Известия НАН РА, Науки о Земле, 2008, LXI, №2, 50-53

ИЗМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В СВЯЗИ С КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЯ ВОДЫ В АЗАТСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ АРМЕНИИ

© 2008г., Л.С. Саркисян*, В.С. Баласанян, Р.С. Минасян**, А.А. Гонян***

**) Национальная Служба Сейсмической Защиты*
0054, г Ереван, Давидашен, IV массив, Республика Армения
E-mail: lilit_geo@yahoo.com
***) Ереванский Государственный Университет*
0025, г Ереван, ул. Алека Манукяна, 1, Республика Армения
Поступила в редакцию 29. 11. 2007 г.

Проблема наведенной сейсмичности, связанная с эксплуатацией водохранилищ, является одной из актуальных задач геофизики и представляет сегодня повышенный интерес, особенно для водохранилищ, построенных в сейсмоактивных районах. Предметом наших исследований являются особенности изменения сейсмического режима, обусловленные эксплуатацией водохранилищ на территории Армении. В данной работе на примере Азатского водохранилища показано, что после ввода его в эксплуатацию наблюдается увеличение числа микрозеьлетрясений, обуславливающих изменение сейсмического режима в исследуемом районе. Корреляция сейсмичности и колебаний уровня воды в Азатском водохранилище позволяет предположить влияние долговременных гармоничных изменений уровня воды водохранилища на сейсмическую активность района.

Строительство водохранилищ в сейсмоактивных районах и опасность роста сейсмической активности, связанной с их эксплуатацией, делают весьма актуальными и важными систематизированные исследования наведенной сейсмичности. До последного времени считалось, что водохранилища могут инициировать только слабые толчки, которые объяснялись влиянием объемного веса воды в сооружении, просадкой дна водохранилища и, в результате, движениями, возникающими в подстилающих слоях земной коры. Однако, уже в 60-х годах XX-го века в районах некоторых крупных водохранилищ были зарегистрированы сильные (M>6.0) землетрясения (Кариба в Замбии, Кремаста в Греции, Койна в Индии и т.д.), которые стали причиной многочисленных человеческих жертв и больших материальных потерь. На сегодняшний день явление наведенной сейсмичности получило многочисленные подтверждения, и число наведенных землетрясений постоянно растет. Обобщая результаты проведенных в этом направлении исследований (в том числе модельно-лабораторных), можно сказать, что механизм возникновения инициированных землетрясений обусловлен следующими факторами (Гупта, Растоги,1979):

- нарушением гравитационного равновесия в земной коре;
- увеличением давления в порах горных пород вследствие развития трещинообразования;
- уменьшением силы трения в зонах потенциальных разломов;
- уменьшением (ослаблением) прочности пород под влиянием адсорбционных слоев жидкости.

После заполнения водохранилища может меняться тектонический режим, возможно смещение отдельных блоков по разломным зонам. Все это приводит к серьезным изменениям дебита, температуры, геохимических особенностей режима подземных вод. Для исследования этого процесса очень важно проведение сравнения уровня воды (или давления) водохранилища с уровнем вод (или давлением) нижних водоносных горизонтов и изменением сейсмической активности. Давление подземных вод является достаточно надежным показателем для оценки изменения напряжений в горных породах.

На территории РА имеется около 80 водохранилищ (больших и малых), которые расположены на высотах 1500-3000*м*., в районах, отличающихся сложным геологическим строением, неоднородной геоморфологией и литологией пород.

Для исследования процесса наведенной сейсмичности на территории РА, вызванной эксплуацией водохранилищ, нами было выбрано несколько разных объектов, отличающихся по величине, геологическим условиям, размерам и рядом характеристических факторов.

