

УДК 550.34

СИНХРОННЫЕ СЕЗОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОРЕЖИМА И АКТИВНОСТИ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ГАРМСКОМ РАЙОНЕ

© 2011 г. А.Я. Сидорин

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

В предыдущих работах автора описана ярко выраженная годовая периодичность слабых землетрясений Гармского полигона и обсуждались предполагаемые механизмы ее возникновения. В настоящей работе рассматривается возможность объяснения природы годовой периодичности землетрясений исследуемого района на основе механизма гидросейсмичности. Для этого характер сезонных изменений сейсмичности Гармского полигона сопоставляется с внутригодовыми изменениями высоты снежного покрова и уровня воды в реке. Методом наложения эпох обнаружены очень хорошее совпадение формы весеннего понижения высоты снежного покрова с уменьшением количества регистрируемых землетрясений, следующим с небольшим запаздыванием относительно периода интенсивного таяния снега, и противофазный характер внутригодовых изменений сейсмичности с уровнем воды в реке. Однако при анализе данных по отдельным годам выявлены случаи, когда количество землетрясений начинало уменьшаться одновременно или даже чуть раньше периода интенсивного таяния снега. Обсуждаются различные варианты интерпретации полученных результатов.

Ключевые слова: сейсмичность, годовая периодичность, сезонные изменения, Гармский полигон, гидросейсмичность.

Введение

Сейсмическая активность Гармского полигона меняется с годовой периодичностью. Впервые эти изменения были описаны в работе А.А. Лукка и С.Л. Юнги [1979] на примере анализа данных о 37 867 землетрясениях, происшедших на полигоне в 1955–1977 гг. Было показано, что максимумы сезонных колебаний среднемесячного количества землетрясений приходятся на декабрь–январь, а минимумы – июнь–июль. Более детальные исследования этого вопроса выполнены в работах [Дещеревская, Сидорин, 2004а,б, 2005а] с использованием полного каталога землетрясений Гармского полигона за 1955–1991 гг., содержащего информацию более чем о 92 тыс. сейсмических событий.

Механизм возникновения годовой периодичности землетрясений Гармского полигона остается не выясненным. В указанных выше работах Е.В. Дещеревской и А.Я Сидорина на основании анализа данных о землетрясениях различной энергии и по разным площадным выборкам было высказано предположение о возможности ложного появления обсуждаемой периодичности из-за изменения в течение года реальной чувствительности сети сейсмических станций, обусловленного вариациями характеристик сейсмического шума. Однако до настоящего времени не исследовались другие возможные механизмы возникновения годовой периодичности землетрясений Гармского полигона.

Вместе с тем в ряде работ описаны годовые циклы вариаций напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмичности, возникающие под влиянием сезонных изменений режима поверхностных [Штенгелов, 1983; Kafri, Shapira, 1990; VanDam et al., 2001; Bevis et al., 2005] и подземных [Штенгелов, 1983; Muco, 1999; Watson et al., 2002; Saar, Manga, 2003] вод, высоты снежного покрова [Blewitt et al., 2001; Heki, 2001; Grapenthin et al., 2006] и горного оледенения [Родкин, 1989]. В связи с этим в настоящей работе предпринята попытка поиска связи годовой периодичности землетрясений Гармского полигона с изменениями высоты снежного покрова и уровня воды в р. Сурхоб – одной из двух основных рек, протекающих на территории полигона.

Использованные данные и методы их анализа

В работе использован каталог землетрясений Гармского полигона за 1955–1991 гг., содержащий информацию о 92 607 сейсмических событиях. Данные о сейсмичности полигона сопоставляются с изменениями высоты снежного покрова за период с 1985 по 1991 гг. и уровня воды в р. Сурхоб в районе метеостанции «Гарм» за 1980–1983 гг. Данные обрабатывались методом наложения эпох, а графики сезонных изменений сопоставлялись визуально.

Полученные результаты

Для получения представления о характере внутригодовых изменений сейсмичности Гармского полигона рассмотрим соответствующий график (рис. 1). Он построен методом наложения эпох по данным о слабых землетрясениях Гармского полигона энергетического класса $K \leq 6.0$ (магнитуда $M \leq 1.1$).

