

9. Трифонов В. Г., Караханян А. С., Кожурин А. И. Активные разломы и сейсмичность. М.: Природа, 1989. № 12, с. 32—38.
10. Туманян Г. А. Глубинная структура земной коры на космических изображениях (на примере территории АрмССР). Исследования Земли из космоса, 1983, № 5, с. 32—40.
11. Туманян Г. А. О природе и строении дугообразных структур Малого Кавказа (профиль Октемберян-Гукасян). Геотектоника, 1986 № 2, с. 105—115.
12. Туманян Г. А. Особенности строения и структурного положения Кафанского антиклинория. Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, т. XLV, 1992, № 2, с. 3—12.
13. Karakhanian A. S. «Active faults of Armenian Apland». Scientific meeting on the seismic protection, Venice, 1993, July, 88, pp. 88—93.

Известия НАН РА, Науки о Земле, 1997, L, №1—2, 80—88

ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НАПОРНОГО ВОДНОГО ГОРИЗОНТА В СЕЙСМОАКТИВНЫХ ЗОНАХ: НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА ОЗЕРА СЕВАН (АРМЕНИЯ)

© 1997 г. Жан Клод Грио*), А. А. Бодоян**)

*) *Институт Наук о Земле, Воде и Пространстве, Национальный Центр Научных Исследований (CNRS) 34095, Франция. Монпелье, площадь Е. Батайон, 1767, почтовый ящик 095, Университет Монпелье-II, Седекс 05*

**) *Институт геологических наук НАН РА
375019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения
Поступила в редакцию 5.04.1997.*

В бассейне озера Севан в гидродинамических скважинах, каптирующих более глубокие напорные водные горизонты, в течение 7 лет производились пьезометрические измерения с целью выявления связей между пьезометрией и сейсмической активностью региона. Полученные данные обработаны разными методами, что позволило выявить пьезометрические аномалии и коррелировать их с микросейсмами региона.

Перед и во время землетрясений часто наблюдаются изменения в подземных водах: подъем или спад уровня [40; 42; 23; 11]; колебания химического состава растворов и газов [4; 24; 43] и др. В связи с этим возникают многочисленные вопросы, ответы на которые, несмотря на некоторую предварительность, могут привести к важным выводам:

1) в каких случаях эти изменения могут предшествовать землетрясениям и являться его предвестниками [33; 44, 10; 21];

2) почему в некоторых случаях эти изменения следуют за землетрясениями или сопутствуют им [36];

3) каков механизм пространственно-временного сейсмического влияния на дебит водных [28], на физико-механические свойства водовмещающих пород водных горизонтов [37], а также на химизм подземных вод?

Попытки ответить на эти вопросы приводят к комплексному рассмотрению проблемы, которое, в нашем понимании, должно базироваться на двух основных предпосылках:

—отличное знание тектонической и сейсмотектонической обстановки в региональном и локальном масштабах;

—полное гидрогеодинамическое и гидрогеохимическое изучение территории, со сбором данных с возможно более частым шагом измерений.

В данной статье, в частности, затрагивается гидрогеодинамический аспект проблемы: обработка значений пьезометрического сигнала, до его сравнения с данными по сейсмической активности изучаемого региона. При этом необходимо руководствоваться двумя главными принципами:

—учитывая, что напорные горизонты наиболее чувствительны к внешним факторам (например, к атмосферному давлению) [34; 32; 41; 15], необходимо тщательно проанализировать степень минерализации и напорности подземных вод;

—поскольку пьезометрический сигнал, измеренный в скважине, представляет собой первоначальную (чистую) информацию, зависящую от многочисленных факторов: питание, опробование, испарение, взаимодействие с поверхностными водами, вертикальные или/и дилатеральные дренажи, барометрическое влияние, земные приливы и отливы, землетрясения, то для выяснения факта зависимости пьезометрических колебаний от сейсмической активности необходимы соответствующие технологии и методы учета влияния и устранения всех остальных естественных и искусственных причин пьезометрических колебаний

В статье рассматриваются вышеуказанные методы и подходы, при этом временно не затрагиваются вопросы влияния естественного питания (атмосферные осадки) водных горизонтов.

Изученность региона

Территория Республики Армения находится в центральной части зоны континентальной коллизии Аравийской и Евразийской литосферных плит и в сейсмотектоническом плане характеризуется Североармянской дугой активных разломов, с которой связана высокая современная и историческая сейсмическая активность [30; 31; 6].

Северо-восток территории занят большой впадиной озера Севан, глубиной акватории до 70 м., охватывающей площадь в 1290 км². Этот водный бассейн разделен Памбак-Севанским активным разломом—одним из главнейших современных тектонических нарушений со скоростью правостдвигового горизонтального смещения—0,4 см/год [6]. В этой разломной зоне пробурена одна исследовательская скважина подземных вод (Карчахпюр).

В гидрогеологическом плане южная часть бассейна озера Севан представлена артезианским бассейном сложной структуры [2; 8]. Четыре водных горизонта: грунтовый—А; полунапорный—В, С; напорный—D были выявлены в четвертичных гетерогенных формациях. Исследовательская скважина Карчахпюр (рис. 1) каптирует самый глубокий горизонт (90—125 м.). Нижней водоупорной границей горизонта являются цементированные, монолитные песчаники, а вышележащие водоносные слои обсажены и зацементированы в стволе скважины. С октября 1989 года в этой скважине производились ежечасные измерения уровня воды. Эксплуатационных откачек в скважине не производилось. Данные по атмосферным осадкам и атмосферному давлению были получены с метеорологической станции Мазра, находящейся в пяти километрах к востоку и на той же высоте над уровнем моря (Гидрометеорологическая служба Армении). Гидрометеорологические данные представлены среднесуточными измерениями. Данные по атмосферным осадкам хорошо коррелируются с пьезометрией изучаемого горизонта (рис. 2), естественно, с фазовым сдвигом, который, вероятно, связан с наличием снежного покрова (ноябрь-март) в областях питания изучаемого горизонта.

Связь озеро-водный горизонт

Существуют различные методы изучения связи:

—гидравлические эксперименты на скважинах, оборудованных пьезометрами [39; 22; 19]. В нашем случае подобные эксперименты не практиковались, т.к. они требуют знания значений гидродинамических параметров водного горизонта (коэффициенты водовмещаемости и водопроницаемости);

—гидрохимические методы, требующие многочисленные анализы, и длинные временные ряды наблюдений [6; 38]. Исходя из этого, метод, естественно, не мог быть применен на скважине Карчахпюр и озере Севан;

—метод построения трехмерных детерминистических моделей [18], нуждающихся в многочисленных связывающих параметрах, полученных в районе исследования. Метод, также не мог быть нами использован, т.к. он нуждается в многочисленных связывающих параметрах;

—изотопные методы [43], используемые обычно вместе с гидравлическими экспериментами.

Отсутствие необходимых данных, не позволяющее применить какой-либо один или несколько из этих методов, привело к разработке и применению простой модели для выяснения этих связей [13], в которой, наряду с другими данными, используется лимнография, дебиты входа озера Севан с месячным шагом измерений (Гидрометеорологическая служба Армении).

Прежде чем перейти к описанию этой модели и полученным результатам, были сравнены данные по лимнографии озера с результатами измерений пьезометрии изучаемого водоносного горизонта (рис. 3), что позволило сделать некоторые предварительные выводы о причинно-следственном характере этих связей. В некоторые периоды (зима 1991 и 1993) колебания этих кривых синхронны, а в некоторые (осень-зима 1992)—нет. Так что можно сказать, что эти два явления не совпадают во времени, если учесть, что годовые ходы атмосферных осадков мало различаются друг от друга (рис. 2). Вышеизложенное уже позволяет предположить, что есть некоторая гидравлическая независимость между изучаемым водоносным горизонтом и озером.

Поверхность озера можно рассматривать как постоянную величину, учитывая ее большую площадь (1290 км^2). Дебиты входа в озеро (Q_{en}) включают питание по атмосферным осадкам (Q_p) и по рекам высокогорных зон (Q_r). Дебиты выхода (Q_{sr}) из озера включают испарение (Q_{ev}) с поверхности озера и дебит реки Раздан, вытекающей из озера (Q_{sr}). Разница между дебитами входа и выхода, если она существует, составляет или питание ($Q_{en} - Q_{sr} > 0$), или дренаж ($Q_{en} - Q_{sr} < 0$) озера по подземным водам (Q_{st}). Следовательно, можно считать, что значение Q_{st} положительно, если питание происходит в направлении от водоносного горизонта к озеру, и отрицательно—в случае противоположного направления питания. Исходя из этого:

$$\Delta h_i / \Delta t = (Q_{en} - Q_{sr}) + Q_{st}$$

где Δh_i —изменение уровня h_i озера в промежуток времени Δt .

