

Анахов П. В.

Возможность возбуждения землетрясения 26 апреля 1986 в районе Чернобыльской АЭС наполнением охладителя

(перевод с украинского языка выполнил автор)

Введение. 26 апреля 1986, за 16 с до первого взрыва IV блока Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), в этом районе произошло локальное землетрясение с эпицентром на расстоянии 10 км к востоку от площадки станции (рис. 1) [1].

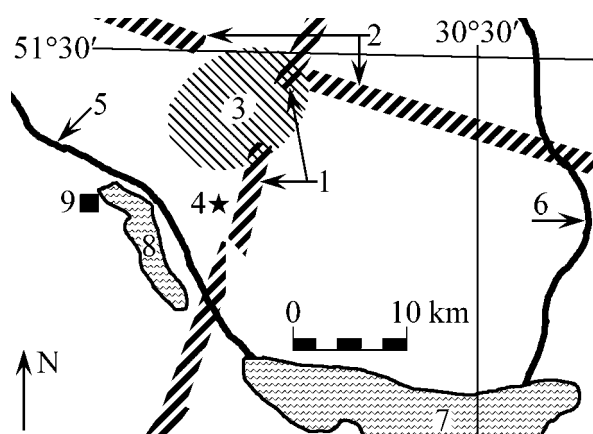


Рис. 1. Схема района ЧАЭС:

1 – Тетеревский разлом [2], 2 – Юж.-Припятский разлом [3] 3 – область повышенной сейсмичности [3], 4 – эпицентр землетрясения [1], 5 – р.

Припять, 6 – р. Днепр, 7 – Киевское море, 8 – охладитель ЧАЭС, 9 – площадка ЧАЭС

Сделано предположение, что авария ЧАЭС обусловлена сейсмическим воздействием на вибрационно-незащищенную систему ее реактора [1, 4].

Вопрос о возможных причинах землетрясения на асейсмичной, как считалось, территории площадки АЭС, не рассматривался.

Анализ последних исследований и публикаций. Развитие инструментальных геофизических наблюдений показало, что древние платформы подвержены современным деформациям, хотя и значительно более медленным, чем их края. Локальные землетрясения, эпицентры которых находятся в границах литосферных тектонических плит, выражаются в тектонических движениях вдоль зон разломных дислокаций. Таким образом, глубинные разломы, пересекающие кору и уходят, возможно, в мантию, являются зонами повышенной мобильности или проницаемости вещества земной коры [2].

В частности, наблюдения изменений микросейсмических колебаний в области повышенной сейсмичности Японских островов, принадлежащей

местоположению пересечения тектонических плит, позволило прогнозировать Большое тохокусское землетрясение 11 марта 2011, в результате которого произошла радиационная авария на Фукусимской АЭС-1 [5].

В 1969 году Межведомственная комиссия по сейсмологии и сейсмостойкого строительства ЮНЕСКО, обеспокоенная неоднократными сообщениями о замеченной связанности землетрясений с водохранилищами, рекомендовала организовать исследования эффекта возбуждения землетрясений после наполнения водохранилищ [6].

Показательными примерами сейсмической активности стали водохранилище Мид (США) площадью 640 км², охладитель атомной электростанции Монтичелло (США) площадью 27,5 км².

Нагрузка, вызванная наполнением водохранилища Мид, привела к опусканию земной поверхности и пробудила тектонические движения вдоль разломов, приуроченных к депрессионной зоне. Это стало причиной нескольких сотен небольших землетрясений и нескольких тысяч подземных толчков [7].

Наполнение охладителя Монтичелло вызвало диффузию поровой жидкости в изолированные зоны основания с низкой водопроницаемостью. Снижение напряжения плоскостей разломов обусловило тектонические движения вдоль них, что стало причиной возникновения землетрясений [8].

В непосредственной близости к площадке станции проходят Тетеревский и Южно-Припятский тектонические разломы (рис. 1). Область их пересечения является источником сейсмического нерегулярного шума, возникающего в результате тектонических сдвигов [2].

В пределах Киевского моря (рис. 1) площадью 922 км², наполненного течение 1964-66 годов, вплоть до 1992 года проявлений сейсмоактивности не было отмечено. Сделан вывод, что этот водоем в качестве возбудителя сейсмической активности и стимулятора землетрясений рассматривать нет оснований, однако ему может принадлежать определенная роль в активизации колебаний земной поверхности [2].

Охладитель Чернобыльской АЭС (рис. 1) площадью 21,7 км² в качестве потенциального возбудителя сейсмической активности не рассматривался.

