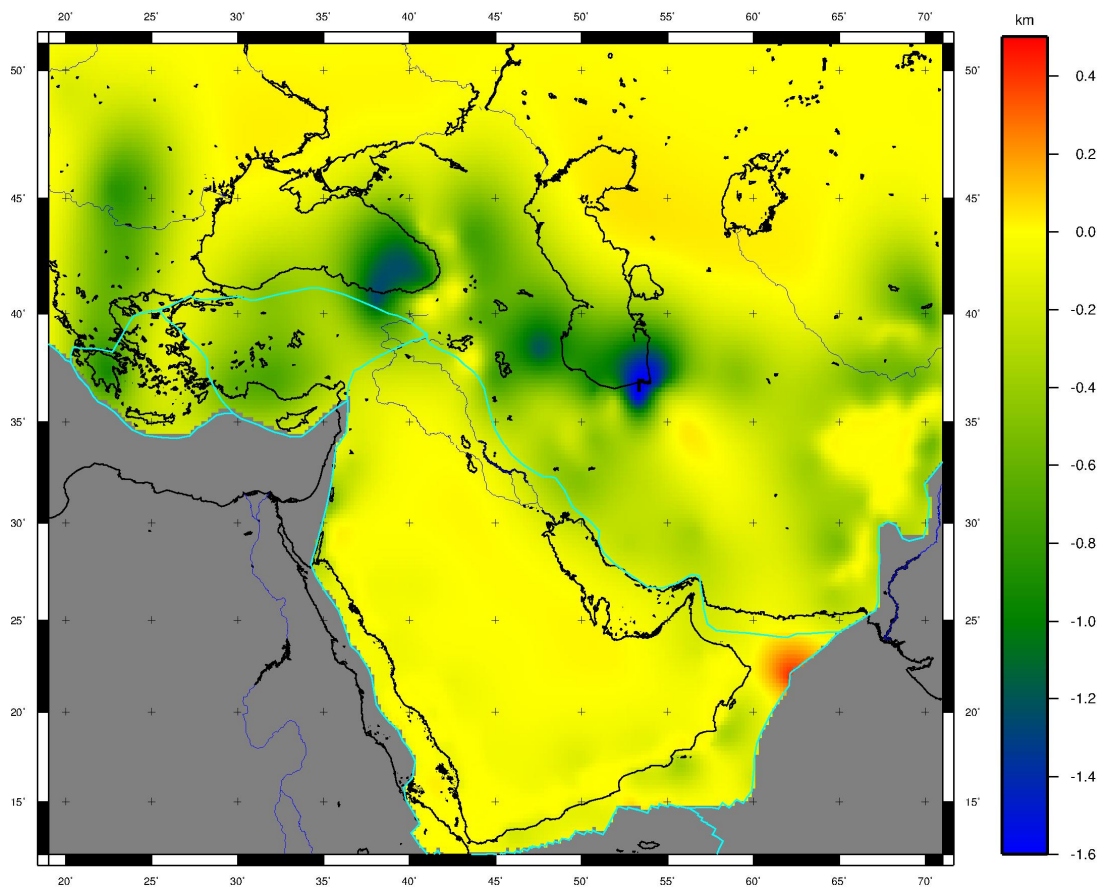


Рис. 2. Амплитуда литосферных складок

## Результаты

Южная граница расчетной области соответствовала южному обрамлению Аравийской плиты в центральной части и северной границе Африканской и Индийской плит на западе и востоке соответственно; западная и восточная – долготам  $18^\circ$  в.д. и  $72^\circ$  в.д.; северная – широте  $52^\circ$  с.ш. Границы литосферных плит брались по данным цифровой модели П. Берда [8]. Включение в область расчетов всей Аравийской плиты необходимо для того, чтобы учесть силы сползания с термального свода Красноморской рифтовой системы при определении распределения напряжений в Черноморско-Каспийском регионе.

Источниками расчетного поля напряжений, также как и в предыдущих работах [13,3,5], были только обобщенные топографические силы (силы разности гравитационного потенциала). В качестве граничных условий модели выступали «зафиксированная» северная граница области расчетов и «свободные» остальные границы.

На рис.1 приведены результаты расчетов термальной мощности литосферы, выполненных по методике, описанной в работе [4]. Расчет мощности литосферы с одной стороны необходим для расчета величин обобщенных топографических сил, а с другой является самодостаточным результатом, позволяющим сделать некоторые выводы о рассматриваемом регионе. Так, например, важно отметить, что наибольшие мощности литосферы имеют место в пределах Черноморского и Каспийского бассейнов, а также восточной части зоны Предкавказских краевых прогибов, а наименьшие – в пределах горных областей (например, горного сооружения Большого Кавказа). Такие большие контрасты (до 300 км) мощности литосферы в смежных областях приводит к значительным изгибам в пространстве ее эффективной средней линии [10], что при наличии достаточных напряжений может приводить к формированию литосферных складок.

