

УДК 550.341

ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ СЕВАНА И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Казарян А.С., Тоноян В.С., Хачикян А.С.

Ա.Ս. Գազարյան, Վ.Ս. Տոնոյան, Ա.Ս. Խաչիկյան
Սևանա լճի մակարդակի փոփոխությունները և երկրաշարժերը

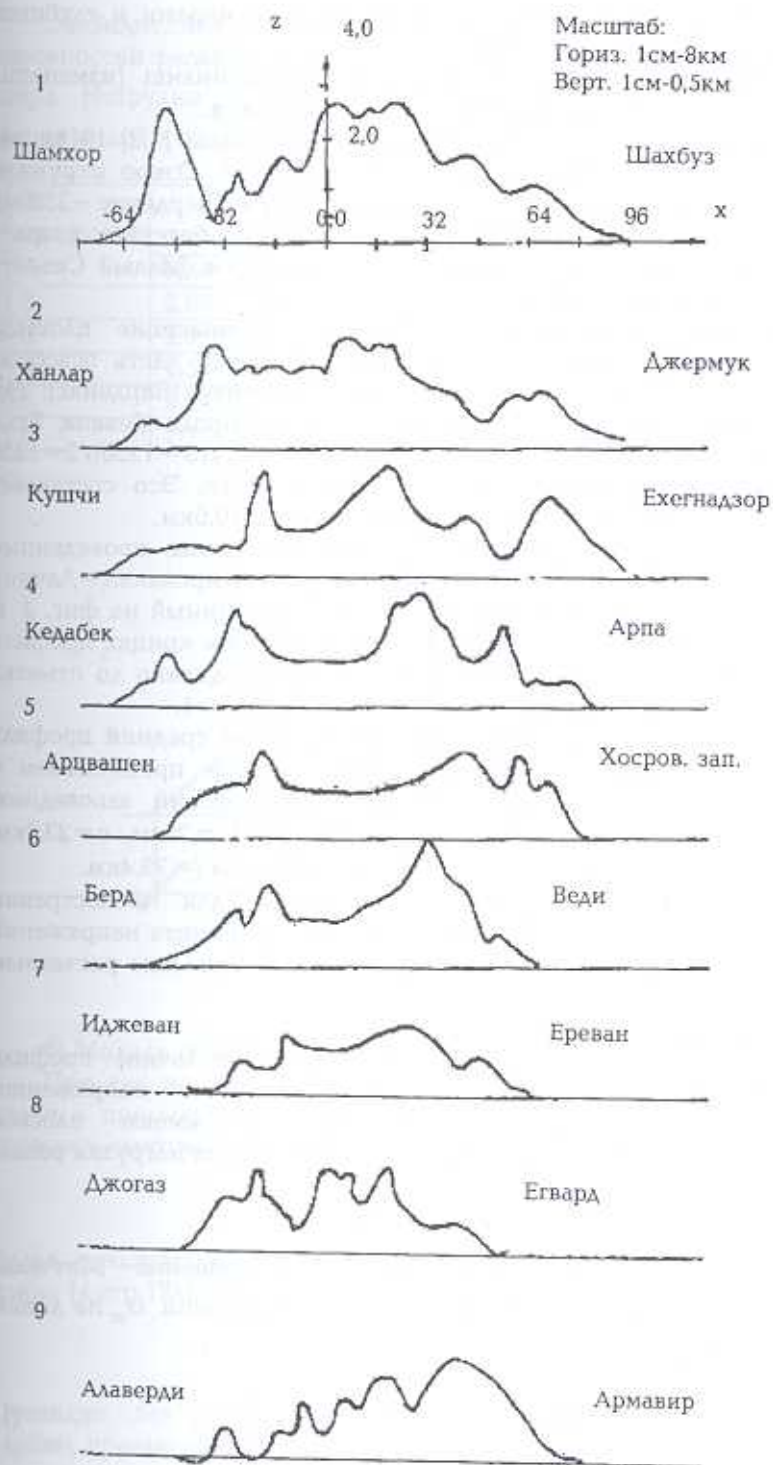
Աշխատանքում քննարկվում է երկրաշարժի նախապատրաստության և թողարկման գործընթացի վրա ջրամբարների մակարդակի փոփոխության ազդեցության հնարավոր լինելը երկրակեղևի ջրամբարից ներքև տեղակայված շերտերի վրա բեռնվածության նվազման և աճման հետևանքով: Վերջին 60 տարում Սևանա լճի մակարդակի իջեցման օրինակով ցույց է տրվում, որ այդ փոփոխությունները այնքան նշանակալից են, որ կարող են ծառայել որպես երկրաշարժի թողարկման նխանիզմ: Լարումների փոփոխության գնահատման համար աշխատանքում կիրառված հարթ և տարածական մոդելները կարող են օգտագործվել նաև այլ նման իրավիճակներում:

L.S. Ghazarian, W.S. Tonoian, A.S. Khachikian
The Changes of Level of Lake Sevan and Earthquakes

Обсуждается возможность влияния изменений уровней водохранилищ на процесс подготовки и запуска землетрясений вследствие увеличения или уменьшения нагрузки на нижележащие слои земной коры. На примере снижения уровня озера Севан за последние 60 лет показывается, что эти изменения настолько значительны, что могут быть спусковым механизмом для землетрясений. Примененные здесь плоские и пространственные модели оценки изменений напряжений могут быть использованы и в других аналогичных ситуациях.

Повышение или понижение уровня больших водохранилищ и озер по разным причинам могут происходить быстрее, чем естественные процессы изменения рельефа Земли. За относительно короткий срок происходит значительное изменение нагрузки на нижележащие слои коры Земли. Достаточно ли велики эти изменения для влияния на ход подготовки или запуска землетрясения? Для ответа на этот вопрос здесь делается попытка оценить изменения напряжений в верхнем слое коры земли вследствие понижения уровня озера Севан за последние 60 лет. Такие оценки могут быть проведены и для других случаев изменений уровней водохранилищ.

1. За последние 60 лет уровень Севана снизился на 19 м. Это время сопоставимо со временем подготовки землетрясений (несколько десятков или сотен лет). Естественные изменения рельефа (эрозия, таяние вечных льдов и др.) происходят обычно в геологическом масштабе времени, кроме катастрофических явлений типа извержений вулканов, землетрясений. Такое относительно быстрое изменение уровня напряжений может, в принципе, влиять на процесс подготовки и запуска землетрясений. Для выяснения реальности такого влияния необходимо оценить величину изменения напряжений и радиус их действия и сопоставить эти оценки



Фиг. 1.

с напряжениями при землетрясениях, а также с размерами и глубиной расположения очагов землетрясений.

Другие воздействия изменений уровней водохранилищ (изменения режима фильтрации, климата) здесь не рассматриваются.

2. Отметка зеркала воды озера Севан до спуска была [1,2] 1916м над уровнем моря, площадь поверхности озера - 1416 км². Озеро окружено хребтами: Гегамский (Аждаак - 3598м), Варденисский (Варденис - 3520м), Арегуни, Севанский (Гинал - 3367м). Водосборный бассейн озера - 4891км², средняя глубина - 41,3м, Большой Севан - 37,7м, Малый Севан - 50,8м, наибольшая глубина - 98,7м.

Ныне площадь озера составляет 1256км². Уменьшение площади поверхности - 160км², понижение уровня - 19м. Большая часть освобожденной от воды площади находится в долине Масрика (Варденис), где образовалась равнина площадью 15x20 км² и около города Севана. Если принять за среднее значение площади $S_{cp} = 1416 - (1416 - 1256)/2 = 1336$ км², то дефицит массы воды будет $G = 2,5 \times 10^{13}$ кг. Это составляет цилиндрический объем воды высотой 19м и радиусом 20,6км.

