

на высотах 1,0-1,5 м, а фосген – на 0,1-0,5 м. Конвекционные потоки могут менять вертикальное распределение газов.

5. Как в производственных, так и в модельных условиях среди выделяющихся хлорсодержащих газов максимальное количество принадлежит фосгену. Хлористый водород выделяется в количествах, пропорциональных увеличению массы пестицидов, фосген – в 2-2,5 раза больше.

6. Хлорсодержащие газы, выделяющиеся при хранении ХОП, поглощаясь в почвенном растворе, мигрируют по почвенному профилю в виде отрицательного иона хлора. Максимальная концентрация иона хлора зафиксирована на глубине 15-20 см.

7. При изменении погодных условий, (увеличении количества осадков, снижении температуры воздуха) изменяется количество и динамика распределения СГ в почвенных вытяжках. При установлении сухой жаркой погоды уровень ионов хлора уменьшается, но закономерность вертикальной миграции, в основном, сохраняется.

Библиографический список

1. Громова В.С., Борисова И.В., Шушпанов А.Г. Влияние погодных условий на динамику выделения хлористого водорода и фосгена при хранении хлорорганических пестицидов // Экология Центрально-Черноземной области РФ. 2010. №2 (25). С. 66-67.

2. Громова В.С., Борисова И.В., Шушпанов А.Г. Некоторые аспекты отдаленных последствий загрязнения окружающей среды хлорорганическими пестицидами //Безопасность жизнедеятельности. 2010. №11. С. 19-22.

УДК 551.24

**Саямова К.Д., д-р техн., проф.,
Ахмедов М.А, канд. физ-мат. наук, вед. н. с.
(ИМиСС АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан)**

ПОСЛЕДСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ВЫЗВАННЫЕ НАПОЛНЕНИЕМ ВОДОХРАНИЛИЩ

Землетрясения, вызванные наполнением водохранилищ или так называемые «Возбужденные землетрясения» - это разновидность тектонических землетрясений, спровоцированные нарушением природных равновесий в земной коре под влиянием деятельности человека. Основными путями нарушения природных равновесий могут служить гравитационная нагрузка массы воды в крупных водохранилищах и возрастание давления подземных вод.

Ключевые слова: Возбужденные землетрясения, сейсмичность территории, водохранилище, скважины разломы, нагрузка, оседание ,масса, бар

В настоящее время уже хорошо известны несколько десятков случаев усиления сейсмичности территории расположения больших водохранилищ (в период их заполнения или после, а так же при понижении уровня воды в водохранилищах) в различных районах Земли. Возбужденная сейсмичность зарегистрирована также при закачивании жидкости в глубокие скважины и разломы [1, 2]

Заполнение искусственно создаваемых водохранилищ способно вызвать значительные дополнительные напряжения в земной коре, чреватые опасными последствиями. Например, дополнительные напряжения, вызванные водохранилищем с массой воды $1,5 \cdot 10^{10}$ т, распространяются до глубин поверхности Мохоровича. При жесткости пород $6,3 \cdot 10^{10}$ дин/см² и значении коэффициента Пуассона 0,25 в этом водохранилище произойдет прогиб поверхности до 7 см.

Детальные исследования для водохранилища Кариба показали, что водная нагрузка вызывает увеличение вертикального напряжения на 6,7 бара (1 бар=1,0197 кгс/см²) и касательного напряжения на 2,1 бара. Эти дополнительные напряжения невелики по сравнению с прочностью горных пород и могут служить спусковым механизмом возбужденных землетрясений лишь при наличии разломов, испытывающих критическое напряжение.

Однако в некоторых случаях эта нагрузка влияет на возбужденную сейсмичность. Поскольку напряжения от веса воды существенно уменьшаются с глубиной, такое влияние может проявляться только на небольших глубинах - для узких водохранилищ чаще всего в пределах первых километров. Расчеты по Нурекскому водохранилищу, показали, что напряжения от водной нагрузки уменьшаются на глубине 2 км от ложе водохранилища почти в 10 раз [4]. Не всегда заполнение водохранилищ вызывает землетрясение даже в районах, где нередки естественные землетрясения. Примером могут служить водохранилища Бхакра-Нангал (Индия), Пауэлл (США), Сьерре-Понсон (Франция) и другие [5].

