

УДК 539.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗОНЕ КОЛЛИЗИИ АРАВИЙСКОЙ И
ЕВРАЗИАТСКОЙ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GPS С УЧЕТОМ РАЗЛИЧИЙ ИХ
ЖЕСТКОСТЕЙ

Агамалян В.А., Хачикян А.С.

Ключевые слова: Плиты Земной коры, напряженное состояние, метод конечных элементов, неоднородность.

Keywords: Earthcrust plate, Stressed state, Finite Element Application, Heterogeneous.

Վ.Ա. Աղամալյան, Ա.Ս. Խաչիկյան

Լարումների բաշխումը արաբական և եվրասիական սալերի բախման գոտում GPS տվյալների հիման վրա, հաշվի առնելով նրանց կոշտությունների տարբերությունը

Վերջավոր տարրերի մեթոդով որոշվում է Արաբական և Եվրասիական սալերի հատվածների (բլոկների) լարվածային վիճակը վերին կավճի ժամանակաշրջանում տեղ գտած բախման (կոլիզիայի) Կովկասյան գոտում այդ սալերի կոշտությունների տարբերության հաշվառումով: Սալերի առաձգականության մոդուլների հարաբերության միջինացված արժեքները գնահատվում են նրանցում առաձգական երկայնական ալիքների արագությունների համեմատությամբ, որոնք հայտնի են ըստ Արմաշ-Ախալցխա խորքային սեյսմիկ գնման տվյալների: Տարածաշրջանի կինեմատիկական վերցվում է ըստ 1988-1997թթ. 37 կետերի համար GPS դիտարկումների տվյալների: Հաշվարկված բաշխումը որոշ դեպքերում ներդաշնակ է ըստ հայտնի փաստերի սպասվող բաշխմանը:

V.A.Aghamalyan, A.S.Khachikyan

The Strain Shearing in the Collision Zone of the Arabian and Eurasian Plates by the GPS Data and the Plate Rigidity Consideration

By the FEA method it is defined the strain mode of the Arabian and Eurasian plate fragments in the zone of their Upper Cretaceous collision in Caucasus with consideration of the rigidity difference of those plates. The averaged ratio of elasticity modules of the plates is assessed by the comparison of the longitudinal wave velocity, known from the deep seismic sounding. The kinematics of the region is gained from GPS prospecting at 1988-1997 on 37 points. The mode of the calculated strain sometimes corresponds to the behavior, anticipated by the other common data.

Методом конечных элементов определяется напряженное состояние фрагментов Аравийской и Евразийской плит в зоне их верхнемеловой коллизии в Кавказском регионе с учетом различий жесткостей этих плит. Осредненные отношения модулей упругости плит оцениваются сопоставлением скоростей продольных упругих волн, известные по данным глубинного сейсмического зондирования. Кинематика региона берется согласно данным наблюдений GPS в 1988-1997гг. на 37 точках. Характер вычисленных напряжений в некоторых случаях соответствует поведению ожидаемой по другим известным фактам.

Введение

Вопросы определения напряженного состояния плит земной коры в зоне коллизии Аравийской и Евразийской плит давно привлекают внимание исследователей [7, 6, 5]. В последнее время, благодаря накоплению новых данных наблюдений GPS и другими методами, возможности исследований кинематики и динамики плит в этой зоне расширились [4]. Однако сложная картина геологической структуры и кинематики региона не позволяет пока однозначно интерпретировать всю динамику современных движений, движущие силы и характер взаимодействий микроплит региона [3-6]. Определение реальных напряжений, возникающих в земной коре вследствие современных движений, является целью настоящей работы.

В [2] методом конечных элементов, при предположениях об однородности и изотропности вещества плит и существования плоского напряженного состояния, на основе данных GPS о кинематике региона было определено напряженное состояние региона. Здесь эта задача рассматривается более реалистично и решается уже с учетом неоднородного состояния веществ рассматриваемых блоков. Предполагается, что фрагменты Аравийской и Евразийской плит обладают разной жесткостью, относительное значение которых определяется отношением квадратов средних скоростей продольных упругих волн, определяемых на основании данных глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ).

