

ческого потенциала. Согласно существующей теории Я. И. Френкеля [5], изменение вышеуказанных параметров приводит к изменению СЭЭФ.

Увеличение U с ростом давления обусловлено трещинами, возникающими в образце, при их деформировании и разрушении. При полном насыщении образцов слабыми растворами NaCl (0,08 и 0,16%) графики $U=f(\sigma)$ имеют более изрезанный вид. Причина этого, вероятно, следующая: с увеличением концентрации NaCl вязкость раствора увеличивается, что приводит к снижению ее проницаемости. Вследствие этого вода медленно поступает в очаг внутреннего разрушения [1], которое образуется в ходе деформирования образцов. Можно предполагать, что остальные параметры раствора в данном случае существенной роли не играют.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР

Поступила 30.IV.86.

ЛИТЕРАТУРА

1. Микаелян А. О. Некоторые особенности влияния внутрипорового давления на скорости упругих волн и электросопротивления известняков в условиях гидростатического сжатия.—В кн.: Механизм и физические процессы в структуре и веществе литосферы. Мат. Международной конференции. Потсдам: 1977, с. 56—64.
2. Нейштадт Н. М. Использование сейсмометрических и пьезоэлектрических явлений в разведочной геофизике. Л.: Недра, 1970, с. 75—81.
3. Соболев Г. А., Демин В. М. Механоэлектрические явления в Земле. М.: Наука, 1985, с. 145—159.
4. Френкель Я. И. К теории сейсмических и сейсмоэлектрических явлений в влажной почве.—Изв. АН СССР, серия географическая и геофизическая, 1944, том VIII, № 4, с. 134—149.
5. Martner S. T., Sparks W. R. The elektro seismic effect Geophysik, 1959, 24, № 2, p.p. 149—157

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 3, 59—63, 1987

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК: 550.837.21

С. А. БАРЫШЕВ, С. Г. МУРАДЯН

ОЦЕНКА СЕЙСМОПРОГНОСТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОВОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В РАЙОНЕ АРМЯНСКОЙ АЭС

Армянская атомная электростанция (АрмАЭС) расположена в средней части Еревано-Игдырского сейсмогенного узла в восьмибалльной зоне, что определяет необходимость проведения на АЭС дополнительных мероприятий перед сильными сейсмическими воздействиями. Сейсмическая опасность для сооружений АЭС в основном определяется землетрясениями Еревано-Игдырской зоны [1], очаги которых, согласно гистограмме (рис. 1), построенной по данным [6], в подавляющем большинстве сосредоточены на глубинах от 5 до 25 км.

Область подготовки сильного землетрясения характеризуется размерами порядка десятков километров [7], поэтому для заблаговременного обнаружения очагов землетрясений, потенциально опасных для АрмАЭС, необходимо контролировать состоящие вещества земной коры до глубин 20—25 км на удалении до 50—70 км от электростанции. Одним из наиболее чувствительных к изменениям интегральных свойств вещества прогностическим параметром является удельное электрическое сопротивление (ρ). По данным советских и зарубежных исследователей (Воларович М. П., Авчян Г. М., Пархоменко Э. И., Brace W. F., Morrison H. F. и др.) степень относительного изменения ρ горных пород может в 100—100.000 раз превышать степень их деформации, изменения температуры и давления, пористости, трещиноватости, влагонасыщенности и минерализации поровой жидкости.

Для определения удельного электрического сопротивления горных пород, залегающих на больших глубинах, используются методы электромагнитного зондирования. Среди методов, применяемых в настоящее время для целей прогноза землетрясений, наибольшей эффективностью обладает зондирование на постоянном токе с дипольным источником поля [7]. Определяемая в результате зондирования величина «кажущегося сопротивления» (ρ_k) является сложной, но однозначной (вне пределов действия принципа эквивалентности) функцией параметров геоэлектрического разреза [4].

Изменения ρ на глубине сопровождаются вариациями ρ_k , которые и были обнаружены в период подготовки землетрясений в различных сейсмоактивных районах мира. Так, в СССР на Гармском полигоне за 2 месяца и более перед землетрясениями с магнитудой $4,2 < M < 5,7$ наблюдались вариации ρ_k величиной от 3 до 20%. В США в районе Холлистера уменьшение ρ_k на 24% произошло за 2 месяца до землетрясения с $M=3,9$; были обнаружены вариации ρ_k порядка 10% перед роением землетрясений. В Китае метод электрического зондирования получил особую популярность. Описано более 30 примеров изменения ρ_k перед землетрясениями с $M=3,8 \div 7,9$, а землетрясение 29 мая 1976 г. с $M=6,9$ было успешно предсказано на основании данных электрического зондирования в совокупности с результатами геодезических измерений и сейсмичностью [7].