Используя закон Дарси и предположив, что питание от озера к водоносному горизонту и обратно квази-стационарно, можно сказать, что дебит воды, находящейся в циркуляции между озером и водоносным горизонтом, пропорционален их гидравлической разнице, или

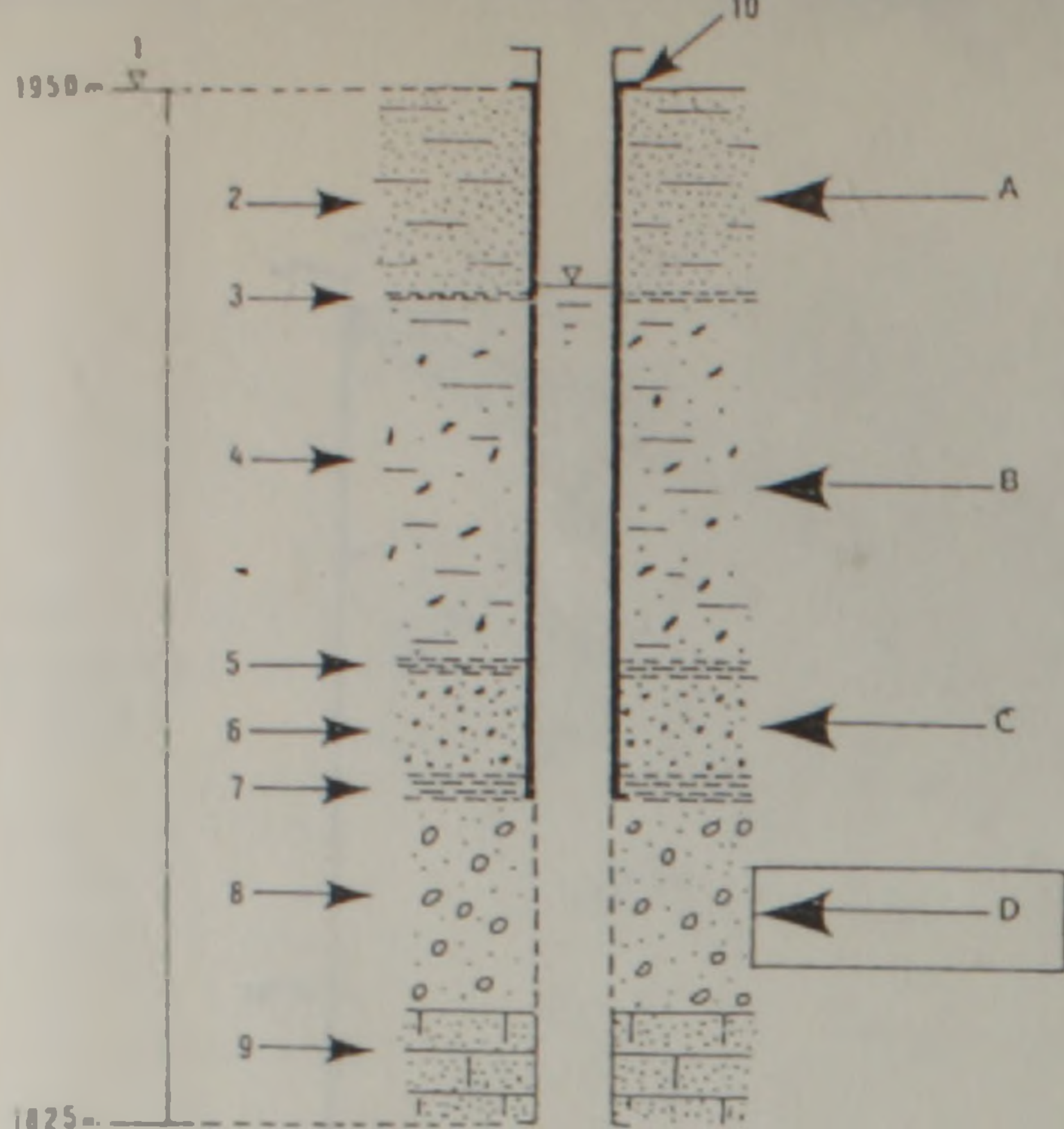


Рис. 1

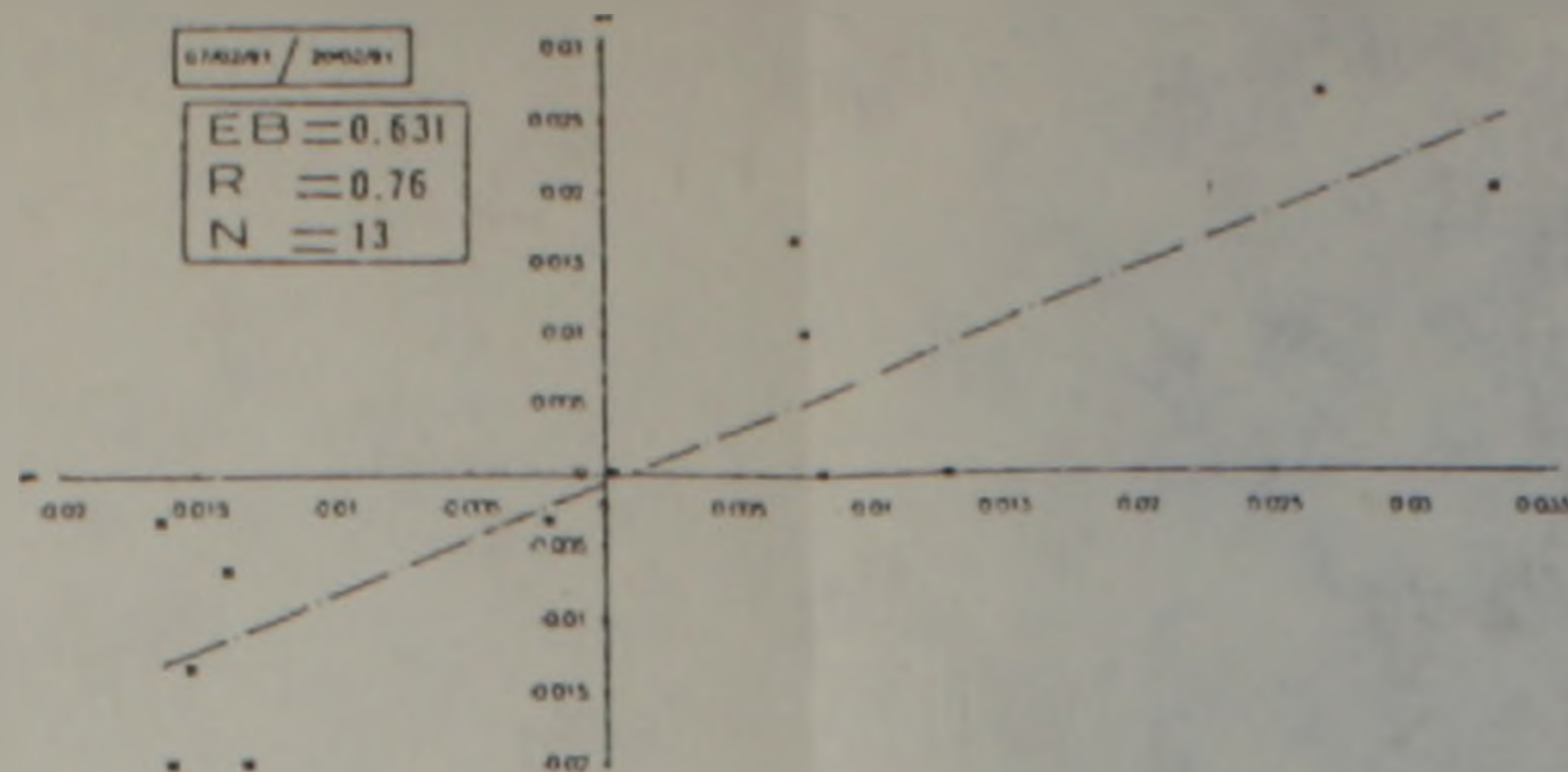


Рис. 5

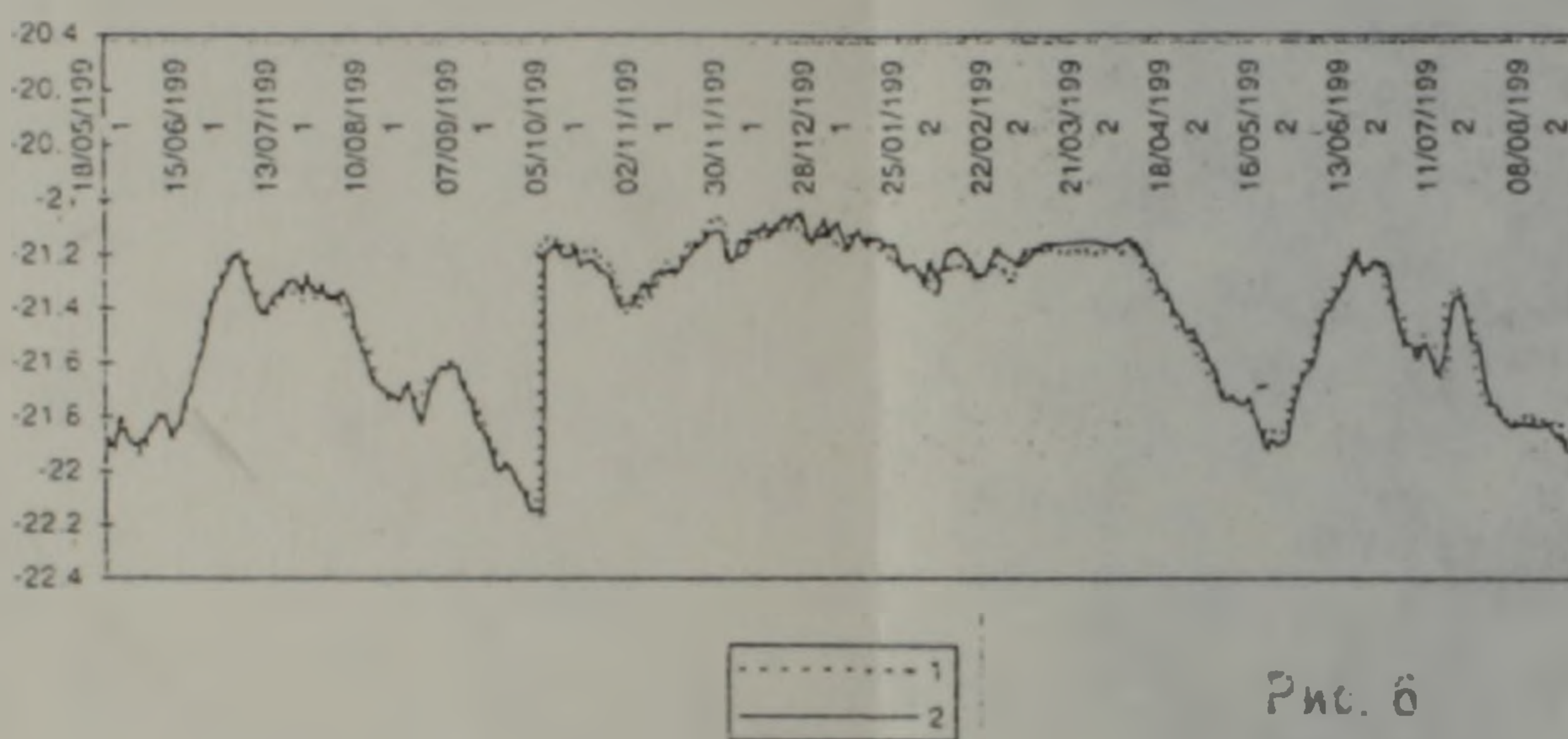
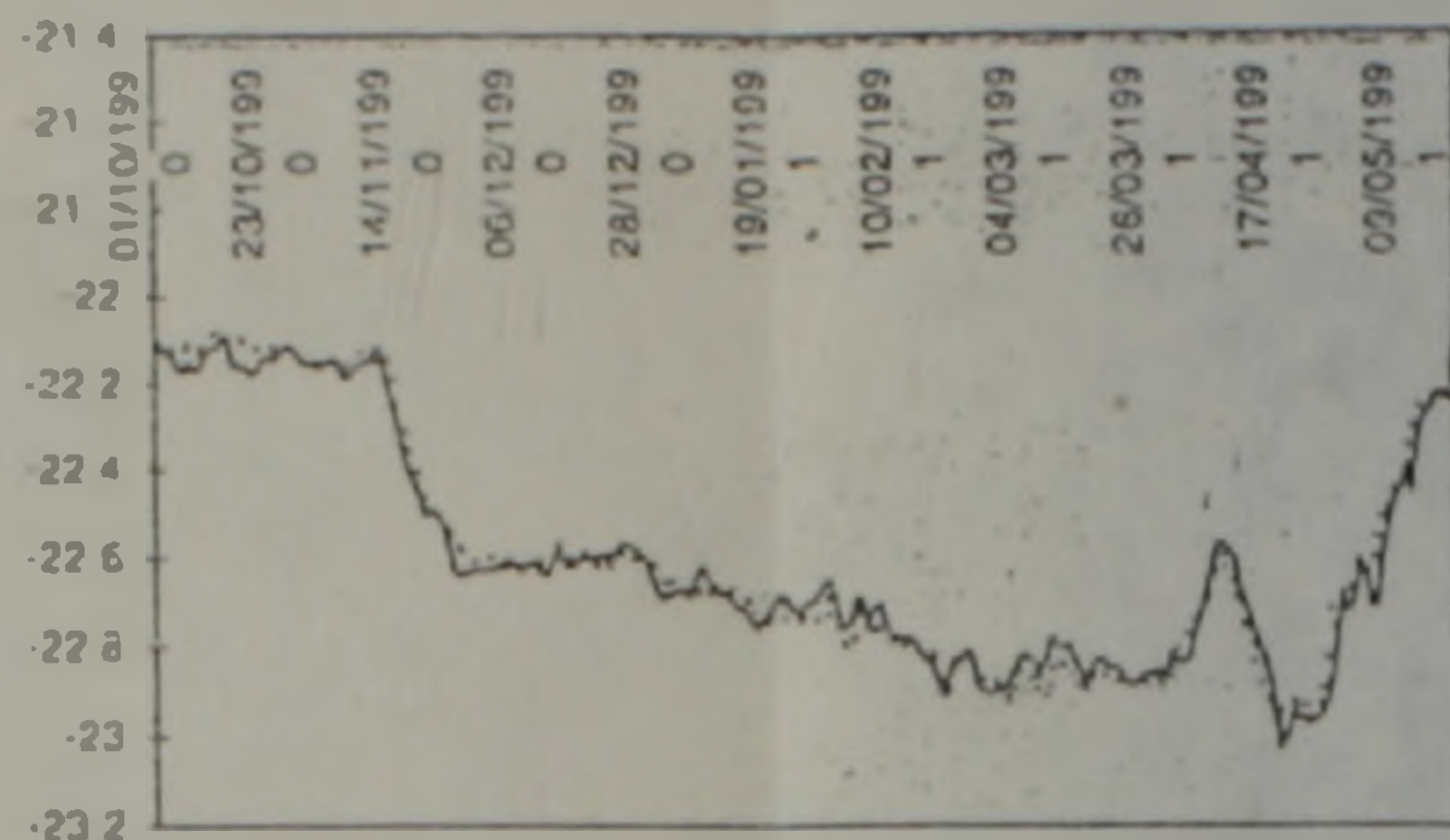


