

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ (НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСТАНА)

С. Ж. Орунбаев\*, М. В. Родкин

*Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли, Бишкек, Кыргызская Республика*  
*\*E-mail: s.orunbaev@gmail.com*

Кыргызстан расположен в одной из сейсмоактивных областей. Оценка сейсмической безопасности базируется на решении комплекса задач: оценке величины и повторяемости сейсмических воздействий, оценке грунтовых условий, оценке уязвимости социо-техносферы. Ни одна из этих проблем окончательно не решена. Оценка сильнейших воздействий затрудняется малой длительностью сейсмических каталогов. Инструментальная оценка грунтовых условий хорошо решается локально, но эти методы трудоемки и ими нельзя покрыть значительные площади. Оценка уязвимости предполагает учет изменений как в практике строительства, так и изменения экологических факторов (обводненности, характера землепользования). Пример Гиссарского землетрясения (1989 г., Таджикистан) показывает, что даже не сильное событие ( $M = 5.2$ ) на обводненных лессовых грунтах может вызвать катастрофические оползни и разжижение. Для Кыргызстана, где зоны высокой сейсмичности совпадают с областями распространения лессов и активно меняющимся водным режимом, такой сценарий актуален. Ниже даны подходы к решению этих вопросов на примере Кыргызстана.

В условиях недостатка инструментальных и исторических сейсмических данных важную роль играют геологические и палеосейсмологические методы оценки параметров сильных землетрясений за большие интервалы времени. Метод выявления и интерпретации смещений скальных блоков позволяет оценивать максимальные уровни прошлых сейсмических воздействий. Применение этого подхода позволило расширить временной диапазон для оценки сейсмической опасности в Алайской и Нарынской долине. Другим источником информации о сильных землетрясениях прошлого являются донные отложения горных озёр. Исследование донных осадков озера Сары-Челек показало, что осадочная последовательность прерывается событийными слоями турбидитов и деформированных осадков. Эти структуры формируются в результате подводных оползней, обрушений склонов и разжижения осадков при сильных землетрясениях. Анализ кернов донных осадков позволил установить возраст таких событийных слоев, в частности, двух последних, отвечающих сильным землетрясениям магнитудой  $M_{\text{LN}} \approx 7.5$ : Чаткальскому 1946 г. и Суусамырскому 1992 г. Такое совпадение показывает, что озёрные осадки могут служить хорошим регистратором сейсмической активности, позволяющим реконструировать историю сильных землетрясений за длительные периоды времени.

Также важен учет изменения социально-экономических и геоэкологических (обводнение грунтов, деградация мерзлоты) условий, что особенно существенно в виду быстрого изменения социально-экономических и природных условий (среди прочего, иницируемых изменениями климата). Методы микросейсмического зондирования и вертикального электрического зондирования использовались для картирования грунтовых условий и уровней грунтовых вод (города Бишкек, Нарын, плотина Курпсай). Мониторинг плотины Курпсай выявил наличие отклика от сезонных изменений температуры и уровня воды. В северной части Бишкека установлено, что подъем уровня грунтовых вод (вследствие ирригации и климатических изменений) ведет к снижению несущей способности лессовых грунтов и увеличению риска подтопления. Обводнение лессовых толщ мощностью 50–150 м многократно усиливает сейсмический эффект. Дополнительные данные дает анализ спутниковых данных (NDVI) для оценки связи изменений растительности и водного режима.

Характер сейсмического ущерба в Кыргызстане в ближайшие десятилетия будет определяться не только собственно характером сейсмичности, но и динамикой геоэкологических условий (обводнение грунтов) и изменением уязвимости застройки. В этой связи актуален переход от статических карт сейсмической опасности к динамическим сценариям риска, интегрирующим данные мониторинга грунтовых вод, климатические прогнозы и актуальные характеристики зданий.

**AN INTEGRATED APPROACH TO ASSESSING SEISMIC HAZARD, TAKING INTO ACCOUNT CHANGES IN GEOECOLOGICAL CONDITIONS (KYRGYZSTAN AS AN EXAMPLE)**

**S. Z. Orunbaev\*, M. V. Rodkin**

*Central Asian Institute Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyz Republic*

*\*E-mail: s.orunbaev@gmail.com*

Kyrgyzstan is located in one of the most seismically active regions of Central Asia. Assessing seismic safety requires addressing several interconnected tasks: estimating the magnitude and recurrence of seismic impacts, evaluating local ground conditions, and assessing the vulnerability of the socio-technical environment. None of these issues has been fully resolved. The evaluation of the strongest seismic impacts is constrained by the relatively short duration of instrumental and historical earthquake catalogs. Although instrumental methods allow accurate assessment of ground conditions at local sites, they are labor-intensive and cannot easily be applied over large areas. At the same time, vulnerability assessments must consider changes in construction practices as well as environmental factors such as groundwater conditions and land-use changes. The example of the 1989 Gissar earthquake in Tajikistan illustrates this challenge: despite its moderate magnitude ( $M = 5.2$ ), the event triggered catastrophic landslides and soil liquefaction in water-saturated loess deposits. In Kyrgyzstan, where highly seismic zones coincide with extensive loess formations and changing hydrological conditions, such scenarios remain highly relevant.

In the absence of long instrumental and historical records, geological and paleoseismological methods are important for reconstructing parameters of strong earthquakes over longer time intervals. One such method involves identifying and interpreting displaced precariously balanced rock blocks, which allows estimation of maximum ground motions produced by past seismic events. Application of this approach has extended the time horizon for seismic hazard assessment in the Alai and Naryn valleys.

Another valuable archive of past seismic activity is preserved in the sedimentary records of mountain lakes. Studies of bottom sediments in Lake Sary-Chelek reveal event layers such as turbidites and deformed deposits formed by underwater landslides, slope failures, and sediment liquefaction triggered by strong earthquakes. Analysis of sediment cores identified layers corresponding to two strong earthquakes with magnitudes of approximately  $MLH \approx 7.5$ : the 1946 Chatkal earthquake and the 1992 Suusamyr earthquake. This demonstrates that lacustrine sediments can serve as reliable natural archives for reconstructing long-term seismic histories.

Ongoing socio-economic and geoenvironmental changes must also be considered. Rising groundwater levels, land-use changes, and climate-related processes can significantly influence ground stability. Geophysical methods, including microseismic sounding and vertical electrical sounding, have been applied to map subsurface conditions and groundwater levels in Bishkek, Naryn, and at the Kurpsai dam. Monitoring at the Kurpsai dam shows responses to seasonal variations in temperature and water levels. In northern Bishkek, groundwater rise—partly due to irrigation and climate change—reduces the bearing capacity of loess soils and increases flooding risks.

Future seismic damage in Kyrgyzstan will depend not only on seismic activity but also on evolving environmental conditions and the vulnerability of the built environment. Therefore, there is a need to move from static seismic hazard maps toward dynamic risk assessment approaches integrating environmental monitoring, climate projections, and updated building data.