В данной работе представлены результаты исследования по Азатскому водохранилищу, представляющему интерес в связи со сложными сейсмотектоническими условиями района (Оганесян и др., 1979; Геодакян, 2002; Davtyan et al, 2006). На территории Армении одной из активных является Приереванско-Севанская область, в частности, зона сочленения Азат-Севанского, Ереванского и Гарни-Елпинского активних разломов. Территория Азатского водохранилища находится в зоне тектонического влияния этих активных разломов (Davtyan et al, 2006), к которым приурочены очаги Гарнийского (1679г., M=7,0) и Двинского (893г., M=6,8) разрушительних землетрясений (рис.1).

Азатское водохранилище, имеющее 76-метровую грунтовую плотину, было построено в 1976г., в основном для целей орошения. Общий объем водохранилища составляет 70*млн. м*^{3}, а полезный объем – 60,8 *млн.м*^{3}. Наибольшая глубина воды – 78*м*; поверхность зеркала воды – 285 *га*; максимальный расход воды–313 *м*^{3}/сек. Расчетная сейсмостойкость плотины Азатского водохранилища составляет 8 баллов по шкале MSK-64. Ниже водохранилища, в зоне риска затопления водой при разрушении плотины, про-

живает более чем 80 тысяч человек. Поэтому изучение наведенной сейсмичности, связанной с Азатским водохранилищем, имеет важное значение.

Особенности сейсмического режима на территории Азатского водохранилища

Для выяснения особенностей изменения сейсмического режима в связи с эксплуатацией Азатского водохранилища были проанализированы данные по всем землетрясениям в радиусе 20км за период 1962-2007гг. В частности изучены количество событий, их энергетический уровень, повторяемость и их пространственно-временное распределение. Как видно из карты эпицентров (рис.1), на исследуемой территории преобладают слабые землетрясения с $M \leq 3.0$. Самое сильное событие произошло 01.03.97г ($M=3,7$).