На графике видно, что годовой ход выражен очень отчетливо: максимум количества землетрясений наблюдается в конце зимы – начале весны и приурочен примерно к 60-м

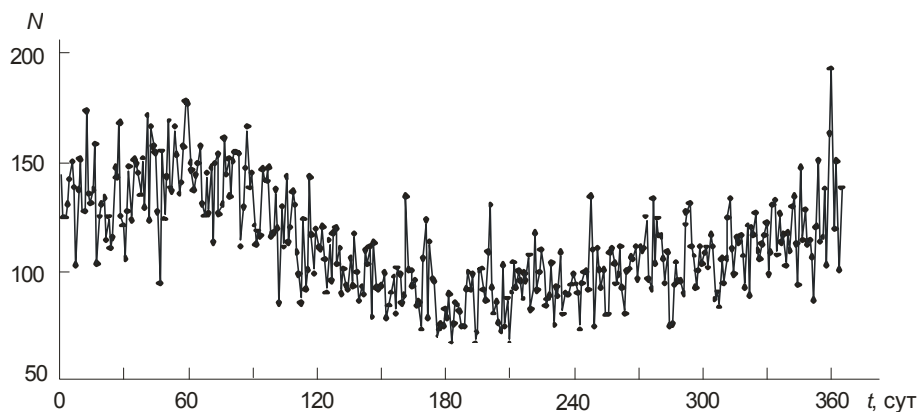


Рис. 1. Внутригодовые изменения количества слабых землетрясений энергетического класса $K \leq 6.0$ (магнитуда $M \leq 1.1$) по данным Гармского каталога за 1955–1991 гг.

суткам года. В это время ежедневно происходит около 150 землетрясений. Затем, начиная примерно с 80-х суток года – момента весеннего равноденствия, происходит постепенное уменьшение их количества, минимум достигается в середине года. В это время ежедневно регистрируется 70–80 землетрясений, т.е. в два раза меньше, чем в период зимнего максимума. После этого начинается медленный рост количества землетрясений, продолжающийся вплоть до момента зимнего максимума. При этом рост происходит намного медленнее: спад занимает примерно 100 сут, а рост около 240 сут.

На рис. 2 сопоставляется характер внутригодовых изменений сейсмичности Гармского полигона и высоты снежного покрова на метеостанции «Гарм». График сейсмичности, представленный на рис. 2,а, получен по данным всего каталога землетрясений и сглажен скользящим окном длительностью 51 сут. Для построения графика изменений высоты снежного покрова сначала по данным срочных наблюдений были рассчитаны среднесуточные значения, которые затем сглажены скользящим окном той же длительности, которая была использована при сглаживании данных о землетрясениях.

На рис. 2,б выполнено аналогичное сопоставление, но при этом, во-первых, график сейсмичности построен не по всему каталогу землетрясений за 1955–1991 гг., как это было на рис. 2,а, а по данным того же периода, за который построен график изменений высоты снежного покрова (1985–1991 гг.). Во-вторых, на нем изображена лишь первая половина года, что позволяет более детально рассмотреть наиболее интересный с точки зрения решения задач настоящей работы период таяния снега и уменьшения сейсмичности.

