

ГИДРОГЕОДЕФОРМАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕМНОЙ КОРЫ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

© 2006 г. Р. А. Пашаян, А. З. Саргсян

Гарнийская геофизическая обсерватория НАН РА
375019, Ереван, пр Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения

E-mail: hakhlepn@sci.am

Поступила в редакцию 10.03.2006 г.

В работе дана оценка напряженно-деформированному состоянию земной коры территории Армении за 2002-2004 годы по данным гидрогеодинамических и гидрогеохимических наблюдений и сейсмического режима. Выявлены гидрогеодинамические и гидрохимические эффекты, предшествующие землетрясениям. Приведены данные по GPS и их возможное сопоставление с сейсмическим режимом.

Гидрогеодинамический мониторинг земной коры, созданный в Гарнийской геофизической обсерватории с целью изучения геодинамических процессов земной коры, а также оценки напряженно-деформированного состояния во времени в разных участках сейсмоактивных зон включают данные по уровню вод гидрогеодинамических скважин региона, сейсмическому режиму, а также по геохимии подземных вод. Область исследований включает всю территорию Армении. Северная часть Армении характеризуется активной тектоникой и сильной сейсмической активностью (Спитак, 88).

Армянское нагорье, расположенное между Иранской и Анатолийской аналогичными структурами СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ простираний и разделенное Транскавказской зоной разломов, слагает вогнутую на север дугообразную, линзообразную структуру. Структурный план развития совре-

менных тектонических движений вырисовывается расположением эпицентров сильных землетрясений вдоль Раздан-Паракарского, Ереванского и Азатского разломов, слагающих Азатский палеотектонический узел. Здесь циклично повторяются олигоцен-миоценовые и современные тектонические движения (Туманян, 2004).

Изучение деформаций земной коры региона с использованием системы GPS проводилось в Армении (по данным НССЗ) на уровне локальной сети мониторинга. По данным мониторинга за 2002 год, скорости горизонтальных смещений земной коры имеют следующие средние значения: в северной части региона – 7.0 мм/год, в центральной – 9.0 мм/год, южной – 12 мм/год в направлении на СВ. Из этого следует, что скорость горизонтального смещения земной коры региона увеличивается с СВ на ЮВ. При сопоставлении этих данных с сейсмическим



Рис 1. Карта эпицентров землетрясений за 2002-2004гг. Условные обозначения: --- – активные разломы (по данным Караханяна А. и др.), $\bullet$ – эпицентры землетрясений, $\blacktriangle$ – гидрогеодинамические станции, ∇ – пресные родники "Гоар" и "Анаит", $\blacksquare$ – минеральный источник "Грав".

режимом региона, в частности, с количеством произошедших землетрясений за этот период (рис.1), наибольшее количество сейсмических событий имело место в северной и центральной частях региона, что, возможно, повлияло на разрядку напряжения и соответственно уменьшение скорости деформации на указанных участках региона. На юге региона, возможно, происходят накопление напряжения и увеличение деформации.

Гидрогеодинамические наблюдения ведутся по уровню подземных вод гидрогеодинамических скважин, расположенных в сейсмоактивных точках региона, гидрогеохимия приводится по режимным наблюдениям подземных вод Гарнийского полигона. Данные по уровню подземных вод и сейсмичности получены из НССЗ РА.

Сейсмический режим

Исходя из каталога землетрясений, за исследуемый период на территории Армении произошло 82 местных землетрясения.

Построена карта эпицентров землетрясений (рис.1), куда нанесены пункты наблюдений: гидрогеодинамические (скважины) и гидрогеохимические (пресные родники и минеральный источник), эпицентры очагов произошедших землетрясений и разломы. Из карты эпицентров землетрясений видно, что большинство землетрясений приурочено к активным разломам территории. По оценке количества землетрясений по годам, 2002-2003гг характеризуются сейсмическими событиями, имеющими место в каждом месяце года с $M=1.5 \div 4.0$, в 2004г. картина сейсмичности наиболее разряженная и в основном преобладают землетрясения с $M = 3.0$. Пространственно-временное распределение гипоцентров землетрясений по глубине (рис.2) показало, что наибольшее количество произошедших землетрясений располагалось на глубинах 8 и 33 км. Таким образом, сейсмический режим региона характеризуется сейсмическими событиями с наименьшей магнитудой $M = 1.5$ и максимальной $M = 4.0$ и глубиной ($5 \div 18$ км).