Рис. 6

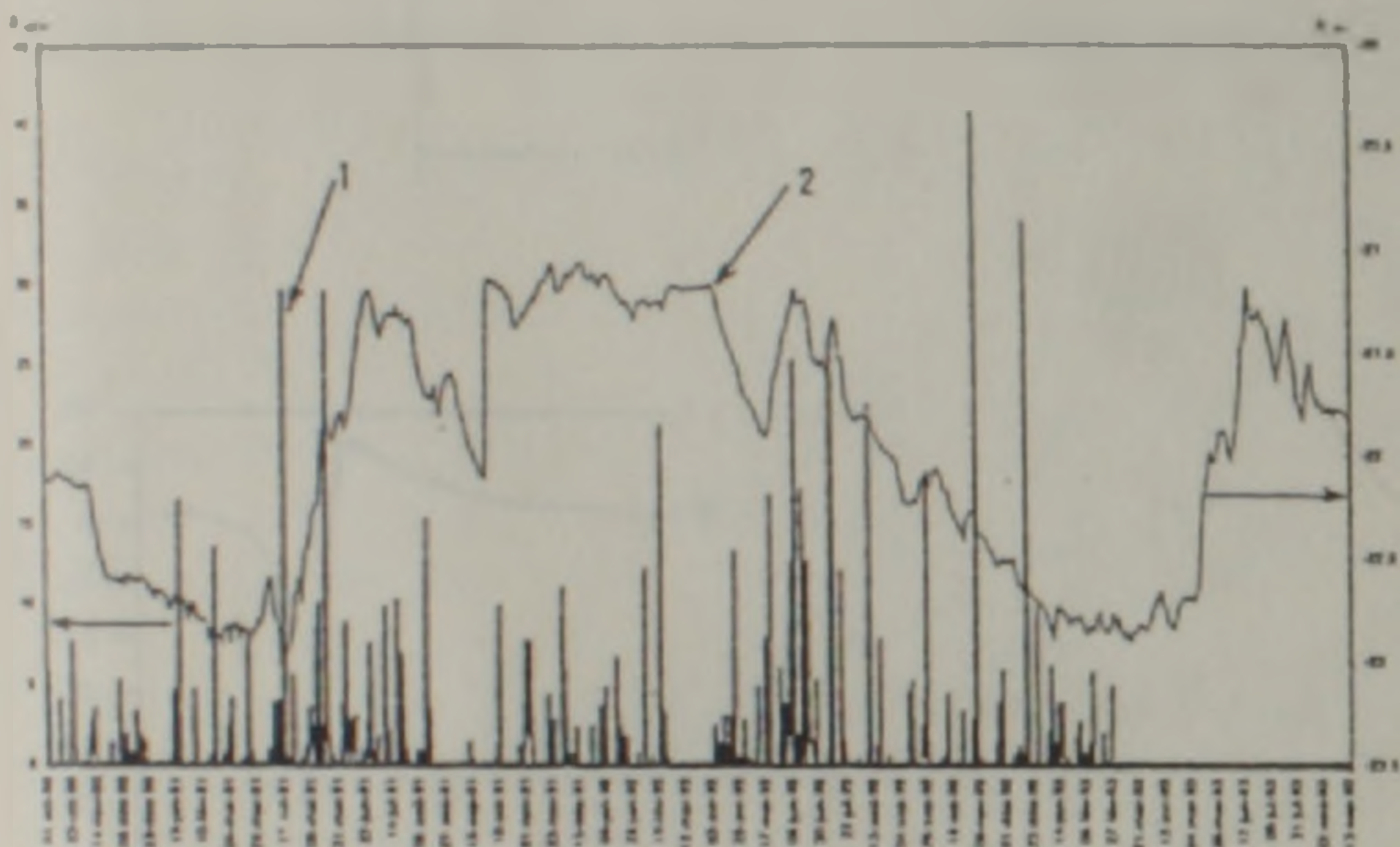


Рис. 2

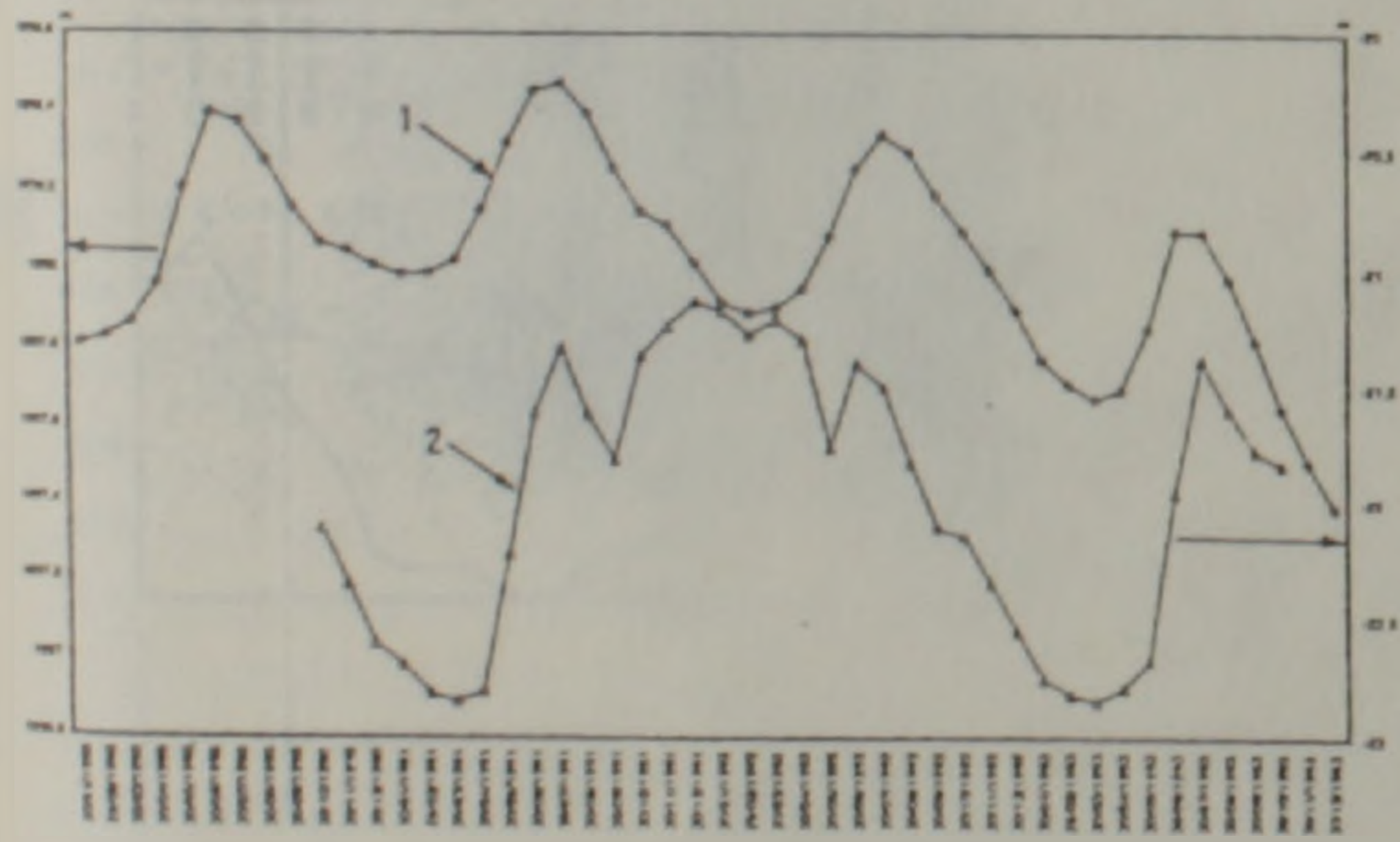


Рис. 3

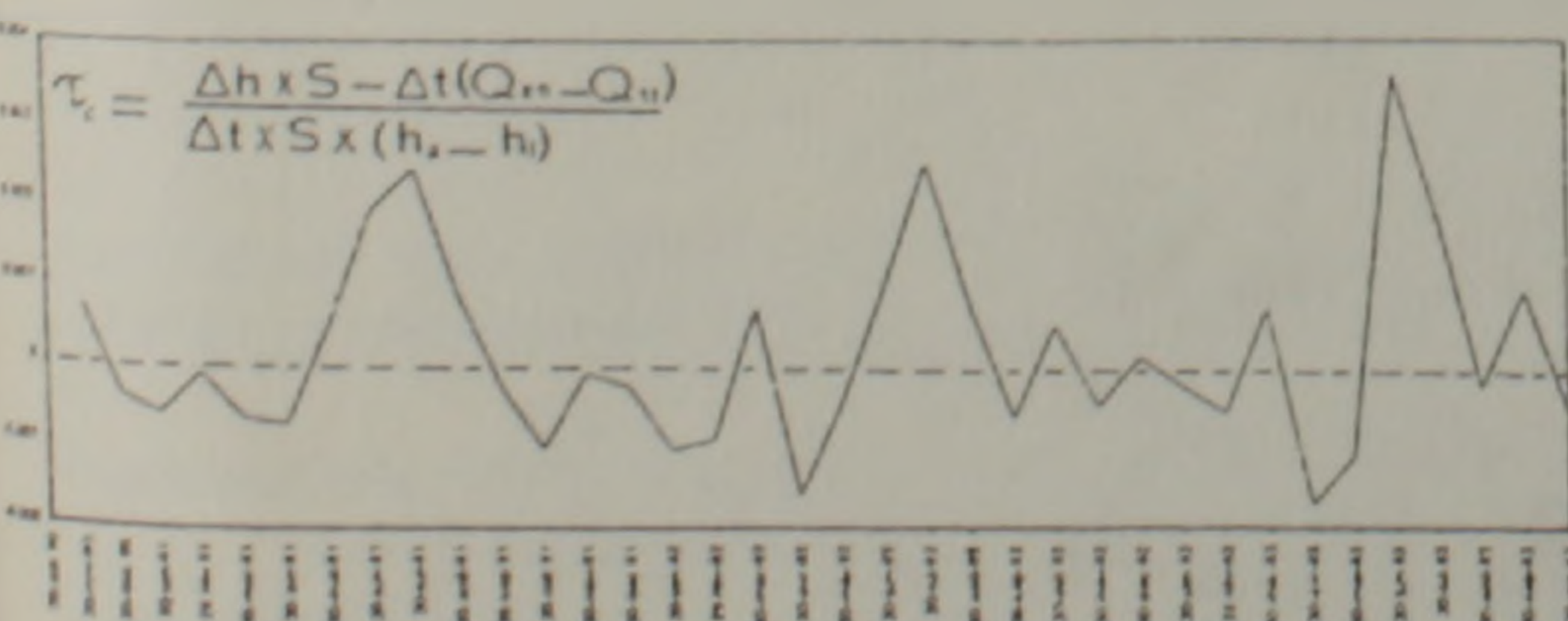
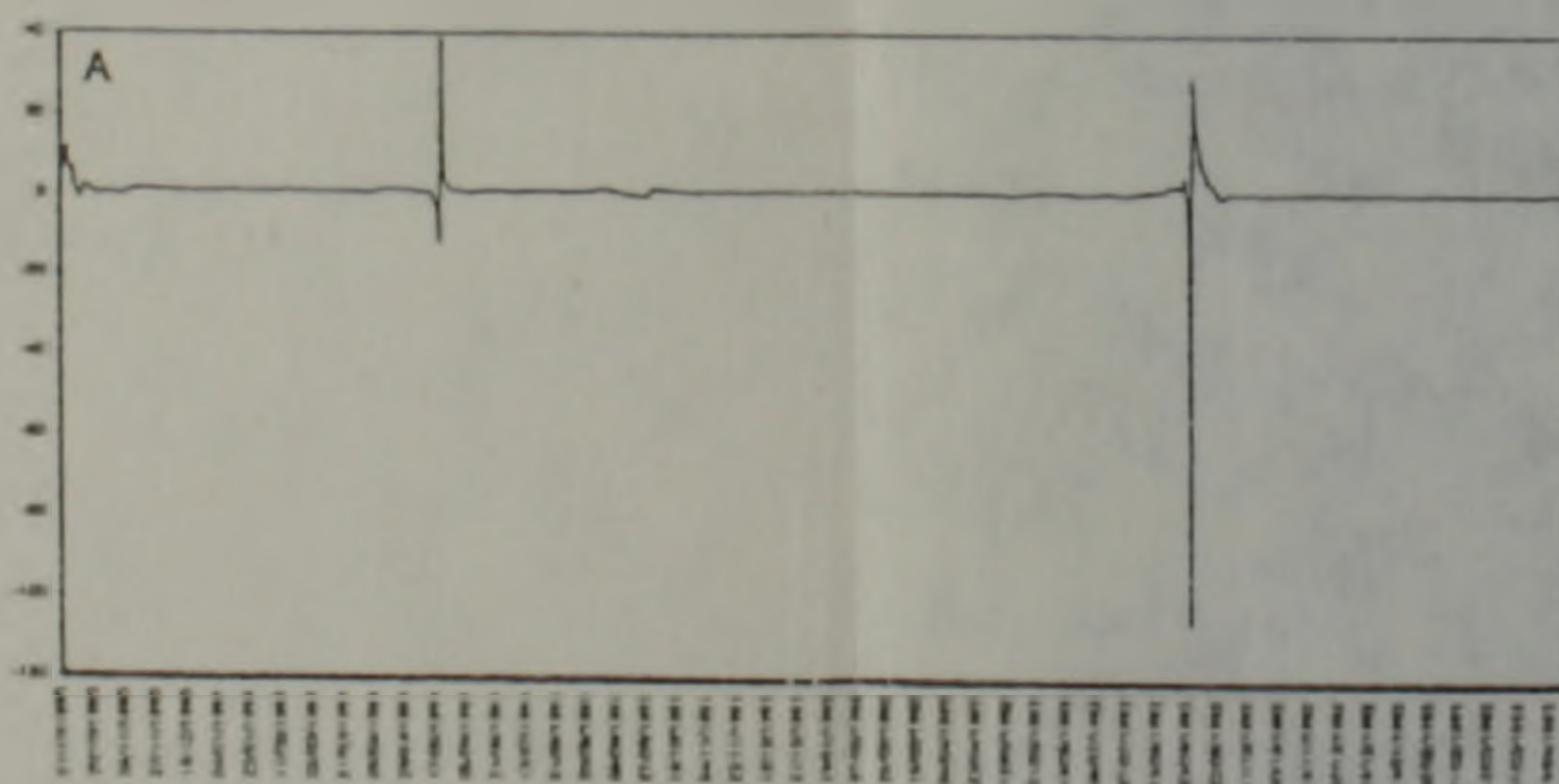


