

УДК 551.242.11:550.34(470.6+479)

А. Т. АСЛАНЯН, К. А. ЗАКАРЯН, С. Ц. АКОПЯН,
А. С. КАРАХАНИЯН, А. О. МИКЕЛЯН

О ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЕ ТАВРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА ПО ДАННЫМ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Составлены карты горизонтальных скоростных неоднородностей продольных волн в верхней мантии Тавро-Кавказского региона. Проведено их сопоставление и сравнительный анализ с результатами дешифрирования материалов космической индикации Земли. Выделена центральная низкоскоростная зона под Транскавказским поднятием.

1. Введение

Изучение глубинных структур литосферы является одной из наиболее актуальных и трудных задач современных наук о Земле. В этом отношении значительный интерес представляют регионы со сложным геологическим строением, к числу которых относится рассматриваемый ниже Тавро-Кавказский ороген, являющийся системой многоярусных альпийских сооружений с мозаично-блоковым строением фундамента.

В настоящей работе рассматриваются некоторые результаты анализа распределения скоростных неоднородностей верхней мантии Тавро-Кавказского региона по данным сейсмологических исследований и проводится их сопоставление с результатами дешифрирования материалов космической индикации Земли.

II. Методика и результаты исследований

Исходными данными для выявления горизонтальных скоростных неоднородностей верхней мантии служат отклонения (невязки) времен вступления продольных (Р) волн далеких землетрясений от выбранного теоретического географа.

Картирование горизонтальных скоростных неоднородностей производилось на основе графоаналитического метода выявления скоростных аномалий [6, 8].

В предлагаемой работе описаны результаты наблюдений по 31 сейсмостанции Кавказа за период 1971—1977 гг. При этом были отобраны данные около 450 землетрясений с магнитудами $M \geq 5,8$ и эпицентральным расстоянием $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$.

Расчет времени вступления производился непосредственно с сей-

смограмм, невязка вычислялась отдельно для каждой станции и каждого землетрясения относительно опорной станции «Горис».

Результаты статистической обработки представлены в виде карт скоростных неоднородностей масштаба 1 : 2500000 по трем глубинам проецирования: 100, 150 и 200 км. Карты строились стандартным методом сглаживания невязок [6—8] в подвижном квадрате со стороной 50 км при шаге сглаживания 25 км. скорости Р-волн проводились с интервалом в 1% от заранее выбранной изолинии горизонтальных вариаций средней скорости V_p . Учитывая, что скорости Р-волн на указанных глубинах для Кавказского региона варьируют в пределах от 8,0 до 8,4 км/сек [7, 8], в качестве средней скорости нами выбрана $\bar{V}_p = 8,2$ км/сек (1% от \bar{V}_p равняется 0,082 км/сек).

Проведенные исследования показывают, что по всем трем глубинным уровням (100, 150 и 200 км), в целом отмечается однотипная картина распределения изолиний. Для дальнейшего анализа и иллюстрации его результатов нами выбрана карта скоростных неоднородностей на глубине 150 км (рис. 1). На представленной карте выделяются три основные зоны скоростных неоднородностей литосферы общего субмеридионального простирания, поперечные в отношении к современным тектоническим зонам региона.

Центральная зона (I), проходящая западнее линии Орджоникидзе-Тбилиси-Нахичевань, а также отдельные локальные аномалии в различных частях региона обладают относительно пониженными скоростями Р-волн (до 3%). Эта низкоскоростная зона, пересекающая складчатые сооружения Большого и Малого Кавказа, соответствует Транскавказскому поперечному поднятию. На юго-востоке Малого Кавказа она примыкает к низкоскоростной аномалии Апшеронского полуострова (до 3%).

С запада и востока центральную низкоскоростную зону оконтуривают две крупные высокоскоростные области. Одна из них (II) характеризуется повышением скорости до +3% и проходит западнее линии Пятигорск-Ахалкалакское нагорье, а другая (III) — с максимальным отклонением до +4% — располагается вдоль западного побережья Каспийского моря.

Указанные зоны скоростных неоднородностей Тавро-Кавказского региона впервые были намечены в работах [7, 8]. Из этих работ следовало, что имеет место резкое расхождение между скоростной и тектонической зональностью мантии и коры.

Результаты, представленные в настоящей работе, отличаются несколько большей детальностью, поскольку, в отличие от работы [8], нами был использован большой сейсмологический материал, а обработка проводилась с более мелким шагом.