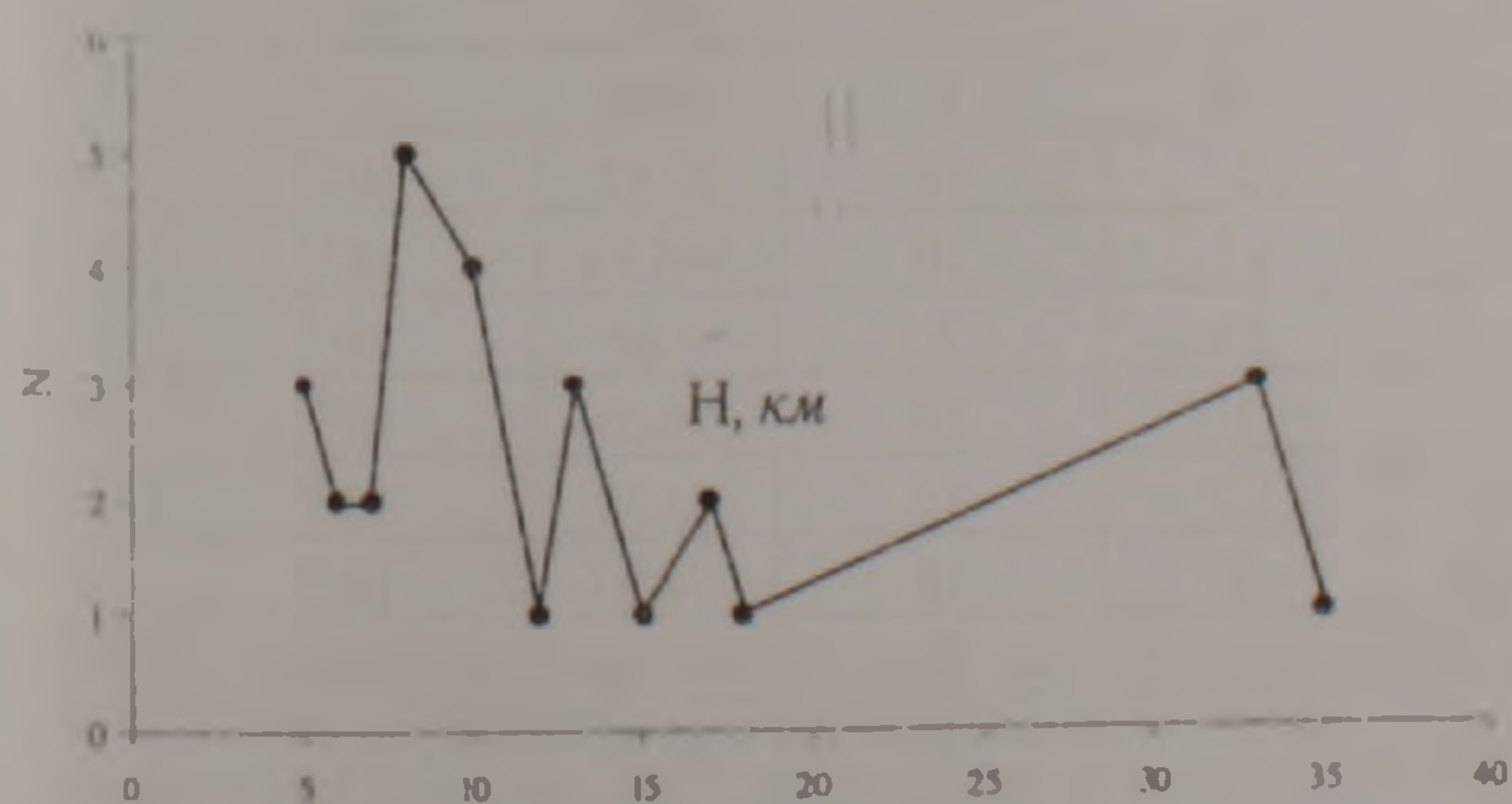


Рис.2. Распределение очагов землетрясений по глубине

Гидрогеодинамические и гидрогеохимические эффекты (ГГД и ГГХ), предшествующие землетрясениям

Опыт наблюдений за гидрогеодинамическими эффектами, предшествующими землетрясениям,

показывает, что они могут иметь разнообразную форму, а величина вариаций амплитуды определяется локальными гидрогеологическими условиями пункта наблюдения. Нарастающие сейсмотектонические напряжения, предвещающие землетрясения, создают определенное поле геохимических аномалий метана, углекислого газа, ионов хлора, карбонатов, сульфат-иона, в гидрогеохимической системе изменяют ее общие параметры — pH, температуру. Вариации происходят при изменении гидрогеодинамического режима. Наблюдения за вариациями уровня воды в скважинах и гидрогеохимических компонентов позволяют отслеживать сейсмотектонические процессы, связанные с возникновением и подготовкой землетрясений (Степанова, Уманова, 2004).

Рассмотрено 98 землетрясений, куда входит также ряд землетрясений близлежащих территорий: Грузии, Азербайджана, Турции и Ирана за 2002-2004гг. Как видно из карты (рис.1), эпицентры землетрясений распределены по всему региону. Гидродинамические эффекты выделены по уровню вод тех скважин, в окрестностях которых происходили сейсмические события. Для выделения гидрогеодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям, рассчитывались деформации, которые должны развиваться на месте расположения наблюдательной гидрогеодинамической скважины в зависимости от ее расстояния до эпицентра землетрясения и магнитуды. Расчетные деформации определялись по формуле (Добровольский, 1980):