Формулировка целей статьи. Анализ возможности возбуждения землетрясения в районе Чернобыльской АЭС наполнением водохранилища-охладителя.

Изложение основного материала. При наполнении водохранилища создается депрессионная зона, в пределах которой возникают новейшие процессы раздражения сейсмически активных тектонических разломов [7, 8].

Особенностью депрессионной зоны является, во-первых, приуроченность геологических границ зоны границам действия геофизических процессов, во-вторых, приуроченность времени существования зоны длительности процессов (их жизненным циклом) [9].

Площадь воронки опускания земной поверхности района гидроузла превышает площадь водного зеркала (например, площадь депрессионной зоны водохранилища Мид составляет 30 тыс. км² при площади зеркала 640 км²; изолинии повторяют контуры водохранилища), время релаксации, в течение которого начальное напряжение в земной коре уменьшается в e раз (37% от первоначального значения), может составлять до 30 лет [10]. Охладитель ЧАЭС наполнен примерно в 1977 г. [11].

Мощность земной коры в районе 30-км зоны ЧАЭС составляет 40 км [2]. В результате бурения сверхглубоких скважин (Миннибаевская глубиной 5099 м; Кольская – 12 261 м, Саатлинская – 8 324 м, Гравберг – 6 670 м, КТВ – 9 101 м) трещиноватые проницаемые зоны были обнаружены по всей глубине [12]. Среднее расстояние r распространения грунтовых вод в геологической среде за время t оценивается как $r = \sqrt{4\pi Kt}$, где $K=0,01-10$ м²/с – коэффициент гидравлической диффузии [13]. При таких значениях коэффициента диффузии проникновения грунтовой воды на глубину 12,261 м передается от 14 дней до 37 лет.

Смещение крыльев фрагмента сейсмически активного тектонического разлома можно вызвать путем раздражения избранного фрагмента

микросейсмами [14]:

- высокочастотные (ВЧ) микросейсмические колебания, обусловленные работой сейсмических вибраторов, вызывают смещение крыльев фрагмента сейсмически активного тектонического разлома (полоса частот стационарных вибраторов составляет 3 600-54 000 срh [15], где срh – cycles per hour – циклов в час);

- среднечастотные (СЧ) микросейсмические колебания, обусловленные раскачиванием высотного 30-метрового сооружения, вызвали смещение крыльев фрагмента сейсмически активного тектонического разлома (частота раскачки 900-1 200 срh).

Микросейсмы возникают преимущественно в результате передачи энергии морских волн в земной коре [16]. Спектр частот волн представлен на рис. 2.

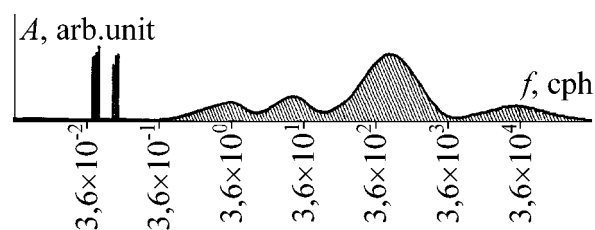


Рис. 2. Спектр частот поверхностных морских волн. Огибающая указывает оценочные амплитуды [17]

Согласно типологической классификации морские волны можно подразделить на диапазоны:

- низкочастотные (НЧ) волны, которые составляют: лунно-солнечные приливы; анемобарические волны, образующиеся при изменении атмосферного давления; сейши; сезонные колебания уровня воды, связанные с изменениями течений, господствующих ветров и т.д.;

- среднечастотные инфрагравитационные волны в диапазоне 20-120 срh [18];

- высокочастотные волны с двугорбым энергетическим спектром, первый максимум их обусловлен действием прогрессивных волн и принадлежит области частот вокруг 216 срh, второй – обусловлен действием прогрессивных и стоячих волн, и принадлежит области частот вокруг 540 срh [16, 18].

Микросейсмы распространяются на большие расстояния [16, 19].

Например, вблизи плотины Нурекской ГЭС амплитуда смещений почвы для основного тона антропогенных ВЧ-микросейсм, обусловленных работой агрегатов ГЭС, составляет примерно 1 мкм, убывая с расстоянием; причем микросейсм были зарегистрированы на расстояниях до 70 км от источников [20].

