

УДК 551.46

И.И. Диденкулова, А.И. Зайцев, Е.Н. Пелиновский

Цунами 1806 года в Козьмодемьянске на Волге

Проанализированы данные цунами, имевшего место в 1806 г. на р. Волге в районе Козьмодемьянска после землетрясения. Предполагается, что наблюдаемые колебания поверхности воды могут быть объяснены известным эффектом моретрясения над очагом подводного землетрясения. Также выполнено математическое моделирование распространения волн цунами.

В последнее время установлено, что цунами могут возникать не только в морях и океанах, но и в реках и водохранилищах. Такие волны могут возникать вследствие различных причин, а их разрушительное действие может быть весьма значительным в промышленных и густонаселенных районах. Так, в 1597 г. вблизи г. Нижний Новгород сход оползня вызвал цунами, достигавшее 25 – 30 м [1 — 3]. Другое событие произошло также на Волге вблизи города Козьмодемьянска. Река Волга протекает, по существу, в несейсмической зоне. Тем не менее известны случаи, когда слабые землетрясения на Волге все же вызывали цунами. В работе [4] приводится следующее описание подобного явления: «12 сентября 1806 года в 9-ом часу вечера вблизи города Козьмодемьянска на Волге лейтенантом Балле замечено “нарочитое колебание на воде”, происходившее от землетрясения, которое, сколько он заметить мог, началось при ясном небе и тихом ветре от запада к востоку и продолжалось около 5 секунд». Анализ геологических и исторических данных позволил сделать оценку параметров землетрясения 1806 г.: магнитуда 3,7 (глубина очага 5 км), интенсивность 6 баллов [4]. Отметим, что со времени землетрясения в Козьмодемьянске на Средней Волге были зафиксированы еще два землетрясения с магнитудами от 3 до 4: в Елабуге в 1851 г. и в Сокских Ярах в 1914 г. [4]. Это свидетельствует о необходимости изучения возможных цунами на Волге. Случай 1806 г. анализируется в данной работе.

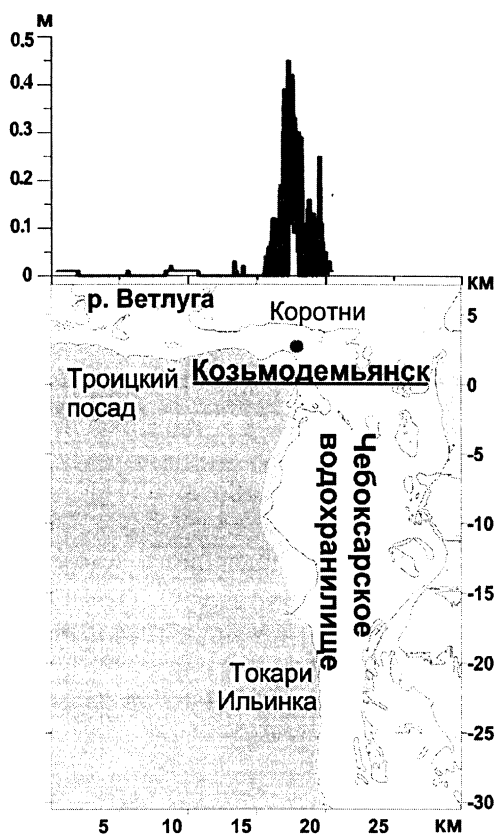
На наш взгляд, описанное «нарочитое колебание на воде» можно связать с известным механизмом моретрясения над очагом подводного землетрясения [5 — 7]; в этом случае волны на воде возбуждаются за счет параметрического резонанса в осциллирующем гравитационном поле. Частота этих волн равна половине частоты колебаний дна. Соответствующая длина поверхностной волны при моретрясении по известной частоте определяется из дисперсионного соотношения для гравитационных поверхностных волн:

$$\omega^2 = \frac{2\pi}{\lambda} g, \quad (1)$$

где ω — частота колебаний водной поверхности, λ — длина волны, g — гравитационная постоянная. Учитывая, что характерные сейсмические частоты колебаний почвы при близком землетрясении заключены в интервале от 3 до 5 Гц [8], характерные частоты генерируемых на воде волн составляют 1,5 — 2,5 Гц, а длины — 20 — 70 см. Максимальную амплитуду такой волны можно оценить из известного соотношения для крутизны предельной волны Стокса, равной 0,143. Отсюда следует, что амплитуда предельной волны на воде меняется в интервале от 3 до 10 см. Такая волна может быть замечена наблюдателем. Скорее всего, это и есть то «нарочитое колебание на воде», которое наблюдал во время землетрясения лейтенант Балле.