В работе [8] проведен сравнительный анализ полученных скоростных неоднородностей с характером распределения сейсмичности, теплового потока и изостатических аномалий гравитационного поля. Результаты сопоставления свидетельствуют о приуроченности областей

повышенного теплового потока к низкоскоростным зонам, а пониженного теплового потока—к высокоскоростным. Эта закономерность хорошо просматривается для Центральной (Транскавказской) низкоскоростной зоны. На основе предположения, что изменчивость свойств нижней литосферы, описываемая картой скоростных неоднородностей, должна отображаться в свойствах очагов сильных землетрясений, в работе [8] делается вывод об их приуроченности к нулевой изолинии (контакту высокоскоростных и низкоскоростных зон). Эта закономерность особенно хорошо проявляется вдоль побережья Каспийского моря.

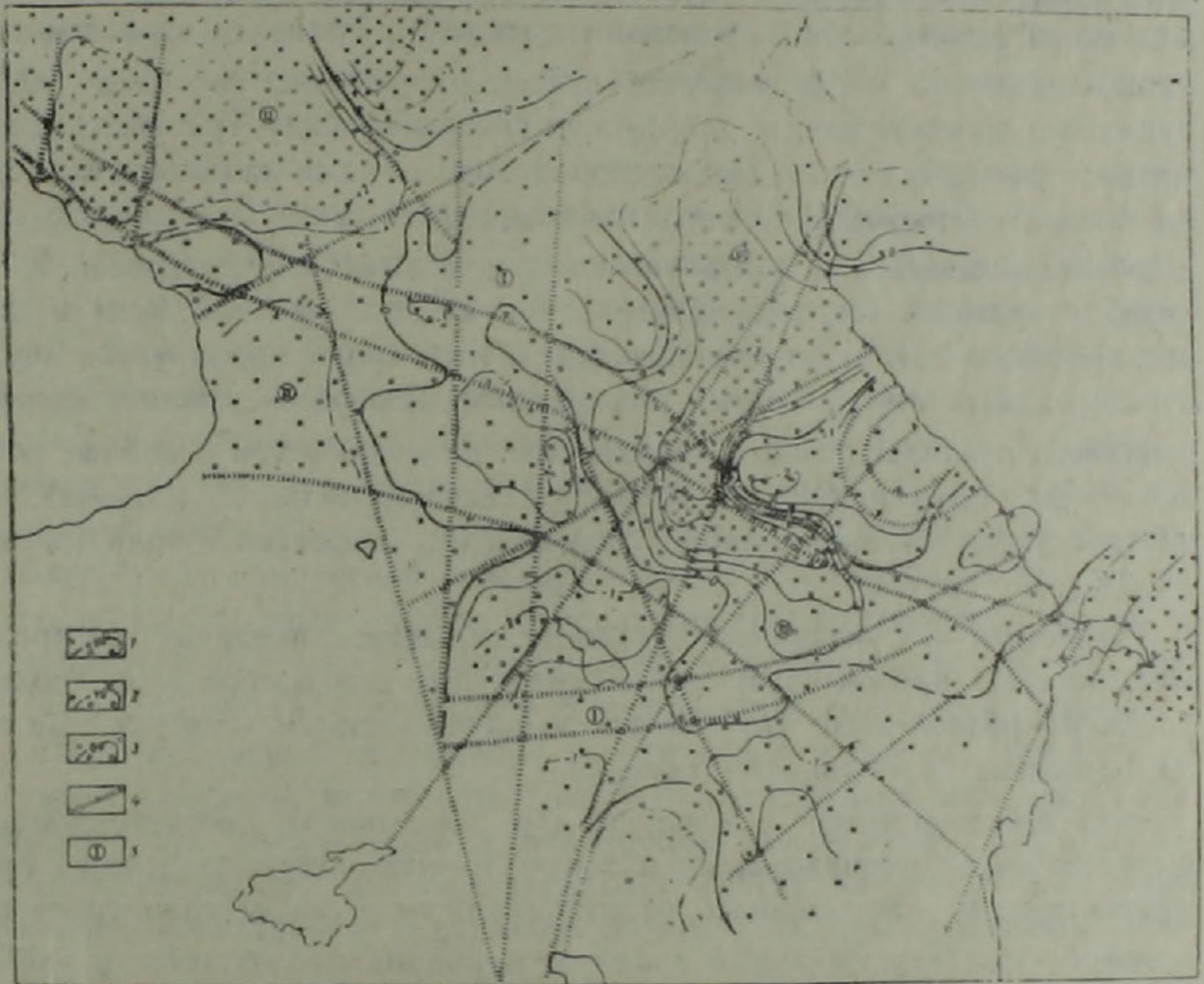


Рис. 1. Схеа корреляции горизонтальных скоростных неоднородностей верхней мантии и линеаментов Тавро-Кавказа. 1—изолинии повышенных значений; 2—изолинии пониженных значений; 3—зона контакта повышенных и пониженных значений; 4—главнейшие линеаменты, коррелируемые с изолиниями; 5—номера зон, описанных в тексте.

Поскольку глубинное строение литосферы может отображаться на космических изображениях [11—13], проведем сопоставление данных космического зондирования с картами горизонтальных скоростных неоднородностей. Результаты дешифрирования данных космической индикации Тавро-Кавказского региона представлены в виде карты линеаментов масштаба 1 : 2500000.

Линеаменты представляют собой интегральное проявление дискретно-непрерывных зон неоднородностей литосферы различной глубины за-

ложения, зафиксированных на космических изображениях. Методика дешифрирования данных дистанционного зондирования и построения представляемой карты приведена в работах [9, 10].

Следует указать, что обработка и построение результатов сейсмологических и дистанционных исследований производились нами независимо друг от друга.

Сопоставление линеаментов с зонами окрестных неоднородностей (100, 150 и 200 км) по латерали позволяет проводить дифференциацию линеаментов по глубине проникновения (рис. 1).