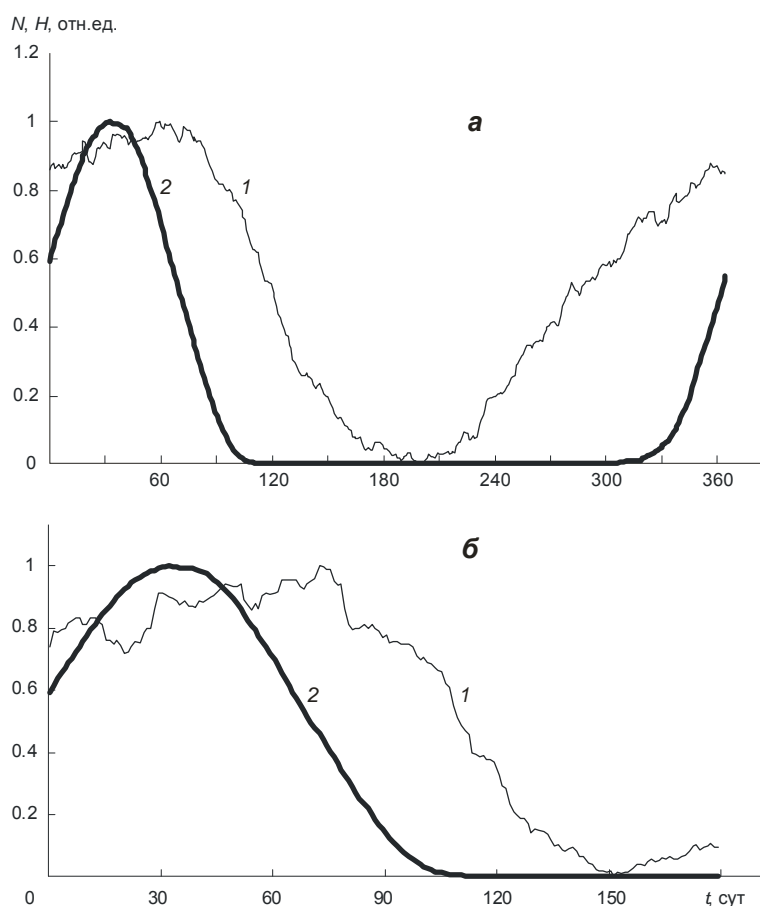


Рис. 2. Полученные методом наложения эпох изменения в течение года ежедневного количества землетрясений (1) Гармского полигона за 1955–1991 гг. (а) и 1985–1991 гг. (б) и высоты снежного покрова (2) на метеостанции «Гарм» по данным за 1985–1991 гг. (а, б)

На рис. 2 отчетливо видно очень хорошее совпадение характера изменений сопоставляемых процессов в весенний период – их графики в этот период очень похожи друг на друга. При этом изменения сейсмичности запаздывают относительно процесса таяния снега на 40–50 сут.

Поскольку осенью в период роста высоты снежного покрова не наблюдалось синхронных изменений количества землетрясений, гипотезу о возможной связи сезонных изменений сейсмичности с изменениями в течение года нагрузки на земную кору от снежной массы следует, видимо, отвергнуть. Более реалистичны, как нам кажется, представления, объясняющие сезонные изменения количества землетрясений на основе механизма гидросейсмичности [Costain et al., 1987; Rodkin, 1992]. Суть этого механизма состоит в том, что увеличение порового давления флюидов, поступающих в земную кору с дневной поверхности, уменьшает эффективное трение и тем самым облегчает возникновение разрывов [Rubee, Hubbert, 1959].

С этой точки зрения важно сопоставить данные о сейсмичности с сезонными изменениями гидрологического режима исследуемого района. Это сделано на рис. 3, где вместе с графиком сезонных изменений сейсмичности по данным за 1955–1991 гг. (см. рис. 2,а) приведен график изменений уровня воды в р. Сурхоб, полученный методом наложения эпох по данным за 1980–1983 гг. Хорошо виден противофазный характер изменений сейсмичности и уровня воды в реке.

Приведенные выше результаты согласуются с предположением о возможности объяснения природы сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона на основе механизма гидросейсмичности. Более детальные исследования этого вопроса могут быть выполнены на основе сопоставления характера изменений снежного покрова и сейсмичности по отдельным годам. Для этого в качестве примера на рис. 4 изображены графики изменения высоты снежного покрова и сейсмичности отдельно за каждый из трех лет периода 1988–1990 гг.

На рис. 4 видна вариабельность год от года обоих сопоставляемых процессов. Для исследования вопроса о том, насколько согласованно происходят изменения характера графиков сейсмичности и высоты снежного покрова год от года, обратимся к рис. 5, на

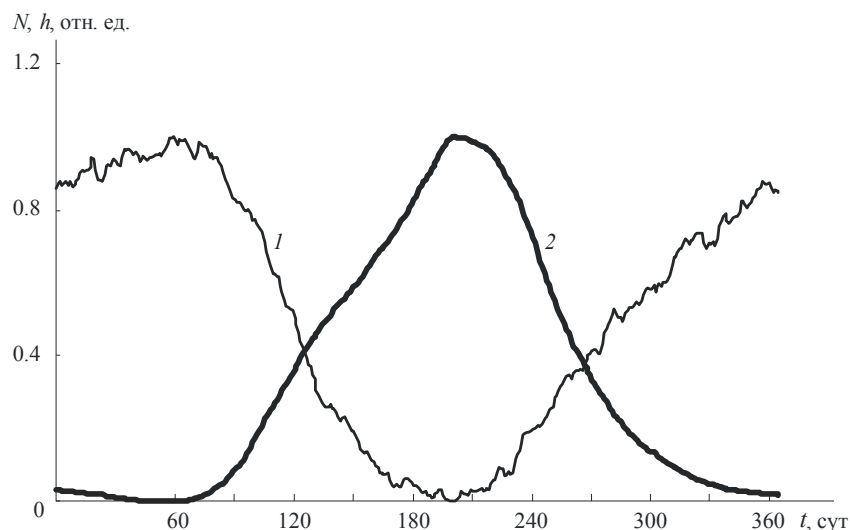


Рис. 3. Полученные методом наложения эпох изменения в течение года ежесуточного количества землетрясений (1) Гармского полигона за 1955–1991 гг. и уровня воды (2) в р. Сурхоб в районе метеостанции «Гарм» по данным за 1980–1983 гг.