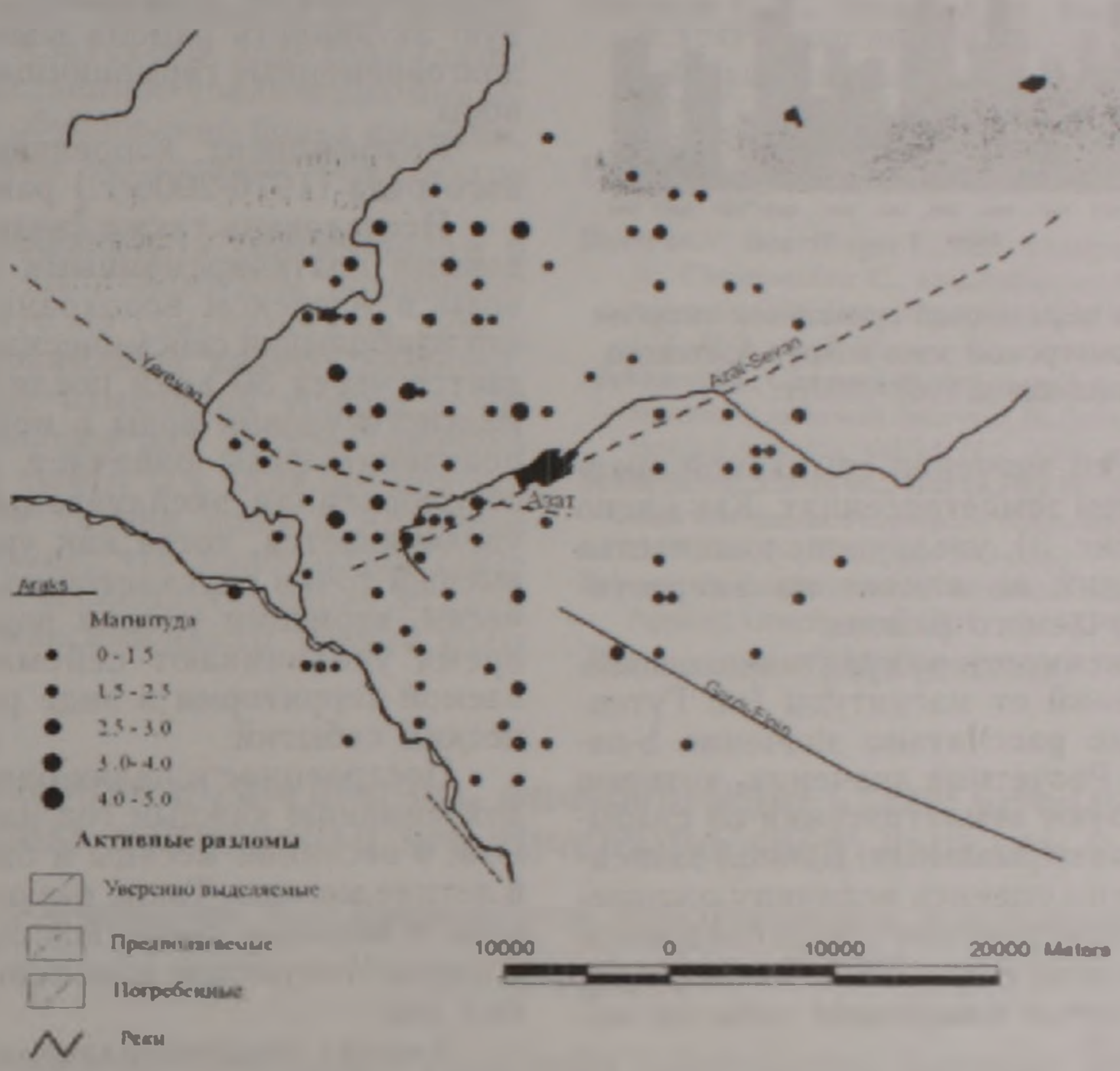

Рис.1. Схематичная карта расположения эпицентров землетрясений и разломов в 20-километровой зоне вокруг Азатского водохранилища.

Из гистограммы количественного распределения землетрясений по годам (рис.2а) видно, что наблюдается рост количественного фона землетрясений, особенно после 1976г., т. е. после постройки водохранилища. Если до 1976г. в этом районе за один год регистрировалось, в среднем, два землетрясения, то после ввода в эксплуатацию Азатского водохранилища их число увеличилось до четырех событий в год.

