ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА

© Ф.А.Кадиров, А.Г.Кадиров, 2009

ГРАВИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ ПО РЕГИОНАЛЬНОМУ ПРОФИЛЮ ЭЛЬБУРС – АБШЕРОНСКИЙ ПОРОГ

Ф.А.Кадиров, А.Г.Кадиров

Институт геологии НАН Азербайджана
AZ1143, Баку, просп. Г.Джавида, 29А

В свете новых геофизических исследований в статье рассматривается 2D гравитационная модель глубинного строения земной коры и верхней мантии вдоль регионального профиля Эльбурс – Абшеронский порог, пересекающего Южно-Каспийскую впадину. Модель анализируется на основе фокальных механизмов очагов землетрясений. Она составлена методом подбора плотностных границ верхней границы океанической коры и границы Мохо. Интегрированное исследование силы тяжести и данных сейсмичности вдоль профиля дает новую информацию о зоне субдукции на севере ЮКВ. Толщина мезозойского слоя в средней части профиля (~8 км) постепенно увеличивается в северном направлении и в районе Абшеронского порога достигает максимального значения (~20 км). Полагается, что это является результатом коллизии океанической коры с континентальной. В зоне их сочленения в северной части полученной модели наблюдается изгиб океанической коры, возможно, связанный с начинающимся процессом субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий. Субдукция под Абшеронский порог сопровождается срывом с базальтового слоя вышележащих осадков.

Введение

Южно-Каспийская впадина (ЮКВ) является уникальной тектонической структурой, что обусловлено, прежде всего, значительной глубиной залегания (20-30 км) подошвы ее осадочного слоя и, соответственно, кровли консолидированной коры. Важной особенностью впадины является также необычно широкое развитие глиняного диапиризма и грязевого вулканизма (Артюшков, 1993; 2007; Хаин, Богданов, 2003; Хаин, 2005).

Основные структурные элементы ЮКВ показаны на рис. 1.

Консолидированная кора ЮКВ в кровле характеризуется сейсмическими скоростями, свойственными обычно лишь нижнему слою континентальной коры либо второму слою океанической коры, что позволяет относить ее к океаническому либо субокеаническому типу (Артюшков, 1993; 2007; Хаин, 2005). Центральная часть впадины в отличие от ее периферии практически асейсмична, и землетрясения, происходящие в этой части, окаймляют впадину, подчеркивая ее контуры (Уломов, 2003; Reilinger et al. 2006). Несмотря на то, что в ЮКВ наблюдаются крайне низкие значения теплового потока, на их фоне выделяются отдельные небольшие участки резко повышенных значений потока, возможно, связанных с деятельностью грязевых вулканов (Томара, 1979; Мухтаров, 2003).

В последние годы получены новые данные и появились новые идеи относительно структуры ЮКВ и истории ее формирования. Однако в целом проблема происхождения впадины как единой структуры (Артюшков, 1993; 2007; Хаин, 2005) и предположение о субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий (Халилов и др., 1987; Granath и др., 2004; Mamedov, 2005) до сих пор остаются дискуссионными.

В связи с этим в статье в свете новых геофизических данных рассматривается 2D (по региональному профилю Эльбурс – Абшеронский порог) гравитационная модель ЮКВ. Исследуемый профиль (см. рис.1) протяженностью 630 км начинается в Центральном Эльбурсе и заканчивается в Среднем Каспии. В статье приводятся также результаты совместного анализа глубинного строения вдоль исследуемого профиля и данных фокальных механизмов землетрясений. Двухмерное гравитационное моделирование основано на данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) (Аксенович и др., 1962; Mamedov et al., 1997; 2005; Brunet et al., 2003; Knapp et al., 2004; Babayev, Gadjiyev, 2006).