По мере увеличения расстояния между источником и приемником поля (разноса) возрастает глубина зондирования. В то же время, отношение сигнал/помеха уменьшается пропорционально кубу разноса.

По этой причине малая мощность источников тока, применявшихся до последнего времени, существенно снижала эффективность метода. Создание мощных геофизических источников тока на базе МГД-генераторов позволило увеличить глубину зондирования в 5—10 раз [5]. Так, с установкой «Памир-1», используемой с 1973 г. на Гармском полигоне для изучения вариаций ρ_k , предваряющих землетрясения, был реализован дипольный момент источника около $3,6 \cdot 10^6$ А·м, что обеспечило надежное измерение сигналов на расстоянии до 40 км от МГД-генератора (вместо 6 км с электроразведочной станцией ЭРС-67) [7].

Величина вариации «кажущегося сопротивления», обусловленной изменением удельного электросопротивления (ρ) вещества земной коры, в некоторой области в значительной степени определяется геоэлектрическим строением вмещающей среды [3]. Очевидно, что вариация ρ_k будет во много раз интенсивнее, если область изменения ρ_k непосредственно подстилается породами весьма высокого электросопротивления, чем когда она перекрывается этими породами. Поэтому эффективность зондирования для каждого конкретного района должна быть определена, исходя из местных геоэлектрических условий.

Оценим прогностические возможности электрического зондирования с МГД-генератором для района АрмаЭС. Для этого по относительной величине вариации «кажущегося сопротивления», зарегистрированной на Гармском полигоне в процессе подготовки землетрясения, определим удельное электрическое сопротивление ρ_v области изменения вещества земной коры, исходя из модели этой области и геоэлектрического строения района зондирования. Переместив модель области изменений в геоэлектрический разрез района АрмаЭС, в соответствии с местными сейсмологическими условиями, найдем относительную величину вариации «кажущегося сопротивления», ожидаемую в районе АрмаЭС в процессе подготовки подобного землетрясения.

Относительную величину вариации ρ_k рассчитываем по обычной формуле:

$$\Delta \rho_k = \left| \frac{\bar{\rho}_k - \rho_k}{\rho_k} \right| \times 100,$$

где ρ_k и $\bar{\rho}_k$ — величина «кажущегося сопротивления» разреза для конкретного разноса при отсутствии, и она же в присутствии области изменения ρ .

«Кажущееся сопротивление» определялось по формуле (1), полученной нами после несложных преобразований выражений (121) и (124) работы [3].

$$\rho_k = \frac{\rho_1}{3 \cos^2 \varphi - 1} \left\{ (2 \cos^2 \varphi - 1) \int_0^{\infty} \bar{R} \cdot I_1(mr) m v dm r - \cos^2 \varphi \int_0^{\infty} \bar{R} \cdot I_0(mr) m^2 r^2 dm r \right\}.$$

Здесь φ — угол между осью диполя и направлением на точку наблюдения, g — разнос установки и \bar{R} — рекуррентная функция «отражения», определяемая согласно [3] выражением:

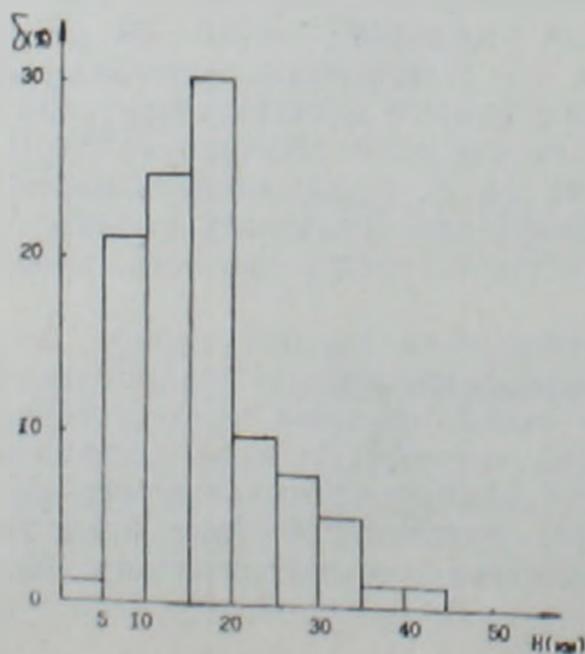


Рис. 1.