Определение отношения жесткостей фрагментов Аравийской и Евразийской плит

Для определения отношения жесткостей Аравийской и Евразийской плит воспользуемся значениями скоростей продольных упругих волн на профиле ГСЗ Армаш–Ахалцихе (фиг. 1 и 2). Граница плит на линии профиля приходится на район Базумского надвига [1]. На профиле Армаш-Ахалцихе от границы плит по обе стороны в ЮВ направлении (Аравийская плита) и в СЗ направлении (Евразийская плита) определим средние скорости продольных волн на глубине от 0 до 55 км по трем сечениям в каждую сторону (фиг. 2).

На этих сечениях, начиная от точки соприкосновения двух плит, средние скорости составили на СЗ для Евразийской плиты 6,725 км/с; 6,673 км/с; 6,784 км/с и на ЮВ для Аравийской плиты 6,716 км/с; 6,875 км/с; 6,906 км/с.

На двух смежных к границе плит сечениях, поближе к границе плит, разность средних скоростей незначительная, соизмеримая с точностью использованных данных и методики расчета.

Разность средних скоростей на более удаленных от контакта плит сечениях хоть и небольшая (порядка 2-3%), но определенно выраженная. Средние скорости на стороне Аравийской плиты имеют большее значение, чем на стороне Евразийской плиты.

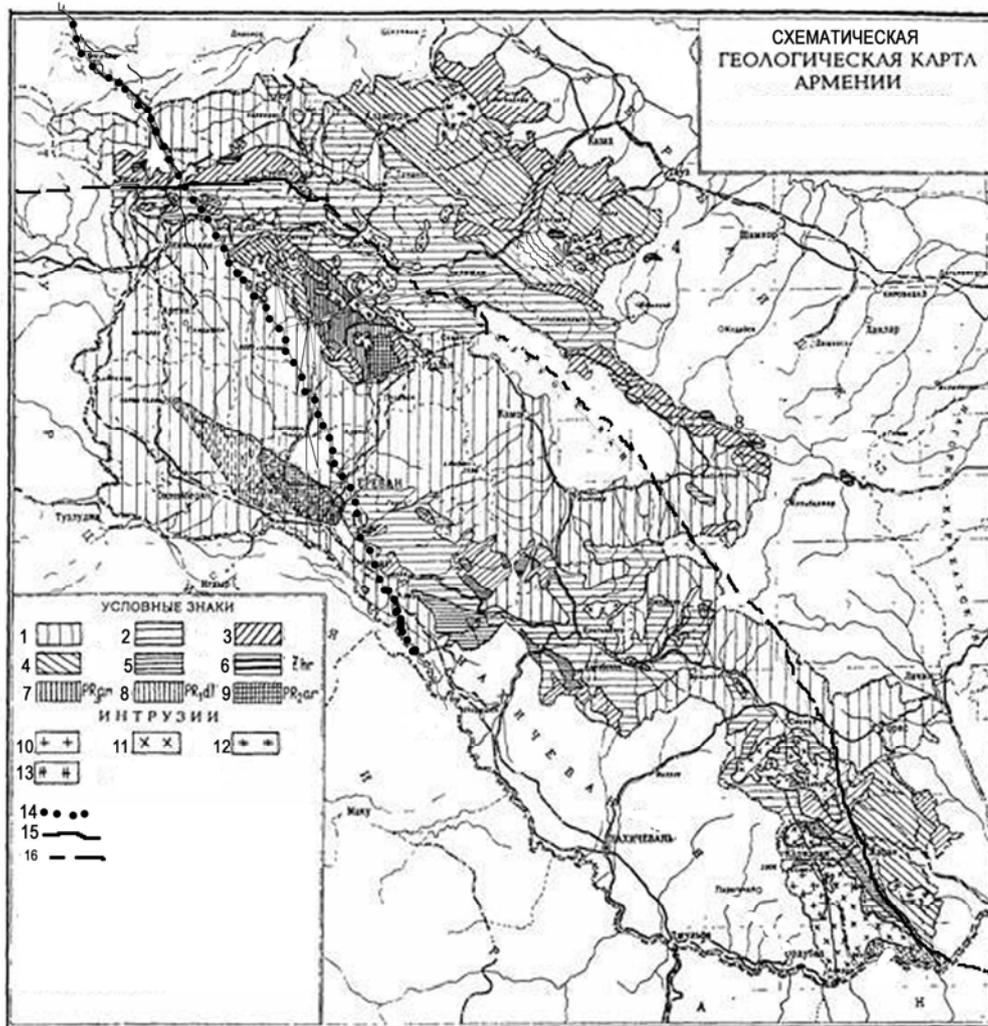
Как известно, в первом приближении скорость продольных волн $V = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}$, следовательно, $\frac{E_A}{E_E} = \frac{V_A^2}{V_E^2} \cdot \frac{\rho_A}{\rho_E}$, где, E , ρ , ν – модули упругости, плотности и коэффициенты Пуассона соответствующих плит при предположении $\nu_A = \nu_E$.

