УДК 551.24:550.34

ГРАФИКИ ПОВТОРЯЕМОСТИ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВБЛИЗИ БУРЕЙСКОЙ ГЭС ДО И ПОСЛЕ НАПОЛНЕНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

¹Харитонов М.Е., ¹Колотова Л.Г., ²Рябинкин К.С.

*¹Бурейская ГЭС, геодинамический полигон, п. Талакан, Россия E-mail:
KharitonovME@burges.rushydro.ru*

*²Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. 680000
Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65*

Рассматривается сейсмичность вблизи Бурейской ГЭС. Результаты моделирования динамики сейсмической активности в различных интервалах энергий землетрясений юго-западного сегмента разломной зоны Тан Лу проанализированы по графикам повторяемости землетрясений. По статистике количества землетрясений в двух фазах состояния геологической среды до и после наполнения водохранилища показано существенное различие в частоте землетрясений. Установлено, что на основе баланса энергии, различие в графиках повторяемости может быть следствием региональных причин тектонического характера либо периодических миграционных процессов сейсмической активности.

Ключевые слова: график повторяемости землетрясений, наведенная сейсмичность, Бурейская ГЭС, Амурская плита.

RECURRENCE PLOTS FOR WEAK EARTHQUAKES OCCURRED CLOSE TO THE BUREYSKAYA HPP BEFORE AND AFTER RESERVOIR FILLING

¹Mikhail E. Haritonov, ¹Lyudmila G. Kolotova and ²Konstantin S. Ryabinkin

¹Bureyskaya HPP, geodynamic polygon, Talakan Settlement, Russia

²Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, 65, Kim Yu Chen St., Khabarovsk, 680000, Russia

The seismicity events are considered that occurred in close proximity to the Bureyskaya Hydro Power Plant (HPP). Using earthquake recurrence plots, we have analyzed the results of modeling dynamics of seismicity accounting for different ranges of energy released by earthquakes occurred in the southwestern segment of the Tan-Lu fault zone. Based on the statistics on the number of earthquakes occurred in two phases of the state of the geological medium before and after reservoir filling, it is shown a significant difference in the frequency of earthquake occurrence. It has been established, in terms of energy balance, that the difference in the earthquake recurrence plots may be due to regional tectonic causes or periodic seismicity migration processes.

Key words: earthquake recurrence plot, induced seismicity, Bureyskaya HPP, Amur plate.

Введение

Территория, на которой проводится сейсмологический мониторинг района расположения Бурейского гидроузла, ограничена следующими географическими границами: (48-52)° СШ и (128-132)° ВД. К настоящему времени территория изучена различными масштабами геолого-геофизических работ. Кроме этого выполнены дополнительные исследования в рамках СНиП и ОСР – 98, позволившие уточнить сейсмическое микрорайонирование, а также возможные очаги землетрясений, их характеристики, вероятные максимальные воздействия на гидросооружение.

С точки зрения современной сейсмотектоники плотина и водохранилище Бурейской ГЭС расположены в границах Чжангуанцайлин -Туранского плутоногенного комплекса, который представляет собой уникальный в своем роде гранитоидный пояс, простирающийся в меридиональном направлении на 1000 км при ширине 200-250 км, с западными ответвлениями на севере и юге. Преобладающими в его составе являются пермские гранитоиды, в отдельных частях присутствуют триасовые гранитоиды и вулканиты. Границами этого комплекса являются разломы: Западно-Туранский и Муданьцзянский на западе и Тастахский, Куканский, Дахэджэн и Арсеньевский - на востоке. Серией долгоживущих разломов северо-восточного простиранья этот комплекс может быть разделен на ряд массивов (Буреинский, Хинганский, Цзямусы и Ханкайский), отличающихся соотношением пермско-триасовых и более древних гранитоидных комплексов, а также составом и возрастом допермских стратифицированных образований, установленных в отдельных (иногда достаточно крупных) блоках и провесах кровли [1].

Сейсмологический мониторинг вблизи гидротехнических сооружений показывает, что динамика работы плотины однозначно меняет природный сейсмический режим. Например, в работе [2] установлено, что наибольшая сейсмическая активность в Самарской области наблюдается в районе Жигулевской ГЭС, где в течение ряда лет отмечался ежегодный прирост сейсмических событий на 70%.

Изменения в геологической среде, вызванные образованием водохранилища, проявляются на значительных расстояниях от плотины [3], вызывая изменение геодинамической обстановки в регионе. Одним из факторов проявления данных изменений является наведенная сейсмичность.