Центральная низкоскоростная область фиксируется двумя субпараллельными линеаментами, представляющими осевую зону общего транскавказского направления. С запада и востока Транскавказская низкоскоростная зона ограничивается системой линеаментов север-северо-западного простирания, маркирующих границы между Транскавказской низкоскоростной зоной и высокоскоростными зонами на западе и востоке региона. Северо-восточная низкоскоростная область в районе гор. Дербента совпадает с дугообразными линеаментами Самурской кольцевой структуры. Переход Центральной низкоскоростной зоны в низкоскоростную аномалию Апшеронского полуострова маркируется двумя субширотными линеаментами. Линеаменты северо-восточного, северо-западного и близширотного направления разделяют три основные зоны скоростных неоднородностей на ряд локальных областей (подзон), характеризующихся более слабыми вариациями скоростей Р-волн (порядка 3%).

Отметим, что указанные локальные области в пределах Центральной зоны (1) представляют собой «раздувы» низкоскоростной неоднородности, разделенные друг от друга «пережимами» в местах, где зона пересекается с линеаментами.

Из вышесказанного следует, что линеаменты, соответствующие выделенным субмеридиональным зонам, имеют общую тенденцию приурочиваться к направлениям, перпендикулярным зонам градиентов изменения V_p . Максимальный градиент вариации наблюдается в районе восточной границы Центральной низкоскоростной зоны (Алазанская долина), что свидетельствует о резком контакте на этой глубине двух областей с различными физическими свойствами, выделяющимися линеаментами. Аналогичная высокоградиентная зона на побережье Каспийского моря, где контактируют низкоскоростной блок Кусарского краевого прогиба и высокоскоростной блок Дербентской впадины, отмечается дугообразными линеаментами.

Центральный Транскавказский пояс низкоскоростных неоднородностей и соответствующие ему линеаменты совпадают с областями проявления плиоплейстоценового вулканизма. Соответствие зон скоростных неоднородностей линеаментным направлениям и областям вулканической активности позволяет в первом приближении экстраполировать общую направленность границ глубинных неоднородностей в соседние области Тавро-Кавказского орогена. Так, Транскавказское ли-

неаментное направление продолжает Центральную низкоскоростную зону в район водораздела между оз. Ван и оз. Урмия.

Следует отметить, что не все из дешифрируемых линеаментов коррелируются с глубинными скоростными неоднородностями. Это вполне естественно, поскольку линеаменты являются суммарным отражением не только глубинных, но и верхних этажей литосферы.

III. Анализ результатов

Полная геолого-геофизическая интерпретация приведенных выше сейсмологических и дистанционных данных, а также прилагаемой корреляционной схемы, очевидно, будет возможна при наличии более или менее цельного представления об основных чертах строения земной коры и верхней мантии региона.

