

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ В ПРЕДЕЛАХ АКТИВНОГО РАЗЛОМА АКТЕКЕ, СЕВЕРНОЕ КРЫЛО ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ

Аннотация. В статье изложены результаты измерения смещения по активному разлому Актеке в среднечетвертичное, позднечетвертичное, голоценовое время. Отмечено, что зона разлома Актеке представляет собой ассоциацию активных структур. Методом тренчинга установлены проявления двух палеоземлетрясений с $M_w = 6.7-7.2$. В районах нп. Кош-Кель, Тамчы, Чок-Тал в озерных отложениях выявлены сейсмиды, образованные в результате разжижения. На северном склоне дна озера Иссык-Куль восточнее нп. Тамчы и в районах нп. Чок-Тал на космическом снимке отмечается вероятная зона деформации грунта. Расчётные значения пикового ускорения грунта (PGA) на расстоянии от вероятного очага 1.0 км для события $M_w = 5.0$ составляет около 13 см/сек², для события $M_w = 6.0$ - 71 см/сек², для события $M_w = 7.0$ - 380 см/сек² и для события $M_w = 7.5$ - 876 см/сек².

Ключевые слова: землетрясение, активный разлом, сейсмическая опасность, пиковое ускорение грунтов, разжижение грунтов.

ЫСЫК-КӨЛ ОЙДУҢУНУН ТҮНДҮК КАНАТЫНДА ЖАЙГАШКАН АКТЕКЕ АКТИВДҮҮ ЖАРАКАСЫНЫН ЧЕГИНДЕГИ СЕЙСМИКАЛЫК КОРКУНУЧ

Кыскача мазмуну. Макалада Актеке активдүү жаракасы боюнча орто төрттүк, кеч төрттүк, голоцен мезгилиндеги жылышууну өлчөө натыйжалары көрсөтүлгөн. Актеке жарака зонасы активдүү структуралардын ассоциациясы экендиги белгиленди. Тренчинг ыкмасы менен $M_w = 6.7-7.2$ эки палео жер титирөөлөр белгиленген. Кош-Көл, Тамчы, Чок-Тал айылдарга жакын жерде көл чөкмө катмарларында суюлтуунун натыйжасында пайда болгон сеймиттер аныкталган. Космостук сүрөттө Тамчы айылынын чыгыш тарабында жана Чок-Тал айылынын жанында Ысык-Көлдүн түбүнүн түндүк капталында болжолдуу деформация зонасы белгиленген. Болжолдуу очогуна 1,0 км алыстыктагы топурактардын эң жогорку ылдамдануусунун (PGA) эсептик маанилери $M_w = 5,0$ окуясы үчүн болжол менен 13 см/сек², $M_w = 6.0$ - 71 см/сек², $M_w = 7.0$ - 380 см/сек² жана $M_w = 7.5$ - 876 см/сек².

Негизги сөздөр: жер титирөө, активдүү жарака, сейсмикалык коркунуч, топурактардын эң жогорку ылдамдануусу, топурактардын суюлушу.

SEISMIC HAZARD WITHIN THE ACTIVE AKTEKE FAULT, NORTHERN WALL OF THE ISSYK-KUL BASIN

Abstract. The results of displacement measurements along the active Akteke fault in the mid-Quaternary, late Quaternary, and Holocene are presented in the paper. It is noted that the Akteke fault zone is an association of active structures. Using the trenching method, manifestations of two paleoearthquakes with $M_w = 6.7-7.2$ were identified. Seismites formed as a result of liquefaction were identified in lake sediments near the settlements of Kosh-Kul, Tamchy, and Chok-Tal. On the northern slope of the Lake Issyk-Kul bottom east of the settlement of Tamchy and in the area of the settlement of Chok-Tal, a probable zone of deformation is noted on the satellite image. The calculated values of peak ground acceleration (PGA) at a distance of 1.0 km from the probable source for an event of $M_w = 5.0$ are about 13 cm/sec², for an event of $M_w = 6.0$ - 71 cm/sec², for an event of $M_w = 7.0$ - 380 cm/sec² and for an event of $M_w = 7.5$ - 876 cm/sec².