Предположим, что эти соотношения верны и для средних значений скоростей, и модулей упругости, и что $\rho_E = \rho_A$. Тогда можно полагать, что

$$\frac{E_A}{E_E} \approx 1,03 \div 1,06.$$

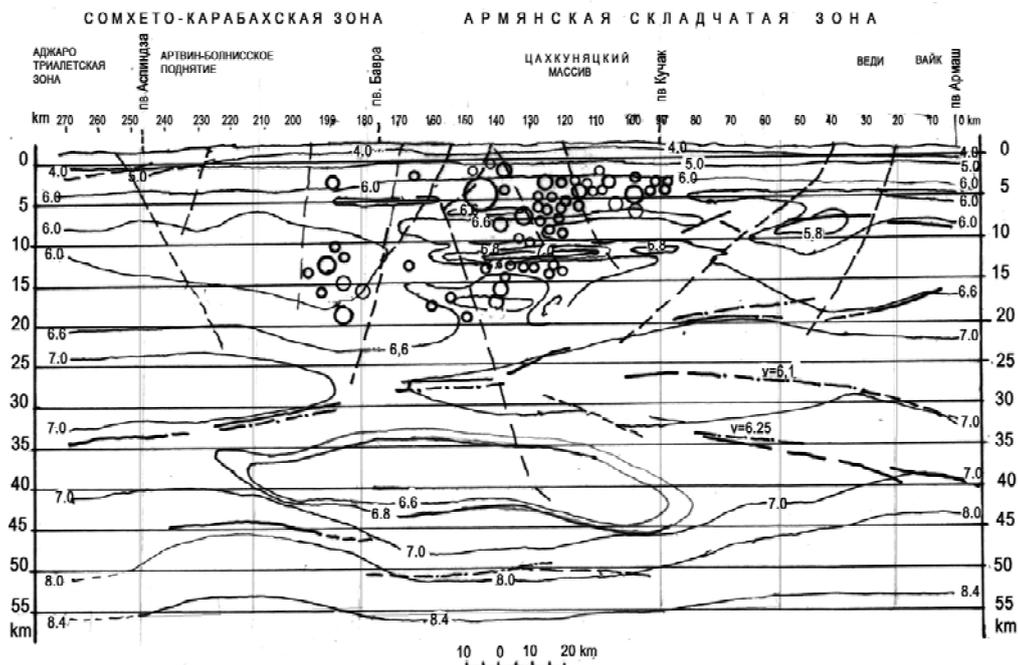
Интересно отметить, что определенные таким образом модули упругости в зоне разграничения плит в непосредственной близости от разлома имеют меньшее значение, чем дальше по обе стороны от разлома. Это может быть следствием раздробленности пород в зоне разлома. Интересно также, что и без расчетов это заметно на карте скоростей профиля ГСЗ и более ярко выражено в глубоких слоях, чем ближе к поверхности.