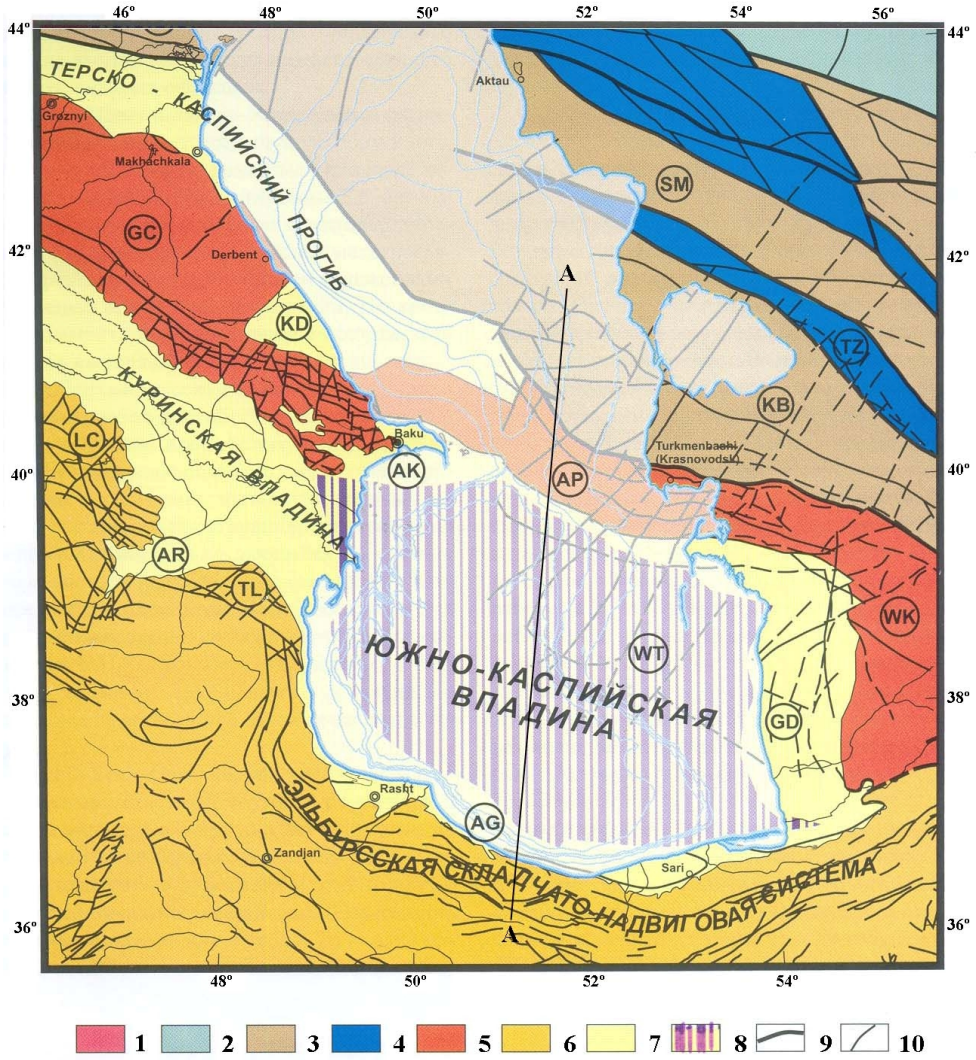


Рис. 1. Основные структурные элементы ЮКВ (по Хаину)

Фундамент платформенных областей (1-4): 1 – раннедокембрийский; 2 – байкальский; 3 – герцинский; 4 – раннекиммерийский; альпийские складчато-покровные системы (5,6): 5 – Большой Кавказ и Копетдаг; 6 – Малый Кавказ, Талыш, Эльбурс; передовые прогибы и впадины – 7; впадины с корой океанического типа – 8; разрывные нарушения, соответствующие границам крупных структур – 9; прочие важные разрывы – 10.