Keywords: earthquake, active fault, seismic hazard, peak ground acceleration, soil liquefaction.

Геодинамическая активизация исследуемой территории началась с проявлением мезо-кайнозойских базальтов [1, 2]. Здесь формировались устойчивые активные структуры: Кунгейская антиклиналь и Иссык-Кульская синклиналь. Кунгейская структура поднята до 5000 м. В Иссык-Кульской впадине поверхность древней денудационной поверхности прогнута до глубины 3000-3500 м [3].

На сочленении Кунгейского южно-вергентного активного новейшего устойчивого поднятия (на севере) и Иссык-Кульской впадины (на юге) развивается ассоциация активных разломов взбросо-надвигово-сдвигового характера, в которых отмечаются следы сильных палеоземлетрясений. Главными из них являются разломы: Западно-Кунгейский, Актеке [4]. Западно-Кунгейский разлом вероятно формируется с позднего палеогена. Разлом Актеке развивается с среднечетвертичного времени [2, 5], в котором сейсмоступ смещает среднечетвертичную Q_{II}^2 , позднечетвертичную Q_{III} , голоценовую Q_{IV} террасы (рисунок 1).

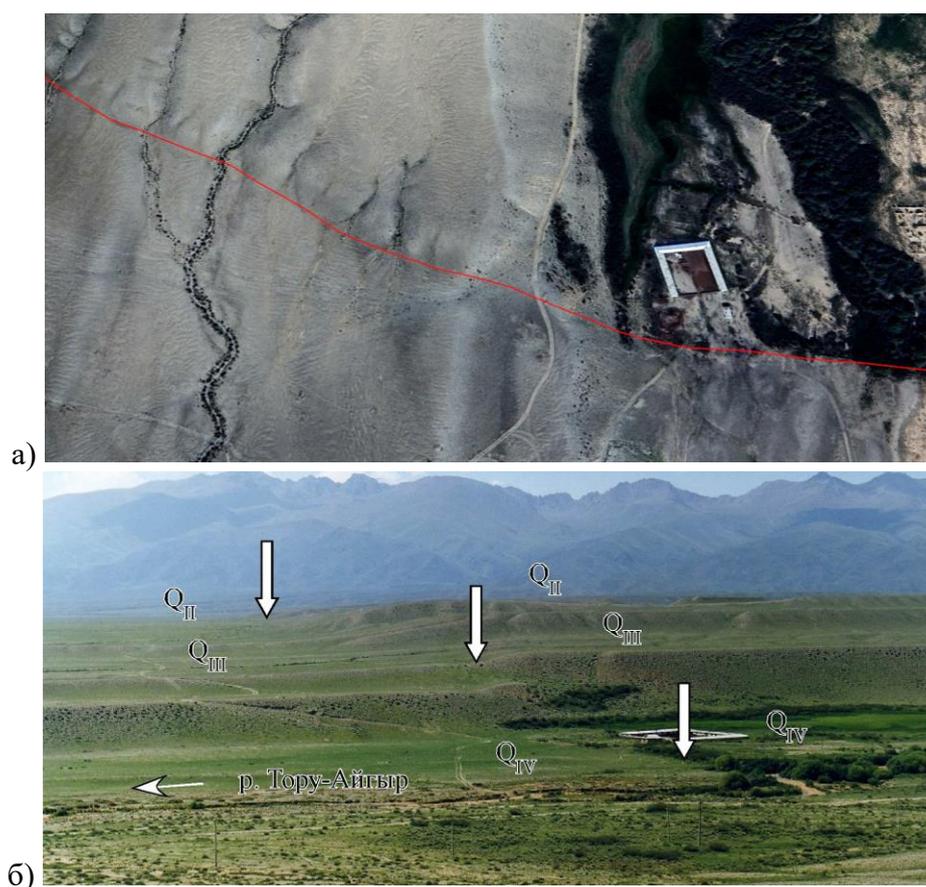


Рисунок 1. Сейсмоступ активного разлома Актеке по данным космического снимка (а), на фотоснимке с востока на запад (б) [5]. Сейсмоступ разлома смещает среднечетвертичную Q_{II}^2 , позднечетвертичную Q_{III} , голоценовую Q_{IV} террасы.