$$\Sigma \left(\frac{R}{10^{-0.413M-2.66}} \right)^{-3}$$

где R — эпицентрально расстояние, M — магнитуда произошедшего землетрясения.

Полученные результаты приведены в табл.1. В нее включены данные о землетрясениях, по которым зафиксированы гидрогеодинамические эффекты, исходя из указанных расчетных деформаций. Имеется в виду, что в процессе подготовки землетрясений могли быть зарегистрированы эффекты в том случае, если расчетная деформация имеет величину не менее 10^6 , т.е. превышает величину земно-приливной деформации. С учетом возможной высокой тензочувствительности скважины в таблицу были включены случаи, соответствующие деформациям порядка 10^9 и более.

При рассмотрении карты (рис.1) за прошедшие годы наблюдается следующее: наибольшее количество землетрясений произошло в северной и центральной частях региона Армении. Наибольшее количество гидрогеодинамических эффектов, приведенных в табл.1, выделено по уровню вод гидрогеодинамических скважин: Ноябрьян (скв.1), Ширакамут (скв.12), Ехегнадзор (скв.22). Выделенные гидрогеодинамические эффекты по форме, в основном, представлены в виде купола положительного и отрицательного знаков. Гидрогеодинамический эффект (каленообразное поднятие) с максимальной амплитудой колебания воды (14 см) выявлен по вариации уровня воды в скважине Ширакамут перед зем-