Важнейшие структуры (буквы в кружках): TZ – Туаркырская зона, KB – Среднекаспийско-Карабогазская антеклиза, KD – Гусаро-Девечинский прогиб, AP – Абшероно-Прибалханская зона, WK – Западно-Копетдагская зона, LC - складчатая система Малого Кавказа, AR - Нижнеаразский прогиб, TL – Талышская зона, AG – Эльбурсско-Горганский передовой прогиб, WT – Западно-Туркменский прогиб, GD – Гограньдаг-Окаремская зона, GC – складчатая система Большого Кавказа, SM – Южно-Мангышлакско-Устюртская система прогибов; AA – исследуемый профиль

Аномалии гравитационного поля ЮКВ

Карта гравитационного поля ЮКВ в редукции Буге приводится на рисунке 2. Гравитационное поле ЮКВ характеризуется аномалиями различных типов и амплитуд. Аномальное поле северной части бассейна представлено зоной увеличенных горизонтальных градиентов субкавказского направления. В северо-западной части ЮКВ имеется обширный гравитационный минимум с амплитудой до 125 мГал. Центральная часть бассейна представлена слабым по интенсивности гравитационным минимумом антикавказского простирания, на западе и на востоке – изометрическим максимумом (Сафидруд и Годин) гравитационного поля. Зона центрального Эльбурса характеризуется отрицательной аномалией (-120 мГал).

Метод гравитационного моделирования

Для гравитационного моделирования глубинного строения земной коры и верхней мантии вдоль исследуемого профиля применен метод подбора (Булах и др., 1984; Буллах, Маркова, 1992). Моделирование структур земной коры и верхней мантии по методу подбора осуществлялось в следующей последовательности:

1) составление плотностной модели на основе априорной информации о физико-геологическом строении района исследований; 2) решение прямой задачи для составленной модели; 3) исключение регионального фона; 4) выбор ограничения на геометрические и физические параметры плотностной модели и закрепление достоверных данных; 5) уточнение параметров модели методом подбора; 6) при необходимости производится поиск новых гравиактивных источников;

В качестве критериев близости наблюдаемой $g(x_i)$ и подобранной $\Phi(x_i)$ кривых использована величина

$$F = \sum_{i=1}^{n} [g(x_i) - \Phi(x_i)]^2 = \min ,$$

где x_i координаты точки наблюдения, n – число точек, используемых при аппроксимации.

