

УДК 550.34(476)

**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА РАЙОНА КАПШАГАЙСКОЙ ГЭС****Гессель М.О., Неверова Н.П., Хайдаров М.С.***Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция, Алматы, Казахстан*

Проанализирована сейсмичность района расположения Капшагайской ГЭС, находящегося под влиянием ближайших карьерных взрывов и вибраций гидроэлектростанции на плотине. По распределению количества землетрясений до и после заполнения водохранилища в 1970 г., а также по увеличению доли умеренных землетрясений в 2011–2018 гг. делается вывод об ускоряющейся техногенной сейсмичности. Обращено внимание на расположение водохранилища непосредственно на Алтын-Эмельском разломе и возможность активизации этого разлома при дальнейшей эволюции вызванной сейсмичности во взаимодействии с сейсмичностью естественной.

Изменения экологии, связанные с большими водохранилищами и ГЭС, носят долговременный и комплексный характер. Медленные и многолетние изменения могут вызывать разные изменения - влиять на уровень грунтовых вод, состав растительности, микроклимат и др., что требует проведения исследований и многолетнего комплексного мониторинга. По данным Международной комиссии по крупным плотинам ICOLD (International Commission on Large Dams) за последние 10 лет разрушены более 300 из зарегистрированных в мире 17 тысяч больших плотин. Сейсмические явления пока не рассматриваются как причина разрушения. Главные причины, по мнению экспертов, – некомпетентность, ошибки проектирования, недооценка мощности паводков, повреждения водосброса. Что касается сейсмических причин разрушения плотин, предполагается, что плотина с высотой водного столба более 100 м может вызвать землетрясение, способное разрушить саму плотину. Наличие ГЭС только усугубляет проблему вызванной сейсмичности и ускоряет возникновение землетрясения-разрушителя [1].

**КАПШАГАЙСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ, ГЭС, ПЛОТИНА И СЕЙСМИЧНОСТЬ**

Илийская впадина расположена в основном на территории Алматинской области Казахстана. Практически по всей длине этой впадины протекает большая река Или, берущая начало на Тянь-Шане в КНР на высоте 3540 м. Протяженность реки, являющейся крупнейшей в стране, – 1439 км, из которых 815 км (56,6 %) приходится на территорию Алматинской области. Река Или была перекрыта 29 сентября 1969 г., и в узком, образованном скалами, Капшагайском ущелье были построены плотина и ГЭС. С 1970 г. началось заполнение Капшагайского водохранилища в центральной части впадины, в основном русле р. Или, бывшей когда-то полноводной судоходной рекой.

Большая впадина, включившая водохранилище, в недавнем прошлом относилась к асейсмичным территориям.

Возможно, поэтому большой неожиданностью для сейсмологов и общественности стало ощущаемое

землетрясение 01.05.2011 г. с энергетическим классом 13,1 и магнитудами  $M_S = 4,3$ ,  $m_{pv} = 5,4$ . Эпицентр землетрясения с координатами  $\varphi = 43,58^\circ$ ,  $\lambda = 77,7^\circ$  находился южнее водохранилища [2]. Разница в значениях магнитуд свидетельствует об очень высокочастотном характере данного землетрясения и больших напряжениях в очаге, что не удивительно. Ранее сейсмологами было отмечено, что почти вся территория севернее широты г. Алматы характеризуется высокочастотными очагами. Это связано с геологическим строением Илийской впадины, подвергшейся, в частности, палеозойской активизации [3]. Последовавшая активность афтершоков (почти равных, по магнитуде, главному толчку) также свидетельствовало в пользу такого спектрального районирования. За первые сутки было зарегистрировано 101 событие. Уникальностью землетрясения 01.05.2011 являлся необычайно интенсивный характер афтершоков по энергии, так как в течение суток после основного толчка серия слабых афтершоков с  $K_p = 5-8$  сопровождалась одним событием 12-го, двумя землетрясениями 11-го и несколькими афтершоками 9–10 классов. В непосредственной близости от очага с такой же энергией ( $K_p = 13,0$ ) наблюдалось землетрясение 23.08.1960 г., которое сопровождалось единственным афтершоком с  $K_p = 7,0$ . Все эти факты свидетельствуют о больших тектонических напряжениях, действующих в настоящее время в районе «асейсмичной» Илийской впадины.