Для возникновения землетрясения должны существовать благоприятные геотектонические условия. Эффект возбуждения высвобождает напряжения только в том случае, если они уже накоплены.

Высокая интенсивность некоторых возникших таким образом землетрясений приводит иногда к значительным разрушениям, повреждениям плотин и человеческим жертвам. Приведем перечень и краткое описание истории некоторых водохранилищ, где возникли землетрясения при их заполнении:

1. Плотина Вайонт (Италия). Линейные размеры: объем воды - 1,70 км³, высота - 262 м. Расположена в глубоком ущелье и является самой высокой плотиной в мире. В 1960 г. водохранилище было запол-

нено до уровня 130 м, что вызвало серию подземных толчков. Подъемы уровня воды еще на 50 м в 1962г. сопровождался более сильными землетрясениями. В 1963 г. уровень воды понизился на 60 м, при этом сейсмические толчки прекратились. В апреле 1963г. его начали заполнять заново. И когда уровень воды приблизился к 200 м, начались толчки различной интенсивности. Было отмечено более 600 толчков с $M=1,1-3,1$ и один, самый сильный с $M=3,5$.

9 октября 1968г. произошла катастрофа: обвалился массив породы с объемом 300-360 млн m^3 в водохранилище и вытеснил 114 млн. m^3 воды, которая, перелившись через плотину, создала волну высотой 70 м. Эта волна разрушила города Лонгирон, Пираго, Вилланов, Ривальта и Фас (рис. 1.1, 1.2). От гидравлического удара зарегистрировано сотрясение в городах Вене и Брюсселе [1, 2, 5, 6].



Рис. 1. г. Лонгирон: 1 - до катастрофы [7]; 2 - после катастрофы [7].

2. Плотина Койна (Индия). Линейные размеры: объем воды - 2,78 км³, высота--103 м, длина--853 м, глубина--100 м. Начало заполнения в 1961г. и с 1962 г. при объеме 1000 м³ начали ощущаться слабые местные землетрясения. В течение последующих лет, по мере накопления воды, количество землетрясений росло. До сентября 1967 г. зарегистрировано около 150 землетрясений с магнитудой 2-3. Если считать,

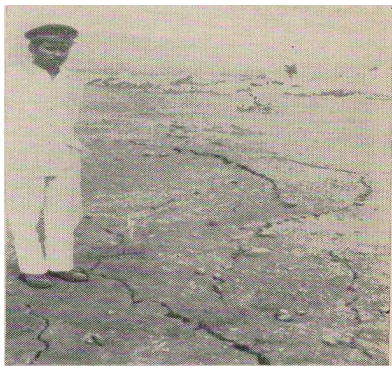
что район ранее считался не сейсмичным, то землетрясения с интенсивностью 3-4 балла возникали из-за заполнения водохранилища. Эпицентры всех землетрясений находились в районе водохранилища, глубина очага составляла от 3 до 5 км. 8 октября 1967г. произошли довольно сильные толчки с магнитудой 5,0-6,0 и интенсивностью 6-7 баллов. 11 декабря 1967г. произошло самое сильное землетрясение с магнитудой 6,3-6,4, интенсивность его достигала 8-9 баллов. Эпицентр его также находился в районе плотины. Это землетрясение принесло большие разрушения в окрестных городах, поселках и деревнях. В частности, сильно пострадал г. Кайнонагар, расположенный в 1,5 км от гидроузла. Погибло 200 человек, ранено более 2000. Сама бетонная плотина и здание гидроэлектростанции получили незначительные повреждения, но в городе Бомбее на расстоянии 200 км от эпицентра землетрясение вызвало панику. Толчок ощущался в радиусе до 700 км. В 8-балльной зоне, вытянутой в меж радиальном направлении были разрушены почти все строения в селениях Донечивади, Хелвак и Нанель. Многочисленные разрывы и трещины в восьми балльной зоне образовались в плотине, на грунте и дорогах (Рис.2.1,2.2). Сильные повреждения получили дома с толстыми стенами каменной или кирпичной кладки на известковом или цементном растворе (Рис.2.3). Строения с кирпичными стенами пострадали меньше (Рис.2.4). Повреждениям подверглись в основном, панельные стены у домов со стенами каменной кладки на глинистом растворе с использованием черепицы или листов асбеста для крыш (Рис.2.5). Значительные сильные повреждения получили дома со стенами из рваного камня на глинистом растворе (Рис.2.6). В этих домах имело место падения стен или образования в них больших трещин.. Обрушился каменно-арочный мост, построенный 100 назад (Рис.2.7). На дорогах соединяющих Койну с прилегающими городами были повреждены много малых мостов (Рис.2.8). Получил повреждения маяк 2-го класса высотой 12 м, находившийся на холме высотой 40 м в Джайгархском порту, расположенный на расстоянии 65 км от плотины Койна. Во время землетрясения из желоба, на котором установлено оптическое устройство, пролилось большое количество ртути, а вращающий механизм вышел из строя. Полностью разбилась оправа, в которую была заключена оптика. 34 столба ограды новой бетонированной пристани, сооруженной в течении 1961 г. в Виджайадурском порту в 100 км от плотины Койна получили трещины.