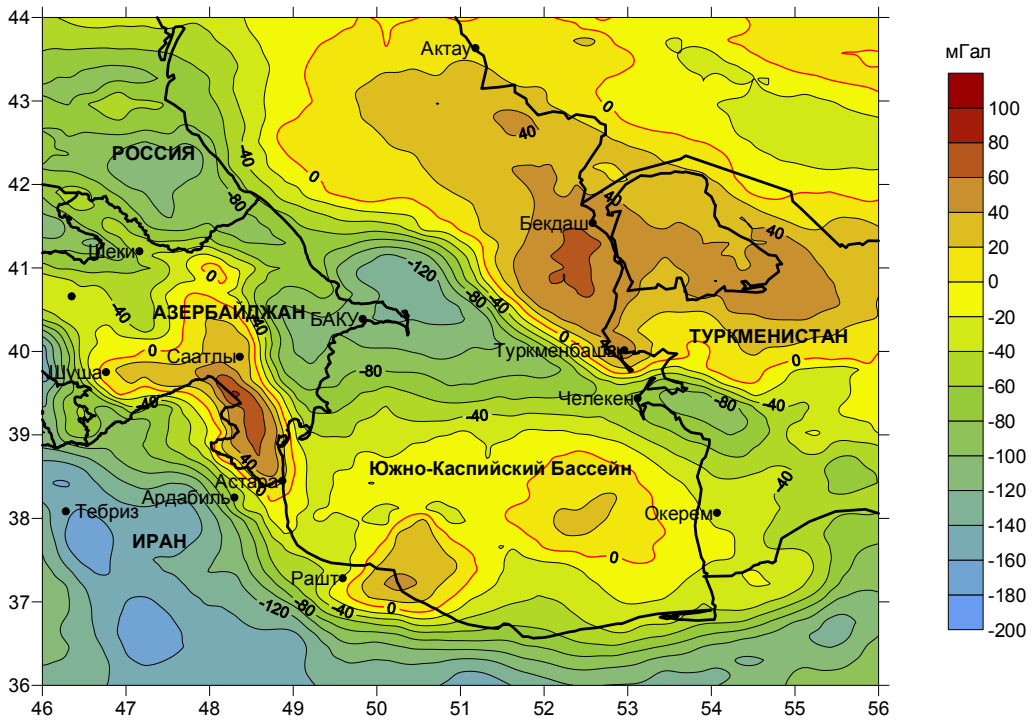


Рис. 2. Карта гравитационных аномалий ЮКВ в редукции Буге

На рисунке 3 приводятся топография, наблюдаемое гравиметрическое поле (от исходной и подобранной модели), начальный геолого-геофизический разрез вдоль профиля и подобранная гравитационная модель.

На этом разрезе ясно отражен характер сочленения земной коры ЮКВ с континентальными блоками на юге и севере. В центральной части исходного разреза (океаническая кора) выделены следующие сейсмические границы: 1) граница между неогеном и палеогеном; 2) палеогеном и мезозоем; 3) верхняя граница консолидированной коры («базальт»), разграничивающая осадочный и консолидированный комплексы пород; 4) граница Мохоровичича (по гравиметрическим данным).