Замеры с помощью лазерного тахеометра («Total Station») по 18 поперечным профилям (с юга на север) [2, 5] сейсмоступа показали, что среднечетвертичная (Q_{II}^2) терраса смещена на 20-23 м, позднечетвертичная терраса (Q_{III}^2) – на 3-7 м, голоценовая (Q_{IV}) терраса – на 2.5-4.3 м (рисунки 2-4). Следует отметить, что смещение позднечетвертичной террасы (до 7 м) содержит смещения голоценового времени (до 4,3 м), а смещение среднечетвертичной террасы (около 35 м) является кумулятивным смещением в позднечетвертичное и голоценовое время.

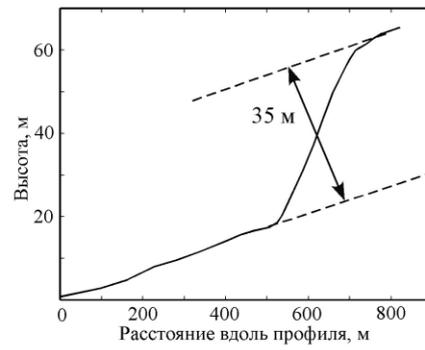


Рисунок 2. Профиль № 1 вдоль среднечетвертичной террасы р.Тору-Айгыр через разлом Актеке [2, 5].

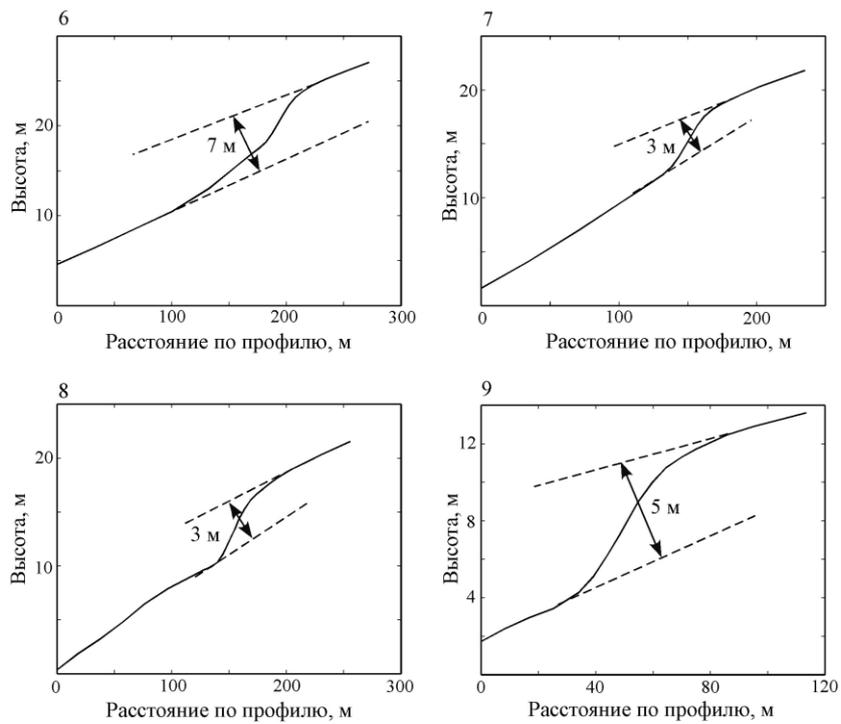


Рисунок 3. Профили № 6-9 вдоль позднечетвертичных террас р. Тору-Айгыр через разлом Актеке [2, 5].