В данной статье анализируется сейсмичность небольшой территории западной оконечности Капшагайского водохранилища (с координатами  $43,5^\circ - 44,5^\circ$  с. ш.  $76,5^\circ - 77,5^\circ$  в. д.), в пределах которой в последние годы станциями ТОО «СОМЭ» все чаще регистрируются землетрясения различных энергетических классов. Практически в центре этой территории находятся плотина, гидроэлектростанция и город Капшагай. На рисунке 1 показаны эпицентры землетрясений за 2012–2017 гг. Одно из последних землетрясений произошло в 2017 г. на расстоянии 8 км от ГЭС и ощущалось в г. Капшагае интенсивностью 3 балла.

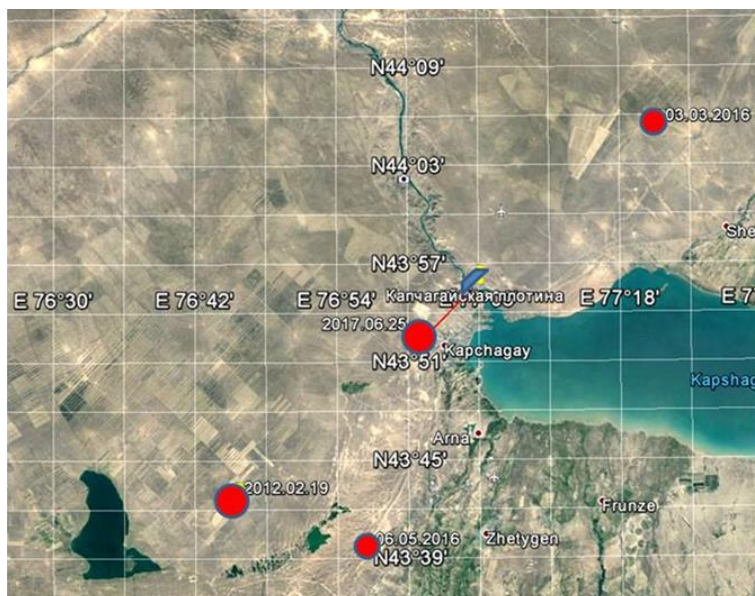


Рисунок 1. Эпицентры землетрясений в районе Капшагайской ГЭС. 2012–2017 гг.

Таблица. Умеренные землетрясения района плотины и ГЭС Капшагайского водохранилища

| Дата       | Время      | Координаты |           | Энергетич. класс | Магнитуда, $m_p v$ | Глубина, км |
|------------|------------|------------|-----------|------------------|--------------------|-------------|
|            |            | $\varphi$  | $\lambda$ |                  |                    |             |
| 1960-08-23 | 04:51:00.0 | 43°39'     | 77°30'    | 13,0             |                    |             |
| 1969-04-27 | 07:08:58.5 | 43°58'     | 77°05'    | 10,0             |                    |             |
| 1969-09-19 | 03:29:21.0 | 44°03'     | 76°54'    | 10,0             |                    |             |
| 1983-02-12 | 16:56:59.8 | 43°35'     | 77°24'    | 9,8              |                    |             |
| 2000-09-04 | 00:19:13.2 | 44°16'     | 77°22'    | 10,2             | 4,6                | 20          |
| 2000-09-04 | 00:20:14.8 | 44°20'     | 77°22'    | 10,2             | 4,6                | 20          |
| 2000-09-04 | 00:20:26.8 | 44°12'     | 77°27'    | 10,9             | 5                  |             |
| 2012-02-19 | 05:23:28.0 | 43°40'     | 76°44'    | 10,2             | 4,5                | 5           |
| 2017-06-25 | 02:50:20.6 | 43°51'     | 77°04'    | 10,0             | 4,7                | 20          |