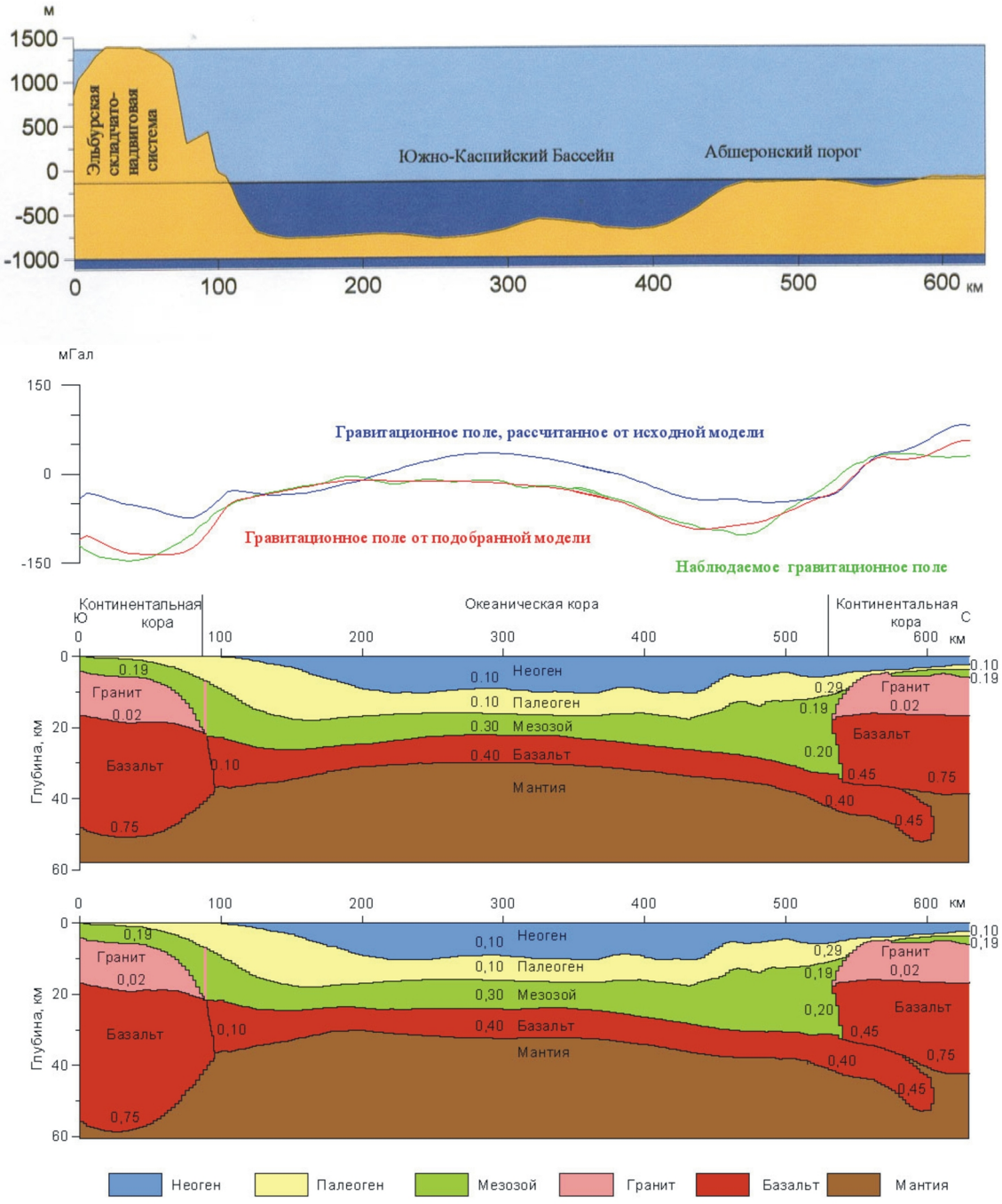


Рис. 3. Гравитационная модель и топография зоны меридионального профиля Эльбурс – Абшеронский порог. Значения разности плотности даны в г/см^3.

Кроме вышеуказанных границ, в континентальной коре выделяется граница между гранитным и базальтовым слоями.

В северной части профиля на кривой аномалии Буге наблюдается резкое увеличение значений гравитационного поля, приуроченное к зоне сочленения континентальной коры с океанической. Между геометрией границ слоев и топографией вдоль профиля существует корреляция.

Величины плотности слоев земной коры и верхней мантии были выбраны согласно литературным данным. Решение прямой задачи для исходной модели показывает, что вдоль профиля наблюдается чередование зон с избыточной массой (0-62 км и 220-500 км). Вычисленные значения гравитационного поля для начальной геолого-геофизической модели не объясняют наблюдаемое гравитационное поле. Наибольшие значения расхождения гравитационного поля приходятся на интервалы 10-65 км (54 мГал -100мГал), 260-485км (40-55 мГал) и 605-630км (35-54 мГал). Для компенсации наблюдаемого гравитационного поля осуществлен подбор плотностных границ (верхней границы базальтового слоя океанической и континентальной кор и границы Мохо) до получения наименьшего расхождения между наблюдаемыми и подобранными значениями гравитационного поля. В северной части профиля в зоне сочленения океанической коры с континентальной, где отмечались наибольшие отклонения в гравитационном поле, поверхность базальтового слоя была опущена на величину 2,6 км. Граница Мохо претерпела наибольшие изменения на следующих участках профиля: в южной части профиля в районе 50 км поверхность была опущена на величину 8 км, в центральной части профиля (300км) поднята на величину 2,5 км, далее в районе 455 км опущена на величину 3 км. В месте сочленения океанической коры с континентальной (~540 км) граница Мохо была поднята на 1,3 км, а севернее была опущена на 1,4 км.

В северной части полученной модели в зоне сочленения океанической коры с континентальной наблюдается изгиб океанической коры, возможно, связанный с зарождающимся процессом субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий. Субдукция под Абшеронский порог сопровождается срывом с базальтового слоя вышележащих осадков. Верхние осадочные слои в результате установленных горизонтальных движений в направлении с юго-запада на северо-восток (Reilinger et al. 2006) и столкновения с континентальной корой в северной части ЮКВ испытывают сжатие, приводящее к их утолщению. Толщина мезозойского слоя в средней части профиля (~8 км), постепенно увеличиваясь в северном направлении, достигает максимального значения (~20 км) в районе Абшеронского порога. Полагается, что это является следствием взаимодействия океанической коры с континентальной.