Таблица 1

NN, район скважин	Время аномалий (эффекта) 2002-2004гг.	Ампл. изм. уров. (см)	Тип изм. уровня	Знак аномалий	Дата зем-ия	Магнитуда зем-ия, М	Эпицентр. расст. Δ , (км)	Расчетная деформа- ция, Σ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
N1 Носмберян	30.02-25.04.02 7.08-14.08.03	3 3	пониж купол.	- +	25.04.02 14.08.03	4.3 2.8	50.06 20.47	10^{-8} 10^{-9}
N10 Ашоцк	7.03.-02.05.04	3	повыш.	+	31.12.03	2.3	4.0	10^{-7}
N12 Ширакамут	12.04-23.05.02 20.10-04.12.02 3.03.04-20.30.04	14 13 9	кол. подн пониж кол. подн	+ - +	23.05.02 04.12.02 19.06.04	2.5 2.6 2.5	21.35 5.55 4.96	10^{-9} 10^{-7} 10^{-7}
N21 Арташат	20.11-14.01.02	7	повыш	+	14.01.02	2.2	30.48	10^{-10}
N22 Ехегнадюр	20.12.03-04.01.04 14.12.03-25.01.04	3 3	купол купол	- +-	04.01.04 25.01.04	3.4 2.21	25.89 4.0	10^{-9} 10^{-8}
N27 Карчахпюр	23.10-27.11.02	7	кол. подн	-	27.11.02	3.2	28.86	10^{-9}

летрясением (23.05.02, $M = 2.5$, $\Delta = 5.5$ км).

Общая картина деформационно-напряженно-го состояния территории по годам определялась по вычисленным значениям деформации вокруг каждой гидрогеодинамической скважины, исходя

из количества сейсмических событий, произошедших за это время. Для сейсмических событий каждого года (2002÷2004гг.) составлялись таблицы значений расчетных деформаций. В качестве примера в статье приводится табл. 2 с коор-

Таблица 2

Номера скважин	Координаты скважин		Дата земле- трясения	Координаты землетрясений		Магни- туда, М	Глубина земл-я, Н	Δ , км	Расчетная деформация, ϵ
	ϕ	λ		ϕ	λ				
1	41.2	44.83	14.08.03	41.02	44.87	2.8	10	20.47	10^{-10}
			07.01.03*	41.4	44.13	3	10	80.81	10^{-10}
			10.03.03*	41.25	46.53	3.8	8	188.78	10^{-10}
2	40.13	44.13	19.11.03	40.32	44.15	2.1	10	21.21	10^{-10}
			25.04.03*	38.37	43.5	3.5	13	207.50	10^{-11}
			12.03.03*	40.25	42.4	3.3	10	192.49	10^{-11}
3	40.2	44.63	12.09.03	40.33	44.8	2.4	33	23.76	10^{-9}
7	39.57	46.38	23.11.03	39.02	46.32	1.4	33	61.41	10^{-12}
			18.08.03	40.28	46.93	3.5	8		10^{-10}
			20.10.03*	38.82	47.2	4.2	10	123.35	10^{-9}
8	40.55	44.93	15.10.03	40.57	45	2.2	10	8.08	10^{-8}
9	40.73	43.81	10.05.03	40.85	43.92	1.7	8	18.07	10^{-10}
			07.01.03*	41.4	44.13	3	10	82.42	10^{-10}
			12.03.03*	40.25	42.4	3.3	10	165.33	10^{-11}
10	41.07	43.89	15.11.03	41.00	43.87	2.3	6	8.08	10^{-9}
			07.01.03*	41.4	44.13	3	10	79.00	10^{-10}
11	40.85	43.75	17.11.03	41.08	43.53	1.7	15	35.33	10^{-10}
			07.01.03*	41.4	44.13	3	10	74.20	10^{-10}
			12.03.03*	40.25	42.4	3.3	10	163.98	10^{-11}
12	40.85	44.18	09.05.03	40.99	44.33	2	10	22.78	10^{-10}
15	40.88	45.2	14.08.03	41.02	44.87	2.2	10	39.79	10^{-10}
			10.03.03*	41.25	46.53	3.8	8	153.24	10^{-10}
18	40.5	44.36	27.11.03	40.28	44.32	2.3	10	24.82	10^{-10}
21	39.95	44.6	18.12.03	39.95	44.6	2.6	8	1.00	10^{-5}
22	39.76	45.3	13.03.03*	39.66	45.02	2.9	5	33.00	10^{-10}
27	40.16	45.58	10.03.03*	41.25	46.53	3.8	8	160.49	10^{-10}
			18.08.03*	40.28	46.93	3.5	8	150.44	10^{-11}

* — землетрясения близлежащих территорий

динатами наблюдательных скважин, параметрами землетрясений и расчетными значениями деформаций за 2003г., имеющими место вблизи гидрогеодинамических скважин в зависимости от эпицентрального расстояния.