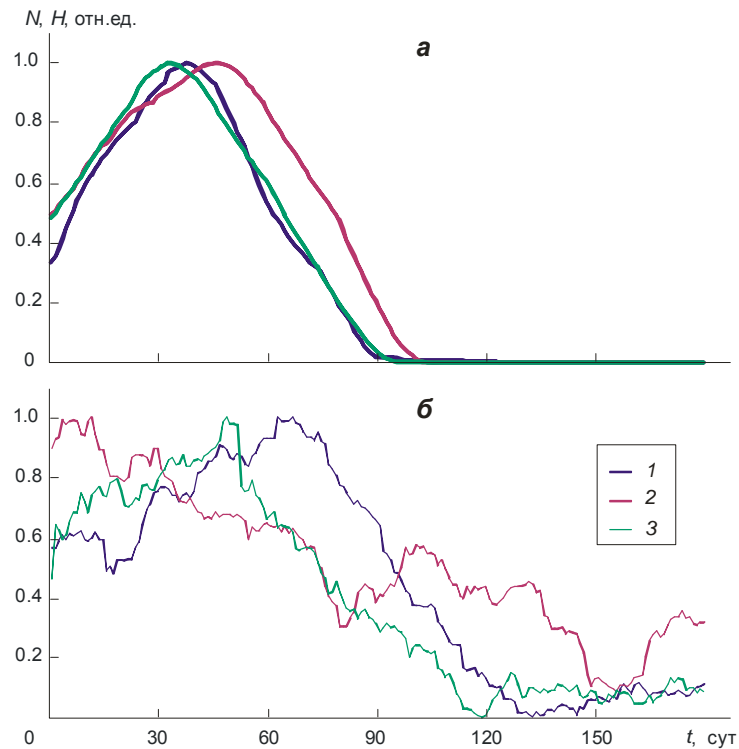


Рис. 4. Изменения высоты снежного покрова (а) и сейсмичности (б) за 1988 (1), 1989 (2) и 1990 (3) годы

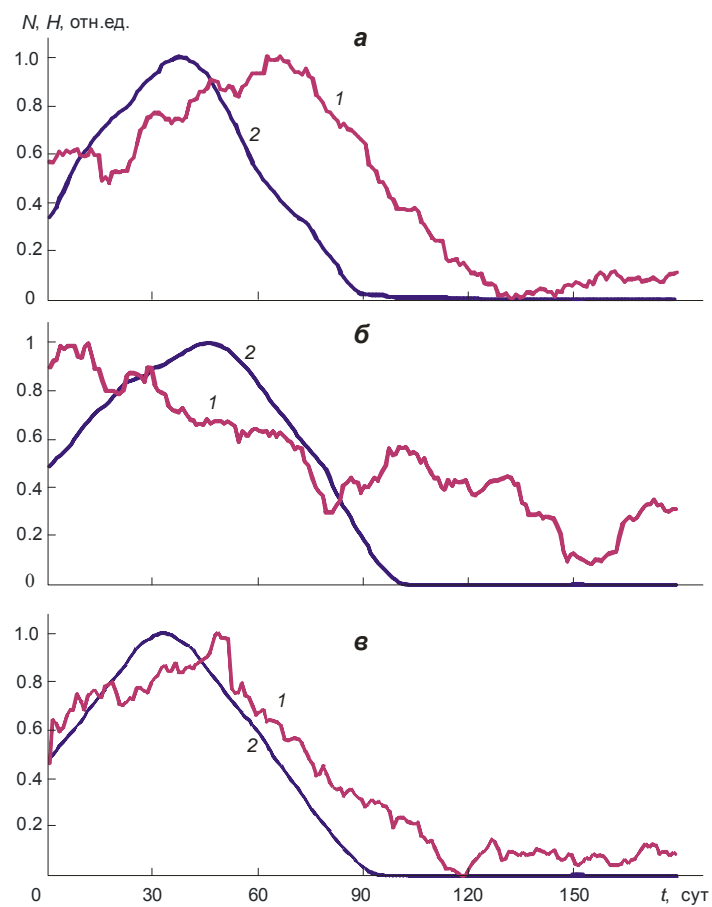


Рис. 5. Внутригодовые изменения сейсмичности (1) и высоты снежного покрова (2) в 1988 (а), 1989 (б) и 1990 (в) годах

котором те же данные, что были изображены на рис. 4, представлены отдельно для каждого года.

