

УДК 551.242.056

С. Ц. АКОПЯН

О ТЕКТОНИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ КАВКАЗА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В статье делается попытка осмыслить тектонику Кавказа и сопредельных территорий, исходя из концепции тектоники плит.

Исследования показывают, что история эволюции Кавказа и прилегающих областей Анатолии и Ирана, в целом, укладывается в схему тектоники плит. Альпийскую геологию, вулканизм, сейсмичность, напряжения и деформации, мозаичную блоковую структуру данного региона можно объяснить северонаправленным движением Аравийской плиты и вытекающими отсюда последствиями. Деформации в пределах Евразийской плиты привели к образованию Кавказа. Происхождение Б. Кавказского хребта не связано с какой-либо зоной поддвижения, похоже, что он образован только поднятиями. К его возникновению причастна тектоника плит, но только косвенным образом.

Исходя из рисунка распределения эпицентров землетрясений с магнитудами $M \geq 5$ на земной поверхности, с привлечением других геолого-геофизических данных, выделены основные сейсмогенные мегаблоки. При этом предполагается, что землетрясения с $M \geq 5$ происходят по границам мегаблоков под действием внешнего (для этого участка) поля напряжений, а с $M < 5$ происходят внутри мегаблоков по более мелким нарушениям, под действием локального поля первого порядка, возникшего из-за наличия основных границ мегаблоков.

Кавказ и прилегающие части Анатолии и Ирана, в целом, расположены в Альпийско-Гималайском поясе, складчатые структуры которого, в соответствии с теорией тектоники плит [25], представляют результат столкновения плит, несущих на себе континенты. Модель столкновения плит континентального типа дана в работах [20, 21]. Когда встречаются две плиты континентального типа система запирается, что в результате приводит к образованию складчатой системы типа Альпийско-Гималайского пояса. Это, фактически, область, где горизонтальные движения плит могут сменяться на вертикальные. В то время, когда границы плит для океанической коры определяются довольно четко, границы плит континентальной коры не столь определены. Континентальная кора по сравнению с океанической представляет собой более хрупкое образование, поэтому фиксирующиеся на ней многочисленные шрамы древних нарушений в моменты сдвигания (при столкновении континентов) могут подновляться.

Многие, хотя, конечно, не все, тектонические движения Альпийско-Гималайского пояса, по-видимому, можно вписать в схему тектоники плит. Вопрос о том, можно ли объяснять тектонику этого сложного пояса во всех деталях, исходя из тектоники плит, остается пока открытым. Изучение Кавказа и прилегающих областей дает важный материал для проверки и обогащения теории тектоники плит применительно к такому сложному региону, каким является Тавро-Кавказская область.

Маккензи [26, 27] показал, что большинство особенностей сейсмо-тектоники северной Анатолии можно объяснить в терминах глобальной теории тектоники плит. Он уточнил границу между Африканской и Евразийской плитами и выделил Анатолийскую и Эгейскую плиты. Его модель схематически дана на рис. 1 [26]. В этой модели Анатолийская плита вытесняется к западу вследствие столкновения Евразийской и Аравийской плит, подталкивая Эгейскую плиту в юго-западном направлении. Движение Анатолийской плиты на севере происходит вдоль Анатолийского разлома, аналогично движению вдоль разлома Сан-Андреас [22]. Вдоль обоих разломов движение происходит параллель-

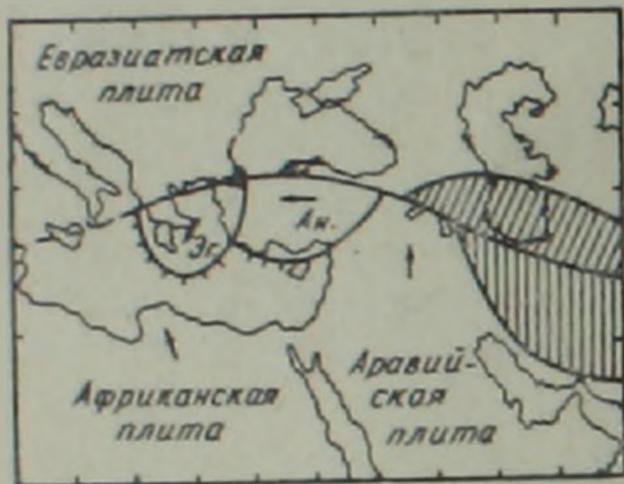


Рис. 1.

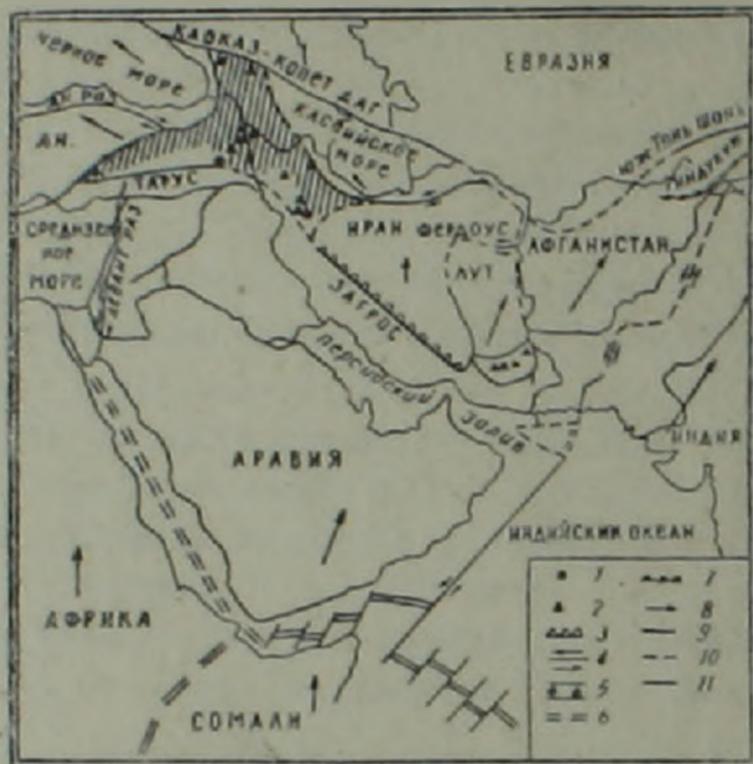


Рис. 2.