Наблюдаемые горизонтальные скоростные неоднородности и соответствующие им линеаменты свидетельствуют о субмеридиональной зональности нижней литосферы. Эта зональность указывает на наличие структурных неоднородностей, характеризующихся различным физическим состоянием глубинного материала Земли. Наличие установленных скоростных неоднородностей может быть вызвано одной или несколькими причинами: а) влиянием давления и температуры на породы однородного химического и минерального состава; б) изменением минеральной фазы; в) частичным плавлением и разуплотнением; г) анизотропией; д) химической неоднородностью. Эта неоднозначность и отсутствие достоверных данных о реальном составе верхней мантии, о влиянии температуры (T) и давления (P) на плотность (ρ) модуля сдвига (μ) и сжатия (K) затрудняет интерпретацию полученных данных.

Наличие корреляции между зонами пониженных скоростей и областями с высокой интенсивностью теплового потока позволяет предположить, что механические и физико-химические процессы в этих зонах обусловлены высокотемпературными эффектами, связанными с воздействием восходящего мантийного потока [15] или вздыманием астеносферы.

Используя формулу для удельного теплового потока $q = \chi \text{grad} T$, можно показать связь повышенного теплового потока на поверхности с областями глубокой тектонизации масс в межблоковых зонах литосферы и увеличения в них температуропроводности χ ($\chi = k/\rho C$) (где k — теплопроводность, C — удельная теплоемкость, ρ — плотность), причем, при отводе тепла существенную роль могут играть также процессы массопереноса. Последние являются крайней мерой против перегрева мантии и если перенос тепла обычными способами не обеспечивается (молекулярный и радиационный механизмы излучения), то мантийные массы либо размягчаются (с разуплотнением), либо частично плавятся. Перенос масс (силикатных расплавов, газов, паров), включая конвективные течения, легко обеспечивает отвод тепла к поверхности.

Повышение температуры вследствие восходящего мантийного потока на $500\text{--}700^\circ$ (при объемном коэффициенте термоупругого расширения $\beta = 3 \cdot 10^{-5} \text{ град}^{-1}$) приводит к термоупругому расширению материала и понижению плотности (ρ) ультраосновных пород верхней мантии на $0,05\text{--}0,06 \text{ г/см}^3$ [2]. С другой стороны, повышение температуры сопровождается переходом эклогита (составляющего, как полагают, около 20% основного материала верхней мантии) с $\rho = 3,5 \text{ г/см}^3$ в базальт с $\rho = 3,0 \text{ г/см}^3$ и может снизить плотность литосферы на $\Delta\rho = 0,1 \text{ г/см}^3$.

Согласно Берчу [16], уменьшение плотности среды на $0,06\text{--}0,1 \text{ г/см}^3$ может привести к наблюдаемым понижениям скорости P -волн на $\Delta V_p \sim 2,5\text{--}4\%$. Следует отметить, что большие амплитуды новейших поднятий на территории Тавро-Кавказа [14] и недостаточное утолщение базальтового слоя земной коры также позволяют предположить существование плотностных неоднородностей на этих глубинах [2].

Известно, что температурные эффекты в большей мере влияют на модуль сдвига, чем на модуль сжатия и на плотность вещества. Это обстоятельство затрудняет корреляцию между плотностными и скоростными неоднородностями и указывает на важность совместного исследования окоростных неоднородностей продольных и поперечных волн.

Градиентные зоны контакта выделенных областей с разными физическими свойствами, в большинстве случаев, маркируются линейamentsами, совпадающими с протяженными зонами концентрации высокой сейсмичности, что указывает, очевидно, на связь физико-химических процессов в земной коре с особенностями глубинного строения литосферы.

Необходимо отметить, что выявленная субмеридиональная зональность глубинных структур резко отличается от приповерхностного уровня литосферы, где структурные элементы, за исключением отдельных локальных объектов, в основном, отражаются линейamentsами общекавказского простирания. Продольные (общекавказские) линейamentsы выражены на поверхности общей ориентировкой структур верхних этажей земной коры, а поперечные (антикавказские) системы отображены в поверхностной структуре значительно хуже и соответствуют строению наиболее глубоких частей литосферы. Это подтверждает предположение [13] о пространственной перекрестности (в плане и в разрезе) линейamentsной сети литосферы. Перекрестный структурный каркас литосферы Тавро-Кавказского региона, образованный зонами глубинных и приповерхностных неоднородностей, объединяет и объясняет основные черты взаимосвязанного развития разновозрастных и разноглубинных структур и формирует систему основных структурообразующих линейamentsов.