Данные о землетрясениях

Для получения дополнительной информации о процессе субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий были использованы сведения о землетрясениях с магнитудами от 3 до 7 баллов из сводного каталога землетрясений, составленного на основе каталога Геофизического Центра РАН, открытой информации международных сейсмологических центров, таких как NEIC, IRIS, CTBT, ANSS и Республиканского Центра Сейсмологической Службы НАНА за период 1963-2008 гг. Данные распределения землетрясений на ЮКВ и в прилегающих регионах, взятые из сводного каталога (1963-2008 гг.), приводятся на рисунке 4а.

Для анализа сейсмичности была использована информация о механизмах очагов землетрясений, расположенных в полосе шириной в 2º вдоль профиля (рис.4б), заимствованная из Гарвардского каталога (1976-2008 гг.) (http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html).

Из рисунка 5 видно, что очаги землетрясений располагаются в пределах океанической коры в зоне ее погружения под континентальную. Такое глубинное распределение очагов сильных землетрясений позволяет нам связывать генетическую природу этих землетрясений и закономерностей их генерации с процессом зарождающейся субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий. Фокальный анализ сильных землетрясений (M=6.1; 6.2; 6.3) показывает, что эта зона характеризуется крутым сбросовым механиз-

мом. В отличие от этого, фокальные механизмы сильных землетрясений, происходящих на юге, указывают на наличие взбросов. Механизмы очагов землетрясений при переходе от Абшеронского порога к Эльбурсу изменяются в соответствии с изменением в этом направлении геологических условий и типа тектонических движений.

Таким образом, можно заключить, что субдукция океанической коры под континентальную является доминантным геологическим процессом, контролирующим сейсмическую активность и тектонические деформации в пределах земной коры ЮКБ. Подтверждением этому являются три сильных землетрясения, произошедшие за короткий исторический период в зоне предполагаемой субдукции в ЮКВ.

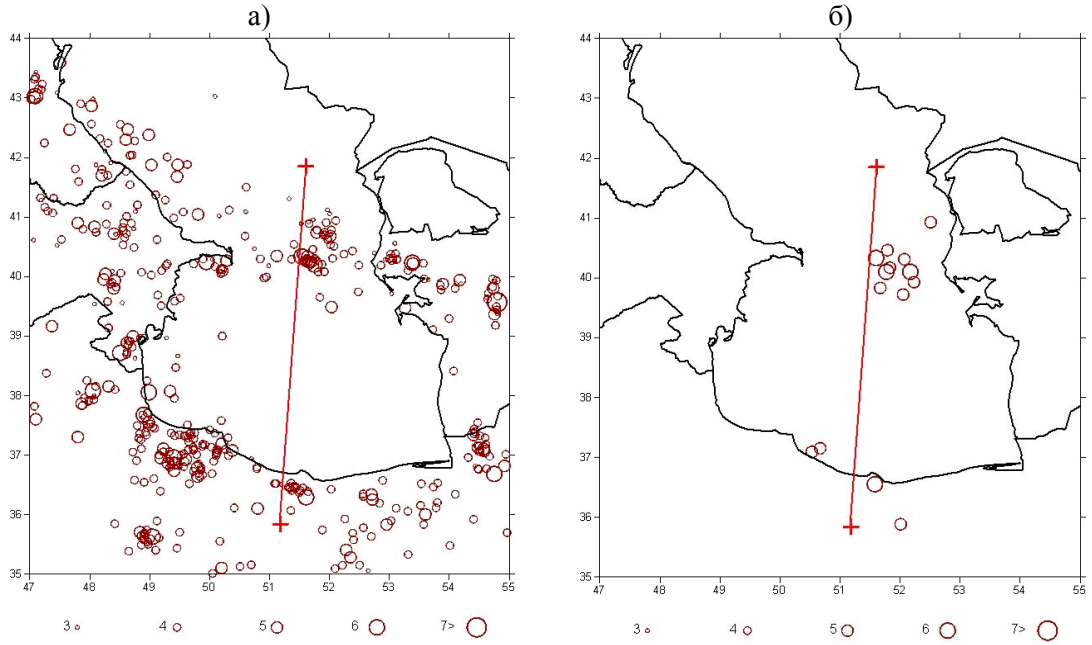


Рис. 4. а) Распределение землетрясений на ЮКВ и в прилегающих регионах за период 1963-2007 гг. б) Распределение землетрясений вдоль исследуемого профиля