Расчетное распределение напряжений (рис.3) характеризуется следующими особенностями. В Черном и Каспийском морях доминирует обстановка сжатия. В Черном море субмеридиональное сжатие в его восточной части сменяется сжатием СЗ-ЮВ простирания в центральной и западной частях, которое переходит в субмеридиональное растяжение в северо-западной части. Для Каспийского моря характерна достаточно выдержанная ЮЗ-СВ ориентировка главных осей сжатия в Южном и Центральном Каспии, сменяющаяся на почти строго меридиональную на севере. Обстановка растяжения приурочена главным образом к области развития орогенов: практически весь хребет Большого Кавказа находится в состоянии СВ-ЮЗ растяжения, причем в восточной части это растяжение сменяется интенсивным сжатием примерно того же простирания по периферии горного сооружения. Также стоит отметить региональное растяжение в пределах Эгейского моря, которое подтверждается фактическими данными и получено в настоящей работе в результате действия только сил разности гравитационного потенциала без привлечения таких дополнительных источников, как затягивание в зоне субдукции вследствие ее отката и пр.

Результаты расчетов амплитуды литосферных складок, возникающих в результате действия полученных в модели напряжений, показаны на рис.2. Наибольшие значения величины прогибания литосферы (около 1,5 км) наблюдаются в Восточно-Черноморской и Южно-Каспийской впадинах, именно для которых в работах [14,9] и была предложена модель синкомпрессионного прогибания под воздействием сжимающих напряжений. Таким образом, выполненные на новом уровне расчеты (2d-модель поля напряжений и литосферных складок вместо 1d-модели изгиба пластины) подтверждают ранее опубликованные модели [14,9] истории завершающего этапа развития рассматриваемых осадочных бассейнов.