На основании полученных значений расчетных деформаций с использованием весовых коэффициентов строились карты изолиний равных значений деформаций. Полученные карты напряженно-деформационного состояния земной коры Армении показаны на рисунках 3а, 3б и 3в по годам. Каждая карта в отдельности содержит информацию об изменении деформации во времени и в пространстве из-за воздействия сейсмической активности. Карты изолиний деформации отражают изменение деформационного поля напряжений во всем регионе, поскольку пункты наблюдений (ГГД-скважины) охватывают весь регион.

Напряженно-деформационное поле земной коры, по данным 2002 года, характеризуется усилением напряженного состояния земной коры в северной части региона (рис.3а). В 2003 году центральная часть региона наиболее напряженно-деформирована по отношению к другим участкам региона (рис.3б).

В 2004 году концентрация напряжений наблюдается в северной части региона и в ЮЗ части границы РА (рис 3в). На ЮЗ границе ре-

гиона в 2004 году произошло два землетрясения (02.05.04, $M=2.75$; 19.06.04, $M=3.28$), эпицентры которых находились в окрестностях скважин 3 и 21, что отождествляется с картиной напряженно-деформированного состояния этого участка, показанной на карте (рис 3в).

Построенные карты деформационного поля позволяют проследить изменения деформационного поля территории региона. По наблюдениям за период 2002 года, согласно карте (рис 3а), СЗ часть территории характеризуется структурой сжатия, а в центральной части в 2003 году формируется структура растяжения (рис 3б); структура сжатия наиболее интенсивна в центральной части региона в 2004 году (рис 3в). Интенсивная структура сжатия формируется вокруг скважины Ширакамут, растяжка в центральной части региона и менее интенсивная структура сжатия на ЮЗ региона. Таким образом, полученные результаты, предположительно, отражают пространственно-временные закономерности современной геодинамики региона Армении.

Режимные наблюдения за геохимией пресных вод (родники "Гоар" и "Анаит") и минерального источника "Грав" позволили выявить гидрогеохимические эффекты, предшествующие землетрясениям (Ананян, Пашаян, 2002, 2004). В частности, в связи с землетрясением в Веди выделены гидрогеохимические эффекты по водам пресных



Рис 3а Гидродеформационное поле региона Армении (2002г.).

— активные разломы (по данным Карахяна А. и др), Δ — наблюдательные пункты ГГД, — линии равных деформаций: 0.9 и более-растяжение, 0.8 и менее-сжатие

родников и минерального источника участка Гарни. В частности отмечались изменения содержания иона хлора (Cl), углекислого газа (CO_2) и температуры воды (на 1°) минерального источника "Грав", расположенного на эпицентральной расстоянии 29км. При Паракарском землетрясении отмечены изменения сульфат-иона, кремниевой кислоты и температуры воды в

пресных водах родников "Анаит" и "Гоар", расположенных в Гарнийском полигоне на эпицентральной расстоянии — 40км (Пашаян, 2004). В прогностических проявлениях этих компонентов наблюдаются аномалии за 2-4 дня до сейсмического события. Далее аномалии стремятся к затуханию и к фону.