Рис. 1. Схема микроплит по [26]. Эг.—Эгейская, Ан.—Анатолийская плиты.
Рис. 2. Основные плиты в Малой Азии по [30]. 1—активный вулкан, 2—потухший вулкан, 3—разлом-зона надвига, 4—разлом-сподвижка, 5—зона вулканических пород, 6—зона растяжения, 7—сейсмическая зона с фокальными глубинами 100—200 км, 8—вектор движения плиты, 9—границы плит, 10—гипотетические границы плит, 11—государственные границы. Ан. раз.—Анатолийский разлом, Левант. раз.—Левантский разлом.

но разлому и сопровождается сильными землетрясениями. По этой модели не исключается возможность существования пространственно-временной связи (с востока на запад) между моментами возникновения сильных землетрясений на границах этих плит. Связь такого типа наблюдается при перемещении эпицентров последовательных толчков на запад, отмечавшемся вдоль северного Анатолийского разлома, начиная с 1939 года.

Новрузи [29, 30], исследуя геолого-геофизические данные Ближнего Востока, выделил там 8 мелких плит и «вулканическую зону». Эти плиты и «вулканическая зона» схематически приведены на рис. 2. Все выделенные им плиты по отношению друг к другу имеют относительное движение, и относительно Евразийской плиты Индийская, Афганская, Лутская и Аравийская плиты двигаются в северо-восточном направлении, Черноморская, Каспийская и Анатолийская плиты — в се-

веро-западном. Иранская, Африканская и Сомалийская—приблизительно в северном направлении. Предложенная в [30] модель в определенной степени объясняет многие факты, связанные с современной геологической и тектонической активностью этой области. Относительно образования «вулканической зоны» (заштрихованная область на рис. 2) до недавнего времени имелись две возможные гипотезы в теории плит. По Моргану [28], эта область фиксирует зону горячих точек, которая есть результат проявления возможной конвекции в верхней мантии [19], являющейся источником энергии для раздвигания соседних плит. По этой гипотезе, рассматриваемая область есть континентальная рифтовая зона, где происходит образование континентальной коры через активный вулканизм. В дальнейшем такая гипотеза образования «вулканической зоны» не нашла широкого применения. Вторая гипотеза, которая к настоящему времени более детализована, заключается в том, что «вулканическая зона» является зоной поддвига, связанной с прошлым и настоящим северо-направленным движением Аравийской плиты и раскрытием Красного моря. В настоящем, поскольку все активные вулканы «вулканической зоны» находятся в ее западной части, она считается горячее, чем восточная часть. Новрузи этот факт объясняет тем [30], что Черноморская и Анатолийская плиты двигаются на северо-запад быстрее, чем Аравийская. В результате таких движений в зонах трения плит образуются сети касательных и растягивающих напряжений. Сеть касательных напряжений приводит к разогреву и переплавлению пород, а наличие сети растягивающих напряжений способствует активному вулканизму и образованию типичных для этих районов магм. Отсутствием сети касательных напряжений объясняется отсутствие вулканизма для Загроса, который является зоной поддвига. Эта модель подтверждает гипотезу Новрузи о том, что в прошлом Каспийская плита двигалась на север быстрее, чем Аравийская и Иранская плиты. Растягивающие напряжения приводят к вулканической активности, а замедление относительного движения Каспийской плиты приводит к ослаблению касательных напряжений и, в результате, затуханию вулканической активности.

Современная интерпретация тенденции геосинклинального процесса состоит в том, что она должна рассматриваться как тенденция формирования новой континентальной коры, преимущественно за счет океанической [7, 8]. Такая модель эволюции коры Кавказа и сопредельных территорий дана в [1]. По этой модели в ранней юре-неокоме в рассматриваемом регионе были расположены шельф Евразийского континента, окраинное море Большого Кавказа, Понтийско-Закавказская островная дуга, обращенная фронтальной стороной на юг, а в области современного Анатолийско-Малокавказского офиолитового пояса [3] располагался бассейн океанического типа (Тетис) и Анатолийско-Иранский микроконтинент. Вдоль северного края океанического бассейна проходила граница литосферных плит. Часть Кавказа, располагавшаяся к северу от этой границы, являлась активной окраиной Восточно-Европейского континента типа запада Тихого океана. В середине мела, в ре-

зультате столкновения Понтийско-Закавказской островной дуги и Анатолийско-Иранского микроконтинента, образовался единый Закавказско-Малоазиатский континентальный блок, в центральной полосе которого сформировался андезитовый пояс. По [1] шовная зона столкновения в палеогене все еще остается подвижной, и по [33] северный океан исчезает полностью в позднем эоцене. В палеогене граница плит сместилась на юг, в район системы Тавр-Загрос. В течение позднего миоцена последняя часть океанической литосферы между Евразией и Аравийским континентом была уничтожена Тавро-Загросской шовной зоной [33]. Диаграмма эволюции, составленная по данным работ [1, 33], схематически дана на рис. 3. С олигоцена по настоящее время, в условиях