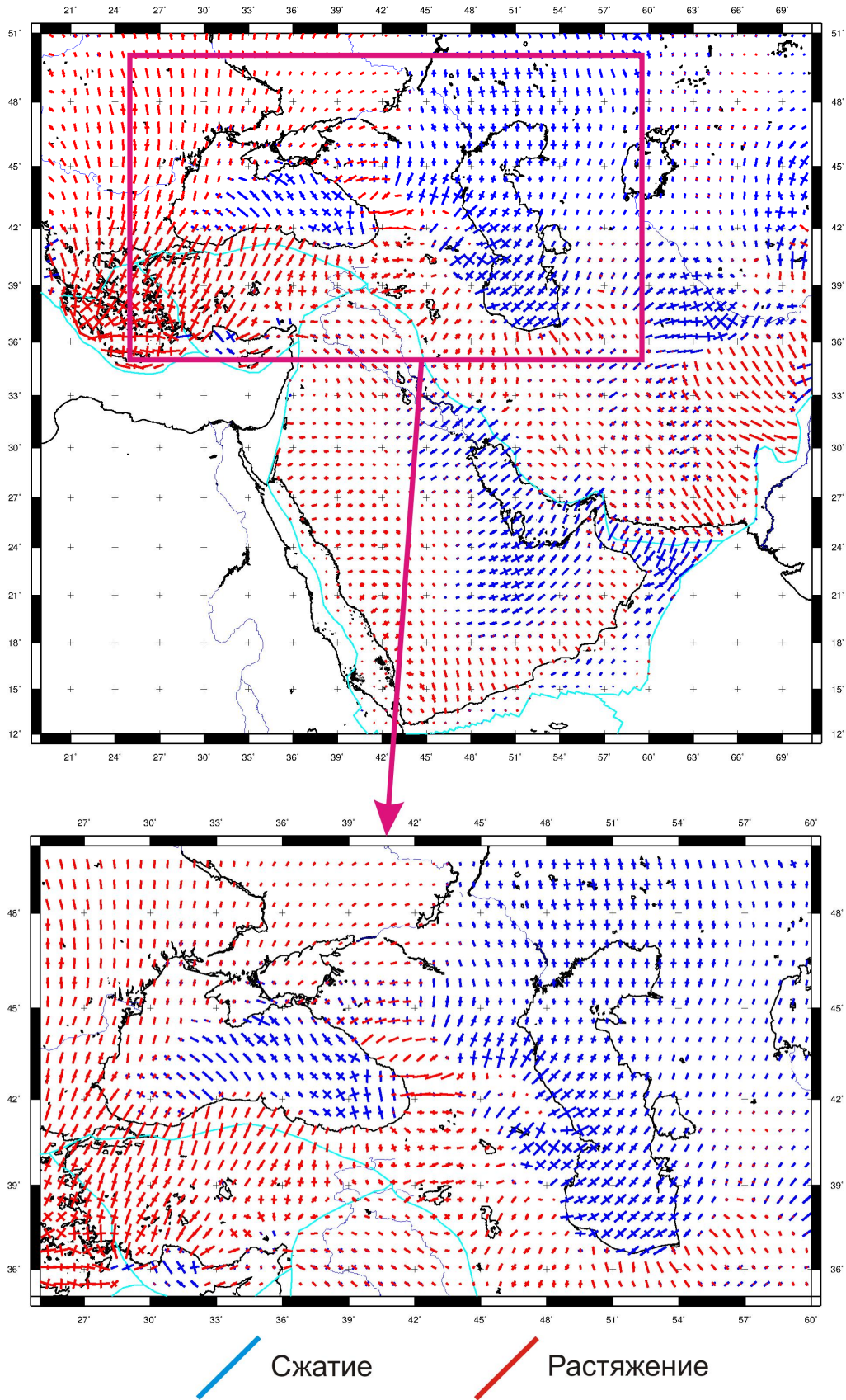


Рис. 3. Расчетное поле напряжений

**Литература**

1. Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М.: Наука. 1993. 456с.

2. Еришов А.В. Моделирование эволюции осадочных бассейнов и деформации литосферы (на примере бассейнов Восточно-Европейской и Скифской платформ).

- Автореферат на соискание ученой степени кандидата ф.-м. наук. М. 1997.
3. *Коптев 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.
  4. *Коптев 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.
  5. *Коптев А.И., Ершов А.В.* Роль гравитационного потенциала литосферы в формировании глобального поля напряжений // *Физика Земли*. 2010. №12. с. 66-81.
  6. *Коротаев М.В.* Осадочные бассейны в обстановке сжатия - моделирование фаз быстрого погружения. Автореферат на соискание ученой степени кандидата г.-м. наук. М. 1998.
  7. *Милановский Е.Е.* Геология СССР. Часть 3. Средиземноморский и Тихоокеанский подвижные пояса. Заключение. М.: Московский Университет. 1991. 272 с.
  8. *Bird P.* An updated digital model of plates boundaries // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. An electronic journal of the Earth sciences. 2003. Vol. 4 (N3). 1027. doi: 10.1029/2001GC000252. ISSN: 1525-2027.
  9. *Brunet M.-F., Korotaev M.V., Ershov A.V., Nikishin A.M.* The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modelling // *Sedimentary Geology*. 2003. V. 156. P. 119-148.
  10. *Ershov A.V.* Effective middle surface of lithosphere // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1999. V. 173. P. 129-141.
  11. *Ershov A.V., Brunet M.-F., Nikishin A.M., Bolotov S.N., Korotaev, M.V., Kosova S.S.* Evolution of the eastern Fore-Caucasus basin during the Cenozoic collision: burial history and dynamic modelling. In: Crasquin-Soleau S., Barrier E. (Ed.) *Peri-TethysMemoir 4: Epicratonic Basins of Peri-Tethyan Platforms*. 1998. *Memoires du Museum national d'Histoire naturelle*. Paris. V. 179. P. 111-130.
  12. *Ershov A.V., Koptev A.I.* Origination of lithosphere folds as a result of stress field reorganization // 3<sup>rd</sup> World Stress Map Conference. Potsdam. 15-17 October 2008. P. 64.
  13. *Koptev A.I., Ershov A.V.* Modelling of global lithospheric stress field on the spherical Earth // 3<sup>rd</sup> World Stress Map Conference. Potsdam. 15-17 October 2008. P. 77.
  14. *Nikishin A.M., Korotaev M.V., Ershov A.V., Brunet M.-F.* The Black Sea basin: tectonic history and Neogene-Quaternary rapid subsidence modelling // *Sedimentary Geology*. 2003. V. 156. P. 149-168.
  15. *Robinson A.G., Rudat J.H., Banks C.J., Wiles R.L.F.* Petroleum geology of the Black Sea // *Marine and Petroleum Geology*. 1996. V. 13. P. 195-223.
  16. *Spadini G., Robinson A.G., Cloetingh S.A.P.L.* Thermomechanical modelling of Black Sea basin formation, subsidence, and sedimentation. In: Robinson A.G. (Ed.). *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir. 1997. V. 68. P. 19-38.
  17. *Steckler M.S., Watts A.B.* Subsidence of the Atlantic-type continental margin off New York // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1978 V. 41. P. 1-13.