Как видно, фазовые соотношения между сопоставляемыми процессами сейсмичности и таяния снега не отличаются стабильностью. Так, в 1988 г. изменения сейсмичности отстают от процесса таяния снега примерно на месяц, а в 1990 г. всего на несколько суток, не более недели. График сейсмичности в 1989 г. сильно отличается по форме от графиков за другие годы; похоже, что уменьшение количества землетрясений началось еще до таяния снега.

Что это – естественная вариабельность, отражающая вероятностный характер влияния изменений гидрологического режима на сейсмичность, или факты, свидетельствующие о несостоятельности гипотезы о связи сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона с механизмом гидросейсмичности, пока неясно. Необходимы более детальные исследования этого явления.

Обсуждение результатов и заключение

Полученные результаты в основном не противоречат гипотезе о возможности связи сезонной периодичности слабых землетрясений Гармского полигона с внутригодовыми изменениями гидрорежима исследуемого района. Однако они допускают и другую интерпретацию, в частности предложенную в работах [Дещеревская, Сидорин, 2004а,б, 2005а]. В этих работах показано, что выявленные свойства сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона, в первую очередь ее проявление в диапазоне энергии землетрясений ниже уровня представительности каталога, дают основания для гипотезы о природе обсуждаемого явления, связывающей изменение количества регистрируемых землетрясений с изменением реальной чувствительности сети сейсмических наблюдений, вызванным меняющимся в течение года уровнем помех.

Повышение уровня воды в бурной горной реке Сурхоб резко увеличивает уровень сейсмического шума. Это приводит к «поглощению» слабых сейсмических сигналов, которые могли бы быть выделены зимой в более спокойный, с точки зрения уровня сейсмических помех, период. В рамках этой гипотезы с единых позиций может быть объяснен механизм возникновения как годовой, так и наблюдающейся по всему миру суточной периодичности землетрясений [Сидорин, 2004, 2005, 2009а–г, 2010; Дещеревская, Сидорин, 2005б; Журавлев и др., 2006; Зотов, 2007].

Однако имеются данные, не согласующиеся с этой гипотезой. Поэтому вопрос о природе сезонной и суточной периодичности землетрясений требует дальнейшего изучения.

Литература

- Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я. Особенности сезонной периодичности землетрясений Гармского полигона с разными энергетическими и пространственными характеристиками // Сейсмические приборы. 2004а. Вып. 40. С. 45–56.
- Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я. Причина сезонной периодичности землетрясений по данным наблюдений на Гармском полигоне // Исследования в области геофизики. М.: ОИФЗ РАН, 2004б. С. 123–130.
- Дещеревская Е.В., Сидорин А.Я. Ложная годовая периодичность землетрясений, обусловленная сезонными изменениями помех // Докл. РАН. 2005а. Т. 400, № 6. С. 798–802.