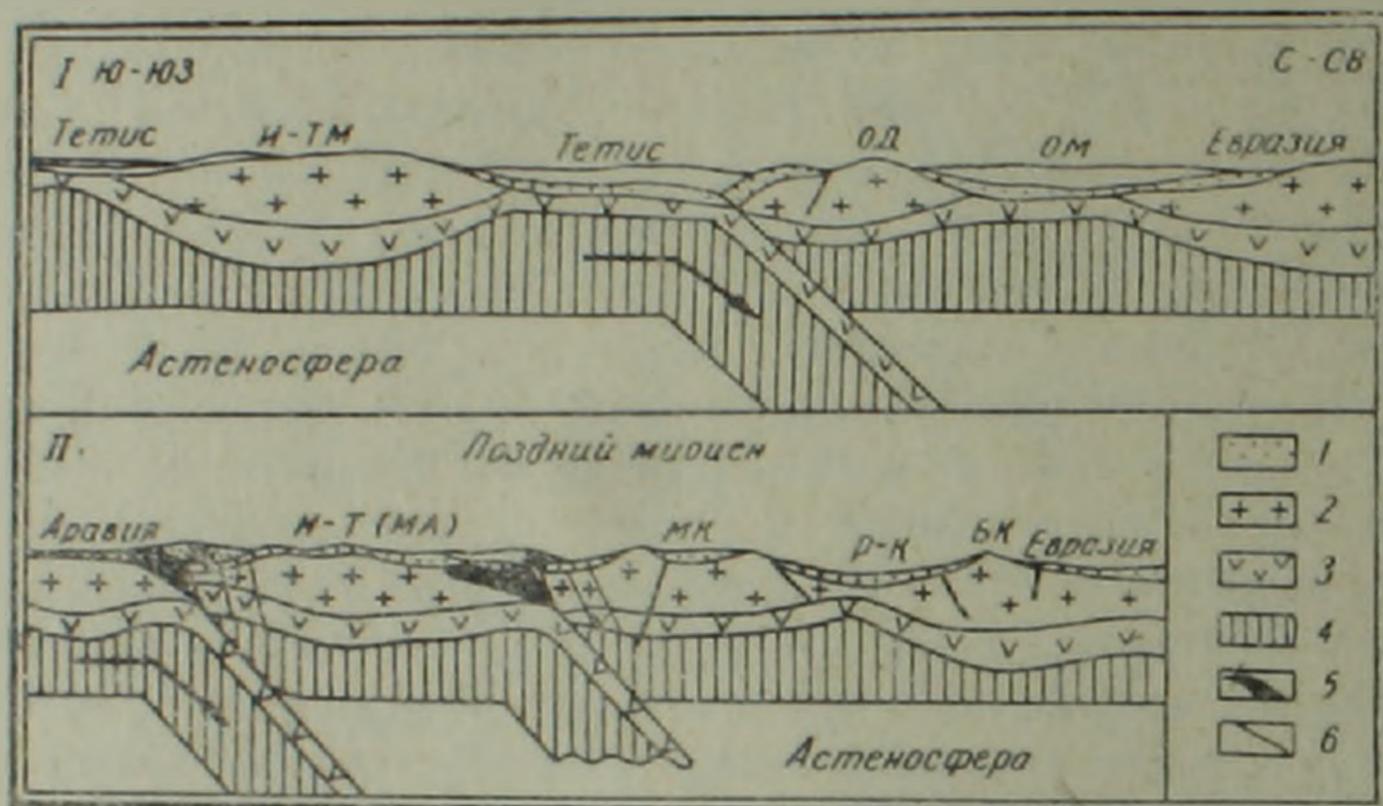


Рис. 3. Схематический разрез Ближнего Востока и Кавказа. I—до столкновения, II—после столкновения. 1—осадка, 2—гранитный слой, 3—базальтовый слой, 4—литосфера, 5—офиолиты, 6—разломы. И-Т—Ирано-Турецкий микроконтинент, ОД—островная дуга, ОМ—окраинное море, БК и МК—Большой и Малый Кавказ, Р-К—Рионо-Куринская впадина, МА—Малая Азия.

продолжающегося сближения Афро-Аравийского континента, формируется современная внутриконтинентальная горно-складчатая область и происходит инверсия рельефа окраинного моря Большого Кавказа (более подробно возможные причины инверсии рельефа окраинного моря рассмотрены ниже) и палеогеновых рифтов Закавказья, сопровождающаяся интенсивным андезитовым вулканизмом.

Дальнейшее сближение плит происходило только за счет деформации их краевых участков, ломок, посредством ветвления разломов и боковых перемещений. Зоны Бенъоффа большей частью погружались на север, под Евразию (рис. 3). Последующие тектонические деформации могли бы значительно исказить положения границ поглощения, перемещая островодужные вулканические пояса на большие расстояния от места их первичного заложения, поэтому ископаемые остатки плит, которые образуют области с повышенными скоростями проходящих сейсмических волн в мантии, могут находиться вдалеке от современного положения шовных зон. В частности, в [30] указано, что не-

которые глыбы коры Тетиса, в форме ископаемых плит, должны быть под Загросом.

Таким образом, в модели, рассмотренной в [1], происхождение Б. Кавказского хребта не связано с какой-либо зоной поддвига (здесь нет офиолитов [3, 21]). К его возникновению причастна тектоника плит, но только косвенным образом.

При образовании структурных форм Кавказа и Малой Азии определяющим является сложное сочетание и наложение друг на друга тектонических структур, которые возникли в соответствии с классификацией [20, 21], в более простых геодинамических обстановках.

Приведенная возможная модель эволюции хорошо объясняет альпийскую геологию и вулканизм исследуемого региона. В [33] отмечено, что характерные особенности Анатолийско-Иранского плато (геология и вулканизм) объясняются с точки зрения укорачивания и утолщения континентальной коры, нижние слои которой частично расплавляются, и порождают известково-щелочную магму, питающую поверхностный вулканизм данного региона. Укорачивания и утолщения континентальной коры могут быть следствием столкновения континентальных плит. Известно [25], что при этом плиты претерпевают поднятие $\Delta h = h(\rho_m - \rho_c)/\rho_m$, где ρ_m — плотность мантии, ρ_c — плотность коры, h — толщина коры. Пусть $\rho_m = 3,3 \text{ г/см}^3$, $\rho_c = 2,9 \text{ г/см}^3$, тогда $\Delta h = 0,12 h$. Если $h = 20 \text{ км}$, то $\Delta h \sim 2,4 \text{ км}$, $h \sim 50 \text{ км}$, $\Delta h \sim 6 \text{ км}$. Эту оценку можно применять к Кавказу и Анатолийско-Иранскому плато. Общая амплитуда новейших поднятий на Б. Кавказе приравнивается к 4—5 км, а по некоторым данным — даже больше ($h \sim 60 \text{ км}$, $\Delta h \sim 6—7 \text{ км}$). Несколько меньшей амплитудой характеризовались новейшие тектонические явления на Антикавказе. Суммарная средняя амплитуда поднятий в орогенном этапе (олигоцен-антропоген) здесь составляет порядка 3,5—4 км ($h \sim 50—55 \text{ км}$) [6]. Анатолийско-Иранское плато характеризуется средним поднятием около 1,5 км [33].