а б

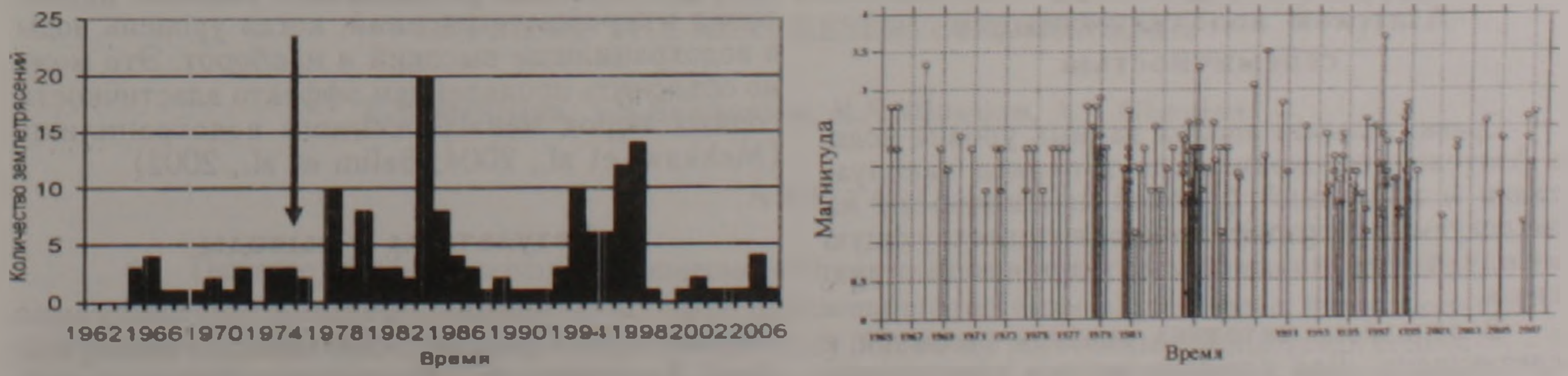

Рис.2 а) Гистограмма распределения количества землетрясений; б) График магнитудно-временного распределения землетрясений в 20-километровой зоне вокруг Азатского водохранилища за 1962-2007гг. (стрелкой указана дата ввода в эксплуатацию Азатского водохранилища).

Следует отметить, что фоновые значения магнитуд произошедших землетрясений уменьшились (рис. 2б), т.е. количественное увеличение землетрясений проявилось, преимущественно, в виде слабых событий, что также характерно для наведенной сейсмичности, обусловленной эксплуатацией водохранилищ (Гупта, Растоги, 1979; Talwani, 1997).

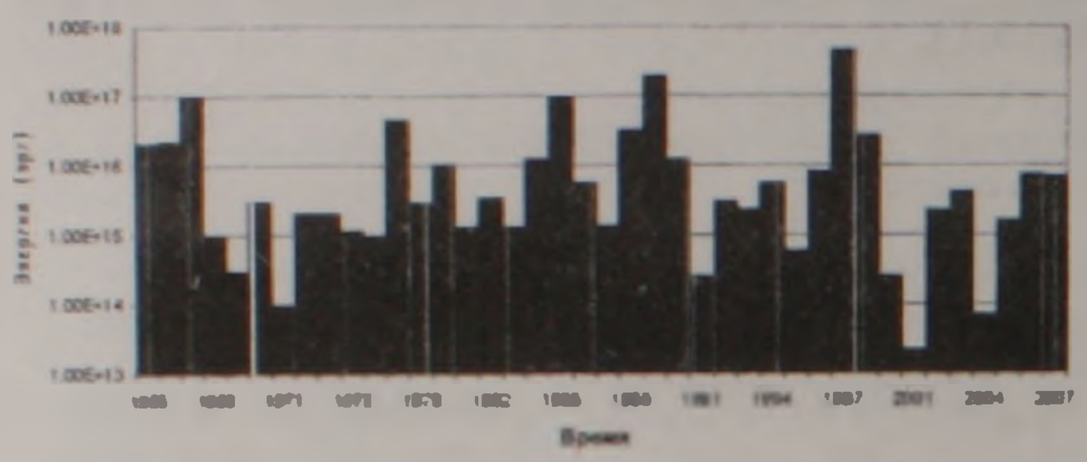

Рис. 3. Гистограмма выделенной суммарной энергии по годам в 20-километровой зоне вокруг Азатского водохранилища за 1962-2007гг.

Были вычислены значения суммарной энергии, выделенной при землетрясениях. Как видно из гистограммы (рис. 3), увеличение количества микроземлетрясений не влияет на энергетический баланс изучаемого района.

По закону зависимости кумулятивного количества землетрясений от магнитуды (по Гутенберг-Рихтеру) было рассчитано значение b-параметра (b=1,22). Расчетные значения, которые обычно характеризуют землетрясения со слабыми энергиями, выше нормальных. Данной зависимостью также можно оценить величину ожидаемого сильного землетрясения на исследуемой территории (Баласанян и др., 2004; Ризниченко, 1985). В данном случае ожидаемое событие может иметь M_{max}=4,0.

Исследования показывают, что инициированные землетрясения, в сравнении с естественными, имеют определенные признаки, которые характерны для каждого конкретного района (Гупта, Растоги, 1979; Николаев, 1994). В нашем случае наблюдается количественное увеличение числа микроземлетрясений, обуславливающее изменение сейсмического режима исследуемой территории (в частности, значение b-параметра, которое выше нормы).