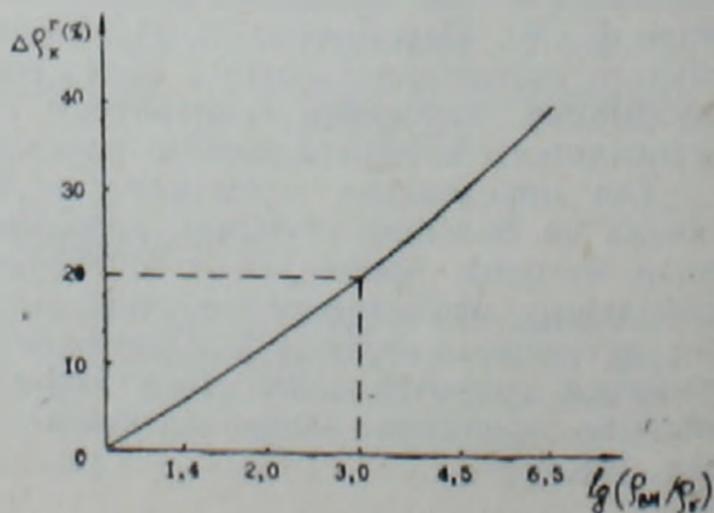


Рис. 2.

$$\bar{R} = \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left\{ mh_1 + \text{ar} \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left[mh_2 + \dots + \text{ar} \frac{\text{th}}{\text{cth}} \left(\frac{\rho_N}{\rho_{N-1}} \right) \right] \right\},$$

где ρ_i, h_i ($i=1, 2, 3, \dots, N$)—сопротивления и мощности слоев, причем мощность последнего слоя (h_N) намного превышает разнос.

Расчеты выполнены на БЭСМ-6 ЭВМ по программам, составленным на алгоритмическом языке Фортран IV. При вычислении интегралов от осциллирующих функций использована стандартная подпрограмма ELON, позволившая существенно сократить время вычислений при необходимой точности расчетов.

Перед землетрясением энергетического класса 13,2, происшедшим 3.09.1976 г. на Гармском полигоне, между излучателем и приемной станцией № 2 (разнос $r \approx 31$ км) было зарегистрировано уменьшение ρ_k примерно на 20% [8]. Область изменения ρ с электросопротивлением ρ_V согласно [7] аппроксимируется пластом мощностью 2 км, кровля которого залегает на глубине 4 км. В качестве расчетной принимаем двухслойную модель с плоско-параллельными границами раздела и параметрами: $\rho_1 = 100$ Ом·м; $h_1 = 100$ м; $\rho_2 = 1000$ Ом·м; $h_2 = \infty$ [2]. Найдем величину ρ_V пласта, обусловившего 20%-ную вариацию «кажущегося сопротивления» ($\Delta \rho_k^{\Gamma} = 20\%$).

Для этого рассчитаем зависимость $\Delta \rho_k^{\Gamma} = f(\rho_V)$ для ряда значений ρ_V , составляющих 0,154; 0,222; 0,333; 0,71; 1,0 от электросопротивления вмещающего слоя (ρ_2). По результатам расчетов построен график, представленный на рис. 2, из которого находим, что в рамках принятой модели 20%-ная вариация ρ_k вызывается уменьшением сопротивления пласта примерно в три раза.

Район расположения АрмаЭС в геоэлектрическом отношении, по данным ряда исследователей (Саркисян Л. А., Мириджанян Р. Т., Яникян О. А. и др.), характеризуется весьма неоднородным строением. В северной части района условия для глубинного электрического зондирования более благоприятны вследствие значительно меньшей величины суммарной проводимости осадочного «чехла», что обусловлено, в основном, понижением удельного электрического сопротивления пород с севера на юг и большей глубиной залегания кристаллического фундамента на юге. Поэтому нами выбраны две расчетные модели осредненных геоэлектрических разрезов (Саркисян Л. А.): для северной части (I)— $\rho_1 = 200$ Ом·м; $h_1 = 10$ м; $\rho_2 = 1300$ Ом·м; $h_2 = 450$ м; $\rho_3 = 6$ Ом·м; $h_3 = 300$ м; $\rho_4 = 50$ Ом·м; $h_4 = 400$ м; $\rho_5 = 8$ Ом·м; $h_5 = 2000$ м; и для южной (II)— $\rho_1 = 30$ Ом·м; $h_1 = 100$ м; $\rho_2 = 200$ Ом·м; $h_2 = 400$ м; $\rho_3 = 4,0$ Ом·м; $h_3 = 400$ м; $\rho_4 = 40$ Ом·м; $h_4 = 600$ м; $\rho_5 = 6$ Ом·м; $h_5 = 2500$ м.