2. Палеомагнитные исследования

К настоящему времени проведены палеомагнитные исследования юрских и меловых пород на пространстве от южного края Закавказья до северных отрогов Б. Кавказа [2, 12]. Данных по палеомагнитным исследованиям Ирана в распоряжении автора не имеется. Эти исследования показали, что Большекавказская и Малокавказская области в юре-раннем мелу находились южнее примерно на 15—20° и располагались косо относительно друг друга, на расстоянии около 800—1000 км. Малокавказская область в середине мела поворачивается против часовой стрелки на 40—45° относительно Большекавказской и обе после этого располагаются субширотно. В конце мела и позднее, в результате сближения Афро-Аравийского и Евразийского континентов и вдавливания Аравийской плиты в Кавказский пояс, произошло дугообразное изгибание Малокавказской области. Одновременно весь Кавказ смещается к северу вместе с Евразией в связи с поворотом всего континента по

часовой стрелке примерно на 30° . Фактически, с конца мела движение Малокавказской и Большекавказской областей происходило синхронно (исключая дугообразное деформирование Малокавказской области). Это говорит о том, что они располагались за все это время на одной литосферной плите (Евразийской). Для объяснения движения Малокавказской области относительно Большекавказской в юре-раннем мелу требуется дальнейшее усложнение модели реконструкции.

Палеомагнитные исследования по территории Анатолии показывают, что здесь юрские и меловые палеомагнитные полюсы незначительно отличались от полюсов для Аравии [34]. По этим данным подтверждается гипотеза, что Анатолия в юре-мелу являлась частью Аравийской плиты или частью большой Африканской плиты и отделилась позднее, вследствие образования второй зоны Бенъоффа в Тавро-Загросской зоне (рис. 3). Эти палеомагнитные данные хорошо вписываются (с конца мела) в вышеописанную картину реконструкции данного региона, дополнительно указывая на ее достоверность. К сожалению, пока этих исследований проведено мало, что не позволяет построить более детальную модель эволюции такого сложного региона.

3. Сейсмичность и сейсмогенные блоки

Рассмотрим современное состояние сейсмичности интересующего нас региона. Здесь сейсмически наиболее активным является Анатолия. В этой области происходили сильнейшие землетрясения с магнитудой $M \geq 8$ и большое количество разрушительных землетрясений с $M = 7 - 7,5$. Менее активными районами являются северо-западная часть Ирана и Кавказ, причем западная часть Кавказа более активна, чем его восточная часть. В этих районах землетрясения с $M = 7 - 7,5$ редки.

Как уже было отмечено, границы плит на континентах, где происходят столкновение и ломка плит или надвигание одной плиты на другую, более неопределенные. Для выявления этих границ и крупных блоков (мегаблоков) было рассмотрено распределение эпицентров сильных землетрясений.

Из каталогов [13, 16] были отобраны и нанесены на карты эпицентры землетрясений с магнитудами $M \geq 5$ для Кавказа за период с 550 г. до н. э. по 1976 г., для Анатолии за период с 11 г. н. э. до 1970 г. и по Ирану были использованы данные из работы [23]. Преобладающее число этих землетрясений происходило в земной коре, за исключением небольшого числа глубокофокусных землетрясений в Анатолии и в районе Каспийского моря. Была рассмотрена схема сейсмоактивных разломов рассматриваемого региона, данная в работе [5] и использован известный факт [6, 23], что сильные землетрясения Анатолии, Кавказа и Ирана приурочены к крупным тектоническим разломам, а наиболее сейсмоактивные расположены на пересечениях разломов кавказского и антикавказского направлений. Исходя из этих данных, было проанализировано распределение очагов землетрясений с $M \geq 5$, что позволило уточнить границы некоторых плит и выделить контуры сравнительно более мелких плит, которые мы будем называть мегаблоками. Схема выделенных

плит, мегаблоков приведена на рис. 4. Мегаблоки являются малыми внутриплитовыми глыбами и не подчиняются основным законам теории тектоники литосферных плит. Не все разломы, оконтуривающие мегаблоки, достигают астеносферы. В некотором смысле выделение мегаблоков условно, что не позволяет объяснить все тектонические явления в деталях. Для этого можно попытаться выделить более мелкие тектонические блоки, локализирующие более слабую сейсмичность. Мы здесь не ставим также цель дифференцировать блоки по сейсмичности.