Центральные частоты пиков в спектре ВЧ-микросейсм, вызванных работой мощных машин, рассчитываются по формуле: $f=F/N$, где F – частота электрической сети (50 Гц=180 000 с/ч), N – целое число, равное числу пар полюсов машины. Спектры микросейсм, которые обусловлены работой помпы и наблюдаемые на территории площадки Ленинградской АЭС, содержат монохроматические сигналы на частотах 30 000, 45 000, 60 000 с/ч (8,(3) Гц (50 Гц/6 пар полюсов), 12,5 Гц (50/4), 16(6) Гц (50/3)) [20].

Систему охлаждения ЧАЭС составляют 2 петли охлаждения по 4 циркуляционных насоса (ЦН). Причем 3 насоса петли используются при нормальной эксплуатации, четвертый – в режиме готовности в качестве резерва для использования при необходимости отключения одного из трех работающих насосов [21]. В 01:03 и 01:07 26 апреля дополнительно к шести работающим ЦН было подключены еще два. В результате ревом ревели все восемь ЦН с превышением по отдельным насосам расходов, установленных регламентом. Такой режим работы запрещен из-за опасности срыва подачи насосов и возможности возникновения вибраций магистралей контура. Примерно в 01:24 прозвучали последовательно два взрыва [11].

Влияние микросейсмических колебаний на геологическую среду может заключаться в том, что их действие обеспечивает направленную эволюцию деформационных процессов в земной коре, обуславливая накопление ее дефектов [22].

Момент достижения уровня смещения во фрагменте сейсмоактивному разлому определяется интегралом суммарного повреждения [23]:

$$E_f = \int_0^{N_f} \frac{dN}{N_f [\Delta\varepsilon(N)]} = 1, \quad (1)$$

где N – количество циклов действия микросейсмической волны; N_f – количество циклов до смещения; $\Delta\varepsilon$ – амплитуда деформации.

Наблюдено, что штормовые микросейсмические колебания выступают как механизм разрядки напряжения земной коры. В частности:

- широкополосные штормовые микросейсмы в северо-западной части Тихого океана обуславливают ослабление сейсмической активности при одновременном росте суммарной сейсмической энергии слабых землетрясений [24];

- широкополосные штормовые микросейсмы в районах Курильских островов, озера Байкал, в которых отдельно выделены созданные сейшмами НЧ колебания, стимулируют снятия напряжений в земной коре [19];

- НЧ-микросейсмы, обусловленные полем приливных напряжений и деформаций, существенно влияют на возникновение землетрясений [25]; также обнаружено присутствие суточных и полусуточных периодичностей в последовательности афтершоков ($M \geq 4$) Большого тохокуского землетрясения [26];

- широкополосные штормовые микросейсмы в районе Курильских островов, в которых отдельно выделены СЧ колебания (450-720 срп), стимулируют разрядку тектонического напряжения в прибрежных зонах относительно небольшими, но частыми землетрясениями [27].

Выводы. Рассмотрена возможность смещения крыльев фрагментов сейсмически активных тектонических разломов при наполнении водохранилища, за счет опускания земной поверхности вследствие нагрузки; снижения напряжения плоскостей разломов вследствие диффузии поровой жидкости в изолированные зоны основания; накопления дефектов в результате действия микросейсмических колебаний.

Литература:

1. Страхов В. Н. Сейсмические явления в районе Чернобыльской АЭС / В.

Н. Страхов, В. И. Старостенко, О. М. Харитонов и др. // Геофизический журнал. – 1997. – Т. 19, №3. – С. 3-15.

2. Отчет о результатах доизучения глубинного строения литосферы района расположения Чернобыльской АЭС в связи с оценкой сейсмической опасности строительства и эксплуатации промообъекта / Институт геофизики им. С. И. Субботина АН Украины. – К. – 1992. – 256 с.

3. Казаков С. В. Геофизические исследования и сейсмоструктура района размещения Чернобыльской АЭС / С. В. Казаков, В. Д. Омельченко, С. И. Рыбалко. – Чернобыль: Изд-во НПО "Припять", ИГФ НАНУ, 1994. – 64 с.

4. Аптикаев Ф. Ф. О сейсмическом событии 26 апреля 1986 года в районе Чернобыльской АЭС / Ф. Ф. Аптикаев, Е. В. Барковский, О. К. Кедров и др. // Физика Земли. – 2000. – №3. – С. 75-80.

5. Международная заявка WO 2012/161606 A1, МПК G 01 V 1/28, G 01 V 9/00. Способ прогнозирования сейсмического события / Любушин А. А. – №PCT/RU2011/000346; заявл. 20.05.2011.; опубл. 29.11.2012.