Этот комплекс подстилается породами мелового возраста с электросопротивлением порядка 300 Ом·м при мощности 1 км.

Удельное электрическое сопротивление «гранитного слоя» было принято равным $\rho_7 = 3 \cdot 10^4$ Ом·м.

Для этих моделей рассчитаны кривые дипольного зондирования с разносами от 1,0 до 170 км: базовые кривые $\rho_k^{I,II}$, представленные на рис. 3, соответствуют собственно шестислойным разрезам (I) и (II); и аномальные кривые—для моделей с пластом пониженного $\rho_V = 0,339$ (ρ_7) удельного электросопротивления. Мощность пласта по-прежнему 2 км, глубина залегания его кровли согласно гистограмме (рис. 2)—16 км. Относительные изменения «кажущегося сопротивления» для ряда разносов приведены в первой и четвертой строках табл. 1.

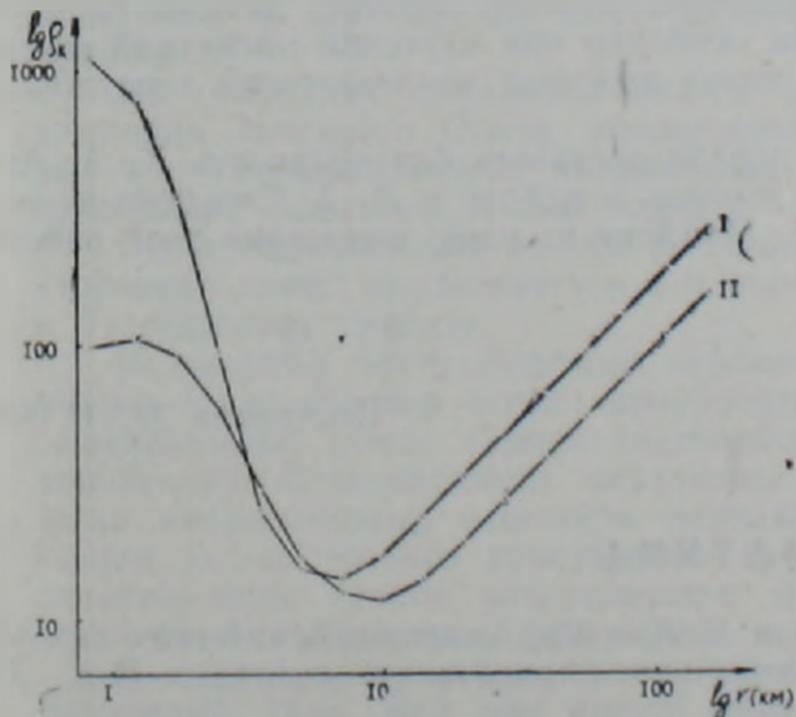


Рис. 3

Таблица 1

№	№ _г	(к.м)						
			29	41	58	82	116	164
I	$\rho_k^{16} \cdot 10^2$ (%)	0.7	1.8	2.8	3.7	4.3	4.7	
	ΔV (μV)	2200	1100	550	270	140	70	
II	$\rho_k^6 \cdot 10^2$ (%)	3.7	4.4	4.8	5.1	5.3	5.4	
	$\rho_k^{16} \cdot 10^2$ (%)	—	0.3	0.9	1.5	2.0	2.4	
II	ΔV (μV)	1300	630	320	160	80	40	
	$\rho_k^6 \cdot 10^2$ (%)	2.6	2.8	3.0	3.1	3.15	3.2	

При использовании Гармского варианта МГД-установки «Памир-1» ($M = 3,6 \cdot 10^6$ А·м) в приемной линии (MN) длиной 1 км, расположенной на оси диполя, будут получены значения разности потенциалов (ΔV), приведенные во второй и в пятой строках табл. 1.