Связь между колебаниями уровня воды в Азатском водохранилище и сейсмичностью

Сравнительный анализ данных уровня воды в Азатском водохранилище в период эксплуатации и изменений фоновой сейсмичности на исследуемой территории выявил существующую между этими параметрами корреляционную связь.

В основном, методика анализа сводится к следующему. Для каждого месяца рассчитывались средние значения уровня воды в водохранилище, получаемые на основе данных ежедневных наблюдений, с учетом их отклонений от средних значений. С другой стороны, тем же способом (на основе осреднения ежедневных данных по сейсмическим событиям), рассчитывались среднемесячные значения уровня сейсмичности.

Годовой цикл уровня воды в Азатском водохранилище характеризуется максимумом в мае-июне, минимумом в декабре-январе. Корреляция осуществлялась для всех случаев. Корреляция сейсмичности и вариаций уровня воды в Азатском водохранилище показывает, что на сейсмическую активность района водохранилища влияют долговременные гармоничные изменения уровня воды.

Коэффициент корреляции для долговременного ряда (1976-2006гг.) равен 0,4.

Исследована также связь сейсмичности с годовыми кратковременными вариациями уровня воды в Азатском водохранилище. Выясняется, что наибольшая сейсмическая активность наблюдается через 30 дней после достижения максимального уровня воды в водохранилище. Такое поведение фазы означает, что сейсмичность, обусловленная эксплуатацией водохранилища, увеличивается, тогда как уровень воды от наивысшей точки опускается до наинизшей. Фактически, вариации уровня воды на определенное время увеличивают сейсмичность рассматриваемой территории в виде ряда слабых сейсмических событий.

Построенное в целях орошения Азатское водохранилище каждый год наполняется, в основном, в весенние месяцы и быстро опорожняется в летние месяцы. Такие резкие изменения уровня воды в верхнем бьефе водохранилища приводят к соответствующим изменениям режима подземных вод.

Анализ многочисленных механизмов позволяет сделать вывод о том, что для увеличения сейсмической активности необходима совокупность определенных естественных и искусственных условий (Гупта, Растоги, 1979; Talwani, 1997). В областях разломных зон или в зонах тектонического влияния активные тектонические процессы являются наиболее существенными естественными факторами, которые могут быть причиной увеличения сейсмической активности. При различных режимах напряженности (при подобных отношениях уровня воды и сейсмичности) возможно уменьшение частоты проявления микроземлетрясений, когда уровень воды в водохранилище высокий и наоборот. Это можно объяснить проявлением эффекта эластичности горных пород ненагруженного водохранилища (Mekkawi et al., 2004; Selim et al., 2002).

Результаты и выводы

Для выяснения особенностей изменения сейсмического режима, связанных с эксплуатацией Азатского водохранилища, были проанализированы количество землетрясений, их энергетический уровень, пространственно-временное

распределение и повторяемость землетрясений территории в радиусе 20км за период 1962-2007гг.

Наблюдается определенное увеличение количества слабых землетрясений после ввода в эксплуатацию Азатского водохранилища (1976г.) в исследуемом районе.

Выявлена и исследована корреляционная связь между изменениями уровня воды в водохранилище и фоновой сейсмичностью. Исследования показывают, что инициированные землетрясения, в сравнении с естественными, имеют определенные признаки, характерные для данного района. В случае Азатского водохранилища наблюдается количественное увеличение микроземлетрясений, что обусловлено более высоким, чем норма, значением расчетного b-параметра (b= 1,22).

Корреляция коэффициента сейсмичности и вариаций уровня воды в Азатском водохранилище показывает, что на сейсмическую активность района водохранилища влияют долговременные гармоничные изменения уровня воды. Коэффициент корреляции для долговременного ряда (1976-2006гг.) равен 0,4. Анализ кратковременных вариаций уровня воды в Азатском водохранилище показал, что наибольшая сейсмическая активность наблюдается через 30 дней после достижения максимального уровня воды в водохранилище.