Была сильно повреждена дамба № 2 в порту Реди в 160 км от плотины Койна. Землетрясение 11 декабря сопровождалось большим количеством повторных толчков, среди которых были с магнитудой 5,0-6,0. В дальнейшем сейсмическая активность несколько снизилась. В октябре

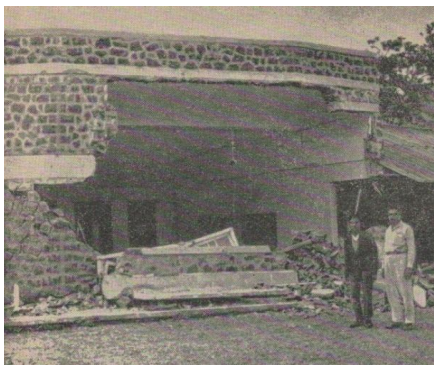
1973г. при повторном заполнении водохранилища возникло еще одно сильное землетрясение с магнитудой 5,1. Во время землетрясения, плотина в своей центральной части, претерпела значительное смещение. Как следует из записей сильных движений, максимальное ускорение достигало 0.6—0,7g [2, 5]



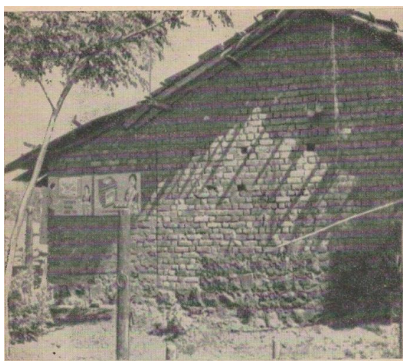
1



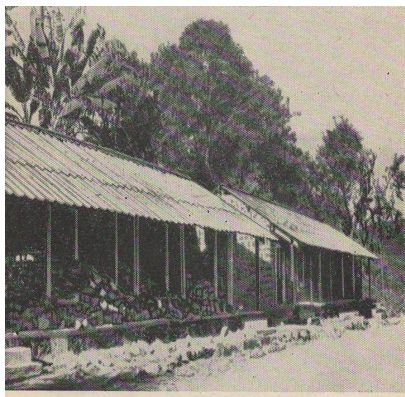
2



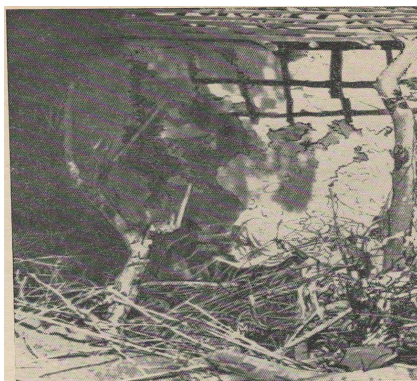
3



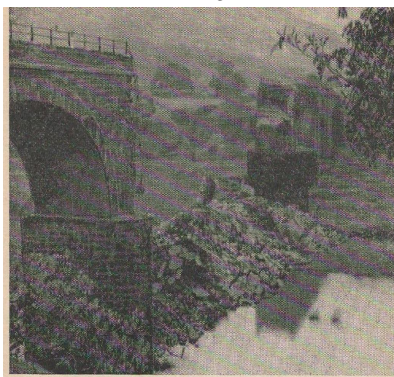
4



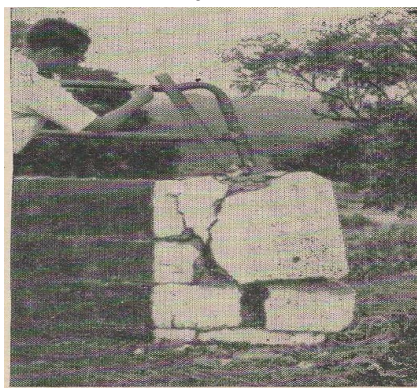
5



6



7



8

Рис. 2. Повреждения, вызванные землетрясениями [5]: 1 – типичные трещины на дорогах, 2 – трещины на грунте, 3 – повреждение кирпичных домов на известковом или цементном растворе, 4 – дома с менее разрушенными кирпичными домами, 5 – повреждения домов каменной кладки, 6 – разрушения стен в домах, сложенных с использованием глинистого раствора, 7 - разрушенный арочный мост, 8 – повреждение кульвертов на дорогах.

3. Водохранилище Карива (Замбия). *Линейные размеры: объем воды - 1,75 км³, высота - 128 м, длина - 617 м.* Крупнейшее искусственное водохранилище на р. Замбези, заполнение которого началось 28.06.1959г. и продолжалось до 23 августа 1963 г. Со второй половины августа 1963 г. начали ощущаться сильные толчки. Магнитуда землетрясений, которые произошли 23 и 25 сентября того же года, достигла максимальной величины - 6,1. Эпицентры всех землетрясений располагались непосредственно под водохранилищем. За одну неделю после