Уровень электрических помех в районе АрмаЭС очень высок, что обусловлено большой густотой сети электрифицированных железных дорог и высокоразвитой промышленностью. Напряженность поля низкочастотных помех, обусловленных теллурическими токами, также велика и на различных участках колеблется в пределах от десятков милливольт до нескольких вольт на 1 км (Саркисян Л. А.).

Из данных табл. 1 следует, что при электрическом зондировании с МГД-генератором для целей прогноза в районе АрмаЭС необходимо обеспечить измерение амплитуды одиночных сигналов, порядка 0,5—1 мВ с погрешностью менее 0,02% на фоне помех, соизмеримых с величиной сигнала или даже значительно превышающих его.

При уменьшении активного сопротивления диполя согласно с установкой «Памир—1» можно значительно (на порядок) повысить уровень сигнала. Однако низкая эффективность метода обусловлена прежде всего неблагоприятными геоэлектрическими условиями района. Практически весь ток источника концентрируется в мощной толще хорошо проводящих пород «чехла» со средним удельным электросопротивлением от 6 до 20—25 Ом.м, поскольку они подстилается высокоомными (несколько сотен Ом. м) породами мела, залегающими на весьма высокоомных (десятки тысяч Ом.м) породах «фундамента». Поэтому породы мела и кровля «гранитного слоя» очень сильно экранируют нижележащие неоднородности. В этом нетрудно убедиться, сравнив относительную величину вариации r_k , рассчитанную для Гарма ($\Delta r_k^G = 18\%$), с величинами, вычисленными на моделях полигона АрмаЭС при 6-километровой глубине залегания пласта (строки 3 и 6 табл. 1).

Как видно, в условиях полигона АрмаЭС вариация была бы в сотни раз меньше. Кроме того, максимум вариации смещается в сторону больших значений разности ($V_A < 170$ км, вместо $V_r \approx 30$ км), что также является следствием эффекта экранирования.

Кроме основного «регионального экрана» в районе также имеются локальные экраны, представленные высокоомными породами соленосногипсоносной свиты, которые на отдельных участках служат опорным горизонтом при электрических зондированиях и МТП (Саркисян Л. А.).

Наличие мощной хорошопроводящей толщи определяет необходимость учета процесса становления поля, длительность которого здесь составляет 50—60 с. При длительности импульса тока установки «Памир»—1—2 с, этот быстро изменяющийся процесс будет существенно искажать результаты зондирования.

Заключение

В работе оцениваются прогностические возможности методики зондирования на постоянном токе с МГД-генератором в районе расположения АрмаЭС. Сделан вывод о низкой прогностической эффективности методики в данном районе в силу следующих причин: влияние области изменения r , образующейся в процессе подготовки землетрясения, на результаты измерений будет существенно ослабляться региональным и локальными экранами электрического поля и большой глубиной залегания очагов; реализация необходимой точности измерений весьма затруднительна вследствие малой величины полезного сигнала, обусловленной необходимостью значительных разносов, низким удельным электросопротивлением верхней части разреза и недостаточным выходным напряжением МГД-генератора; высокого уровня электрических помех; большой длительности процесса становления поля.

Вышеперечисленных недостатков в различной степени лишены методы гармонического тока и неуставившихся процессов, особенно при изучении магнитной составляющей поля, перспективность которых в целях прогноза землетрясений заслуживает исследования.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность К. А. Агамалян и Р. Т. Мириджаняну за большую помощь в работе и Л. А. Саркисян за ценные консультации и помощь, а также Р. А. Маилян за идею написания этой работы.

СКБ НКГСПС
АН АрмССР

Поступила 29.XII.1980

ЛИТЕРАТУРА

1. Асланян А. Т., Аракелян Ф. О., Агамалян К. А. и др. Анализ сейсмических условий района Армянской атомной электростанции (Аракатская долина).—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, № 5.
2. Барсуков О. М., Поиски электрических критериев прогноза землетрясений.—В кн. Экспериментальная сейсмология. М.: Наука, 1971.
3. Ваньян Л. Л., Основы электромагнитных зондирований. М.: Недра, 1965.
4. Заборовский А. И. Электроразведка. М.: Гостоптехиздат, 1963.
5. Морохов И. Д., Велихов Е. П., Волков Ю. М., Импульсные МГД-генераторы для глубинного электромагнитного зондирования земной коры.—Атомная энергия, 1978, т. 44, № 3.