Сделанная оценка отношения модулей вещества плит может быть объяснена геологической историей становления этих плит.



Фиг. 1. Схематическая геологическая карта Армении с указанием трассы ГСЗ и верхнемеловой коллизионной сутуры.

Условные обозначения: 1– Неоген-четвертичный чехол. 2– Палеогеновые отложения. 3– Меловые отложения. 4– Юрские отложения. 5– Отложения девона-триаса; 6-9 – Выходы и блоки кристаллического фундамента. (10-13) – Интрузии: 10– Неогеновые интрузии; 11– Палеогеновые интрузии; 12– Нижнемеловые интрузии; 13– Юрские интрузии. (14-16)– Структурные обозначения: 14 – Трасса профиля ГСЗ Армаш–Ахалцихе; 15 – Верхнемеловая сutura между Перигондванской Армянской складчатой зоной и Сомхето-Карабахской зоной (достоверная); 16 – та же граница (предполагаемая).



Фиг. 2. Профиль ГСЗ Армаш–Ахалцихе (упрощенный)

Цифрами внутри профиля указаны граничные скорости V_p в км/сек. Кружочками обозначены гипоцентры землетрясений разной магнитуды. Наиболее крупный – очаг спитакского землетрясения. Тонкими вертикальными линиями показаны участки расчета усредненной плотности по обе стороны от границы блоков. Границей блоков принят Базумский надвиг.

Определение напряженного состояния плит

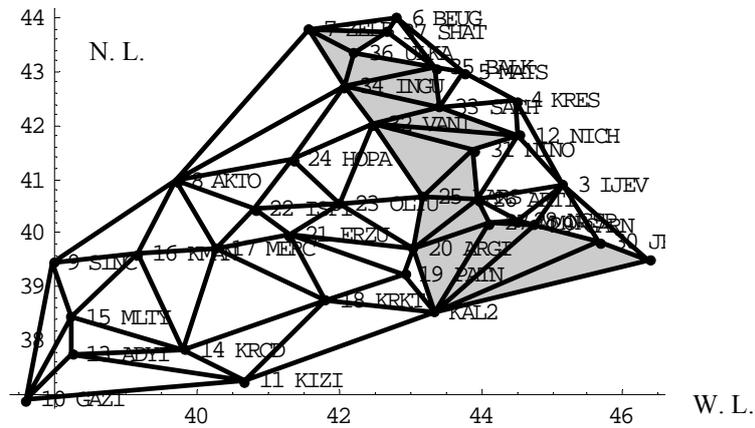
Принимаем границу между фрагментами Аравийской и Евразийской плит в регионе согласно [1] совпадающей с Базумским надвигом (поддвигом), показанной на фиг.1. Приписываем фрагменту Евразийской плиты модуль упругости $E_E = 6 \cdot 10^{10}$ Па, а Аравийской плиты – $E_A = 1.06 \cdot 6 \cdot 10^{10}$ Па.

Как и в [2], принимаем, что имеет место плоское напряженное состояние. Вычисляем по несколько видоизмененной программе, примененной в этой работе, напряженное состояние, состоящее из двух слагаемых: напряжения плоского напряженного состояния от контурных перемещений, определяемые методом конечных элементов и локальные напряжения, определяемые в каждом треугольнике перемещением его вершин, считая в каждом треугольнике деформации и напряжения постоянными. Как и в [2], разность этих двух напряженных состояний приписываем влиянию сил, действующих на подошву плиты, или внутренним факторам.