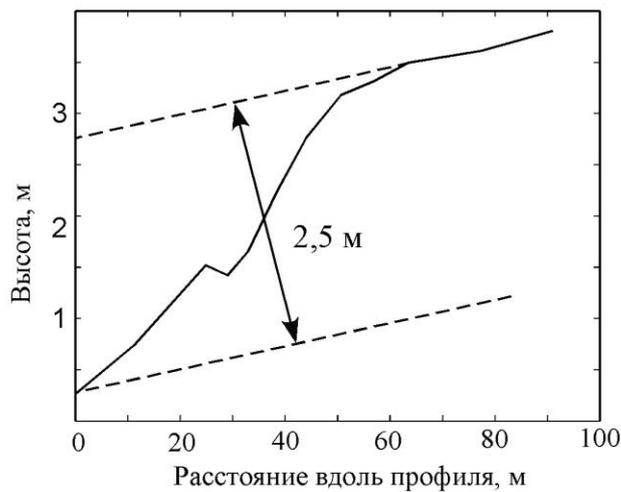


Рисунок 4. Профиль № 16 вдоль голоценовую террасу р. Тору-Айгыр через разлом Актеке [2, 5].

Определения возраста террас Q_{III} и Q_{IV} показали: 96 ± 8.6 тыс. лет и 1.32 ± 0.2 тыс. лет [5]. Соответственно, сейсмоступы в этих террасах образовались после 96 ± 8.6 тыс. лет и 1.32 ± 0.2 тыс. лет. На рисунке 5 приведена документация западной стенки траншеи, пройденной вдоль голоценовой террасы на правом борте р. Тору-Аугыр через зону разлома Актеке [2]. Вскрыты две зоны сейсмогенных разломов: северная и южная. Северный разлом взбросо- надвигово-сдвигового характера на глубине имеет угол падения $50^\circ-55^\circ$, в верхней части разреза выполаживается угол падения около 25° . Южный разлом надвигово-сдвигового характера в нижней части разреза имеет угол падения $30^\circ-35^\circ$, в верхней части разреза - угол падения порядка 25° . Подвижки по этим разломам составляли около 2.0-2.5 м. Это означает, что вероятно после 1.32 тыс. лет произошли два сильных палеоземлетрясения. Магнитуды их составляли порядка $M_w=6.7-7.2$ по формуле широко известной в мировой практике [6]. Следует отметить, что длина разрывов на поверхности (SRL - Surface Rupture Length) разлома очагов палеоземлетрясений с $M_w=7.2$, вероятно, достигала $SRL=55$ км.

Соответственно, восточная часть разрыва могла распространиться от места расположения р. Тору-Айгыр на расстояние 22-23 км до нп. Кош-Кель, Тамчы, Чок-Тал. В этих районах в озерных отложениях часто отмечают сейсмиды – это вторичные сейсмогенные дислокации, образованные разжижением - динамической неустойчивостью грунтов вследствие сильных землетрясений [4, 5, 7, 8].