6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977.
7. Сидорин А. Я., Журавлев В. И., Нерсесов И. Л., Рекомендации по использованию для прогноза землетрясений метода глубинного электрического зондирования земной коры с МГД-генераторами.—Деп. ВИНТИ, № 2223—79, М.: 1979.
8. Сидорин А. Я., Журавлев В. И., Нерсесов И. Л., Основные результаты наблюдений за вариациями кажущегося сопротивления в сейсмоактивном районе.—Деп. ВИНТИ, № 3792—79, М.: 1979.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL, № 3, 63—65, 1987.

УДК: 550.348.098

А. Х. БАГРАМЯН, Е. И. ПАТАРАЯ, П. О. ДЖИДЖЕИШВИЛИ,
Д. И. СИХАРУЛИДЗЕ, Н. П. ТУТБЕРИДЗЕ

МЕХАНИЗМЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ АНАТОЛИИ

Механизмы очагов землетрясений изучены в основном вдоль Северо-Анатолийского разлома и в главном сейсмогенном—Ванском узле Восточной Анатолии.

Механизмы очагов землетрясений были определены по знакам вступления первых Р-волн, данные о которых имеются в сейсмологических бюллетенях. Решения механизмов очагов землетрясений осуществлялись на ЭВМ по алгоритму, описанному в работе [1]. Данные о механизмах очагов землетрясений наряду с сейсмичностью и геолого-геофизическими данными о регионе используются для определения направления тектонически живущих разломов и векторов относительного смещения примыкающих литосферных блоков или плит. Данные о механизмах очагов использованных землетрясений приведены в табл. 1. Данные о координатах, глубинах, магнитудах, знаках смещения брались из Международного сейсмологического бюллетеня. Были рассмотрены землетрясения с магнитудой выше 4. При определении механизмов очагов землетрясений с $M \geq 6$ в большинстве случаев участвовало более ста станций. Гипоцентры землетрясений, для которых определялись механизмы, расположены в земной коре.

В работах [2—5] приводится довольно много данных о механизмах очагов землетрясений Северо-Анатолийского разлома. Определенные нами механизмы очагов землетрясений вдоль этого разлома в основном согласуются с результатами упомянутых выше работ.

По совокупности полученных данных в зоне разлома доминирует близгоризонтальная ориентация осей напряжения сжатия и растяжения при вертикальной ориентации промежуточного напряжения, т. е. вдоль разлома преобладают движения типа сдвига. Для всех очагов рассмотренных землетрясений одна из плоскостей разрыва, как правило, совпадает с направлением Северо-Анатолийского глубинного разлома, падает почти круто и содержит незначительные величины компоненты по падению.

Движения, установленные по относительным векторам смещений, на основе механизмов очагов являются правосторонними для Северо-Анатолийского разлома. Расположение и простираание этого разлома хорошо изучено по геолого-геофизическим данным.

На основании механизма очагов землетрясений, расположенных в районе синклинория Западного Понта, можно заключить, что синклинорий испытывает растяжение в субмеридиональном направлении; и по сбросовым движениям вдоль разломов происходит оседание земной коры.

Субмеридиональная полоса разрывных нарушений, представляющих собой правосторонний сдвиг, протягивается в районе ущелья р. Кызыл-Ирмак и к югу примыкает к Тузгельскому грабену.

В северной части Ванского сейсмогенного узла Восточной Анатолии механизмы очагов землетрясений можно приурочить в основном к трем главным разломам, соединяющимися здесь: Северо-Анатолийскому, Арсано-Казбекскому и Восточно-Анатолийскому. Следовательно, механизмы очагов в этой области характеризуются разными направлениями плоскости разрыва и сдвиговыми смещениями. Правосторонние сдвиги юго-восточного простираания приурочены к Северо-Анатолийскому разлому, а левосторонние сдвиги юго-западного простираания связаны с Арсано-Казбекским и Восточно-Анатолийским разломами.

В южной части сейсмогенного узла очаги землетрясений дугообразно окаймляют Восточный Тавр. Все они имеют взбросовый характер, а напряжения сжатия располагаются дугообразно вкрест простираания хребта.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР,

Институт геофизики АН Грузинской ССР

Поступила 7.IX.1986.