сильных толчков зарегистрировано более 700 повторных, а всего произошло 1405 землетрясений с $M=2,0-4,0$. После этого 20 апреля 1967 г. произошло землетрясение с магнитудой 5,5 [2, 5].

4. Плотины Куробе (Япония). Линейные размеры: объем воды - 1,49 км³, высота - 180 м, глубина - 180 м. Заполнение водохранилища начато в 1960 г. и завершено в 1962 г.. В процессе заполнения и позже ощущались частые подземные толчки. 19 августа 1961 г. зарегистрировано землетрясение с $M=4,9$; 21 августа 1961г. с $M=4,0$ и 16 ноября 1968г.-с $M=3,8$. Первые два произошли при глубине 102м, третье--при глубине 175м. Всего за период исследования плотины зарегистрировано 1182 местных толчка с $M=2,0-2,25$ [1, 5].

5. Водохранилище Кремста (Греция). Линейные размеры: объем воды - 4,75 км³, высота - 147 м, глубина - 120 м. Заполнение водохранилища началось 21 июля 1965 г. и уже с августа в близлежащих селениях ощущались слабые сейсмические толчки частота их увеличилась в декабре 1965г. и особенно в январе 1966г., когда уровень воды достиг 100м. 5 февраля 1966 г. произошло землетрясение с магнитудой 6,3, интенсивность которого была равна 8-9 баллам. Эпицентр землетрясения был зарегистрирован вблизи берега водохранилища с глубиной очага 20 км. Землетрясение вызвало довольно большие разрушения, оползни и обвалы, были ранены. Нарастание сейсмической активности в январе 1966г. произошло вслед за быстрым повышением уровня водохранилища. После главного толчка до конца 1966г. зарегистрированы были около 2600 автошоков, наиболее сильный из которых имел $M=5,5$. Последующими исследованиями установлена корреляция между числом возникающих землетрясений и изменением уровня воды в водохранилище [1, 2, 5].