ЛИТЕРАТУРА

Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян Б. С., Сейсмическая защита и ее организация. Гюмри: Эльдорадо, 2004, 436 с.

Геодакян Э. Г. Наведенная сейсмичность в районе Ахурянского водохранилища. В кн.: Научные труды конф., посвящен. 40-летию ИГИС АН Армении. Гюмри, 2002, с. 175-181.

Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979, 256с.

Николаев А.В. Наведенная сейсмичность. М.: Наука, 1994, 222с.

Оганесян С. Р., Пушков А. Н., Баграмян А. Х., Геодакян Э. Г. О временных изменениях геомагнитного поля и сейсмичности на территории водохранилища "Азат". Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1979, т. XXXII, N 5, с. 72-79.

Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985, 405с.

Davtyan V., Doerflinger E., Karakhanyan A., Philip H., Avagyan A., Champollion C., and Aslanyan R. Fault slip rates in Armenia by GPS data. Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2006, т. LIX, N 2, с. 3-18.

Mekkawi M., Grasso J-R, Schnegg P-A. A long-lasting relation of seismicity as Aswan reservoir, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 94, N 2, 2004, pp. 479-492.

Selim M.M., Imoto M., Hurukawa N., Statistical investigation of reservoir-induced seismicity in Aswan area, Egipt. EARTH Planets Space, 54, 2002, pp. 349-356.

Talwani P., On the nature of reservoir-induced seismicity, Pure and Applied Geophysics, 1997, pp. 473-492.

Рецензент С.М.Оганесян

ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԿԱՊՎԱԾ ԱԶԱՏԻ ՋՐԱՄԲԱՐՈՒՄ ՋՐԻ ՄԱԿԱՐԴԱԿԻ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ՀԵՏ

Լ.Ս.Սարգսյան, Վ.Ս.Բալասանյան, Ռ.Ս.Մինասյան, Ա.Ա.Ղոնյան

Ամփոփում

Երկրաֆիզիկայի առջև դրված բազմաթիվ խնդիրներից՝ կապված ջրամբարների քանակի աճով, նորանոր պատվարների կառուցումով, հարուցված սեյսմիկության խնդիրը, այսօր արդեն կարևորագույններից մեկն է: Մեր կողմից ուսումնասիրվել են ՀՀ Ազատի ջրամբարի շահագործմամբ պայմանավորված սեյսմիկ ռեժիմի փոփոխության առանձնահատկությունները: Ցույց է տրվել, որ ջրամբարի կառուցումից հետո դիտվում է ուսումնասիրվող տարածքում միկրո-երկրաշարժերի քանակական աճ, որով պայմանավորված է այդ շրջանում սեյսմիկ ռեժիմի փոփոխությունը: Ջրի մակարդակի տատանումների և սեյսմիկության գործակցի կորելյացիան ենթադրում է, որ այս շրջանի երկրաշարժերի ակտիվության վրա ազդում է ջրի մակարդակի երկարատև, հարմոնիկ փոփոխությունները:

CHANGES IN SEISMIC ACTIVITY IN CONNECTION WITH VARYING WATER LEVEL OF THE AZAT RESERVOIR, ARMENIA

L.S.Sarkisian, V.S.Balasanian, R.S.Minasian, A.A.Ghonian

Abstract

The issue of induced seismicity connected with exploitation of water reservoirs is one of topical problems of geophysics that poses today an increasing interest especially in respect to reservoirs constructed in seismically active regions. Our study objects are peculiarities of changes in seismic regime predetermined by exploitation of water reservoirs on Armenia's territory. As indicated on the example of the Azat reservoir, since the beginning of its exploitation the number of micro-quakes has been increasing which predetermine changes in seismic regime of the study region.