Для оценки корреляции землетрясений и

аномальной деформации были рассмотрены данные по расчетным деформациям и сейсмичности региона, полученные на локальных гидрогеодинамических точках наблюдений региона. Был получен коэффициент связи магнитуды и расстоя-

ния до эпицентра в регионе $A = 3,94$, для аномальных деформаций – 10^6 по известному соотношению (Добровольский, 1980):

$$M = A \cdot \log R,$$

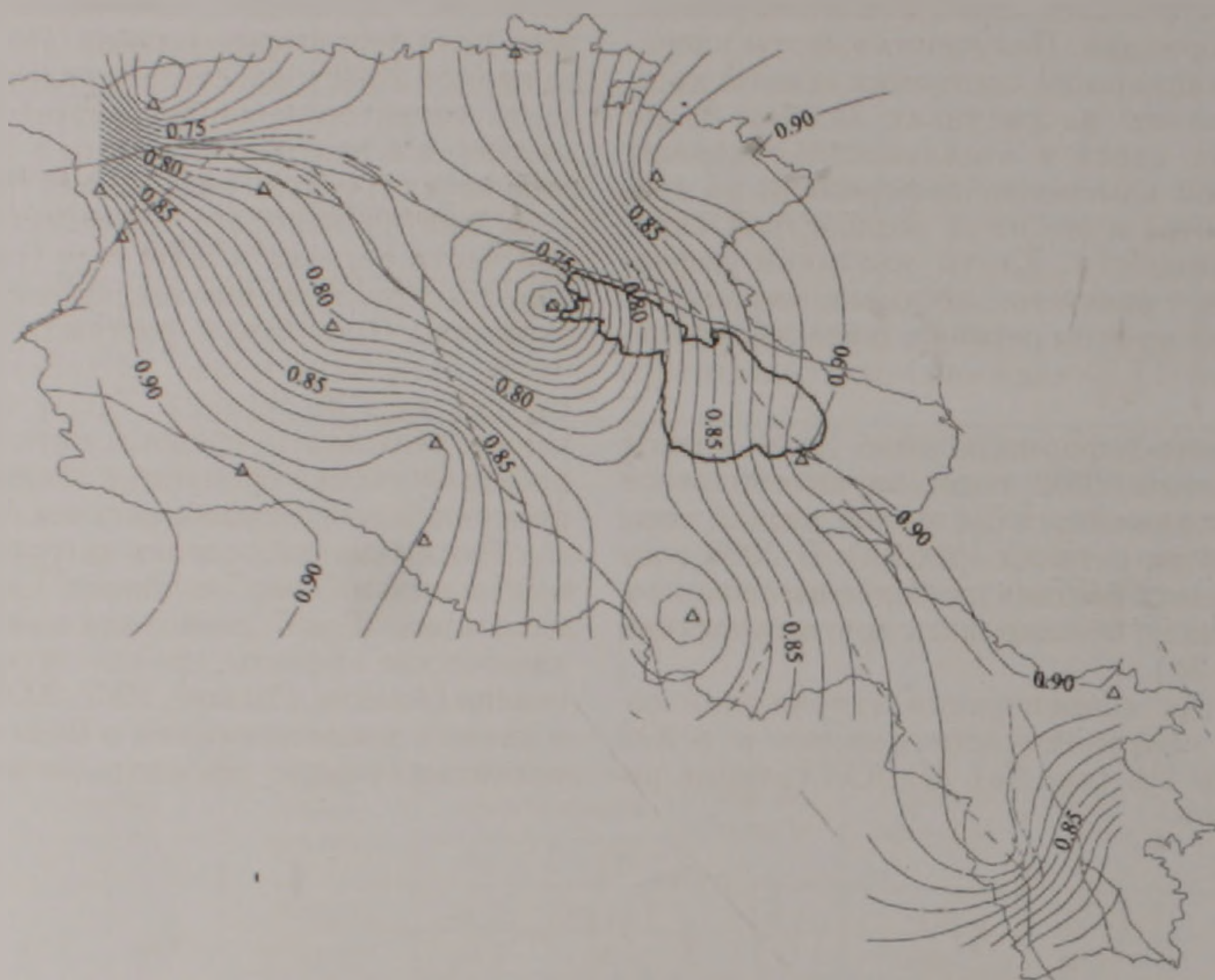


Рис 3б Гидродеформационное поле региона Армении (2003г.)