6. Плотины Мангла (Пакистан). Линейные размеры: объем воды - 7,25 км³, высота - 135 м. Водохранилище образовалось при перекрытии р. Джерум. Заполнение началось в 1966г. и в 1968г. завершилось. Рост сейсмической активности наблюдался, когда уровень воды в водохранилище приблизился к отметке 100м. Землетрясения были не сильными, но частота их в несколько раз превышала обычный сейсмический фон этого района. Всего отмечено 46 землетрясений с $M=2,0-3,6$ [5].

7. Чарвак. (Узбекистан). Линейные размеры: объем - 2 км³, высота - 168 м. Водохранилище расположено в 8--балльной сейсмической зоне и характеризуется повышенной сейсмической активностью. В непосредственной близости от гидроузла в результате естественных сейсмогенных процессов были отмечены ряд землетрясений. Бричмуллинское 1959г.--7 баллов, $M=6$, $h=15$; Пскемское 1973г.--8 баллов, $M=6$, глубина очага-- $h=20$ км; Таваксайское 1977г.--7 баллов, $M=5$, $h=10$.

Анализируя имеющиеся данные о сейсмичности до и после заполнения водохранилища, можно отметить общую тенденцию повышения количества слабых толчков с увеличением напора воды в водохранилище. В то же время стройной корреляции между колебаниями напора воды h и количеством землетрясений за период 1962-1973 гг. не наблюдалась. Это возможно, из того, что $h=80-90$ м и плавный характер самых колебаний напора [6].

8. Нурекское водохранилище (Таджикистан). Линейные размеры: объем воды - $10,5 \text{ км}^3$, высот - 300 м, глубина - 250 м. Сооружено на р. Вахш. При первоначальном заполнении (1967г.), когда уровень воды поднялся до 40 м, стала заметна тенденция роста толчков. Когда в конце 1972г. уровень воды достиг 100-метровой отметки, сейсмическая активность еще резко увеличилась. В этот период произошло два землетрясения умеренной силы с магнитудой 4,3 и 4,6. Второе резкое увеличение сейсмичности в акватории водохранилища произошло в 1972 г., когда уровень воды в течение 4 месяцев поднялся до отметки 200 м. Среднее число слабых толчков за декаду увеличилось в десятки раз. Глубина очагов не превышала 5 км. За двухмесячный период до заполнения отмечено только одно землетрясение с $M=4,5$; после заполнения водохранилища землетрясения с магнитудой 4-4,5 стали более частыми. Все эти землетрясения были приурочены к 15 километровой. зоне вокруг водохранилища [1, 2, 5].

9. Плотина Монтэнар (Франция). Линейные размеры: объем воды - $2,70 \text{ км}^3$, высота - 130 м, длина - 210 м. Водохранилище образовалось при перекрытии р. Драк. Заполнение водохранилища начато в апреле 1962г. и завершилось к 15.04.1963г. Через несколько дней после заполнения начали ощущаться сейсмические толчки. Область очагов землетрясений зафиксирована в районе плотины. В конце апреля произошло землетрясение с $M=4,9$, которое вызвало небольшие повреждения в близлежащих селениях. Землетрясение сопровождалось большим количеством повторных толчков, среди которых имели место землетрясения с $M=4,3$. В 1963г. зарегистрировано 15 толчков, в 1964г.-9, в 1965г.-1, в 1966г.-23 и в 1967г.-16. 25 апреля 1963г. и 24 августа 1966г., когда уровень воды был максимальным (135 м), произошли два самых сильных землетрясений [1, 2, 5].