Приведенные на фиг. 1 профили Севанской впадины, проведенные перпендикулярно центральной оси впадины (линия Кировакан - Лачин), показывают, что в среднем профили имеют вид, показанный на фиг. 2. К юго-востоку впадина шире, чем к северо-западу. В своих концах профили наклонно спускаются к долине Куры и к Араратской долине до отметки 1000м. Осредненные данные профилей приведены в табл. 1.

Выполняя осреднение для всех профилей, получен средний профиль Севанской впадины (фиг. 2). Эти осредненные данные приписываем к центральному профилю по линии Арцвашен - Хосровский заповедник. Для этого осредненного профиля имеем $2\beta = 175,6^\circ$, $2a = 25$ км, $c = 23,8$ км, $\alpha = 2,2^\circ$, $b = 69,6$ км, $H = 1,58$ км, $h_0 = 0,9$ км, длина впадины $l = 78,4$ км.

3. Для большей убедительности, а также для иллюстрации применения в других аналогичных случаях, оценки дефицита напряжений вследствие снижения уровня озера проведены по нескольким расчетным схемам.

а) Модель полуплоскости.

Считая, что вдоль центральной оси (Кировакан - Лачин) профиль меняется мало, принимаем, что в этом направлении напряженно-деформированное состояние не меняется, т.е. имеем плоское деформированное состояние (фиг. 3а), где распределенная нагрузка равна

$$P_1 = \frac{G \cdot g}{2a \cdot l} = 0,12 \times 10^8 \text{ Н}$$

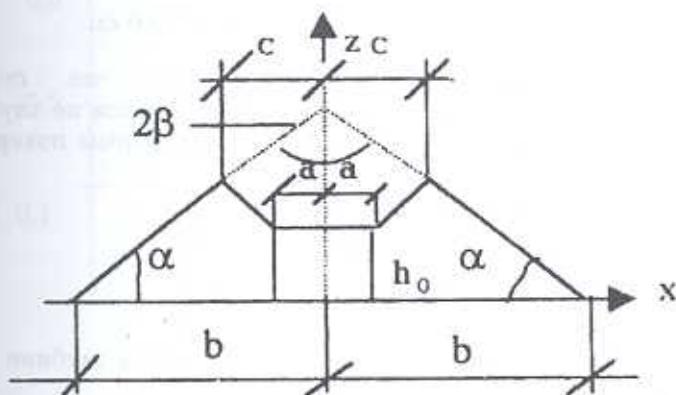
Игнорируя неровностями, можно применять решение Митчелла [3, стр.366] для полуплоскости. Для нормальных напряжений σ_{zz} на линии $x = 0$ по этому решению имеем

$$\sigma_{zz}(0, z) = \frac{P_1}{\pi} \left[2 \arctg \frac{a}{z} - \frac{2az(a^2 + z^2)}{(z^2 - a^2)^2 + 4a^2z^2} \right] \quad (1)$$

Очевидно, что это решение справедливо для глубин, которые больше неровностей рельефа и ширины впадины, и меньше, чем длина впадины озера. Нетрудно определить также напряжения σ_{xx} , σ_{zz} , однако для наших целей в этом нет необходимости.

Таблица 1

N профиля	Средняя высота H , км		Расстояния от продольной оси вершин ломаного профиля, км					
	ЮЗ	СВ						
2	2,05	1,5	96,0	16,0	0,0	-16,0	-18,0	-76,0
3	2,0	1,5	84,0	25,6	13,6	-17,6	-24,8	-70,4
4	1,5	1,5	88,0	48,0	21,6	-16,0	-18,4	-57,6
5	2,2	1,4	67,2	28,8	7,2	-12,8	-16,8	-58,4
6	1,2	1,0	62,4	28,8	10,4	-9,6	-12,0	-36,0



Фиг. 2.

б) Модель плоского клина.