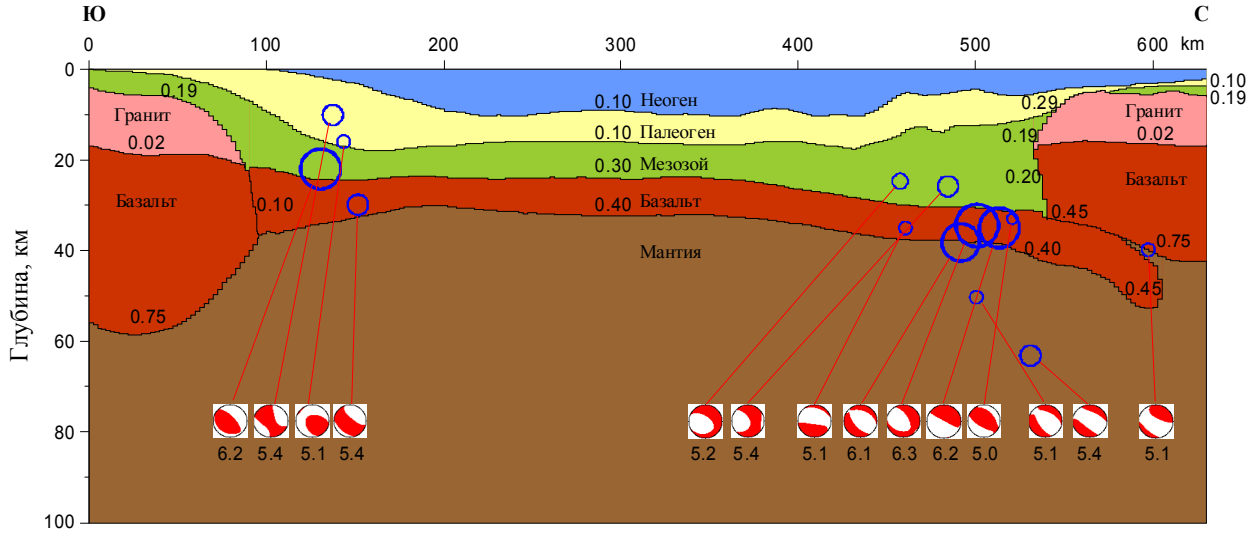


Рис. 5. Распределение землетрясений по глубине вдоль гравитационной модели, построенной по данным Гарвардского каталога фокальных механизмов очагов землетрясений (1976-2008 гг.)

Заключение

Методом подбора составлена 2D гравитационная модель (по региональному профилю Эльбурс – Абшеронский порог) глубинного строения ЮКВ и уточнены конфигурации верхней границы базальтового слоя и границы Мохо.

В северной части профиля подтверждается наличие зарождающегося процесса субдукции литосферы Южного Каспия под Средний Каспий, сопровождающегося срывом с базальтового слоя вышележащих осадков. Верхние слои в результате горизонтальных движений земной коры подвергаются сжатию, и толщина мезозойского слоя здесь достигает максимального для ЮКВ значения ~20 км.

Процесс субдукции, происходящий в пределах зоны Абшеронского порога, провоцирует проявление сильных землетрясений в основном со сбросовым фокальным механизмом.

В Эльбурсской надвиговой зоне (на юге профиля) наблюдается сжатие океанической коры, сопровождающееся сильными землетрясениями со взбросовым фокальным механизмом.

Благодарности. Мы благодарим проф. П.З.Мамедова за информацию о геологическом строении ЮКВ и полезные дискуссии о ее структуре.