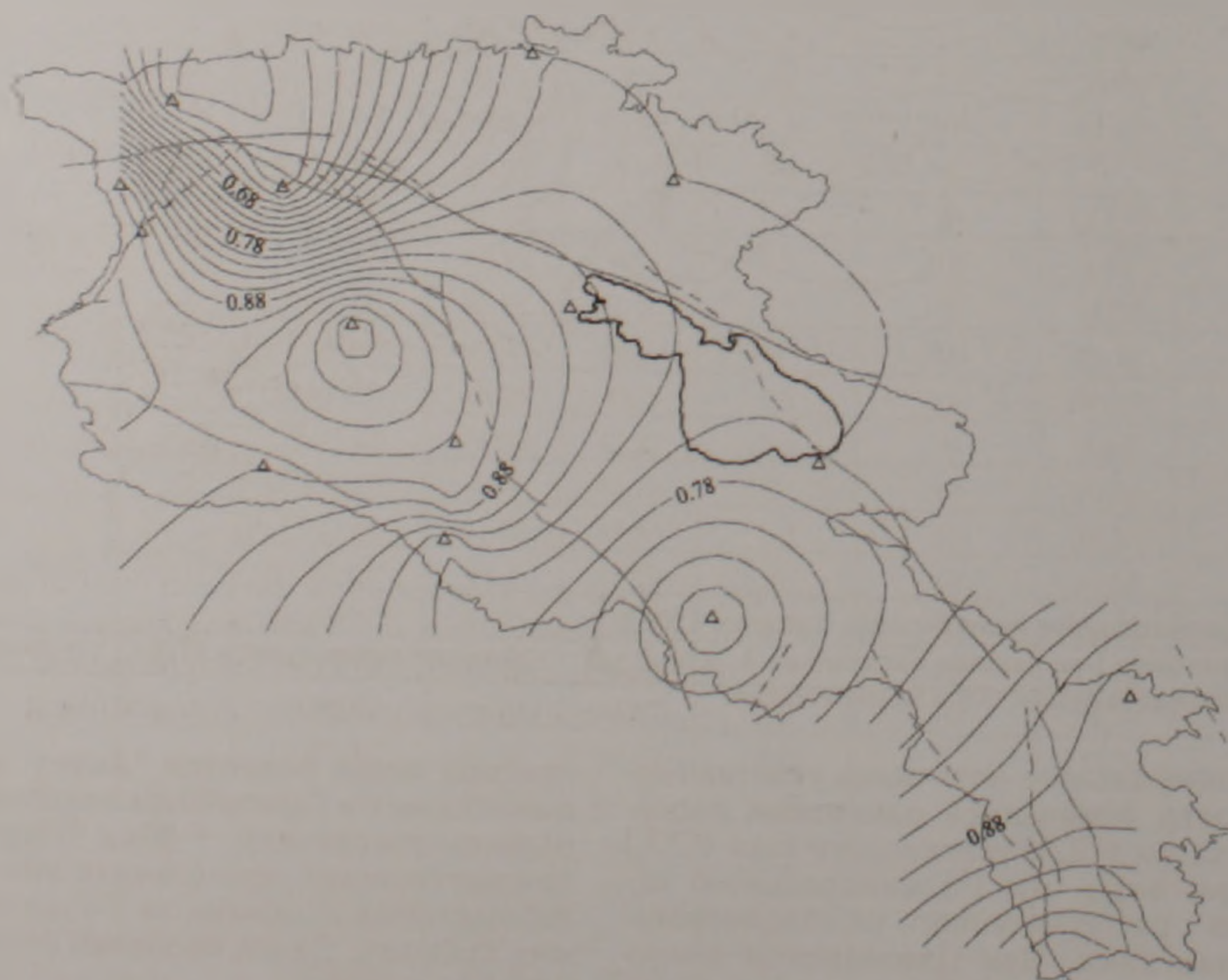


Рис 3в Гидродеформационное поле региона Армении (2004г.)