Теперь обсудим возможность генерации более длинных волн, с которыми обычно связывают явление цунами. Характерные размеры этих волн грубо можно оценить с помощью эмпирических формул [9]:

$$\lg(H) = 0,8M - 5,6, \quad \lg(R) = 0,5M - 2,2, \quad (2)$$



Распределение рассчитанных высот подъема уровня воды (зачерненным кружком отмечено местоположение источника землетрясения)

где H — амплитуда смещения в очаге в метрах, R — средний радиус очага в километрах, а M — магнитуда землетрясения. Отсюда следует, что источник должен иметь радиус 450 м и высоту 2 мм. Разумеется, точность этих формул, полученных для больших магнитуд, невысока, и в них не учитываются возможности локальных явлений (оползней), которые могли бы усилить цунами. Вместе с тем известен случай, когда слабое землетрясение с такой же магнитудой 3,7 вызвало заметное цунами с высотой 80 см (1992 г., о. Хайнань в Тонкинском заливе) [10].

Поскольку механизм генерации длинных волн неизвестен, мы попытаемся оценить локальность появления волны цунами с применением эквивалентного гидродинамического очага с радиусом 450 м, но с высотой большей, чем это следует из

(2): она выбиралась равной 1 м (по существу, высота волны в очаге используется только для нормировки). Источник размещался в эпицентре землетрясения 1806 г. (56°2' с.ш., 46°5' в.д.). Моделирование проводилось в рамках теории мелкой воды с помощью конечных разностей [11]. Граничные условия на речном створе далеко от рассматриваемой области (вниз и вверх по течению) соответствовали свободному уходу волны. На береговой границе использовалось условие отражения. Батиметрия реки и топография суши брались из [12], шаг по пространству составлял 25 м, временной шаг выбирался из условия Куранта и был равен 0,5 с. Течение реки не учитывалось, поскольку даже во время паводка в этом месте оно не превышает 1,5 м/с, в то время как скорость поверхностных волн для средней глубины водохранилища 4,2 м значительно больше (6,5 м/с). Моделирование распространения волны от источника показало, что в течение первых 5 мин амплитуда волны падает вдвое, а дальше затухает постепенно. Распределение рассчитанных высот подъема уровня воды на правый берег реки представлено на рисунке, откуда видно, что распространение носит локальный характер. Большая волна, как и следовало ожидать, наблюдается только вблизи источника.

Таким образом, расчеты цунами 1806 г., как и выполненные ранее для цунами 1597 г., подтвердили локальность явления цунами в реках.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (03-05-64975, 05-05-64265), ИНТАС (03-51-4286) и НШ-1641.2003.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соловьев С.Л. Цунами // Техника молодежи. – 1978. – № 8. – С. 38.
2. *Didenkulova I., Pelinovsky E.* The 1597 tsunami in the river Volga // Proceedings of Int. Workshop «Local Tsunami Warning and Mitigation». – Moscow, 2002. – P. 17.
3. Диденкулова И.И., Зайцев А.И., Красильщиков А.А. и др. Нижегородское цунами 1597 г. на реке Волге // Изв. акад. инж. наук Российской Федерации. Прикладная математика и механика. – М. – Н. Новгород. – 2003. – 4. – С. 170.
4. Татевосян Р.Э., Мокрушина Н.Г. Историческая сейсмичность Среднего Поволжья // Изв. РАН. Физика Земли. – 2003. – 39, № 3. – С. 13.
5. Александров В.Е., Басов Б.И., Левин Б.В. и др. О формировании диссипативных структур при моретрясениях // Докл. АН СССР. – 1986. – 289, № 5. – С. 1071.
6. Носов М.А. Возбуждение цунами подвижками дна с учетом сжимаемости воды // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 6. – С. 116.
7. Левин Б.В. Цунами и моретрясение в океане // Природа. – 1996. – № 5. – С. 48.
8. Республиканские строительные нормы. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. РСН 65 – 87. – Государственный комитет РСФСР по делам строительства. – 1988.
9. Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами. – Н. Новгород: Ин-т прикладной физики РАН, 1996.
10. *Lander J., Whiteside L., Lockridge P.* Two decades of global tsunamis 1982 — 2002 // Sci. Tsunami Hazards. – 2003. – 21, № 1. – P. 3.

11. *Goto C., Ogawa Y., Shuto N. et al.* Numerical method of tsunami simulation with the leap-frog scheme (IUGG/IOC Time Project) // IOC Manual. UNESCO. – 1997. – № 35. – 96 p.
12. *Атлас* единой глубоководной системы европейской части РСФСР. Т. 5. Река Волга. – Минречфлот РСФСР, 1988. – 117 с.

Нижегородский государственный технический
университет
Институт прикладной физики РАН,
Нижний Новгород

Материал поступил
в редакцию 26.05.05

ABSTRACT Data on tsunami near Kozmodemyansk in 1806 in the Volga River are analyzed. The observed water level oscillations are assumed to be explained by the known effect of a seaquake above the source of the underwater earthquake. The tsunami wave propagation is also numerically simulated.