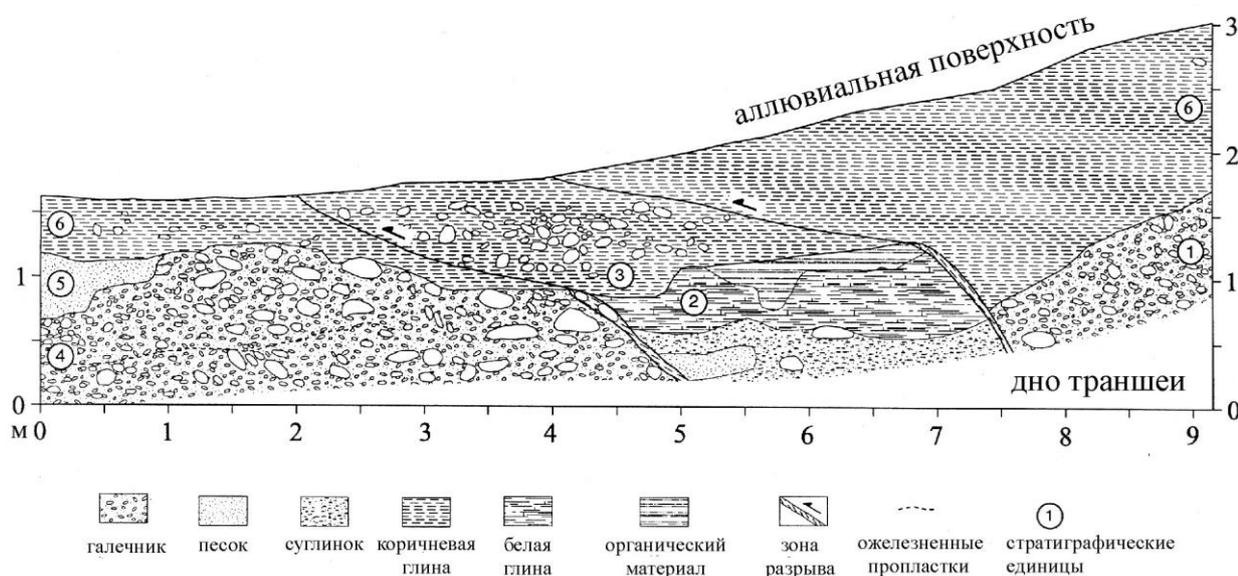


Рисунок 5. Документация западной стенки траншеи, пройденной вдоль голоценовой террасы на правом борте р. Тору-Айгыр через зону разлома Актеке [2, 5].

На рисунке 6 приведена документация сейсмидов на стенке карьера в районе нп. Кош-Кель [1]. Сейсмиды состоят из комплекса субвертикальных сложной формы даек (жил) разнозернистых песков в толще супесей. Расстояние между дайками представляет собой длины волны переменных сейсмических нагрузок $\lambda=23-31$ см. Поскольку, скорость поперечных волн в песках влажных $V_s=0.3-1.0$ км/сек можно предположить, что период сейсмических нагрузок $\lambda/V_s = T$ составляет около $T=0.0002-0.0003$ сек, частота - порядка 3000-5000 Гц.



Рисунок 6. Документация сейсмиков на ЮВ стенке карьера в районе нп. Кош-Кель, образованные вследствие разжижения – «холодного кипения» грунтов.

На рисунке 7 показана документация сейсмиков на юго-восточной стенке шурфа на южной части нп. Чок-Тал [1]. Выделяются верхний и нижний разновозрастные сейсмиды, которые разделены слоём (мощностью около 10 см) ленточных глин зеленовато – серого цвета с микрослоями (1-1.5 см) мелкозернистых песков. Нижний сейсмид (мощностью около 35 см) состоит из сильно гофрированных микрослоев (около 5 мм) песчаных глин и тонкозернистых (около 1.5 см) песков и залегает на слой мелкозернистых микрослоистых (горизонтально залегающих) песков. Верхний сейсмид сложен деформированными микрослями песчаных глин зеленовато-серого цвета с линзами, «подушками» в сложной форме тонко-мелкозернистых песков.

