

ВЛИЯНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА ОПОЛЗНЕВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ БЕРЕГОВ БРАТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ю.Б. Тржцинский, Е.А. Козырева, Я.Б. Радзиминович

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Установлено, что создание Братского водохранилища заметно повлияло на изменение сейсмической ситуации в этой части Сибирской платформы. Отмечено повышение энергетических классов землетрясений, эпицентры которых сосредоточены на севере водоема в зоне развития трапповых интрузий. Изменение инженерно-геологической ситуации и участвовавшие сейсмические сотрясения сказались на темпах развития гравитационных деформаций на береговых склонах.

Природно-техническая система, водохранилище, реакция геологической среды, динамика оползневых процессов.

THE EFFECT OF SEISMIC EVENTS ON SLIDING DEFORMATIONS OF THE BRATSK WATER RESERVOIR SHORES

Yu.B. Trzhtinsky, E.A. Kozyreva, and Ya.B. Radziminovich

Research has shown that the creation of the Bratsk water reservoir considerably changed the seismic conditions in this area of the Siberian Platform. Seismic records revealed a significant increase in the energy classes of earthquakes with epicenters in the north of the reservoir, in trap intrusion zone. The change in engineering-geologic conditions and frequent seismic events affected the rate of development of gravitational deformations on the shore slopes.

Natural-engineering system, reservoir, response of geologic environment, dynamics of landslides

ВВЕДЕНИЕ

Создание Братского водохранилища сыграло заметную роль в изменении сейсмической ситуации на юге Сибирской платформы, долгое время традиционно считавшейся асейсмичной. После возникновения водоема сейсмичность данной территории существенно увеличилась. Согласно каталогу землетрясений, составленному Байкальским филиалом Геофизической службы СО РАН, начиная с 70-х годов прошлого столетия в районе Братского водохранилища произошло более 40 землетрясений с энергетическим классом $K_p = 8.0 - 11.6$. Природа сейсмичности северной части водохранилища детально анализируется в работе [Павленов, Черных, 2004]. Нам импонирует эта точка зрения; подробно наши взгляды на этот вопрос изложены в специальной работе [Иванов, Тржцинский, 2001]. Анализ динамики гравитационных смещений на берегах водохранилища показывает, что сравнительно слабые сейсмические сотрясения сказались на темпах развития оползней и отступления кромки берега. Необходимо отметить, что в последнее время в развитии шкал сейсмической интенсивности отмечается тенденция к расширению диапазона интенсивности сотрясений, в пределах которого возможно возникновение того или иного эффекта. Сказанное в полной мере относится и к оползням. В работе [Vogt et al., 1994], а также в шкале сейсмической интенсивности EMS-98 [European..., 1998] отмечается вероятность появления оползневых деформаций при 5-балльном сотрясении, причем, что принципиально важно, с возможной задержкой проявления эффекта относительно момента землетрясения. В недавно опубликованной шкале эффектов землетрясений в окружающей среде [The INQUA..., 2004] предполагается, хотя и как исключительный случай, возможность возникновения или реактивизации небольших оползней при сотрясениях интенсивностью 4 балла. Мы считаем, что наши исследования позволяют дополнить складывающиеся представления по рассматриваемому вопросу. Ниже мы остановимся на некоторых конкретных примерах.

ВЛИЯНИЕ СЛАБОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА АКТИВИЗАЦИЮ ОПОЛЗНЕЙ

Участок Артумей вошел в литературу как классический вариант переработки берега в первый период заполнения водоема. Наиболее катастрофические явления происходили в 1961—1967 гг. на участке берега непосредственно в районе пос. Артумей, где в течение двух лет берег отступил на ширину 1.1 км. Это, в свою очередь, обусловило необходимость переноса населенного пункта на новое место.

Повышение уровня грунтовых вод способствовало обводнению нижних горизонтов песчаной толщи, в результате чего произошло нарушение устойчивости склона. За зимний период 1962—1963 гг. уровень заполняемого водохранилища был поднят на 15 м. Это определило факт взвешивающего действия воды

на массив и способствовало формированию здесь пласта лжепльвуна, обусловившего в дальнейшем развитие склона по оползневому сценарию. По данным С.И. Голенецкого [1998], в это же время на данной территории произошла серия сейсмических событий с эпицентральной интенсивностью до 4 баллов. Сочетание этих факторов (кратковременные, но сильные штормы в период мая—июня и сейсмика) способствовало активизации оползнепльвунных процессов. Зимний период 1966—1967 гг. характеризуется повышенной сейсмичностью (до 4 баллов) и в сочетании с повышением уровня водоема возникли значительные напряжения в массиве — началось активное выплывание в водоем блоков обводненных песков, формирование крупных оползневых ступеней и их смещение под урез (в августе — 100 м, в сентябре — 144 м). Как правило, основные события происходили в летние месяцы. В процесс обрушения по всему участку протяженностью 2.5 км было вовлечено более 8 млн м³ грунта [Лащилова, 1975].

Другой сложный участок — Омский, где оползни развиваются в терригенных породах мамырской свиты ордовика. Деформации склона стали интенсивно проявляться после заполнения водохранилища. Воздействие землетрясения, произошедшего в августе 1983 г. в 7 км от оползня, сказалось на отступании бровки берегового уступа на 53 м, зафиксированного мониторинговыми наблюдениями на участке в 1984 г. Все пики оползневой активности совпадают с сейсмическими событиями, хотя на данном участке нельзя недооценивать и абразионную нагрузку. Кооперативное влияние сотрясений (от землетрясений и штормов в осенний период) привело к значительным потерям берега.