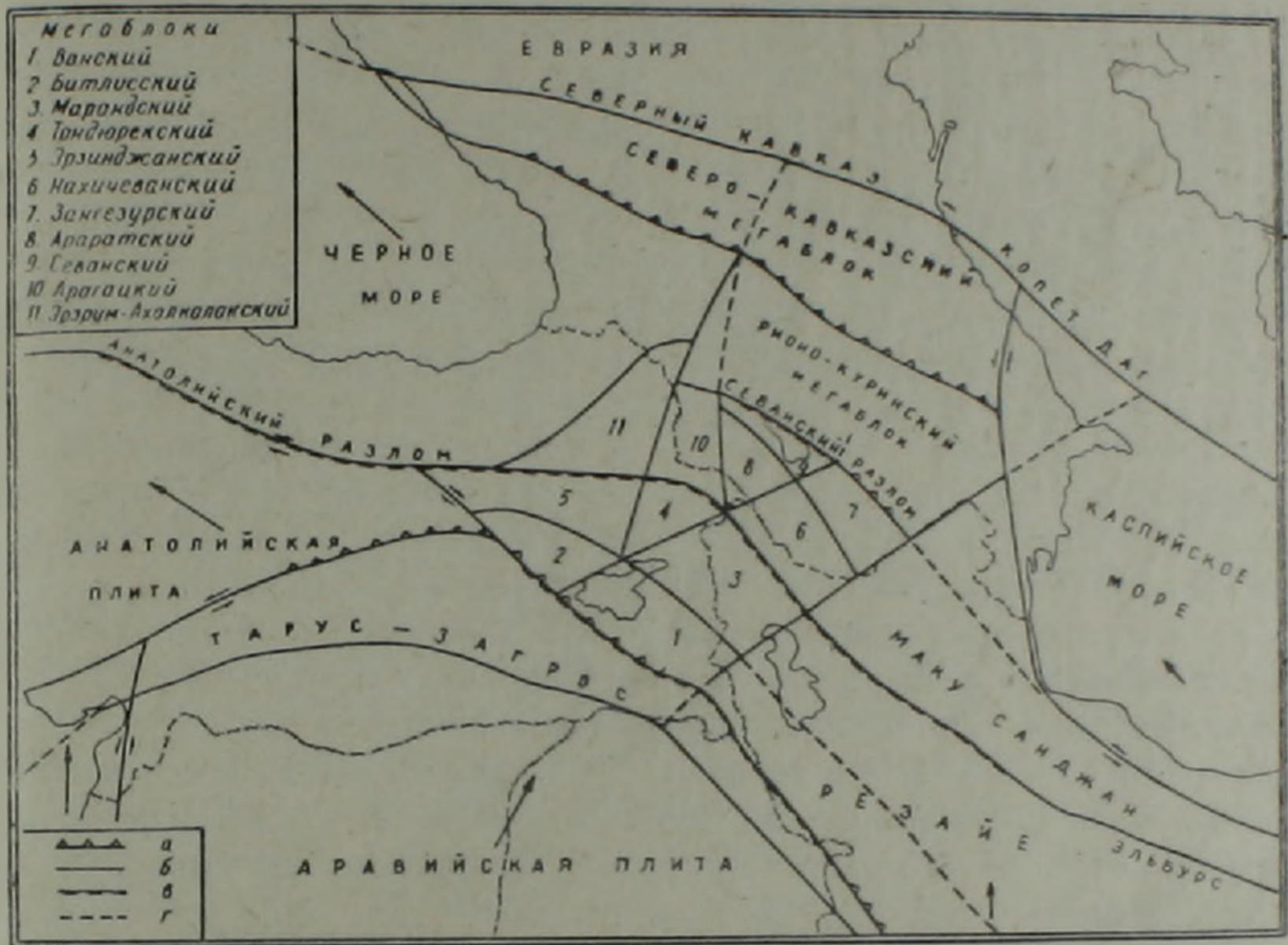


Рис. 4. Схема главных сейсмогенных мегаблоков Кавказа и сопредельных территорий: а—границы сжатия, б—границы плит и мегаблоков, в—гипотетические границы мегаблоков.

Границы выделенных плит, мегаблоков, конечно, не так четко разграничены и линейны, а неопределенность местами может достигать 50 км и более. Расположенные поблизости параллельные разломы кавказского направления объединялись в предположении, что они являются ответвлениями более глубоких единых разломов. Очаги наиболее сильных землетрясений группируются в местах сочленения нескольких мегаблоков (Махачкала, Шемаха, Ахалкалаки, Ван, Эрзурум и др.). Выделенные мегаблоки на северо-западе Ирана хорошо согласуются с сеймотектоническими зонами, выделенными в Иране [31]. Анализ структур границ мегаблоков показывает [5], что мегаблоки на Кавказе образовались в палеогене, причем вначале они имели более крупные размеры в виде протяженных сегментов кавказского направления, а затем, вследствие продолжающегося сжатия, происходило их дробление системами разломов близмеридионального направления. Образование па-

раллельно расположенных разломов Кавказского направления можно объяснить расколом фронтальной части надвигаемой плиты в обстановке сжатия, характерного для островодужных структур [7].

4. Напряжения и деформации

Исследование фокального механизма очагов землетрясений позволяет определить напряженное состояние, динамику и направление относительного вектора подвижек между соприкасающимися плитами и мегаблоками. Изучению ориентации напряжений и разрывов в очагах некоторых землетрясений Кавказа, Ирана и Анатолии, происшедших в период с 1959 по 1970 г.г., посвящены работы [4, 9]. Эти исследования отчетливо указывают на закономерную ориентацию осей напряжений сжатия. Напряжения сжатия и промежуточные напряжения ориентированы почти горизонтально, при этом направление оси сжимающего напряжения примерно перпендикулярно простиранию поверхностных структур, в то время как ориентация осей напряжений растяжения в рассмотренных случаях неодинаковая. Для Кавказа ориентация осей растяжения примерно вертикальна, а падение плоскостей разрывов, в основном, крутое. Для землетрясений Армянского нагорья ориентации осей растяжения в 30-ти из всех рассмотренных в работе [9] случаев составляют с горизонтальной плоскостью углы не более 30° , а в 21 случае эти углы имеют значения от 33° до 80° . Подвижки по разрывам здесь носят различный характер. В очагах исследованных землетрясений Кавказа движения, в которых доминируют составляющие по падению, встречаются 2,5 раза чаще, чем подвижки, при которых преобладают компоненты смещений по простиранию плоскости разрыва, т. е. здесь преобладают движения типа надвигов и сбросов [4]. При этом изучение плоскостей разрывов очагов землетрясений показало, что, в основном, направление одной из плоскостей разрыва обычно совпадает с направлением известных тектонических разломов. Для Армянского нагорья преобладают, в основном, движения типа сдвига (в 67 случаях—подвижки по простиранию разлома, а в 35—по падению разлома).

Полученные результаты указывают на то, что выделенные мегаблоки (рис. 4) Кавказа находятся в условиях статического сжатия и почти не имеют горизонтально направленной скорости. Они ломаются, претерпевая поднятия или опускания. Плиты-мегаблоки Армянского нагорья имеют компоненту горизонтальной скорости и вытесняются в западном направлении. Эта картина согласовывается с движением соседних плит. Фактические данные показывают, что вся зона выделенных мегаблоков между Евразийской и Аравийской плитами находится в сжатом состоянии. Черноморская и Анатолийская плиты и прилегающие к ним мегаблоки вытесняются из зоны сжатия в северо-западном направлении. Очень интересна и до конца еще не выяснена картина на стыке Северо-Кавказского мегаблока и Каспийской плиты, где глубина очагов землетрясений достигает 150 км. Каспийская плита, по-видимому, вдавливается под зону сжатия Кавказа, двигаясь с замедлением и образуя зону глубокофокусных землетрясений. Внутри кон-

тинента она напоминает зону Бенъофа в миниатюре. Заметим, что подобная картина наблюдается в районе Вранча в Румынских Карпатах и Памиро-Гиндукуше [11]. Проведенных исследований по фокальным механизмам очагов пока мало, и их недостаточно для выявления направлений относительного движения выделенных мегаблоков.