Многочисленными исследованиями по Асуанской плотине, в Индии и Китае [5-8] установлено, что сейсмический режим вблизи плотины зависит от гидрологического режима, режима наполнения и сброса воды, высоты плотины. Собственно, обозначенные задачи и послужили основанием для данного исследования. Для анализа сейсмичности указанного района используются данные локальной сейсмосети Бурейской ГЭС (Рис.1). Для уточнения локации очагов землетрясений привлекаются материалы региональных сейсмостанций «Хабаровск», «Бикин», «Ванино», «Горный», «Чегдомын» и «Кульдур». Для сильных землетрясений проводится сравнение с данными ближайших к району филиалов ГС РАН (Сахалинской ОМСП, Якутской ОМСП, Байкальского филиала ГС РАН) и Китайского сейсмологического Бюро.

Рис. 1. Схема размещения сейсмостанций локальной сети Бурейской ГЭС.

На станциях локальной сейсмологической сети Бурейской ГЭС установлены цифровые регистраторы с непрерывной записью типа REF ТЕК-130, укомплектованные короткопериодными сейсмоприемниками GS-1. Благодаря микросейсмическим показателям станций Бурейского гидроузла в зоне границы местных землетрясений (до 100 км от центра сети) удается устойчиво фиксировать землетрясения 5 – 6 класса. В зоне локальных (до 240 км) – 6-7 класс землетрясений. Необходимо отметить, что эти показатели меняются в указанных пределах от состояния уровня микросейсм, амплитуда которых зависит в основном от работы гидроагрегатов.

Анализ сейсмичности проводился на основе всей выборки локальной зоны мониторинга. Учитывая опыт аналогичных исследований площадка для детальных сейсмологических исследований, была определена в координатах, в соответствие с рисунком 2, в среднем в радиусе $R < 70$ км.

Рис. 2. Распределение эпицентров землетрясений вблизи Бурейской ГЭС с октября 2005 г. по апрель 2015 г.

Квадратом выделены сейсмические события в пределах Турано-Бурейской структуры.
Ромбами показано расположение плотин Бурейской и Нижнебурейской ГЭС.

Результаты экспериментальных наблюдений

Район Бурейской ГЭС характеризуется индивидуальной сейсмичностью, которая по площади представляет собой клинообразную вытянутую форму северо-восточного направления от плотины (Рис. 2) с достаточно плотной очаговой структурой, получившей название Турано-Бурейской (ТБС). Структура приурочена Западно-Туранскому, Туранскому и Бурейскому глубинным разломам 1-го порядка [1]. Основные очаги этой структуры расположены к востоку – северо-востоку от основных гидротехнических сооружений Бурейской и Нижнебурейской ГЭС.

В данной работе для анализа динамики сейсмического процесса использован статистический метод сравнения частот землетрясений по различным энергетическим классам землетрясений $K=LgE$, где E в Дж, на основе графиков повторяемости. Графики повторяемости построены за период 1975-2005г.г. (до наполнения водохранилища) на основе всех имеющихся данных по землетрясениям на площади, ограниченной указанными выше координатами наблюдений (48-52°СШ, 128-134°ВД) и за период эксплуатации плотины Бурейской ГЭС для квадрата ТБС (Рис. 3). На рисунке 3 данные по всей площади (маркеры в виде квадратов) аппроксимированы прямой $LgN=-0.426K+4.742$, по площади ТБС (маркеры в виде ромбов) - прямой $LgN=-0.728K+7.522$. Данные по всей площади нормированы к данным ТБС по времени и площади.

По представленным графикам можно сделать вероятностную оценку максимально возможного местного землетрясения для ТБС в любом интервале времени

Рис. 3. Графики повторяемости до и после заполнения водохранилища за $\Delta T=9.5$ лет
 Вертикальная ось – логарифм количества землетрясений, горизонтальная – энергетический класс землетрясений.
 Разъяснения в тексте.

Анализ результатов сейсмологических наблюдений и выводы

Исходя из графика повторяемости землетрясений ТБС за 2005-2015 гг. максимальное расчетное значение энергетического класса в пределах гидроузла, на данный период, следует ожидать не более $K=10.3$, что соответствует магнитуде $M=3.5$. Если аппроксимировать данный график на значения ОСР-97(С), то ожидаемое землетрясение с вероятностью 0.19% может произойти с магнитудой $M=5.8$. Эпицентральное расстояние до ближайшей очаговой зоны составляет порядка 10 км. Таким образом, максимально расчетное землетрясение (МРЗ) из этого очага может вызвать сотрясения, рассчитанные по формуле Шабалина Н.А., в первом случае ($\Delta T=9.5$ лет) – 5 баллов на грунтах второй категории, в зоне жилого массива и 4 балла в зоне основных сооружений. Во втором случае (вероятность 0.19%) - 8 и 7 баллов, соответственно. Остальные очаговые зоны ТБС удалены и поэтому менее опасны по МРЗ.