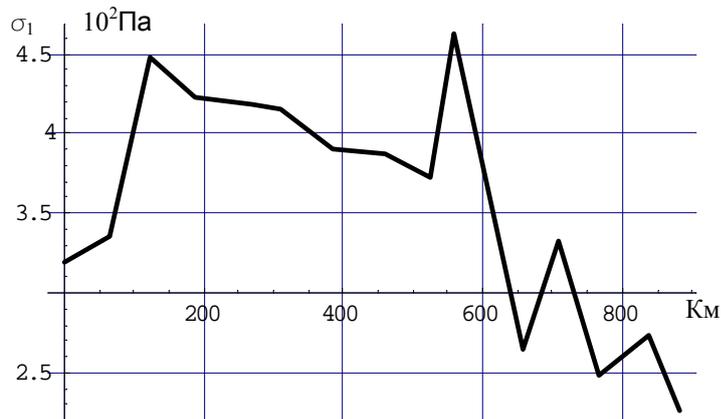
Векторы перемещения реперов GPS и методика разбивки области на треугольники приведены в [2].

Численные расчеты и обсуждение результатов

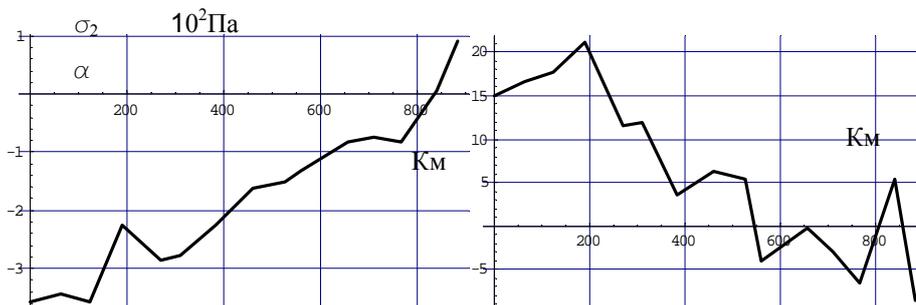
Вычислены значения среднегодовых приростов напряжений вследствие перемещений плит для всего рассматриваемого региона, и определены значения главных напряжений и направления их осей для трассы, показанной на фиг. 3 в затемненном виде.



Фиг. 3. Трасса вычислений главных напряжений и реперы наблюдений GPS



Фиг. 4, а. Главные напряжения и направление осей главных напряжений



Фиг. 4, б, в.

Значения главных напряжений и направления их осей плоского напряженного состояния для указанной выше трассы приведены в табл. 1 и на фиг. 4. На фиг. 5 для этой же трассы приведены значения главных напряжений и направлений их осей, соответствующих локальному напряженному состоянию.

Как показывают вычисления, в зоне, где Аравийская плита соприкасается по относительно крутой дуге с Евразийской плитой, заметна некоторая концентрация напряжений на фоне общих изменений до 6%, относительно однородной модели [2].

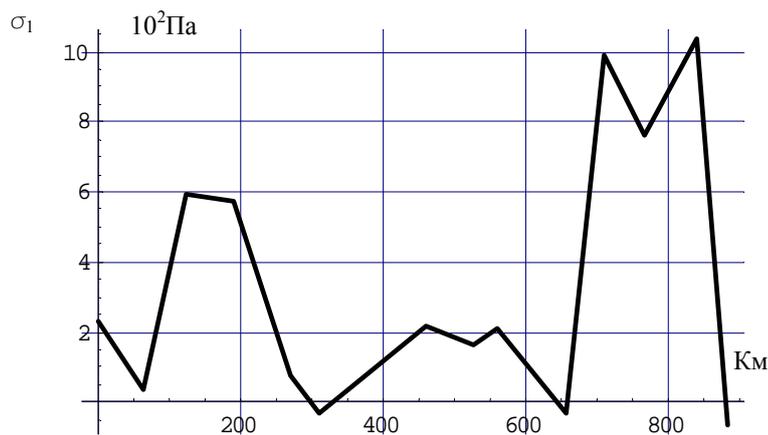
Можно заметить, что на отмеченной трассе (фиг.4в.) направление главных напряжений с ЮВ на СЗ меняется по часовой стрелке порядка 30° .