10. Хендрик-Форвурд (Ю. Африка). Линейные размеры: объем воды - $5,0 \text{ км}^3$, высота - 66 м, длина - 600 м. Плотина расположена на р. Оранжевой. В прошлом в 100 километровой зоне вокруг плотины зарегистрировано четыре землетрясения с магнитудами больше 5,0. Самое сильное из них произошло в 1912г. с магнитудой 6,0, а последнее с магнитудой 5,1 датировано 1955г. Наполнение ее началось в 1970 г. Через

шесть месяцев 27 февраля 1971г., когда уровень воды в водохранилище повысился на 40 м, началась сейсмическая активность и в течение 10 месяцев зарегистрировано было 97 местных толчков. После декабря 1971г. сейсмическая активность упала и не поднялась даже в следующий сезон дождей. За это время произошло всего 25 слабых землетрясений с магнитудой $\geq 2,0$. Очаги концентрировались в трех километровой зоне вокруг точки максимального пригибания, где глубина составила 6 км. Было рассчитано оседание земной коры под водохранилищем. Максимальное давление за счет веса воды составил 6,3 бар, то соответствует максимальному опусканию на 31,7 мм при глубине 1 км [5].

11. Плотина Гувер (США). Линейные размеры: объем воды - 38 км³, высота - 142 м, глубина - 140 м. Водохранилище создано на р. Колорадо. Заполнение водохранилища началось в 1935г. Сейсмические толчки ощущались с сентября 1936г., когда уровень воды поднялся более чем на 100 м. По мере роста уровня воды частота возникновения землетрясений так же росла. За 10 лет на площади 8 тыс.км² зафиксировано около 6000 толчков с $M=2,0-4,0$. Наибольшее количество их отмечалось в радиусе до 25 км от водохранилища. Очаги этих толчков располагались на глубинах 1,5, 2, 4, 5, 6 и 9 км. Наиболее сильное землетрясение с $M=5$ произошло 5 мая 1939г. Слабые толчки не прекращались даже и в 1970 г. [1, 2, 5].

12. Синфын (Китай). Линейные размеры: объем воды - 11,5 км³, высота - 105 м, глубина - 90 м. Землетрясение в районе водохранилища регистрировалось с октября 1959 г. вскоре после начала его заполнения. 19 марта 1962г. вблизи водохранилища произошло 8 балльное землетрясение с $M=6,1$. Ему предшествовало свыше 80 тыс. толчков. Еще большее количество толчков зарегистрировано после главного землетрясения. Их очаги лежали на глубинах от 1 до 11 км. Активные зоны находились вблизи плотины, где глубина была выше 80 м. В целом с июля 1961г. по декабрь 1972г. были зарегистрированы 258267 толчков с $M \geq 1$, магнитуда самого сильного афтершока была равна 5,4 [1, 2, 5].

13. Бенмор (Новая Зеландия). Линейные размеры: объем воды - 2,04 км³, глубина - 96 м. Озеро Бенмор является самым крупным водохранилищем Новой Зеландии. До заполнения водохранилища в этом районе произошло лишь одно значительное землетрясение с магнитудой 6,25 и глубиной очага 70 км. Это было 8 мая 1943 г. В начале заполнения водохранилища в декабре 1964г. явный сейсмический эффект отсутствовал. Однако в дальнейшем сейсмическая активность повысилась. В 80-километровой зоне вокруг плотины частота повтора землетрясений возросла в 3-6 раз. Анализ землетрясений, происшедших после наполнения водохранилища, показал, что их очаги были сконцен-

трированы вблизи плотины. Два самых сильных землетрясения с $M=5,0$ отмечены в 20 километровой зоне вокруг плотины через 1,5 и 6,25 года после заполнения водохранилища [1, 5].

14. Плотина Талбинго (Австралия). Линейные размеры: объем воды - 0,935 км³, высота - 162 м, длина - 700 м. Земляная плотина Талбинго расположена на юго-востоке Австралии и входит в состав гидроэнергетической системы Снежных гор. Системе Снежных гор приписывается слабая сейсмичность за 13 лет, предшествующих заполнению водохранилища - в пределах 25 км от плотины зарегистрировано одно землетрясение. Заполнение началось 11 мая 1971г. Вскоре после начала этого заполнения водохранилища с 19 мая начали отмечаться толчки. Всего в мае было 3 толчка, в июле - 39. Далее с увеличением уровня воды наблюдалось возрастание сейсмической активности. В декабре 1971г. уровень воды поднялся до отметки, близкой к максимальной, и в последующие годы оставался постоянным. В начале 1972г. уровень сейсмической активности был невысок, но затем опять возрос. В результате изучения сейсмоактивности района плотины установлена возрастающая зависимость между частотой толчков и скоростью заполнения. Эпицентры толчков располагались в пределах 10- километровой зоны вокруг водохранилища [1, 5].