Полученные результаты можно проинтерпретировать с позиции концепции тектоники плит, которая объясняет тектонику Тавро-Кавказского региона сближением Евразийской и Аравийской плит, деформацией (сдавливанием) мозаично построенной системы блоков между ними [1, 5]. В частности, наличие Центральной низкоскоростной зоны

указывает на существование некоторой зоны субвертикального срыва верхней мантии в Транскавказском направлении, где, по-видимому, имеется тенденция раздвигания блоков, а высокоградиентная зона вдоль побережья Каспийского моря подтверждает наличие зоны субдукции [1].

Следует отметить, что в глобальном масштабе наличие относительно жестких неподатливых («компетентных») блоков толщиной 200—250 км и тектонизация межблоковых масс, к которым относятся геосинклинальные зоны и зоны глубинных разломов, можно объяснить контракционной гипотезой, которая допускает возможность возникновения в верхней мантии (ниже глубин 70 км) магистральных разломов типа мощных сбросовых и раздвиговых зон, поддвигов литосферных плит (субдукция), образования геосинклинальных систем и др.

Это представление в наше время было развито Г. Джеффрисом, А. Шейдеггером, Т. Вильсоном, А. Т. Асланяном и др. [3, 4, 17]. Представляется достаточно вероятным, что многие скрытые, но «просвечивающие» на космических снимках линеаменты относятся именно к этой категории разломов, которые могут рассматриваться как очаги развития спрединга, мантийного диапиризма, вулканической активности, аномальных изменений ультрамафитов, интенсивного теплового потока. Такое же развитие явлений предсказывает и теория, связанная с расплющиванием Земли (уменьшение и сжатие широтных кругов литосферы в низких широтах и увеличение и растяжение их в высоких широтах). В Тавро-Кавказском регионе, с точки зрения этих моделей, могут рассматриваться также проблемы происхождения котловин Черного моря и Южного Каспия, Транскавказской низкоскоростной зоны и повышенных тепловых потоков, мезозойских офиолитовых поясов, вулканических поясов юры, мела, палеогена, неогена и антропогена, протягивающихся из Восточного Средиземноморья в Армянское нагорье и далее в Иран и Белуджистан.

Таким образом, проведенные исследования и сравнительный анализ материалов космической индикации и сейсмологических данных приводит к следующим выводам:

1. Основной чертой рассматриваемых структурных уровней литосферы является субмеридиональная зональность выделенных горизонтальных неоднородностей и маркирующих их линеаментов.

2. Распределение отдельных подзон и маркирующих их линеаментов указывает на наличие внутренней зональности в пределах выделенных субмеридиональных неоднородностей нижней литосферы.

3. Соответствие некоторых линеаментов скоростным неоднородностям позволяет предположить, что они являются или непосредственным проявлением скрытых глубинных структур, или отображением приповерхностных тектонических деформаций (косвенно связанных с изменениями механических и физико-химических свойств нижней литосферы).

4. Линеаментная сеть литосферы Тавро-Кавказского региона имеет пространственно-перекрестную структуру (в плане и в разрезе).

5. Центральная низкоскоростная зона под Транскавказским поднятием, возможно, является следствием разуплотнения пород верхней мантии под действием повышения температуры, что может указывать на существование некоего аналога зоны мантийного срыва в этом направлении.

6. Линеаменты и маркируемые ими глубинные горизонтальные неоднородности литосферы, скорее всего, относятся к категории мощных магистральных нарушений, которые в свете контракционной гипотезы рассматриваются как очаги развития спрединга, мантийного диапиризма, вулканической активности, аномальных изменений ультрамафитов, интенсивного теплового потока и др.

Институт геологических
наук АН Армянской ССР
Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН Армянской ССР

Поступила 4.III 1982.