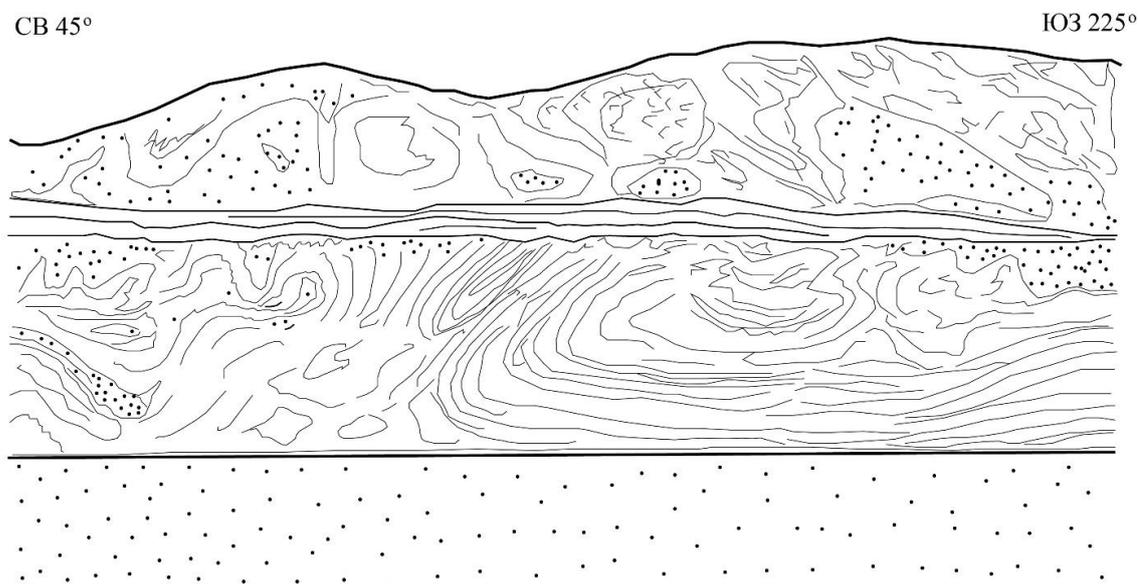


Рисунок 7. Документация сейсмиков на юго-восточной стенке шурфа в южной части нп. Чок-Тал.

Результаты изучения сейсмиков показали, что они представляют собой нелинейные модели реакции грунта, содержат эффект сильного нелинейного движения грунта и может быть основой теоретической модели (GMPE) [9].

Разлом Актеке (1) (на северном крыле Иссык-Кульской впадины) в свою очередь разветвляется на голоценовый разлом Южный Актеке (2) взбросо-надвигово-сдвигового характера и линеаменты Северный-Торуайгыр (3) и Южный Торуайгыр (4) (рисунок 8). В этих разломах (1, 2) отмечаются сейсмоступы. Амплитуды подвижек в них составляют порядка 0.9 -1.5 м. Имеющие данные позволяют предположить, что подвижки по разломам произошли во время палеоземлетрясений с $M_w=6.5-7.0$. При этом длина разрыва на поверхности разлома очага, вероятно, достигала около $SRL= 35$ км.