Рис. 4

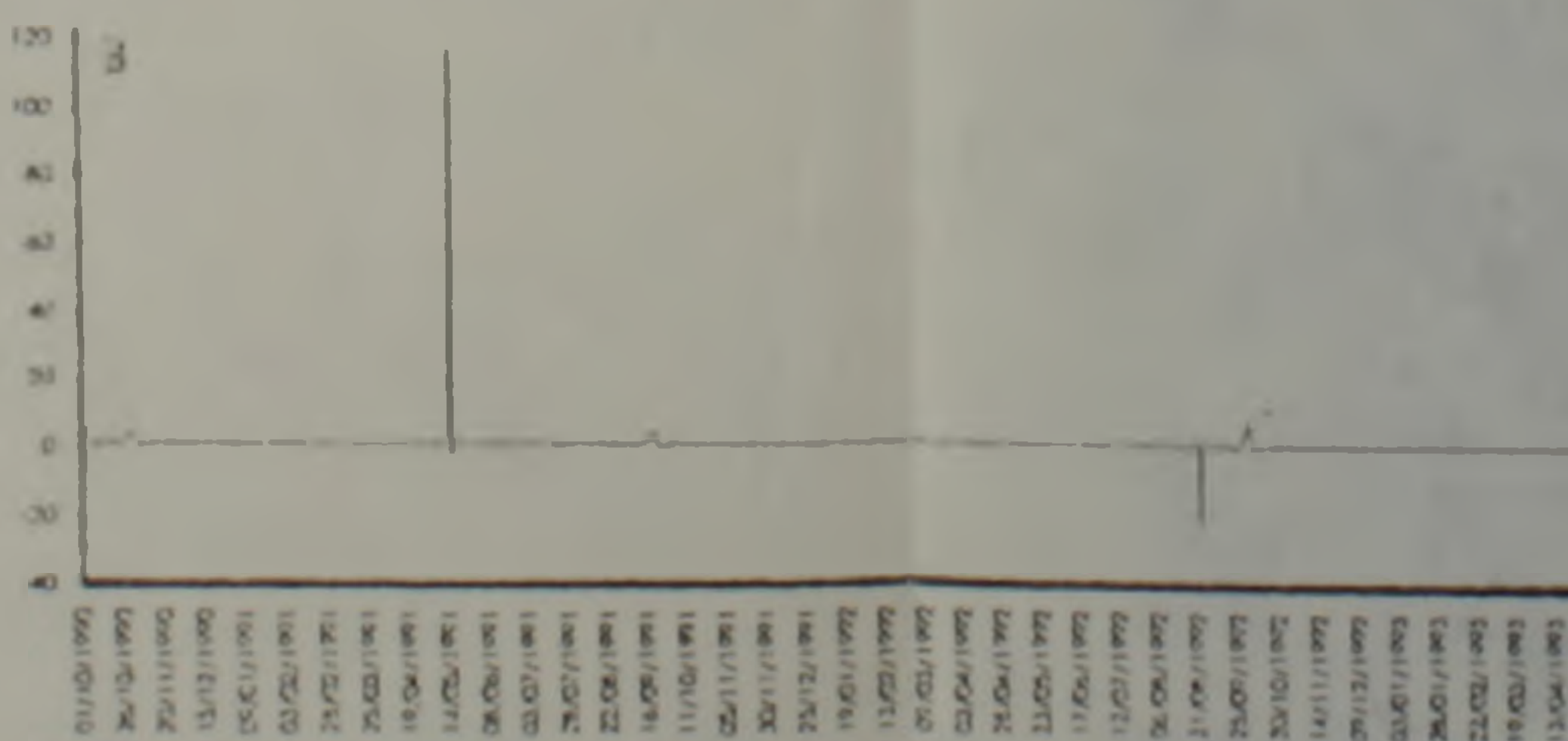


Рис. 7

Рис. 1. Гидрогеологический разрез Карчахпюрской скважины (2 - 7 четвертичные осадочные серии). Легенда: 1 - устье скважины, 2 - современные песчано-глинистые отложения, 3 - глины (водоупор), 4 - гравий с суглинистым заполнителем, 5 - глины (водоупор), 6 - валунно-галечные отложения с песчаным заполнителем, 7 - глины (водоупор); 8 - валунно-галечные отложения с песком; 9 - песчаники, сцементированные и нетрещинчатые, 10 - обсадка скважины (цементация) до напорного горизонта. А - свободный водоносный горизонт, В - полупапорный водоносный горизонт; С и D - напорный водоносный горизонт.

Рис. 2. Пьезометрия скважины Карчахпюр (2) с ежечасным шагом измерений и атмосферные осадки (1) с суточным шагом измерений на метеорологической станции Масра.

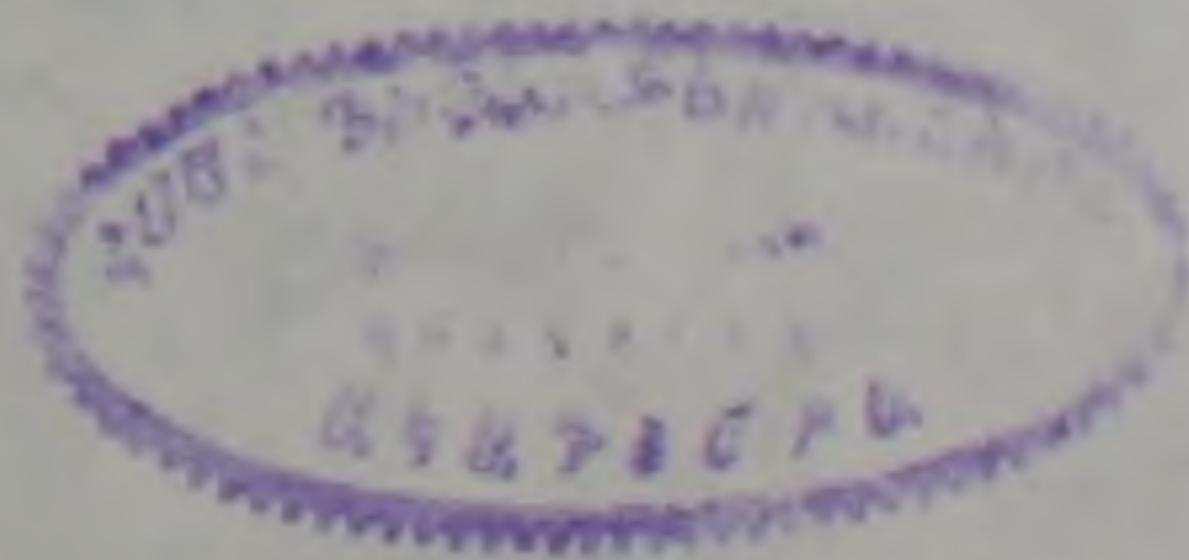
Рис. 3. Пьезометрия скважины Карчахпюр (2) и лимнография озера Севан (1) с ежемесячным шагом измерений.

Рис. 4. Гистограмма соотношения τ_c между проводимостью из водоносного горизонта в озеро и площадью S озера.

Рис. 5. Пример подсчета барометрической эффективности (ЕВ) на период пьезометрического спада. ЕВ - значения барометрической эффективности, R - коэффициент корреляции.

Рис. 6. N - число значения dP/dh для подсчета. Соотношение между первоначальными (1) и остаточными (2) пьезометрическими рядами, вычисленное по значению ЕВ.

Рис. 7. Пьезометрические ряды, отфильтрованные от месячных земных приливов и отливов с помощью компьютерных программ FIPAC (7A) и POLIGRAF (7B), и выявленные пьезометрические аномалии.