При тех же соображениях о плоском деформированном состоянии, что и в предыдущем пункте, можно предположить дефицит массы как нагрузку, снятую с вершины плоского клина (фиг.3б). Тогда

$$P_2 = \frac{G \cdot g}{l} = 0,319 \times 10^{10} H$$

Далее, пользуясь решением для силы, приложенной на вершине плоского клина [4,стр.124], для тех же напряжений получим

$$\sigma_{zz}(0, z) = \frac{P_2}{z(\alpha + 0,5 \sin 2\alpha)} \quad (2)$$

Очевидно, это решение, как и в предыдущем случае, применимо для глубин, превышающих ширину впадины.

в) Модель сосредоточенной силы на границе полупространства.

С определенной точностью можно представить дефицит массы как нагрузку, снятую с вершины конуса (фиг. 3,в) $P_3 = G \cdot g = 2,5 \times 10^{14} \text{ Н}$. Сечение конуса предполагаем совпадающим с размерами плоского клина (фиг. 3,б). Учитывая малость угла α у основания конуса, воспользуемся решением для сосредоточенной силы на границе полупространства [4, стр.403].

Для тех же нормальных напряжений в этом случае имеем

$$\sigma_{zz}(0,0,z) = \frac{3P_3}{2\pi z^2} \quad (3)$$

Это решение определенно справедливо для глубин, превышающих размеры впадины озера.

г) Модель распределенной силы на границе полупространства.

Для простоты примем схему равномерной нагрузки, распределенной на круговой области (фиг. 3,г). Тогда $P_4 = \frac{Gg}{\pi\alpha^2}$, $a = 20,6 \text{ км}$.

Это решение окажется справедливым уже на глубинах, превышающих неровности рельефа. Ошибки уменьшаются по глубине, а на поверхности сопоставимы с неточностью замены формы поверхности впадины круговой поверхностью.

Для тех же напряжений из [5, стр.111] следует, что

$$\sigma_{zz}(0,0,z) = P_4 \left[1 - \left(\frac{z}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right)^3 \right] \quad (4)$$

Максимальные касательные напряжения достигаются на глубине $4/3a$ и приблизительно равны $0,3 P_4$.

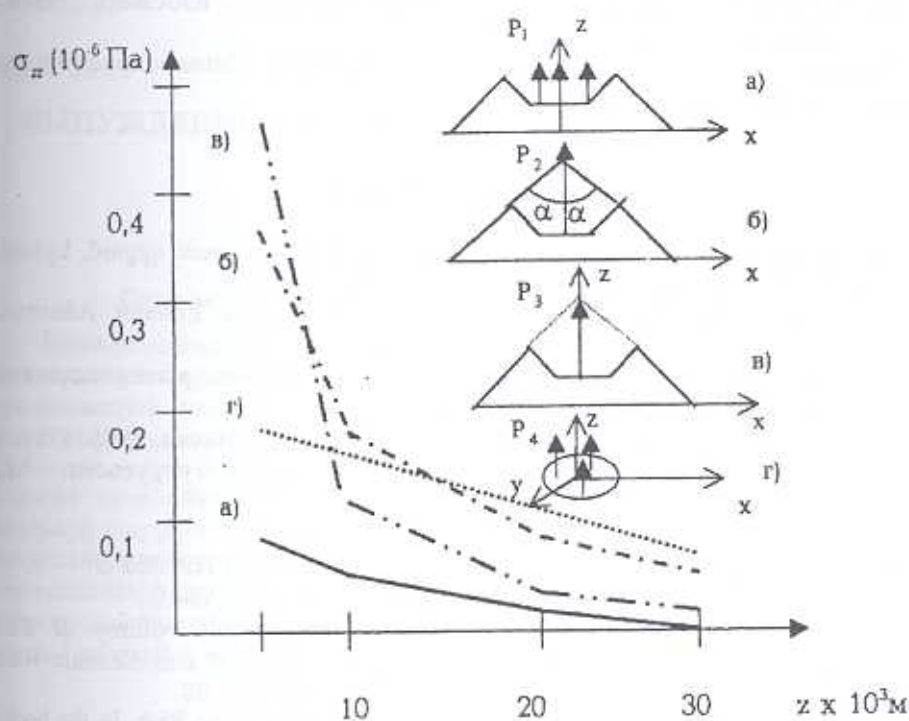
4. Рассчитанные нормальные напряжения для некоторых глубин по формулам (1)-(4) приведены в табл. 2 и графически изображены на фиг. 3.