ЛИТЕРАТУРА

АКСЕНОВИЧ, Г.И., АРОНОВ, Л.Е., ГАГЕЛЬЯНЦ, А.А., ГАЛЬПЕРИН, Е.И., ЗАЙОНЧКОВСКИЙ, М.А., КОСМИНСКАЯ, И.П., КРАКШИНА, Р.М. 1962. Глубинное сейсмическое зондирование в центральной части Каспийского моря. Изд-во АН СССР. Москва. 152.

АРТЮШКОВ, Е.В. 2007. Образование сверхглубокой впадины в южном Каспии вследствие фазовых переходов в континентальной коре. *Геология и геофизика,* 48, 12, 1289-1307.

АРТЮШКОВ, Е.В. 1993. Физическая тектоника. Наука. Москва. 456.

БУЛАХ, Е.Г., МАРКОВА, М.Н., ТИМОШЕНКО, В.И., БОЙКО, П.Д. 1984. Математическое обеспечение автоматизированной системы интерпретации гравитационных аномалий. Наукова Думка. Киев. 112.

БУЛЛАХ, Е.Г., МАРКОВА, М.Н. 1992. Решение обратных задач гравиметрии методом подбора. *Геофизический журнал*, 4, 9-19.

МУХТАРОВ, А.Ш. 2003. Некоторые аспекты формирования теплового поля в Каспийском регионе. *Труды Института Геологии НАНА*, 31, 141-147.

ТОМАРА, Г.А. 1979. Тепловой поток глубоководных впадин Каспийского моря. В кн.: *Экспериментальное и теоретическое изучение тепловых потоков*. Москва, Наука, 99-112.

УЛОМОВ, В.И. Объемная модель динамики литосферы, структуры сейсмичности и изменений уровня Каспийского моря. *Физика Земли*, 5, 5–17.

ХАИН, В.Е. 2005. Проблема происхождения и возраста Южно-Каспийской впадины и ее возможные решения. *Геотектоника*, 1, 40-44.

ХАИН, В.Е., БОГДАНОВ, Н.А.(под ред.) 2003. Международная Тектоническая карта Каспийского моря и его обрамления. М-б 1:2 500 000: Объяснительная записка.Научный мир. Москва. 120.

ХАЛИЛОВ, Э.Н., МЕХТИЕВ, Ш.Ф., ХАИН, В.Е. 1987. О некоторых геофизических данных, подтверждающих коллизионное происхождение Большого Кавказа. *Геотектоника*, 2, 54-60.

BABAYEV, D.KH., GADJIYEV, A.N. 2006. Deep structure and prospects oil-and-gas content basin of Caspian Sea. Publishing House of the Geology Institute. Baku. 306.

BRUNET, M-F., KOROTAEV, M.V., ERSHOV, A.V., NIKISHIN, A.M. 2003. The SCB: a review of its evolution from subsidence modeling. *Sedimentary Geology,* 156, 119–148.

GRANATH, J. W., SOOFI, K. A, BAGANZ, O. W., BAGIROV, E. 2004. Gravity modelling and its implications to the tectonics of the South Caspian basinş (http://www.searchanddiscovery.net/documents/abstracts//istanbul2000/extended/granath.pdf).

KNAPP, C.C., KNAPP, J.H., CONNOR, J.A. 2004. Crustal-scale structure of the South Caspian Basin revealed by deep seismic reflection profiling. *Mar. Petrol. Geol*., 21, 1073-1081.

MAMEDOV, P.Z. 2005. Model of the South Caspian mega basin on the basis of seismic investigation. In: *Abstract book of 67 conference EAGE*, Madrid, Spane, 213-217.

MAMEDOV, P.Z., STELING, C., KIECKEFOR, R. 1997. Tectonic history of the Southern Caspian Sea. *Bulletin AAPG*, 81/8, 110.

REILINGER R., McCLUSKY, S., VERNANT, PH., LAWRENCE, SH., ERGINTAV, S., KADIROV, F. et al. 2006. GPS Constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-26, Issue: B5, DOI: 10.1029/2005JB004051.