5. Аномалии гравитационного поля и нарушения изостазии

Анализ гравитационного поля Кавказа четко показывает, что оно имеет блоковое строение [6]. На блок-схеме, составленной для Кавказа Ц. Г. Акопяном [6] по гравитационным и магнитным данным, отражаются основные границы выделенных в данной работе мегаблоков на Кавказе. Эта блок-схема, естественно, более мозаична, чем схема на рис. 4, поскольку на блок-схеме, составленной по гравимагнитным данным, отражаются как сильно активные, так и слабо активные и на данном этапе неактивные, залечившиеся, разломы. На такую схему следует обратить особое внимание при прогнозе землетрясений, поскольку в оильно сжатом регионе наиболее ослабленные зоны могут возобновить свою сейсмическую активность.

Рассмотрим несколько подробнее возможный физический механизм, которым можно объяснить инверсию рельефа окраинного моря Б. Кавказа после стадии столкновения.

В астеносфере под островной дугой и окраинным бассейном (в угловой зоне между подошвой надвигаемой плиты и верхней наклонной поверхностью опускающейся плиты (рис. 3)) может возникать вторичная наведенная конвекция (конвекционные вихри), возбужденная движением через этот слой океанской плиты [7, 10]. Дополнительный тепловой поток, обусловленный вторичной конвекцией, может приводить к подплавлению подошвы литосферной плиты под окраинным морем. В результате этого толщина литосферы и ее суммарная прочность под окраинным морем постепенно уменьшаются, а напряжения сжатия, наоборот, будут возрастать. Как только напряжения сжатия превысят предел прочности пород литосферы в тылу островной дуги (что может иметь место после стадии столкновения), на расстояниях до нескольких сотен километров от зоны поддвига неизбежно должны будут начаться процессы разрушения, сопровождаемые образованием трещин, укорачиванием и утолщением коры окраинного моря, что приведет к смещению всей островной дуги в сторону краевого моря. Изменение толщины литосферы приведет к нарушению динамического равновесия, что в свою очередь, может усложнить картину наведенной конвекции.

По [18] (при допущении, что астеносфера и прилегающая часть верхней мантии являются однородными по плотности и вязкости, и в них не происходит значительных конвекционных перемещений вещества) характерное время τ восстановления изостазии определяется вязкостью η , размером L структуры среды, толщиной H_a и плотностью ρ астеносферы: $\tau \sim 2\pi\eta/\rho g L$ при $L \leq H_a$, $\tau \sim \eta L^2/\rho g H_a^3$ при $L \gg H_a$. Если $H_a = 100$ км и $\eta = 10^{20}$ П, время восстановления изостазии $\tau \sim 10^3$

лет при $L = 100$ км и $\tau \approx 10^6$ лет при $L = 1000$ км. Отсюда следует, что отклонения от изостазии могут существовать только как следствие продолжающихся глубинных тектонических процессов. Однако на Кавказе, где вязкость астеносферы понижена, и процессы изостатического регулирования должны иметь большую скорость, отмечаются наибольшие отклонения от равновесия. На резкое нарушение изостазии и на динамическую природу глубинных процессов в области Кавказа и Анатолии указывают интенсивные региональные аномалии гравитационного поля [6, 32]. Интенсивность продолжающихся тектонических процессов в обстановке сжатия указывает на возможность существования в настоящее время под данным регионом локальных конвекционных ячеек, которые могут функционировать в условиях сжатия. Поскольку наведенная конвекция может замыкаться в пределах астеносферы [7, 15], здесь существуют два независимых потока: горизонтальный, при изостатическом регулировании, и конвективный. Влияние конвективных течений приведет в этих условиях к антиизостатическим движениям земной коры и соответствующим нарушениям равновесия. Слабые положительные гравитационные аномалии над мегаблоками можно объяснить влиянием избыточного давления восходящих конвективных потоков, приподнимающих мегаблоки несколько выше (порядка нескольких десятков метров) уровня их изостатической компенсации.

6. Тектонофизическое моделирование и сопоставление мегаблоков с их сейсмичностью

Результаты работ по тектонофизическому моделированию региона дают возможность ответить на вопрос, может ли вышеописанная модель тектонической реконструкции привести к современной блочной структуре коры в результате перестройки первичного поля напряжений (образованного северонаправленным движением Аравийской плиты) под влиянием новообразованных тектонических разрывов, а также объяснить особенности развития деформаций. Полностью моделировать структуры региона и динамику процессов по разным причинам невозможно, но некоторые качественные результаты можно получить.

Моделирование, которое охватывает и интересующий нас регион, было проведено в [14]. Модели, как исходные, включали в себе системы глубинных разломов, отображающие в упрощенном виде Копет-даг-Кавказскую и Загросскую, и исследовались на горизонтальное сжатие. Опыты показали, что в областях с высокими напряжениями (τ_{\max}) процессы деформирования и разрывообразования протекают интенсивнее, чем в остальном массиве. Небольшие возмущения исходного поля наблюдались в тех областях модели, которые прилегали к дугообразным и зигзагообразным участкам разрывов, их окончаниям и участкам сочленения двух разрывов T —или Y —образного вида. Сопоставление локальных полей τ_{\max} в моделях с пространственным распределением сильных землетрясений показало, что повышенная сейсмическая активность региона наблюдается, как правило, в местах сильных искривлений зон разломов и их сочленений, т. е. как раз в тех же местах, где в мо-

делях обнаруживаются участки действия повышенных напряжений τ_{max} .