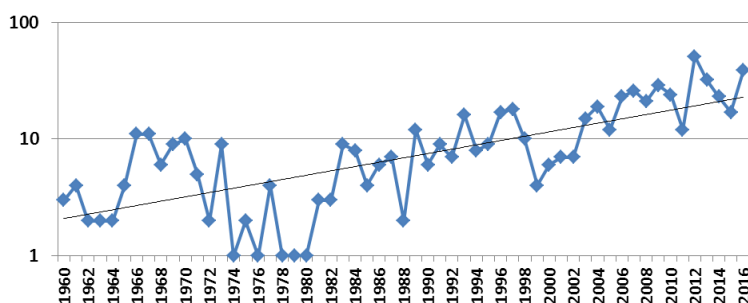


Рисунок 2. Распределение количества землетрясений во времени за период 1960–2016 гг.

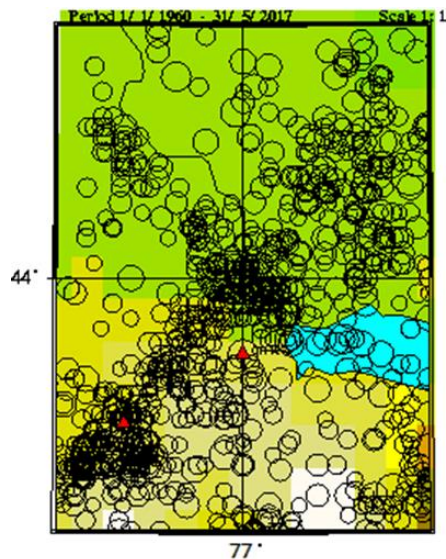
В таблице приведен список умеренных землетрясений на исследуемой территории, а на рисунке 2 показано распределение слабых землетрясений во времени за 1960–2016 гг.

Из рисунка 2 и таблицы видно, что число умеренных землетрясений на этой небольшой площади за последнее время увеличилось. Река Или, как уже сказано выше, была перекрыта 29.09.1969 г., первый гидроагрегат Капшагайской гидроэлектростанции был пущен 22.12.1970 г., последний – ровно через год,

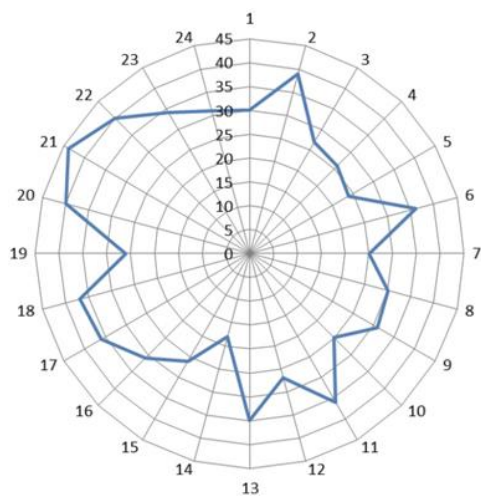
22.12.1971 г. Можно отметить, с учетом этих дат и рисунка 2, что во время заполнения водохранилища и в течение нескольких лет после этого сейсмичность района заметно снизилась. Начиная, примерно с 1990 г. отмечен рост числа землетрясений, продолжающийся в настоящее время.