Ա. Տ. ԱՍԼԱՆՅԱՆ, Կ. Ա. ԶԱԲԱՐՅԱՆ, Ս. Յ. ՀԱԿՈՔՅԱՆ,
Ա. Ս. ԿԱՐԱԿԻԱՆՅԱՆ, Ա. Օ. ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ

ՏԱՎՐ-ԿՈՎԿԱՍՅԱՆ ՄԱՐԶԻ ԽՈՐՔԱՅԻՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԸ
ԸՍՏ ՍԵՅՍՄՈՒՈՓԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԵՎ ՏԻԵԶԵՐԱԿԱՆ
ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հոդվածում ներկայացված են Տավր-Կովկասյան մարզի վերին մանտիայում երկայնակի ալիքների արագություններով կառուցված հորիզոնական անհամասեռությունների քարտեզները: Կատարված է նշված անհամասեռությունների և տիեզերքից ստացված Երկրի լուսանկարների վրա բացահայտված լինեամենտների համեմատական վերլուծությունը: Տրանսկովկասյան բարձրացման զոտու տակ առանձնացված է միջօրեական ուղղությամբ ձգված ցածր արագությունների շրջան:

A. T. ASLANIAN, K. A. ZACARIAN, S. TZ. HAKOPIAN,
A. S. KARAKHANIAN, A. O. MICAELIAN

ON THE DEEP STRUCTURE OF TAURO-CAUCASUS REGION
BY SEISMOLOGICAL INVESTIGATIONS AND
THE COSMIC SOUNDING DATAS

Abstract

The maps of Tauro-Caucasus region upper mantle P-wave horizontal velocity heterogeneities are obtained. These are confronted and comparatively analysed with the results of Earth cosmic sounding materials deciphering.

A central low velocity P-wave zone is indicated under the Transcaucasus uplift.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Акопян С. Ц. О тектонической реконструкции Кавказа и сопредельных территорий. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 1., 1982.
2. Артюшков Е. В. Геодинамика. «Наука», М., 1979.
3. Асланян А. Т. Предельная мощность и предельная прочность литосферы в свете теории гравитационного сжатия и приливного торможения Земли. Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, № 1, 1976.
4. Асланян А. Т. О причине дугообразного плана деформационных мегаструктур земной коры. Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, № 4, 1976.
5. Вартапетян А. Н. Позднекайнозойская тектоника плит Черноморско-Каспийского региона. Автореф. канд. диссертации. М., 1981.
6. Винник Л. П., Лукк А. А., Мирзокурбанов М. М. Количественный анализ георостных неоднородностей мантии Памиро-Гиндукуша. Известия АН СССР, Физика Земли, № 5, М., 1978.
7. Винник Л. П., Ленартович Э. Структура верхней мантии Кавказа и Карпат до сейсмическим данным. Известия АН СССР, Физика Земли, № 3, М., 1976.
8. Винник Л. П., Годзиковская А. А., Патарая Е. И., Сихарулидзе Д. И., Баграмян А. Х. Скоростные аномалии верхней мантии Кавказа. Известия АН СССР, Физика Земли, № 7, М., 1978.
9. Караханян А. С. Линейменты и кольцевые структуры Малого Кавказа. Изв. высш. учебн. завед., Геол. и разв. № 3, М., 1981.
10. Коровина Т. Л., Караханян А. С. К вопросу о соотношении сейсмичности с линейментами Аниатлийско-Кавказско-Иранского сегмента Средиземноморского пояса. «Исследования Земли из космоса», № 6, М., 1981.
11. Макаров В. И. Некоторые проблемы и перспективы развития космических методов геологических исследований. Изв. высш. учебн. завед., Геол. и раз., № 3, М., 1981.
12. Макаров В. И., Щукин Ю. К. Активные глубинные деформации литосферы Альпийско-центрально-азиатского орогенического пояса «Тектоника Средиземноморского пояса». Тезисы докладов, М., 1978.
13. Макаров В. И., Соловьева Л. И. Перскрестный структурный план земной коры и проблема проявления ее глубинных элементов на земной поверхности. В кн. «Исследования природной среды космическими средствами», т. 5, ВИНТИ, М., 1976.
14. Милаковский Е. Е. Основные вопросы новейшей тектоники Кавказской области. В кн.: «Активизированные зоны земной коры, новейшие тектонические движения и сейсмичность». М., «Наука», 1968.
15. Северина Н. С. Физическая модель магмообразования в областях «горячих пятен». Известия АН СССР, Физика Земли, № 5, М., 1981.
16. Birch F. Composition of the Earth's mantle. Geoph. Jour., v. 4, 1961.
17. Jeffreys H. The Earth. Cambridge of the university press, 1959.