6. Report and Recommendations SC/CONF.164/3 / United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Joint Committee on Seismology and Earthquake Engineering (Paris, 27-29 August 1969). – 11 p.

7. Carder D. S. Seismic investigations in the Boulder Dam area, 1940-1944, and the Influence of reservoir loading on local earthquake activity // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1945. – Vol. 35, No. 4. – Pp. 175-192.

8. Zoback M. D., Hickman S. In Situ Study of the Physical Mechanisms Controlling Induced Seismicity at Monticello Reservoir, South Carolina // Journal of Geophysical Research. – 1982. – Vol. 87, No. B8. – Pp. 6959-6974.

9. Анахов П. В. Прирошення сейсмічної інтенсивності депресійної зони // Сб. науч. тр. Sworld. Мат. междунар. н.-практ. конф. "Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития '2012". – Вып. 3, Т. 35. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2012 – 312-459. – С. 81-85.

10. Тетельмин В. В. Воздействие строительства крупных гидроузлов на изостатическое состояние земной коры // Гидротехническое строительство. –

2009. – №11. – с. 46-50.

11. Абагян Л. А. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ / Л. А. Абагян, В. Г. Асмолов, А. К. Гуськова и др. // Атомная энергия. – 1986. – Т. 61, вып. 5. – С. 301-320.

12. Киссин И. Г. Флюиды в земной коре: геофизические и тектонические аспекты / И. Г. Киссин. – М.: Наука, 2009. – 328 с.

13. Parotidis M., Rothert E., Shapiro S. A. Pore-pressure diffusion: A possible triggering mechanism for the earthquake swarms 2000 in Vogtland/NW-Bohemia, central Europe // Geophysical Research Letters. – 2003. – Vol. 30, No. 20. – 4 p.

14. Патент РФ №2273035, МКИ G01V 9/00. Способ управления режимом смещений во фрагментах сейсмоактивных тектонических разломов: Псахье С. Г., Попов В. Л., Шилько Е. В. и др. – №2004108514/28; Заявлено 22.03.2004.

15. Алексеев А. С. и др. Вибрационные источники / Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал "Гео" Изд-а СО РАН, 2004. – С 9-18.

16. Монахов Ф. И. Низкочастотный сейсмический шум Земли / Ф. И. Монахов. – М.: Наука, 1977. – 96 с.

17. Munk W. H. Origin and generation of waves / Proceedings 1st International Conference on Coastal Engineering. – L. Beach, California: ASCE, 1950. – Pp. 1-4.

18. Овчаренко В. В. Трансформация инфрагравитационных и ветровых волн в зоне перехода "океан – земная кора": дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.28 / Овчаренко Владимир Владимирович. – Владивосток, 2008. – 122 с.

19. Табулевич В. Н. Влияние штормовых вибраций на землетрясения / В. Н. Табулевич, Е. Н. Черных, В. А. Потапов, Н. Н. Дреннова // Природа, 2002, №10. – С. 12-16.

20. Капустян Н. К. Техногенное вибровоздействие на литосферу - объект планетарных исследований XXI века / М.: Наука, 2003. (Проблемы геофизики XXI века: в 2 кн. / Отв. А. В. Николаев. – Кн. 2). – С. 213-244.

21. Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1: INSAG-7: Доклад Международной консультативной группы по ядерной безопасности. – Вена:

МАГАТЭ, 1993. – 146 с.

22. Адушкин В. В. О влиянии сейсмических колебаний на развитие тектонических деформаций / В. В. Адушкин, Г. Г. Кочарян, Д. В. Павлов и др. // Доклады РАН. – 2009. – Том 426, №1. – с. 98-100.

23. Островский А. А. Возможная причина сезонной периодичности некоторых Калифорнийских землетрясений // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 313, №1. – С. 83-86.

24. Ярошевич М. И. Некоторые особенности динамики циклонической и сейсмической активности в северо-западной части Тихого океана // Доклады РАН. – 2008. – Т. 240, №5. – С. 674-678.

25. Довбнич М. М. О вибрационном воздействии лунно-солнечных приливов на геодинамические процессы / М. М. Довбнич, В. П. Солдатенко // Доповіді НАН України. – 2008. – №12. – С. 96-100.

26. Datta A., Kamal. Triggering of aftershocks of the Japan 2011 earthquake by Earth tides // Current Science. – 2012. – Vol. 102, No. 5. – Pp. 792-796.

27. Науменко Б. Н. О явлении частичной ликвидации тектонических напряжений штормовыми микросейсмами // Известия АН СССР. Серия Физика Земли. – 1979. – №8. – С. 72-75.