Наклон графиков повторяемости указывает на то, что сейсмичность в головной части водохранилища после заполнения отличается от сейсмичности, установленной до его наполнения. Качественный анализ показывает также, что за 10 лет работы ГЭС произошло перераспределение количества землетрясений в область низкоэнергетических классов. На первый взгляд, это может свидетельствовать о техногенном влиянии водохранилища на природную сейсмичность.

С другой стороны, в количественном отношении, число землетрясений с энергетическим классом (в статистическом смысле) $K=6.5$ увеличилось в 10 раз (100 и 1000 событий), а с $K=8$ - в два раза (25 и 50 событий) (Рис. 3). То есть, средний избыток энергии составит (по правилу Лейбница) $\Delta E_{\text{ср}} = (25 \cdot 108 + 900 \cdot 106) / 2 = 109 \cdot (2.5 + 0.9) / 2 = 1.7 \cdot 109 \text{ Дж}$. Если проинтегрировать по всей области от $K=6.5$ до $K=9$, то получим значение $\Delta E_{\text{ср}} \approx 1010 \text{ Дж}$. Можно заключить, что за время наблюдений наметился недостаток энергии сейсмических событий с $K > 10$ (одно событие). В течение 2014 года было зарегистрировано пять местных землетрясений за пределами ТБС $K=(9.13, 9.21, 9.11, 9.32, 9.29)$ общей энергией 109.8 Дж. В пределах ТБС выделившаяся энергия сейсмических событий с $K=9$ составила 109.6 Дж. Это означает, что на энергетическом уровне баланс между землетрясениями с $K < 9$ и $K > 9$ (видимая точка пересечения графиков (Рис. 3) сохраняется.

Этот факт перераспределения энергии в область низкоэнергетических классов с сохранением общего баланса энергии может свидетельствовать о реструктуризации геологической среды в начальный этап работы плотины. Моделью данных процессов может быть гидратация межблоковых зон массивов горных пород вблизи БГЭС с уменьшением коэффициента сцепления блоков. Длительность данных процессов детально не исследовалась.

Метод анализа распределения количества землетрясений в виде графиков повторяемости очень чувствителен как временному интервалу, так и к пространственной области моделирования. Например, выявленные тенденции

могут быть отражением региональных геологических процессов [3], вследствие медленных миграций сейсмической активности [9], под действием деформационных волн [10], изменению графика повторяемости в период подготовки сильного землетрясения [4].

Все эти вопросы являются предметом дальнейших исследований, актуальность которых представляет несомненную научную и практическую значимость в вопросах сейсмической безопасности промышленного региона.

Благодарности

Авторы выражают благодарность С.В. Трофименко за полезные советы и обсуждение результатов моделирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания №5.1771.2014/К Министерства образования и науки России

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:1 000 000. (третье поколение). Дальневосточная серия. М.: ВСЕГЕИ. 2012.
2. Симак С.В., Шумакова Е.М. Гидрологические аспекты безопасности Жигулевской ГЭС и примыкающих к ней территорий //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1-9. С. 2255-2260.
3. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 3. С. 64–77.
4. Трофименко С.В. Суточные и годовые циклы сейсмической активности сейсмических поясов Северо-Востока Азии в модели блокового строения земной коры // Вестник СВФУ. 2011. Т. 8. № 1. С. 55-63.
5. Gahalaut K., Gahalaut V.K., Pandey M.R. A new case of reservoir triggered seismicity: Govind Ballav Pant reservoir (Rihand dam), central India //Tectonophysics, Volume 439, Issues 1–4, 20 July 2007, Pages 171-178.
6. Haggag H.M., Bhattacharya Pankaj M., Kamal S., Kayal J.R. Seismicity and 3D velocity structure in the Aswan Reservoir Lake area, Egypt //Tectonophysics, Volume 476, Issues 3–4, 25 October 2009, Pages 450-459.
7. Kusala Rajendran, N. Thulasiraman, K. Sreekumari. Microearthquake activity near the Idukki Reservoir, south India: A rare example of renewed triggered seismicity //Engineering Geology, Volume 153, 8 February 2013, Pages 45-52
8. Li Fangquan, Zhang Bochong. Possibility of reservoir induced seismicity around three gorges dam on Yangtze river //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 34, Issues 3–4, April–June 1997, Pages 76.e1-76.e8.
9. Trofimenko S.V., Bykov V.G., Merkulova T.V. Seismicity migration in the zone of convergent interaction between the Amur plate and the Eurasian plate // Journal of Volcanology and Seismology, 2015, Vol. 9, No. 3, pp. 210-222. DOI: 10.1134/S0742046315030069.
10. Trofimenko S. V., Bykov V.G. The model of crustal block movement in the South Yakutia geodynamic testing area based on GPS data // Russian Journal of Pacific Geology. 2014. Vol. 8. № 4. pp. 247-255. DOI: 10.1134/S1819714014040071.