На рисунке 3-а приведена карта эпицентров землетрясений, произошедших с 1960 г. по июнь 2017 г. Поскольку в районе исследуемой территории расположены три сейсмические станции ТОО «СОМЭ»:

Чушкалы, Курты и Каратюбе, – возможна локализация слабой сейсмичности. К сожалению, станции расположены только к юго-западу от плотины, тем не менее, на рисунке 3-а четко просматривается преимущественное С-В простирании всего поля эпицентров, а также слабо просматривается ортогональное С-З простирание. Отметим, что данное С-В простирание может быть связано с центральной частью Алтын-Эмельского разлома, доминирующего в данном регионе. На диаграмме (рисунок 3-б) видно, что времена землетрясений не привязаны ко времени и не могут быть взрывами.



а) эпицентры землетрясений



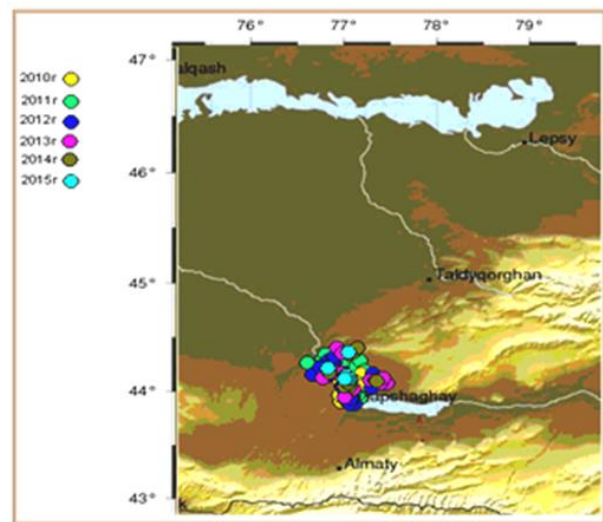
б) распределение взрывов по времени суток

Рисунок 3. Распределение эпицентров взрывов вблизи Капшагайского водохранилища и по времени суток за 1960–2017 гг.

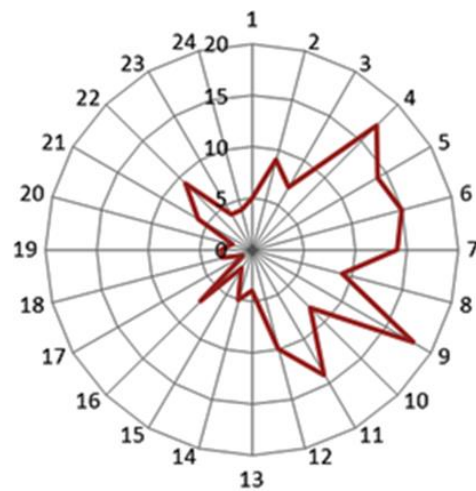
События, происходящие на данной территории, внимательно просматриваются сейсмологами-аналитиками, так как рядом с плотиной расположены несколько промышленных карьеров по добыче скальных пород [4]. Взрывы в большом количестве про-

изводятся на поверхности. На рисунке 4-а приведена карта эпицентров взрывов, а на рисунке 4-б диаграмма распределения взрывов по времени суток с 2010 г. по 2015 г.

Повышенная сейсмичность локальной зоны (вблизи станции Чушкалы), источниками которой являются в основном промышленные взрывы, наблюдается достаточно долго. Анализ каталога событий с 2010 по 2015 гг. показал, что эпицентры очагов не подвергаются миграции во времени, а привязаны к конкретным карьерам и к определенному времени суток [5].



а) распределение эпицентров взрывов



б) распределение взрывов по времени суток

Рисунок 4. Распределение эпицентров взрывов вблизи Капшагайского водохранилища и по времени суток за период 2010–2015 гг.

На рисунке 5 представлены две разные по форме волновые записи станции Чушкалы. На рисунке 5-а – типичная запись взрыва с ярко выраженной поверхностной волной. На рисунке 5-б показано событие 08.07.2015 г. в 16 ч 19 м, локализованного в рассматриваемом районе по тем же станциям.