Заключение

Анализ многочисленных возбужденных землетрясений, стимулированных гидротехническими сооружениями, позволяет сделать, следующее обобщение. Чаще всего толчки имеют магнитуду менее 2,0-2,5, реже они достигают 3,5-5 и только изредка становятся больше 6, глубина очага в основном менее - 5-6 км. Но в ряде случаев по мере развития сейсмических дислокации глубины очагов возрастают. Например, выполненный российскими сейсмологами И.В. Горбуновой и Н.В. Кондорской [2] анализ землетрясений Койна показал, что вспарывание разрывов в области очага распространилось с глубины 0-10 км до 60-70 км.

Только в некоторых случаях землетрясения имели разрушительные последствия: район Крестоста - в Греции, Койны - в Индии, Карибы на р. Замбези в Замбии, Вайонит - в Италии. Не все возбужденные землетрясения опасны. Они опасны, когда максимальный напор достигает 90-100 м, а объем воды превышает 109 м³ [6]. Вероятность толчков повышается и при увеличении зеркала воды.

Библиографический список

1. Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдональд Г.А., Скот Р.Ф. Геологические стихии. - М.: 1978. 409 с.
2. Киссин И.Г. Землетрясение и подземные воды. - М.: Наука. 1982. 175 с.
3. Котлов Ф.Б. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. - М.: Наука. 1977. 172 с.

4. Мирзоев К.М., Нигматуллаев С.Х. Возбуждение сейсмичности в зонах водохранилищ на примере района Нурекской ГЭС//Советско-Американские работы по прогнозу землетрясений. – Душанбе - Москва: Дониш. 1979. Т.2. Кн.1. С.124–151.

5. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения.- М.: Мир. 1979. 250 с.

6. Ахмедов М.А. Землетрясение, последствия, защита. -Ташкент. 2016. 352с.

7. Катастрофа на плотине Вайонт (62 фото). Режим доступа: Business_news.complexdoc.ru

УДК 551.24

**Саямова К.Д., д-р техн., проф.,
Ахмедов М.А, канд. физ-мат. наук, вед. н. с.
(ИМиСС АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан)**

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОВРЕЖДЕНИЙ И РАЗРУШЕНИЙ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

В Республике водохранилища играют важную роль для производства электроэнергии (40% выработки всей электроэнергии), для равномерного удовлетворения водой нужды сельского хозяйства (в настоящее время водохранилища республики обеспечивают водой около 90 % сельскохозяйственного производства), снабжения питьевой водой населения и в целом для устойчивого функционирования других отраслей экономики. Все это представляет собой опасность для населения проживающего в нижнем бьефе. С другой стороны, они могут быть разрушены (например, при землетрясениях). Даже их частичное разрушение может привести к прорыву водохранилища и почти мгновенному затоплению населенных пунктов, промышленных объектов и сельскохозяйственных угодий. нанести огромнейший экономический ущерб с многочисленными человеческими жертвами, произойдет на-рушение экологии окружающей среды.

Ключевые слова: землетрясение, грунтовые плотины, ущерб, магнитуда, балльность, водохранилище

Вся территория республики в большей или меньшей степени подвержена землетрясениям, но не строить плотины с их гидроэнергетическими узлами означало бы ограничить развитие многих естественных ресурсов, необходимых для развития экономики и жизнедеятельности населения.

В связи с этим в республике плотины начали строить еще сначала прошлого века, они создавались даже на территориях, где раньше отмечались землетрясения. Например, в районе Чарвакского водохранилища, где в недалеком прошлом отмечались ряд землетрясений: - Пскемское 1973 г., с интенсивностью 8 баллов, магнитудой $M=6$ и глубиной гипоцентра $h=20$ км;- Бричмуллинское с интенсивностью в 7 бал-