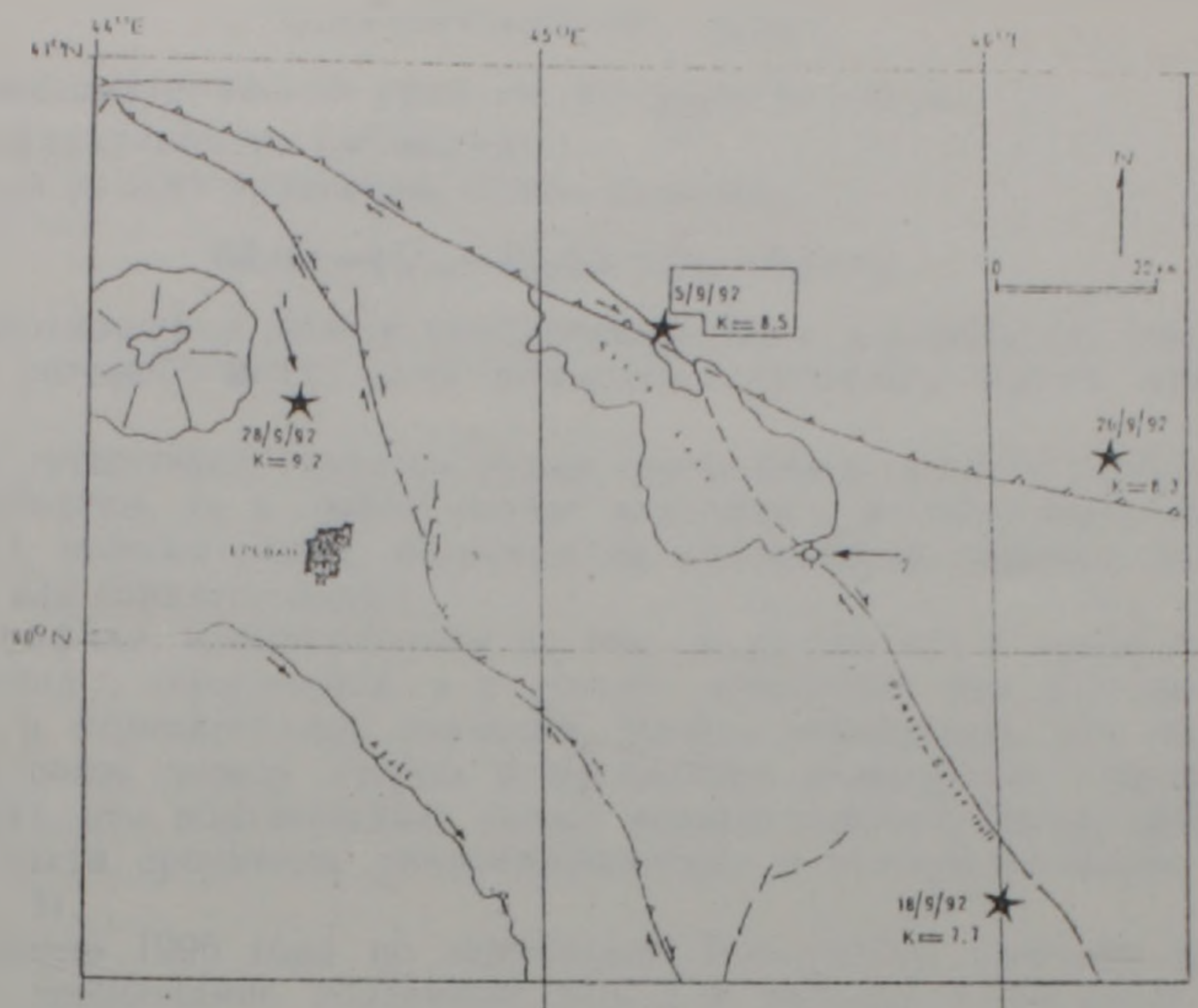


Рис. 8

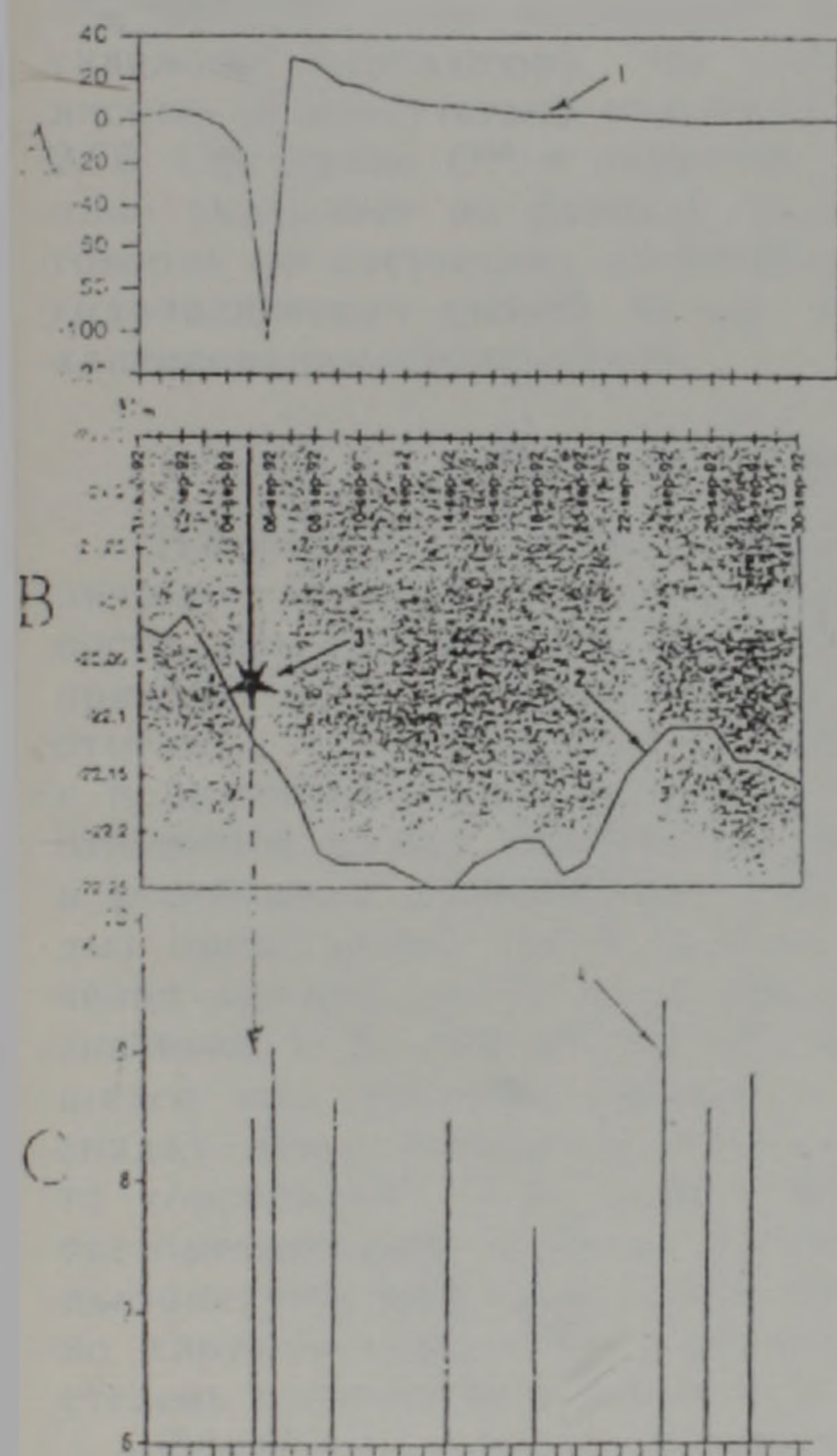


Рис. 9

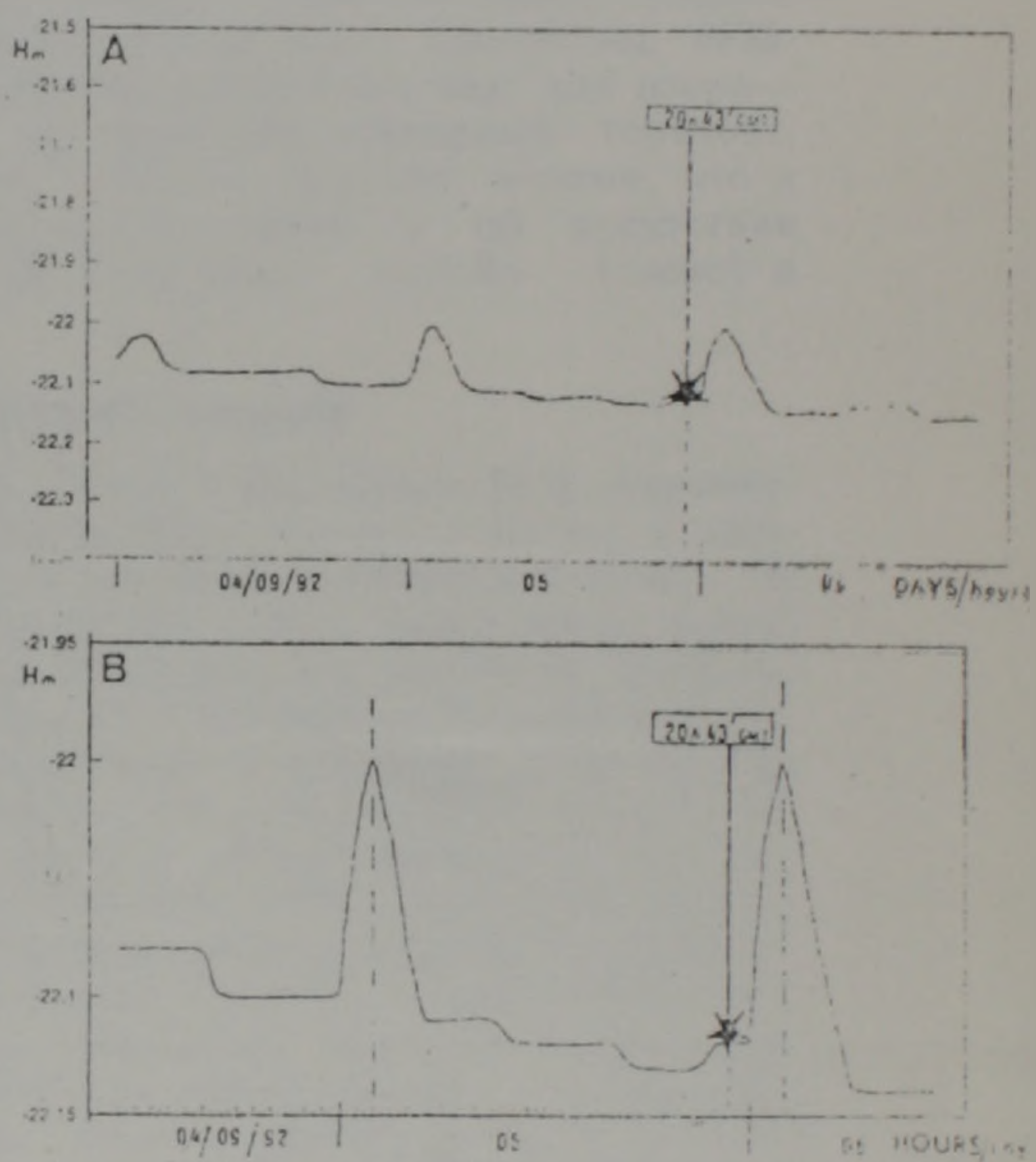


Рис. 10

Рис. 8. Местоположение эпицентров землетрясений (1) с фиксацией их даты и энергетического класса, на сейсмотектонической основе. Показаны активные разломы и местоположение скважины Карчахпюр.

Рис. 9. Зависимость между выделенной сейсмической энергией (9С), пьезометрией (9В) и пьезометрическими аномалиями (9А). Легенда: 1 - пьезометрическая кривая, отфильтрованная от барометрического влияния и земных приливов и отливов (фрагмент рис. 7); 2 - пьезометрическая кривая (фрагмент рис. 2); 3 - землетрясение от 05-09-92 (локализация эпицентра на рис. 8); 4 - энергетические классы землетрясений (К).

Рис. 10. Пьезометрические колебания, дата и время микросейсма. 10А - с суточным шагом измерений; 10В - с ежечасным шагом измерений.

$$Q_{\text{из}}(\text{месячный}) = (h_1 - h_2) \times c,$$

где h_1 — пьезометрический уровень; h_2 — уровень озера;
 c — кондуктивность ($\text{м}^3/\text{месяц}$).

Исходя из этих уравнений, можно написать:

$$\Delta h_1 / \Delta t = (Q_{\text{вн}} - Q_{\text{из}}) / S + (h_a - h_1) \times \tau_c,$$

где τ_c — соотношение между кондуктивностью c и площадью озера S , значения которого могут быть вычислены суточным шагом измерений Δt .

Если существует гидравлическая связь между озером и водоносным горизонтом, то в любом случае значения τ_c должны быть одного порядка и положительны, несмотря на направление питания (озеро-горизонт или горизонт-озеро).

Из графика, изображенного на рис. 4, видно, что с одной стороны величина τ_c непостоянна, а с другой — принимает как положительные, так и отрицательные значения. Можно утверждать, что гидравлическая связь между озером и изучаемым водоносным горизонтом отсутствует, что подтверждает также первую гипотезу, предложенную выше в части сравнения лимнографических и пьезометрических данных (рис. 3).