где M – магнитуда по Рихтеру, R – расстояние до эпицентра точки наблюдения в км, A – коэффициент региона. Аномальные значения деформаций (10^6) брались по данным землетрясения с $M=6.9$ (07.12.88 Спитак), произошедшего в северной части региона. Полученные результаты показали существование в регионе четкой зависимости магнитуды и расстояния до эпицентра от величины деформации.

Выводы

1. Оценка напряженно-деформированного состояния в разных участках сейсмоактивного региона Армении дана по результатам гидрогеодинамического мониторинга, вариациям сейсмического режима и современным движениям земной коры.

2. Построенные карты линий равных значений деформаций по данным уровней вод гидрогеодинамических скважин региона отражают геодинамические движения земной коры в виде локальных напряженных точек (сжатия или растяжения).

3. Среди изученных гидрогеохимических компонентов в качестве краткосрочных пред-

вестников землетрясений, предварительно, отмечаются углекислый газ, хлор, сульфат-ион и pH (карбонатное равновесие).

ЛИТЕРАТУРА

- Ананян А.Л., Пашаян Р.А. Продолжение гидрогеохимических исследований на Гарнийском сейсмополигоне. Сборник научных трудов конференции, посвященной 40-летию основания ИГИС им. А.Назарова НАН РА (9-12 октября 2001г., г.Гюмри). Гюмри: Изд. Гитутюн, 2002, с.162-167.
- Добровольский И.Г., Зубков С.И., Мячкин В.И. Об оценке размеров зоны проявления предвестников землетрясений. В сб.: "Моделирование предвестников землетрясений". М: Наука, 1980, с.7-43.
- Пашаян Р.А., Туманян Г.А., Мириджаниян Р.Т., Ананян А.Л. Гидрогеохимический мониторинг геодинамических процессов в Гарнийском полигоне. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2005, N3, с.25-29.
- Степанова А.Г., Ушакова В.Г. Краткий обзор гидродинамических и гидрохимических предшественников землетрясений. ВМУ, 2004, с.10-15.
- Туманян Г.А., Ахвердян Л.А. Сейсмотектоника Ереванского региона. Научная конференция, посвященная 60-летию НАН РА, Гюмри: Изд. Гитутюн, 2004, X, с.139-143.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔԻ ԵՐԿՐԱԿԵՂԵՎԻ ՀԻՂՐՈՓԵՌՆՈՐՄԱՅԻՈՆ ԲՆՈՒԹԱԳԻՐԸ

Ռ.Ա.Փաշայան, Ա.Զ.Սարգսյան

Ա ն փ ո փ ո լ մ

Հիդրոերկրադինամիկական, երկրաքիմիական և սեյսմիկ իրավիճակի տվյալներով տրված է Հայաստանի տարածքի երկրակեղևի լարվածա-դեֆորմացիոն իրավիճակի գնահատականը 2002-2004թ. համար:

Կազմված են հավասար արժեքների գծերով դեֆորմացիոն քարտեզներ, որոնց վրա անջատված են ձգման և սեղմման տեղամասերը:

Առանձնացված են տարածքի երկրակեղևի առավել լարվածադեֆորմացիոն տեղամասերը: Հաշվարկված է գործակից, կապված մագնիտուդի, էպիկենտրոնային հեռավորության և անոմալ դեֆորմացիաների հետ: Բերված են նաև GPS-ի տվյալները և նրանց հնարավոր համադրումները տարածքի հիդրոերկրադեֆորմացիոն դաշտի հետ:

A HYDRO-GEODEFORMATION CHARACTERISTIC OF THE EARTH CRUST OF ARMENIA'S TERRITORY

R.A. Pashayan, A.Z. Sargsian

Abstract

The article provides the assessment of tense deformed state of the earth crust of Armenia's territory for 2002-2004 based on data of hydro-geodynamic and hydro-geochemical surveys and seismic regime. Established are hydro-geodynamic and hydro-geochemical phenomena that occur prior to earthquakes. GPS data and their possible collation with seismic regime are also given in the article.