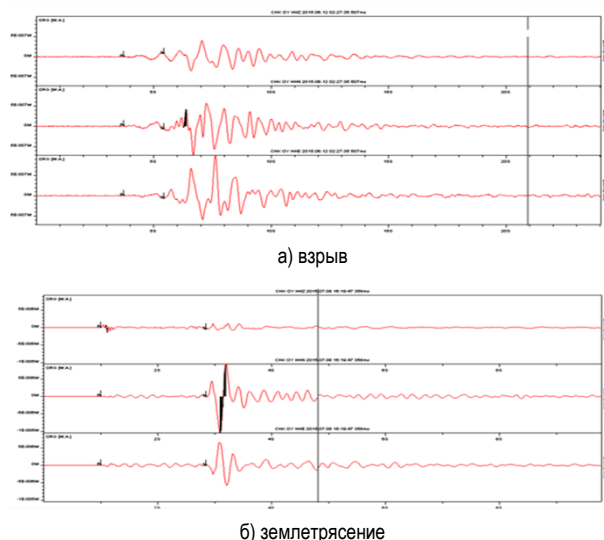


Рисунок 5. Волновая картина сейсмической записи взрыва и землетрясения. Станция Чушкалы

Из сравнения сейсмограмм видно, что волновая картина отличается. Как известно, одним из признаков отличия взрыва от землетрясения является время суток регистрации события. С учетом ночного времени возникновения и большей энергии  $K_p = 8,5$  событие 08.07.2015 классифицировано как землетрясение. Полная уверенность в идентификации «взрыв-землетрясение» может быть только при сотрудничестве с организацией, производящей взрывные работы. Так как карьеры находятся вблизи плотины и ГЭС, энергетический уровень взрывов, в основном, находится в пределах  $K_p \approx 6$ .

#### ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫВОДЫ

Рост сейсмичности в районе плотины, судя по временной шкале, скорее всего, связан с возникновением Капшагайского водохранилища. Он начался в 1980-х годах после заполнения водохранилища и продолжается до настоящего времени. Несмотря на то, что высота водного столба не превышает 50 м, его влияние заметно. Так, например, землетрясения с  $K_p \geq 10$  возникают значительно чаще, чем до заполнения водохранилища в 1971 г. (таблица).

В промышленности для увеличения проникновения каких-либо жидкостей в материалы и среды активно используют вибрацию. Последняя способствует понижению вязкости жидкости, особенно, в приграничном слое. В сейсмологическом случае, вибрация также способствует возникновению микротрещин в твердой среде. А уже имеющиеся трещины под влиянием вибрации могут развиваться ак-

тивнее. Таким образом, наличие воды под большим напором и активная вибрация на Капшагайской ГЭС, по нашему мнению, способствуют развитию слабой сейсмичности и умеренных землетрясений. Одним из источников вибрации являются собственно гидроагрегаты ГЭС. Возможно, их вибрация носит монохроматический или близкий к тому характер. Вторым источником являются промышленные взрывы, которые во множестве permanently производились и производятся недалеко от плотины. Этот источник, или источники, дают больший набор частот сейсмического воздействия на земную кору. В результате имеет место весьма активное воздействие на земную кору в критическом месте Капшагайского гидросооружения. Возможно, наблюдаемый рост числа слабых и умеренных землетрясений в районе плотины является реакцией активной геологической среды на чрезмерно активное антропогенное воздействие.

Из приведенных достоверных данных можно заключить, что уже на протяжении многих лет в районе плотины Капшагайской ГЭС и водохранилища развивается сейсмичность на фоне малосейсмичного района Илийской впадины. Возможно, придется отказаться от парадигмы, что только большие водохранилища и гидросооружения способны вызвать разрушительное землетрясение.