Так, наличием весьма протяженной дугообразной зоны разломов первичного заложения в Малой Азии, обращенной выпуклостью на север, можно объяснить значительное повышение напряжений в области его «северного» крыла. Это могло привести к образованию системы разрывов близмеридионального направления и к возникновению сложной мозаичной картины (рис. 4). Места сочленения разломов (Шемаха, Ахалкалаки, Ван и др.) являются зонами сильных землетрясений. В районах Табриза, Копет-дага, Загроса положение большинства сильных землетрясений также соответствует участкам повышения напряжений τ_{max} в моделях [14].

Наблюдаемую неоднородность напряженного состояния данного региона, следуя [14], можно рассматривать как результат наложения первичных и вторичных неоднородностей различного порядка. Под первичными подразумеваются неоднородности исходного поля тектонических напряжений, создаваемые Аравийской плитой, вследствие ее движения в северном направлении. Под вторичным — неоднородности, возникающие в результате перестройки исходного поля напряжений, вызванной особенностями геологического строения конкретных участков литосферы или коры — наличием в них разрывных нарушений, складок, слоистости, интрузий и т. д. Еще Аки [17] отмечал, что под воздействием региональных тектонических напряжений земная кора ведет себя в различных местах по-разному, даже в пределах одной и той же тектонической области, и поэтому получаются довольно сложные закономерности в распределении мест концентрации напряжений и сейсмичности. Предположим, что землетрясения с эпицентрами, расположенными на границах выделенных мегаблоков (землетрясения первого типа с $M \geq 5$), происходят под действием мегарегионального поля напряжений, а землетрясения с эпицентрами внутри мегаблоков (второго типа с $M < 5$), происходят под действием локального поля напряжений и что вероятность их возникновения в значительной степени зависит от величины локального поля в мегаблоке (рис. 4). Наличие мегаблоков является одной из важнейших причин искажения мегарегионального поля напряжений.

Землетрясения первого типа могут тяготеть к участкам снижения напряжений τ_{max} локального поля в мегаблоке или быть безразличными к величине этих напряжений. Эти землетрясения будут происходить преимущественно там, где мегарегиональные напряжения повышены. В [14] показано, что существует корреляция между пространственным распределением землетрясений второго типа Ирана и Средней Азии и напряжениями локального поля в модели, т. е. участкам с повышенными напряжениями локального поля соответствуют участки с высокой плотностью эпицентров.

Исходя из вышесказанного, можно заключить, во-первых, что, наблюдая фон слабых землетрясений внутри выделенных мегаблоков

(рис. 4). можно сделать некоторые выводы об их напряженном состоянии. во-вторых, для прогноза мест сильных землетрясений в данном регионе следует стремиться с помощью различных методов искать распределение не только величин локальных напряжений в мегаблоках, но и мегарегиональных напряжений. Определение влияния величины напряжений локального поля в мегаблоках на вероятность происхождения сильного землетрясения в зонах их соприкосновения тоже требует дальнейших исследований. Блочную модель (рис. 4) можно использовать как исходную при тектоническом моделировании рассматриваемого региона, для получения более детальной картины распределения участков с повышенным напряжением τ_{max} в моделях.

Блочная модель является предварительной и предлагается как рабочая схема, позволяющая разрешить некоторые вопросы тектонической реконструкции и наметить задачи, решение которых будет способствовать лучшему пониманию результатов геолого-геофизических исследований на данной территории.

Если описываемая здесь модель реконструкции полностью подтвердится, то она позволит прогнозировать на далекую перспективу эволюцию систем островных дуг и внутриконтинентальных морей (типа запада Тихого океана) после столкновения плит.

Автор выражает благодарность А. Т. Асланяну за ряд ценных замечаний, сделанных при чтении рукописи.

Институт геофизики и инженерной
сейсмологии АН Арм.ССР

Поступила 5.XII.1980.

Ս. Յ. ՀԱՎՈՐՅԱՆ

ԿՈՎԿԱՍԻ ԵՎ ՀԱՐԱԿԻՑ ՇՐՋԱՆՆԵՐԻ ՏԵԿՏՈՆԱԿԱՆ
ՎԵՐԱԿԱԽՈՒՑՄԱՆ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Ա ս փ ո փ ու մ

Ելնելով սալային տեկտոնիկայի տեսության հիմունքներից, հողվածում փորձ է արվում իմաստավորել Կովկասի և հարակից շրջանների տեկտոնիկան:

Մարզի ալպիական երկրաբանությունը, հրաբխայնությունը, սեյսմիկան, լարվածությունները և դեֆորմացիաները, մոզաիկ բլոկային կառուցվածքը կարելի է բացատրել Արաբական սալի դեպի հյուսիս ուղղված շարժումով և դրանից բխող հետևանքներով: Սվրասիական սալի դեֆորմացիաները բերել են Կովկասի առաջացմանը: Մեծ Կովկասյան լեռնաշղթայի առաջացումը կապված չէ սուրդուկցիայի գոտու հետ, այլ առաջացել է միայն ուղղաձիգ շարժումների հետևանքով: Կովկասի առաջացումն անուղղակի ձևով է կապված սալային տեկտոնիկային:

Ելնելով $M \geq 5$ մագնիտուդա ունեցող երկրաշարժերի էպիկենտրոնների բաշխման պատկերից և օգտվելով երկրաբանական ու երկրաֆիզիկական այլ տվյալներից, անչատվում են հիմնական սեյսմոգեն մեգարևոկեններ, ենթադր-

վում է, որ $M \geq 5$ երկրաշարժերը տեղի են ունենում մեգաբլոկների սահմանագծերում արտաքին լարվածության դաշտի շնորհիվ, իսկ $M < 5$ երկրաշարժերը տեղի են ունենում լարվածության առաջին կարգի լոկալ դաշտի ազդեցության տակ՝ մեգաբլոկների սահմաններում գտնվող ավելի փոքր խզումներով:

S. Tz. HAKOPIAN

ON THE TECTONIC RECONSTRUCTION OF THE CAUCASUS AND ADJACENT TERRITORIES

Abstract

An attempt is made to comprehend the Caucasus and adjacent territories tectonics proceeding from the plate tectonics conception.