Таблица 1

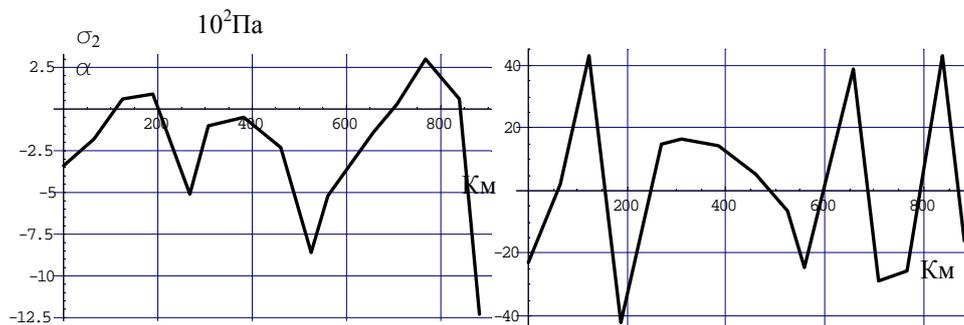
Номера регионов	треугольных	σ_1 • 10^2 Па	σ_2 • 10^2 Па	α градус
22		3.19082	-3.59012	15.0373
21		3.35839	-3.45225	16.5342
20		4.48462	-3.58776	17.6431
19		4.22022	-2.25855	21.135
28		4.1773	-2.86666	11.4657
29		4.15979	-2.76494	11.9937
43		3.89707	-2.25478	3.53053
42		3.87249	-1.61789	6.37364
48		3.72311	-1.50703	5.32965
49		4.62759	-1.30859	-3.95997
50		2.6512	-0.810211	-0.162337
53		3.32542	-0.732353	-2.9786
54		2.48483	-0.808617	-6.64133
55		2.73229	0.0461607	5.31372
56		2.26181	0.921019	-8.5365

Графики главных напряжений показывают, что напряжения, соответствующие плоскому напряженному состоянию (фиг. 4 а,б), обнаруживают заметную тенденцию упорядоченного изменения по отмеченной трассе. В то же время напряжения, соответствующие локальному напряженному состоянию (фиг.5а,б), заметной упорядоченной тенденции не обнаруживают.

Полученные данные могут быть полезны при обсуждении кинематики и динамики зоны коллизии Аравийской и Евразийской плит.



Фиг. 5, а. Главные напряжения локального напряженного состояния



Фиг.5, б, в.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агамалян В.А. Определение 3D смещений земной коры Кавказа по данным GPS и повторных нивелировок. //В кн.: Проблемы геоморфологии и неотектоники горных областей Альпийско-Гималайского пояса. Ереван. 2001. С. 38-40.
2. Арутюнян А.Г., Тоноян В.С., Хачикян А.С. Распределение деформаций в зоне взаимодействия Аравийской и Евразийской плит на основе данных GPS. //Изв. НАН Армении. Механика. 2003. Т. 56. №3. С. 3-13.
3. Астахов К.П., Белов А.А. Геолого-геофизические условия в очаговой зоне Спитакского землетрясения 1988 года. М.: Министерство геологии СССР, НПО «Нефтегеофизика», 1990. 348 с.
4. Шевченко В.И. и др. Современная геодинамика Кавказа. //Физика Земли. 1999. 9. С. 3-18.
5. Jackson J. and McKenzie D. The relationship between plate motions and seismic tremors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, Geophys J.R. Astron, Soc., 1988, 93, pp. 45-73, 1988.
6. Jackson J. Partitioning of strike-slip and convergent motion between Eurasia and Arabia in eastern Turkey, Geophys. J. Res., 1992, 97, 12, 471-12, p. 479.
7. Mckenzie D.P. Active tectonics of the Mediterranean region, Geophys J.R. Astron, Soc., 1972, 30, pp. 109-185.
8. Reiliger R., et al. Global Positioning System measurements of present-day crystals movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. Geophys. J. Res., 1997, 102, pp. 9083-9099
9. McClusky S. Et al. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean»s and Caucasus. Journ. of Geophys. Research, v. 105, N B3, March 10, 2000, pp. 5695-5719.

Институт геологических наук НАН Армении
Институт механики НАН Армении

Поступила в редакцию
18.12.2007