Участок Имбейский — это современный активный оползень, развивающийся в породах нижнего ордовика. Он расположен на узком участке Окинской акватории, к нему волны подходят практически по касательной, что значительно снижает их разрушающую способность. По материалам многолетних наблюдений роль абразионной деятельности как фактора, влияющего на динамику смещений грунтовых масс на склоне, на данном участке не установлена. Однако, проанализировав графики отступления береговой бровки, отмечено, что процесс ее разрушения происходит неравномерно. Так, в период с 1985 по 1988 г., т. е. в то время, когда сейсмические события в этом районе происходили регулярно (в летне-осенние периоды 1985—1988 гг. произошло шесть землетрясений с энергетическим классом 8.0—8.3), зафиксированы вывалы крупных блоков породы, что привело к значительному отступанию береговой бровки (например, в период с 1986 по 1987 г. на 0.55 м).

Анализ скоростей смещения тела самого оползня также демонстрирует отзывчивость среды на сейсмические сотрясения. В 1983 г. на описываемой территории отмечены три землетрясения, при которых Имбейский оползневый участок попал в зону сейсмического воздействия. Динамика смещений оползневых блоков в сторону водоема в эти годы составила 6 см/год. В периоды отсутствия сейсмических событий средние значения смещений за год не превышали 1.2 см.

Совершенно другая ситуация на Монастырском участке. Это оползень глубинной ползучести, он демонстрирует стабильные смещения массива со скоростью от 1.7 до 3.0 см/год (по разным маркам), при этом резких всплесков в динамике оползневого процесса не зафиксировано. Здесь установлена прямая взаимосвязь динамики оползня с абразией, поскольку участок расположен на мысе Монастырской горы, которая находится в самом широком месте водохранилища, для которого характерна длина разгона волн юго-западного и северо-восточного направлений 10—40 км. В результате ежегодных замеров развития берегового уступа было установлено, что скорость его отступления за год колебалась от 12 до 17 см. Вместе с тем замеры в августе 1979 г. показали, что за прошедший период берег отступил на 2.13 м. С нашей точки зрения, это могло стать результатом двух землетрясений девятого энергетического класса, произошедших 28 и 30 июня 1979 г., эпицентры которых находились на расстоянии 40 км к северо-западу и северо-востоку от Монастырской горы. В дальнейшем, вплоть до 1996 г., ежегодная скорость отступления береговой кромки не превышала 17 см.

Расчет возможной интенсивности сотрясений в пределах оползней северной части Братского водохранилища производился с помощью уравнения Т.Г. Раутиан [Rautian, Leith, 2002] (пересчет энергетического класса в магнитуду) и макросейсмического уравнения Н.В. Шебалина [1968]. Расчеты показали, что оползневые участки мониторинговой сети попадают в зону с интенсивностью сотрясений 3—4 балла (энергетический класс 8—9, глубина для расчетов задавалась 10 км).

ВЫВОДЫ

Возникновение или активизация небольших подготовленных оползней при умеренных и слабых сейсмических воздействиях вполне возможны, что иллюстрируется примером Чуйского землетрясения, при котором в г. Барнаул в лессовых породах образовался оползень, перекрывший пешеходную дорожку [Имаев и др., 2004]. Интенсивность сотрясений при этом составляла около 4 баллов. Следовательно, умеренные сейсмические воздействия в определенных ситуациях способны провоцировать возникновение оползневых деформаций, особенно в условиях подготовленности склонов, при этом сейсмика и абразия оказывают синергетическое воздействие на берега водохранилища. Возможно, что и формирование Стрелкинского оползня, обнаруженного осенью 1983 г. в Калтукском расширении водохранилища,

спровоцировано тремя землетрясениями, произошедшими в течение 1983 г. Таким образом, сейсмичность района Братского водохранилища должна учитываться при инженерно-геологической оценке осваиваемых территорий.

ЛИТЕРАТУРА

Голенецкий С.И. Редкое землетрясение на юге Сибирской платформы // Докл. РАН, 1998, т. 363, № 3, с. 392—395.

Иванов И.И., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика. СПб., Наука, 2001, 414 с.

Имаев В.С., Мельников А.И., Чипизубов А.В., Аржанников С.Г., Барышников Г.Я. Следы палео- и современных катастроф Сибири (сейсмогенные деформации предгорной части Алтайского края) // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск, ИЗК СО РАН, ИрГТУ, 2004, с. 130—144.

Лащилова В.М. Формирование берегов Братского водохранилища, сложенных песками-пльвунами // Гидрометеорологический режим водохранилищ и крупных озер Сибири, Вып. 18. М., Гидрометеоздат, 1975, с. 71—101.

Павленов В.А., Черных Е.Н. Проблемы наведенной сейсмичности Ангарского каскада ГЭС // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Иркутск, ИЗК СО РАН, ИрГТУ, 2004, с. 190—196.

Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М., Наука, 1968, с. 95—111.

European Macroseismic Scale 1998. EMS-98 / Ed. G. Grunthal. Luxembourg, 1998, 99 p.

Rautian T., Leith W. Composite regional catalogs of earthquakes in the former Soviet Union // U.S. Geological Survey Open File Report 02-500, 2002, 53 p.

The INQUA scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment / Eds. E. Vittori, V. Comerci: Special paper. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, v. LXVII, 2004, 120 p.

Vogt J., Musson R. M. W., Stucchi M. Seismogeological and hydrological criteria for the New European Macroseismic Scale (MSK-92) // Natural Hazards, 1994, v. 10, № 1—2, p. 1—6.

*Поступила в редакцию
15 сентября 2006 г.*