Таблица 2

Модель	Напряжения на глубине $\times 10^{-6}$ Па			
	$5 \times 10^3 \text{ м}$	$10 \times 10^3 \text{ м}$	$20 \times 10^3 \text{ м}$	$30 \times 10^3 \text{ м}$
1. Полуплоскость	0,0836	0,0383	0,00898	0,003
2. Клин	0,36	0,18	0,09	0,06
3. Сосред. сила на полупространстве	0,48	0,12	0,03	0,015
4. Распределенная нагрузка на полупространстве	0,187	0,174	0,126	0,187

Наиболее близким к действительности является модель распределенной нагрузки на полупространстве. Однако, все модели в

своим диапазоне дают правильные по порядку величины и согласующиеся между собой значения. Следовательно, в интересующем нас диапазоне глубин 5–30 км дефицит напряжений вследствие снижения уровня Севана составляет 0,8–2,0 бар.



Фиг. 3.

5. Результаты оценки изменений напряжений вследствие снижения уровня озера Севан на глубинах распространения очагов местных землетрясений показывают, что эти изменения значительны. Они на порядок превосходят напряжения от приливных сил [6], рассматриваемых многими авторами [7] как возможные спусковые механизмы для землетрясений. Одновременно эти изменения напряжений почти на два порядка малы по сравнению с напряжениями, реализуемыми при сильных землетрясениях (около 100 бар [8]), локализованы на малом объеме и, поэтому, не могут играть заметную роль при подготовке землетрясений.

Как видно из (4), глубина проникновения значительных изменений напряжений пропорциональна размерам водохранилищ. Поэтому изменение уровней мелких водохранилищ (размерами около 5 км) не может повлиять на ход подготовки и запуска землетрясений. Влияния изменений уровней водохранилищ и других результатов человеческой деятельности на увеличение сейсмической опасности обсуждаются с разных позиций [9,10]. Однако при современном состоянии вопроса

подготовки и прогноза землетрясений [11,12] количественная оценка этого влияния пока невозможна.

Хотя мы определенно не знаем, в положительном или отрицательном направлении (с точки зрения увеличения сейсмической опасности) действуют изменения уровней крупных озер и водохранилищ, в рассматриваемом случае Севана более разумнее избежать таких неестественных изменений.

Работа выполнена в рамках темы 96–746, финансируемой из госбюджета Республики Армения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Բաղդասարյան Ա. Սևանի ափագան. Սովետական Հայաստան գրքում, Երևան, «Հայկական Սովետական Հանրագիտարան», 1987թ., էջ 84:
2. Баграмян Г. Прошлое, настоящее и будущее Севана. Ереван: Айастан, 1971. 29 с.
3. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966. 707 с.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 575 с.
5. Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. М.: Гостехтеориздат, 1955. 491 с.
6. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.
7. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1979. 388 с.
8. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
9. Nikolaev A. Problems of induced Seismicity, Abstract volume of The Second International conference on "Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction", Yerevan, Armenia, 15-21 September, 1998, p. 88.
10. Tarverdyan A. The Role of the subjective Factors in the Seismic Risk. In the book: Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Kluwer Academic. Publishers, London, 2000, p. 75-77.
11. Chelidze T. Earthquake prediction: Pro and Contra. In the book: Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction, Kluwer Academic. Publishers, London, 2000, p. 225-229.
12. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 314 с.

Институт механики
НАН Армении

Поступила в редакцию
12. 12. 2002