- Дещереvская Е.В., Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Гармского полигона // Докл. РАН. 2005б. Т. 402, № 3. С. 383–387.
- Журавлев В.И., Лукк А.А., Мирзоев К.М., Сычева Н.А. Суточная периодичность слабых землетрясений Центральной Азии // Физика Земли. 2006. № 11. С. 29–43.
- Зотов О.Д. Эффект выходных дней в сейсмической активности // Физика Земли. 2007. № 12. С. 27–34.
- Лукк А.А., Юнга С.Л. Сезонная периодичность ориентации механизмов очагов и количества слабых землетрясений Гармского района // Докл. АН СССР. 1979. Т. 346, № 1. С. 44–47.
- Родкин М.В. О влиянии горного оледенения на характер вертикальных движений и сейсмичность // Актуальные проблемы геофизики: Материалы VI Всесоюзной конференции молодых ученых в г. Звенигороде 16–21 апреля 1988 г. М.: ИФЗ АН СССР, 1989. С. 130–140.
- Сидорин А.Я. Влияние Солнца на сейсмичность и сейсмический шум // Сейсмические приборы. 2004. Вып. 40. С. 71–80.
- Сидорин А.Я. Полуденный эффект во временных рядах землетрясений и сейсмического шума // Докл. РАН. 2005. Т. 402, № 6. С. 822–827.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность сильных землетрясений Гармского полигона // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44, № 3. С. 70–76.
- Сидорин А.Я. Акрофаза суточной периодичности землетрясений в разных часовых поясах // Геофизические процессы и биосфера. 2009а. Т. 8, № 3. С. 56–66.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений Греции // Сейсмические приборы. 2009б. Т. 45, № 3. С. 60–76.
- Сидорин А.Я. Суточная периодичность землетрясений и ее сезонные изменения // Сейсмические приборы. 2009в. Т. 45, № 4. С. 69–84.
- Сидорин А.Я. Поиск техногенных эффектов во временных рядах землетрясений Греции // Вопросы инженерной сейсмологии. 2009г. Т. 36, № 4. С. 70–76.
- Сидорин А.Я. Сопоставление свойств суточной периодичности сейсмического шума, землетрясений и нагрузки промышленной электрической сети Греции // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Т. 37, № 4. С. 66–88.
- Штенгелов Е.С. Связь между сейсмической активностью и режимом поверхностных и подземных вод // Изв. АН СССР. 1983. № 3. С. 96–102
- Bevis M., Alsdorf D., Kendrick E., Fortes L.P., Forsberg B., Smalley Jr. R., Becker J. Seasonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32, L16308, doi: 10.1029/2005GL023491.
- Blewitt G., Lavallee D., Clarke P., Nurutdinov K. A new global mode of Earth deformation: Seasonal cycle detected // Science. 2001. V. 294. P. 2342–2345.
- Costain J.K., Bollinger G.A., Speer J.A. Hydroseismicity – A hypothesis for the role of water in the generation of intraplate seismicity // Geology. 1987. V. 15. P. 618–621.
- Grapenthin R., Sigmundsson F., Geirsson H., Arnadottir T., Pínel V. Icelandic rhythmicity: Annual modulation of land elevation and plate spreading by snow load // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33, L24305, doi: 10.1029/2006GL028081.
- Heki K. Seasonal modulation of interseismic strain buildup in northeastern Japan driven by snow loads // Science. 2001. V. 293. P. 89–92.
- Kafri U., Shapira A. A correlation between earthquake occurrence, rainfall and water level in Lake Kinnereth, Israel // Phys. Earth Planet. Inter. 1990. V. 62. P. 277–283.
- Muco B. Statistical investigation on possible seasonality of seismic activity and rainfall-induced earthquakes in Balkan area // Phys. Earth Planet. Inter. 1999. V. 114. P. 119–127.
- Rodkin M.V. Hydroseismicity: New evidence // J. Geodynamics. 1992. V. 15, N 3/4. P. 247–260.

- Rubee W.W., Hubbert M.K.* Role of fluid pressures in mechanics of overthrust faulting // Bull. Geol. Soc. Amer. 1959. V. 70. P. 167–206.
- Saar M.O., Manga M.* Seismicity induced by seasonal groundwater recharge at Mt. Hood, Oregon // Earth Planet. Science Lett. 2003. V. 214. P. 605–618.
- VanDam T.M., Wahr J., Milly P.C.D., Shmakin A.B., Blewitt G., Lavallee D., Larson K.M.* Crustal displacements due to continental water load // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28. P. 651–654.
- Watson K.M., Bock Y., Sandwell D.T.* Satellite interferometric observations of displacements associated with seasonal groundwater changes in the Los Angeles Basin // J. Geophys. Res. 2002. V. 107(B4). P. 2074, doi: 10.1029/2001JB000470.

Сведения об авторе

СИДОРИН Александр Яковлевич – кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией, ИФЗ РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. Тел.: (499) 254-42-68. E-mail: sidorin@ifz.ru

**SYNCHRONOUS SEASONAL CHANGES IN HYDROLOGICAL
REGIME AND WEAK EARTHQUAKE ACTIVITY
IN GARM REGION**

A.Ya. Sidorin

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The distinctive annual periodicity in weak earthquake activity in Garm region and its possible origin were described in the author's previous papers. In this paper we make an attempt to relate the annual earthquake periodicity to such a phenomenon as hydroseismicity. Within the frameworks of this study we compare the seasonal variations in seismicity, snow height and Surkhob River water level. As a result, we revealed very good coincidence of the form of spring changes in snow height and seismicity. It is important that according to averaged data seismicity follows snow height changes with some lag. However, we found a couple of cases in some years, when the number of earthquakes began decreasing simultaneously or even a little before snow melting. We also discovered that annual changes in the river water level and seismicity occur in the opposite phase. Possible approaches to interpretation of the results are discussed.

Keywords: seismicity, annual periodicity, seasonal changes, Garm region, hydroseismicity.