Дополнительно к вышесказанному, следует обратить внимание еще на одно важное обстоятельство – расположение собственно водохранилища непосредственно на Алтын-Эмельском разломе. Можно предположить, что дальнейшая эволюция вызванной сейсмичности во взаимодействии с естественной может активизировать этот разлом и спровоцировать землетрясение с максимально возможной магнитудой до 6,5. Признаком такого максимализма является, например, землетрясение 08.08.2017 г. в 23 ч 27 м. с координатами  $44.30^\circ$   $82.45^\circ$ ,  $K_p = 16,5$ ,  $m_{prv} = 6,2$  в зоне восточной оконечности Алтын-Эмельского разлома. Возможно, что удастся избежать столь опасного природно-техногенного сценария, если снизить чрезмерное антропогенное воздействие на земную кору и природную среду в целом.

Данная работа носит постановочный характер, имея целью обратить внимание научной общественности и властей на начало развития опасной сейсмической ситуации в районе плотины Капшагайской ГЭС и водохранилища.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хайдаров, М.С. Внешние экологические угрозы больших ГЭС / М.С. Хайдаров // Алматы, ежеквартальный научно-технический журнал «Гидрометеорология и Экология» – 2012, № 4 – С. 136–147.
2. Панин, В.И. Характеристика Первомайского землетрясения, произошедшего в 2011 г. вблизи г. Алматы, Казахстан / В.И. Панин, Т.Е. Нысанбаев, М.О. Гессель, Н.П. Неверова, Н.Н. Полешко // Материалы 7 Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2012. – С. 246–250.

3. Хайдаров, М.С. Очаговые спектры землетрясений Северного Тянь-Шаня и пространственно-временные вариации угловой частоты: дис. канд. физ. мат. наук: защищена в Институт ефизики Земли им. О.Ю. Шмидта АН СССР М. / М.С. Хайдаров, 1986. – 149 с.
4. Гессель, М.О. Опыт распознавания местных взрывов / М.О. Гессель, Н.П. Неверова // Международной сейсмологической школы. – Обнинск, 2012. – С. 107–109.
5. Отчет ТОО «СОМЭ» за 2015 г., Алматы, 2015.

### **ҚАПШАҒАЙ ГЭС АУДАНЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІП-ҚАТЕРІН БАҒАЛАУ**

**Гессель М.О., Неверова Н.П., Хайдаров М.С.**

*Сейсмологиялық тәжірибе-әдістемелік экспедиция, Алматы, Қазақстан*

Жақын арадағы карьерлік жарылыстардың және плотинадағы гидроэлектрстанциясының вибрациясы әсер ететін Қапшағай ГЭС-нің орналасқан ауданының сейсмикалылығы талданды. 1970 жылы су қоймасы толтырылғаннан кейінгі және оғанға дейінгі жерсілкінулердің санын бөлу бойынша, сондайақ 2011–2018 жж. орташа жерсілкінулер бөлігінің ұлғаюы бойынша техногенді сейсмикалылықтың жеделдеуі жөнінде қорытынды жасалады. Су қоймасының тура Алтын-Эмел жарылымының үстінде орналасуына және табиғи сейсмикалылықпен туындаған сейсмикалылықтың одан арғы дамуы кезінде осы жарылымның активтену мүмкіндігіне көңіл аударылады.

### **ASSESSMENT OF THE SEISMIC RISK OF THE KAPSHAGAI HYDROELECTRIC STATION**

**M.O. Gessel, N.P. Neverova, M.S. Khaidarov**

*Seismological experimental and methodological expedition, Almaty, Kazakhstan*

The seismicity of the region of Kapshagai hydro-electrical station dam's location has been analyzed. Objects of man-induced impact of continuous nature located under the zone of direct impact from the vibrations of turbine motors of hydro-electrical station and pit explosions. Based on a number of earthquakes before and after the filling up of the water reservoir in 1970 as well as on the increase of the share of medium earthquakes in 2011–2018, a conclusion is made on the increasing man-induced seismicity. The attention is drawn to the location of the water reservoir directly on the Altyn-Emelskiy fault and the possibility of this fault's activation during further hard man-induced impact.