В апреле 1995 года по территории Республики Армения производилось опробование подземных вод для анализа стабильных изотопов (O^{18} — H^2 , 17 проб). Анализы производились во Франции (Университет Авиньона). Анализы O^{18} дают следующие значения $\delta\text{‰ vs SMOW}$: для подземных вод — между —10,96 и —13,52 (—13,52 в скважине Карчахпюр). Эти значения сравнительно однородны, независимо от присутствия или отсутствия поверхностных вод; для озера — 2,76. Обоеднение O^{18} в скважине, каптирующей напорный горизонт, явно указывает на разницу между этими и озерными водами, что и говорит об отсутствии смешивания вод, а значит и об отсутствии гидравлических связей между поверхностными водами (озеро) и каптированным горизонтом.

Влияние атмосферного давления

Начиная с работ Жакоба [2], Пекка [29], Кинга [24], барометрическое влияние на водные горизонты было хорошо известно, в частности, как на полунапорные [12] и напорные горизонты [15; 25]. Не приводя здесь теоретического объяснения этого, необходимо только отметить, что повышение значения атмосферного давления приводит к понижению пьезометрического уровня в скважинах и наоборот. Соотношение между колебанием уровня воды в скважине ($\Delta h = h_1 - h_2$) и колебанием атмосферного давления (ΔP , —отнесенные к метру воды) представляет собой барометрическую эффективность ($E. B.$), значения которой колеблются между 0,20—0,75 [22]. Нами вычислялись значения $E. B.$ для различных пьезометрических отрезков, не находящихся под влиянием внешнего питания (период пьезометрического спада). Взяв наилучшее значение (наивысшее значение коэффициента корреляции) $E. B.$, можно вычислить теоретическую и остаточную пьезометрические кривые, которые затем сравниваются с реальной пьезометрической кривой. По этим результатам, с одной стороны можно характеризовать барометрические эффекты, а с другой — уточнять степень напорности изучаемого водоносного горизонта.

Обработка данных Карчахпюрской скважины показывает, что полученное по наилучшим коэффициентам корреляции значение $E. B.$

(рис. 5) описывает пьезометрическую остаточную кривую, совпадающую по своей форме, но не всегда по амплитуде с реальными пьезометрическими кривыми (рис. 6). Это значит, что влияние атмосферного давления на изучаемый водоносный горизонт реально, но спровоцированные им колебания уровня воды не превосходят 2 см. Таким образом еще раз подтверждается, что изучаемый водоносный горизонт явно имеет характеристику напорной среды.

Влияние земных приливов и отливов

Это влияние зависит от положения небесных тел, главным из которых является Луна в связи со своим циклическим вращением вокруг Земли [34; 14]. Учет этого влияния на водоносные горизонты в настоящее время осуществляется с помощью либо спектрального анализа [26], либо гармонического анализа, использующего преобразование Фурье [35; 32].

В Армении и во Франции одновременно были разработаны два новых подхода для обработки пьезометрических данных, которые также основаны на преобразовании Фурье: программа FIPAC во Франции и программа POLYGRAF в Армении. Эти программы различаются друг от друга статистическим развитием. Описание одной из этих программ, с примером практического применения, было опубликовано недавно [20]. Обе программы характеризуются следующей очередностью действий:

Исходная пьезометрия—преобразование Фурье—фильтрация—обратное, быстрое преобразование Фурье—отфильтрованная пьезометрия.

Соотношение между входным сигналом, из которого было удалено влияние атмосферного давления, и выходным сигналом, отфильтрованным от влияния земных приливов и отливов (рис. 7), выявляет две пьезометрические аномалии при обработке программой FIPAC (рис. 7A). Те же аномалии, в тот же период выявляются и при обработке программой POLYGRAF (рис. 7B). То есть обе программы дают один и тот же результат, но с различными амплитудами сигналов, причиной чего является различие в статистических расчетах, применяемых в обеих программах, что зависит только от их собственного языка программирования.

Пьезометрические аномалии и сейсмическая активность

После удаления из пьезометрических аномалий факторов, связанных с влиянием водной среды озера, атмосферного давления и приливных колебаний, было произведено сопоставление отфильтрованных данных с выборкой землетрясений из каталога землетрясений, полученного от НССЗ РА.

Анализ полученных от сопоставления результатов показал наличие нескольких аномалий, которые могут иметь сейсмогенную природу (рис 9, 10).

Что касается первой аномалии, которая отмечалась 15.05.1991г. (рис. 7), то она приходится на период пьезометрического подъема воды (рис. 2). Поэтому трудно однозначно определить ее происхождение, т.к. нами еще не проанализирована зависимость пьезометрии от осадков и, следовательно, не определен метод учета влияния питания горизонта от атмосферных осадков.

Вторая аномалия представляет гораздо больший интерес (рис. 7).

так как она отмечается в период пьезометрического спада горизонта (рис. 2), а значит, независима от функции питания.

Для интерпретации этой информации была осуществлена пространственная выборка землетрясений, при которой принимались в расчет их координаты, время события и положение эпицентров относительно Карцахпюрской скважины (рис. 8). Одно из землетрясений классом 8.5 произошло в зоне Памбак-Севанского разлома у Арташского полуострова (с. Шоржа), именно в момент (05.09.1992), когда была зафиксирована пьезометрическая аномалия на Карцахпюрской скважине (рис. 7 и 8).

Сопоставление обработанного выходного сигнала с почасовым шагом измерений (рис. 9А), исходной пьезометрией (рис. 9В) и сейсмическими данными (рис. 9С) показывает, что микросейсм от 05.09.1992г., по всей вероятности, является причиной моментального изменения пьезометрической кривой в период спада (рис. 9В). Это изменение слабое, но и землетрясение также слабое.

При более подробном сопоставлении данных пьезометрии и сейсмичности с учетом почасового шага измерений и точного времени микросейсма (20 ч. 43 мин. GMT) видно, что в этот период фиксируются два маленьких пьезометрических подъема (рис. 10): один приблизительно за 18 часов, второй—спустя 3 часа. Второй подъем по времени совпадает с землетрясением 06.09.1992г. (табл. 1), однако в связи с большой удаленностью эпицентра от скважины и низким классом их генетическая взаимосвязь маловероятна. Более вероятно, что оба этих подъема связаны с одним и тем же событием, а именно с землетрясением, происшедшим в зоне Памбак-Севанского активного разлома 05.09.1992г., однако остается неясным механизм воздействия на пьезометрию.

Таблица 1.

Выборка из регионального сейсмического каталога (НССЗ РА)

А	В	С	Д
31/08/92	39°00'	44°00'	4.8
05/09/92	40°34'	45°17'	8.5
06/09/92	41°21'	43°31'	9.0
14/09/92	38°31'	45°00'	8.5
18/09/92	39°33'	46°00'	7.7
24/09/92	41°20'	46°00'	8.3
26/09/92	40°22'	46°17'	8.3
28/09/92	40°24'	44°31'	9.2

А—дата землетрясения; В—географическая широта; С—географическая долгота; Д—выделенная сейсмическая энергия.

Выводы

В поисках связей между сейсмической активностью и волноносными горизонтами, как первоначальные условия, необходимо четкое определение пьезометрических сигналов и степени напорности изучаемых горизонтов.

В примере который был проанализирован выше, выделенная энергия микросейсма была слабой ($K=8.5$), однако вполне вероятно, что именно он спровоцировал небольшую деформацию (или деформации) пьезометрического сигнала изучаемого напорного горизонта. Заметим, что эта причинно-следственная связь наблюдалась на расстоянии около 40 км.

Метод анализа, предлагаемый в этой статье, кажется нам перспективным и заслуживает применения в других случаях, особенно в ситуациях с отсутствием подробных исходных данных или когда необходим быстрый анализ ситуации (например, при сейсмопрогностической оценке).

Необходимо только, чтобы идентификация гидравлических колебаний, как результата сейсмической активности региона, непременно основывалась на углубленных знаниях тектонического и сеймотектонического контекстов в разных масштабах, что в настоящее время и находится в процессе осуществления в Армении, в частности, в бассейне озера Севан.

Исследование проведено в рамках Французско-Армянской Программы Интернациональной Научной Кооперации (ПИНК—PICS 1996—1998 гг.), финансируемой Французским Национальным Центром Научных Исследований (НЦНИ—CNRS).

ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ԶՆՇՈՒՄՆԱՅԻՆ ԶՐԱՅԻՆ ՀՈՐԻՋՈՆԻ ՊԻԵՋՈՄԵՏՐԻԿ ՎԱՐՔԱԳԻԾՐ ՍԵՅՍԱՄՈԱԿՏԻՎ ՇՐՋԱՆՆԵՐՈՒՄ. ՍԵՎԱՆԱ ԼՃԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ (ՀԱՅԱՍՏԱՆ)

Ժան Կլոդ Գրիո, Ա. Ա. Բոդոյան

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հայաստանի տարածքի սեյսմիկ ակտիվության հետ կապված պիեզոմետրիկ անոմալիաների բացահայտման նպատակով օգտագործվել են մի քանի մոտեցումներ և մեթոդներ. 1) մի պարզ մոդել ուսումնասիրվող ջրային հորիզոնի ճնշումնային աստիճանը բնութագրելու համար, որում օգտագործվել են ճնշումային հորիզոնի մակարդակի տատանման եւ Սեւանա լճի հաշվեկշռային տվյալները (մուտքի ելքի դեբիտները, լիմնագրաֆիան), 2) իզոտոպային տվյալների վերլուծություն (O^{18}), 3) մթնոլորտային ճնշման արժեքների տատանման ազդեցության վերադուր ուսումնասիրվող ջրային հորիզոնի պիեզոմետրիայից, 4) երկրային մակընթացությունների ազդեցության վերադուր պիեզոմետրիայից, որի համար օգտագործվել են կոմպյուտերային «POLIGRAF» եւ «FIPAC» ծրագրերը, ստեղծված Հայաստանում եւ Ֆրանսիայում, եւ հիմնված են Ֆուրյեի շարքերի վերափոխման վրա: Այս երկու ծրագրերով մշակված տվյալների արդյունքները համեմատվել են միմյանց հետ:

Մեթոդների հերթականությամբ օգտագործումը թույլ տվեց ի հայտ բերել երկու պիեզոմետրիկ անոմալիաներ. առաջինը ի հայտ է գալիս պիեզոմետրիկ մակարդակի բարձրացման ժամանակահատվածում եւ ներկա իրավիճակում դժվար է նրա ծագմանը որևէ բացատրություն տալ, քանի ու դեռևս չի վերլուծվել եւ վերացվել մթնոլորտային տեղումների ազդեցությունը ջրային հորիզոնի սնման վրա, երկրորդը ի հայտ է գալիս պիեզոմետրիկ մակարդակի անկման հատվածում (այսինքն, մթնոլորտային տեղումների ազդեցության բացակայության դեպքում ջրային հորիզոնի սնման վրա): Հետևաբար այն կարելի է համեմատել շրջանի սեյսմիկ ակտիվության հետ: Մեծ հավանականությամբ $K=8,5$ էներգետիկ կյասսով երկրաշարժը հանդիսանում է պիեզոմետրիայի վարկենական փոփոխության (անոմալիա) պատճառը:

PIEZOMETRIC BEHAVIOR OF CONFINING HORIZON IN SEISMICALLY ACTIVE ZONES: ON THE EXAMPLE OF LAKE SEVAN (ARMENIA)

Jean Clodt Griot, A. A. Bodoyan

Abstract

Piezometric measurements aimed to reveal the relations between piezometry and seismic activity of the region were carried out for 7 years in hydrodynamic wells drilled in Lake Sevan's basin and extracting groundwater from deeper confining horizons. The obtained data were processed using various methods and this allowed to find out piezometric anomalies and to correlate them with the region's microseisms.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амарян В. М., Костян М. А., Харазян К. П. и др. Геология Севана. Ереван: Геол. журнал, 3, 1994. с. 94—121. Армения.
2. Вегуни В. Т. и Манукян С. А. Гидрогеология бассейна озера Севан (на армянском). Журнал Гидроэнергетика, 1968. 11, с. 18—27.
3. Горшков С. П. Региональная сейсмотектоника южной части СССР, альпийская зона. Москва; Наука, 1984. 356 с.
4. Игумнов В. А., Степанян З. Г. Гидрохимический аспект подземных вод во время Спитакского землетрясения (Армения).—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1989, 42(3), с. 24—34.
5. Караханян А. С., Аракелян А. Р., Товмасян А. К. Активная тектоника и сейсмотектоника бассейна озера Севан. В кн.: Геология Севана, Ереван: Изд. НАН РА, 1995, с. 122—127.
6. Караханян А. С., Карта сейсмотектоники и активных разломов Армянского нагорья масштаба 1:1000000 и 1:200000. Ереван: Фонды ИГН НАН РА, 1995.
7. Милановский Е. Е. Неотектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 484 с.
8. Мкртчян В. А., Аветисян В. А., Вегуни В. Т. Гидрогеологическая карта Армении масштаба 1:66000. Министерство образования, Академия Наук Армении, 1973.
9. Шебалин В. Т., Борисов Б. А. Землетрясение Спитака. Журнал Природа, 1989, 4, с. 69—73.
10. Balassanian S. U., Karakhanian A. S. & Arakelian A. R. 1993. The high seismic risk on the territory of Armenia and bordering states. Raport Nation. Survey of Seismic Prot., Yerevan. 104 p.
11. Barabanov V. L. 1994. Hydrogeologic monitoring in the epicentral zone of the Racha earthquake. Izvestia Russian Acad. of Sci., Physics of the Solid Earth, english Translation, vol. 29, 3, p. 76—87.
12. Besdes M. 1969. L'effet barometrique dans les puits en relation avec le coefficient d'emmagasinement et l'etancheite du toit des nappes captives. Bull. BRGM, France, 2 eme Serie, Section III, 2, p. 76—87.
13. Bodoyan A. 1995. Methodes d'approche du comportement piezometrique des nappes en zone sismique: cas du bassin du lac Sevan (Armenie). DEA TGGH option Hydrogeol., Univ. Montpellier II, France, 35 p., 12 fig., 37 graph.
14. Bredehoeft J. D. 1967. Response of well-aquifer systems to earth tides. J. Geophys. Res., 12 (12), p. 3075—3087.
15. Collet T. et Drogue C. 1987. Effet barometrique sur les niveaux piezometriques des forages de Chassolle (France). Geol. de la France, 4, p. 103—108.
16. Cook J. M., Edmunds W. M. & Robins N. S. 1991. Groundwater contribution to an acid upland lake (Loch Fleet, Scotland) and the possibilities for amelioration. J. of Hydrology, 125, p. 111—128.
17. Dzhibladze E. A. 1993. «Deep» earthquake foci in the Caucasus. Isv. Earth. Phys., 21, p. 57—66.
18. Falconer R. A., George D. G. & Hall P. 1991. Three-dimentional numerical modelling of wind-driven circulation in a shallow homogeneous lake. J. of Hydrology, 124, p. 59—79.
19. Gelis de, E. 1956. Elements d'hydraulique souterraine. Notes et mem. du Serv. geol. du Maroc, Rabat, 136, p. 7—84.
20. Grillot J. C., Le Clezio, M. et Bodoyan A. 1995. Filtrages piezometriques preliminaires a l'analyse du comportement des eaux souterraines lors des crises sismiques: exemple dans le petit Caucase. J. of Hydrology, 40 (5), p. 647—662.

21. Hoang-Trong, P. et Yin, J. 1995. Les difficultes de la prediction sismique, sont-elles due a l'absence de signes precursurs, a la lacune d'instrumentation ou au mauvais choix des sites? C. R. Acad. Sci., Paris, 320, Serie II a p. 85—94.
22. Jacob, C. E. 1940. On the flow of water in an elastic artesian aquifer. Trans. Amer. Geophys. AGU 2, 21, p. 574—586.
23. King, C. Y., Basler, D., Presser, T. S. & al. 1994. In search of earthquake-related hydrologic and chemical change along Hayward fault. Appl. Geochem., 9, p. 83—91.
24. King, F. H. 1989. Principles and conditions of the movements of groundwater. U. S. Geol. Surv., 19th Ann. Rep., II, p. 59—294.
25. Lyubushin Jr., A. & Malugin, V. A. 1994. Statistical analysis of water table response to atmospheric pressure variations. Izvestiya Russian Acad. of Sci., Physics of the Solid Earth, english translation, vol. 29, 12, p. 1101—1107.
26. Marsaud, B., Mangin, A. et Bel, F. 1993. Estimation des caracteristiques physiques d'aquiferes profonds a partir de l'incidence barometrique et des marees terrestres. J. of Hydrology, 144, p. 85—100.
27. Merifield, P. A. & Lamar, D. L. 1981. Anomalous water-level changes and possible relation with earthquakes. Geophys. Res. Letters, 8, 5, p. 437—440.
28. Muir-Wood, R. & King, C. P. 1993. Hydrological signatures of earthquake strain. J. Geophys. Res., 98, B12, p. 22 035—22 068.
29. Peck, A. J. 1960. The water tables affected by the atmospheric pressure. J. Geophys. Res., 65, p. 23.83—23.88.
30. Philip, H., Cisternas, A., Gvishiani, A. & al. 1992. The armenian earthquake of December 7, 1988: faulting and folding, neotectonics and paleoseismicity. Geophys. J. Int., 3, p. 19—37.
31. Rebai, S., Philip, H., Dorbath, L., Borissov, B. & al. 1993. Active tectonics in the lesser Caucasus: existence of compressive and extensional structures. Tectonics, 12, 5, p. 1089—1114.
32. Rhoads, G. & Robinson, E. S. 1979. Determination of aquifer parameters from well tides. J. Geophys. Res., 84, 11, p. 6071—6082.
33. Rikitake, T. 1978. Classification of earthquake precursors. Tectonophysics, 54, p. 293—309.
34. Robinson, E. S. & Bell, R. T. 1971. Tides in confined well aquifer systems. J. Geophys. Res., 76, p. 1957—1969.
35. Robinson, T. W. 1939. Earth-tides shown by fluctuations of water-level in wells in New Mexico and Iowa. Trans. Amer. Geophys. AGU 20, p. 656—666.
36. Roeloffs, E., Schulz-Burford, S., Riley, F. S. & Records, A. W. 1989. Hydrologic effect on water-level changes associated with episodic fault creep near Parkfield, California. J. Geophys. Res., 94, p. 12.387—12.402.
37. Rojstaczer, S. & Wolf, S. 1992. Permeability changes associated with large earthquakes: example from Loma Prieta, California. Geology, 20, p. 211—214.
38. Sacks, L. A., Herman, J. S., Konikow, L. F. and Vela, A. L. 1992. Seasonal dynamics of ground water-lake interaction at Donana National Park, Spain. J. of Hydrology, 136, p. 123—154.
39. Theis, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Amer. Geophys. Union, 16, 520 p.
40. Tedd, D. K. 1959. Groundwater hydrology. John Wiley Ed., New-York, USA, 336 p.
41. Tuinzaad, H. 1954. Influence of the atmospheric pressure in the head of artesian water and phreatic water. Ass. Int. Hydrology Sci., Ass. gener. de Rome, II, p. 32—37.
42. Vorhis, R. C. 1995. Interpretation of hydrologic data resulting from earthquakes. Geol. Rundschau, 33, p. 47—52.
43. Voytov, G. I. 1994. Chemical and isotopic instabilities of underground water/gas systems in the source zone of the April 29, 1991, Racha earthquake. Izvestiya Russian Acad. of Sci., Physics of the Solid Earth english Translation, vol 29, p. 286—291.
44. Wang, C. 1985. Groundwater studies for earthquake prediction in China. Pure Applied Geophys., 122, p. 215—217.