The investigations show that the Caucasus and adjacent territories of Turkey and Iran history of the evolution keeps on the whole within the plate tectonics scheme. Alpine geology, volcanicity, seismicity, stresses and deformations, mosaic block structure of this region can be explained by the northward movements of the Arabian plate with its consequences. The deformation within the Eurasian plate has brought to the Caucasus formation. The origin of the G. Caucasus ridge is not caused by a subduction zone, it seems to be formed by means of uplifts only. Plate tectonics is involved in its origin, but only in an indirect way.

Proceeding from the pattern of the earthquakes distribution with $M \geq 5$ on the earth's surface and with the aid of other geological and geophysical data the main seismogene megablocks are distinguished. It is assumed that the earthquakes with $M \geq 5$ occur at the boundaries of megablocks under the influence of the outer field of stresses (for the given region), and the earthquakes with $M < 5$ occur within the megablocks along the smaller dislocations under the influence of the local field of the first order, which is generated due to the megablocks general boundaries.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Адамия Ш. А., Закариадзе Г. С., Лордкипанидзе М. Б. Эволюция древней активной континентальной окраины на примере альпийской истории Кавказа. Геотектоника, № 4, 1977.
2. Асанидзе Б. З., Печерский Д. М. Палеомагнитные исследования юрских пород Грузии и северного Кавказа. Изв. АН СССР, Физика Земли, № 10, 1979.
3. Асланян А. Т., Сатуян М. А. К геологической характеристике офиолитовых поясов Закавказья, Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, № 4—5, 1977.
4. Балакина Л. М., Введенская А. В. и др. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений, «Наука», М., 1972.
5. Габриелян А. А. Сейсмоструктура Кавказа и сопредельных стран, Известия АН Арм.ССР, Науки о Земле, № 4—5, 1977.
6. Геология Армянской ССР, т. X, Геофизика, под ред. Ц. Г. Аюбяна, Изд. АН Арм.ССР, 1972.

7. Геофизика океана. Том 2. Геодинамика, сер. «Океанология», «Наука», М., 1979.
8. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И., Моряев В. М. «Глобальная тектоника, магматизм и металлогения», «Недра», М., 1976.
9. Карпетян Н. К. Напряженное состояние в очагах землетрясений Армении и механизм их возникновения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 3, 1977.
10. Лобковский Л. И., Савостин Л. А. Вторичная конвекция и природа повышенных тепловых потоков в окраинных морях западной части Тихого океана. ДАН СССР, т. 253, 6, 1980.
11. Лукк А. А., Гангнус А. А. Глубокие землетрясения в центре материка. Природа, № 4, 1974.
12. Нгуен Тхи К. Т., Печерский Д. М., Асанидзе С. З. Палеомагнитные исследования юрских пород Северной Армении. Известия АН СССР, Физика Земли, № 6, 1978.
13. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. «Наука», М., 1977.
14. Осокина Д. Н., Гущенко О. И., Лыков В. И., Цветкова Н. Ю. Моделирование локальных полей тектонических напряжений, обусловленных системами глубинных разломов. В кн.: «Поля напряжений и деформаций в литосфере», «Наука», 1979.
15. Фотиади Э. Э., Лайнкин А. В., Тичков С. А. О влиянии неоднородности астеносферы на конвекцию в мантии и изостазию литосферы, ДАН СССР, т. 240, № 5, 1977.
16. A catalogue of earthquake for Turkey and surrounding area. K. Ergin, U. Göllu, Z. Uz. Technical University of Istanbul, 1964.
17. Aki K. Seismicity and seismological method. Tectonophysics, 6, 41, 1968.
18. Artjuskov E. V. Rheological properties of the Crust and Upper Mantle according to data on isostatic movements. J. Geoph. Res., 76, 5, 1971.
19. „Continents Adrift and Continents Aground“, Scientific American, with introductions by J. Tuzo Wilson San Francisco, 1977.
20. Dewey J. F., Bird J. M. Plate tectonics and geosynclines. Tectonophysics., 10, 625—638, 1960.
21. Dewey J. F., Bird J. M. Mountain belts and new global tectonics. J. Geophys Res., 75, 2625—2617, 1970.
22. Dewey J. W. Seismicity of northern Anatolia. Bull. Seism. Soc. Am., 66, 3, 1976.
23. Geological Survey of Iran, Contribution to the seismotectonics of Iran (Part II) by M. Berberlan, Report 39, 1976.
24. Khain V. E., Milanovsky E. E. Structure tectonique du Caucase d'après les données modernes. Livres à la mémoire du Prof. P. Fallet Soc. Geol. France, 2, 663, 1963.
25. Leitchon X., Francheteau J., Bonnin J. Plate Tectonics. Developments in Geotectonics. 6, 1973.
26. McKenzie D. P. Plate tectonics of the Mediterranean region. Nature, 226, 239—243, 1970.
27. McKenzie D. P. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophys. J., 30, 109—185, 1972.
28. Morgan W. J. Convection plumes in the lower mantle. Nature, 230, 42—43, 1971.
29. Nowroozl A. A. Seismo-tectonics of the Persian plateau, eastern Turkey, Caucasus and Hindu-Kush. Bull. Seism. Soc. Am., 61, 317—341, 1971.
30. Nowroozl A. A. Focal mechanism of earthquake in Persia, Turkey, West Pakistan, Afghanistan and plate tectonics of the Middle East. Bull. Seism. Soc. Am., 62, 832—850, 1972.
31. Nowroozl A. A. Seismotectonic provinces of Iran. Bull. Seism. Soc. Am., 66, 1249—1276, 1976.
32. Özelci F. A suggestion on the possible significance of volcanic activity in the tectonic development of the eastern Mediterranean region. Tectonophysics, 46, 227—237, 1978.
33. Sengör A. M. C., Kidd W. S. F. Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, 55, 361—376, 1979.
34. Van der Voo R. Paleomagnetism and the Alpine tectonics of Eurasia IV. Jurassic Cretaceous and Eocene pole positions from North-Eastern Turkey. Tectonophysics, 6, 1968.