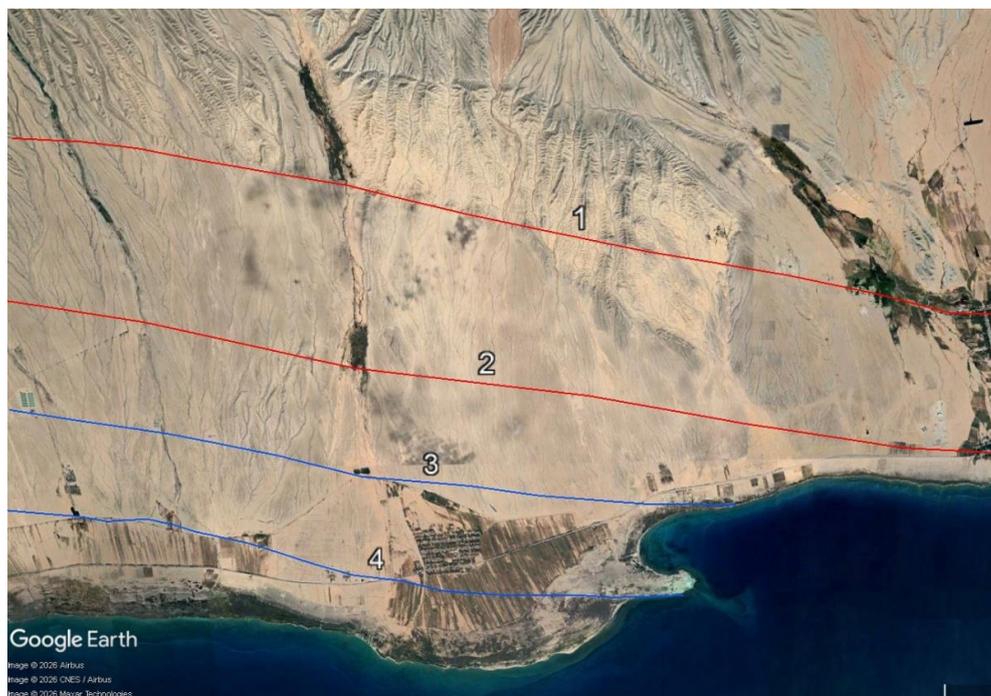


Рисунок 8. Карта-схема активного разлома Актеке (1) и его ответвлений: разлома Южный Актеке (2) (красная линия) и линейментов Северный (3) и Южный Торуйгыр (4) (синяя линия).

Отмечены современные деформации в пределах котловины озера Иссык-Куль [10, 11]. На северном склоне дна озера Иссык-Куль восточнее нп. Тамчы и в районах нп. Чок-Тал на космическом снимке отмечается вероятная зона деформации грунтов, параллельная береговой линии в теле предположительной подводной оползневой массы (рисунок 9). Данная зона имеет протяжённость около 15 км и ширину порядка 4.5 км.

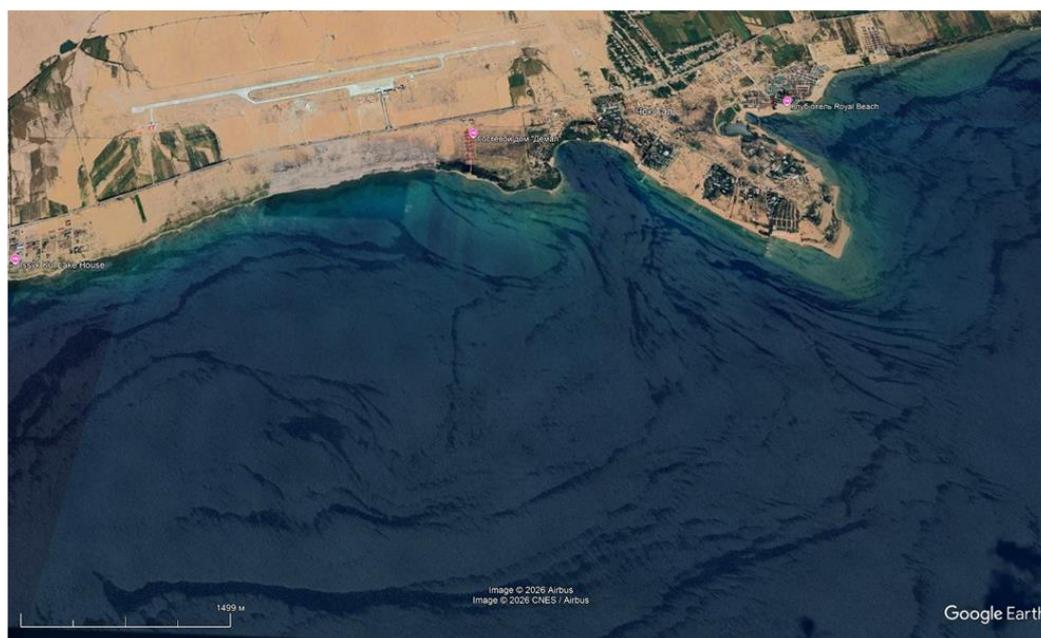


Рисунок 9. Вероятная зона деформации грунтов на северном склоне озера Иссык-Куль восточнее нп. Тамчы и в районах нп. Чок-Тал.

Вероятное затухание PGA скального грунта для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний при землетрясениях Mw 5.0, 6.0, 7.0 и 7.5. разломов Актеке взбросового типа на основании формулы Akkar, Bommer [12] показано на рисунке 10. Затухание PGA при Mw=7.5, 7.0, 6.0, 5.0 выражаются формулами с достоверностью аппроксимации 0.99:

$$\lg PGA = 0.2321 * \lg R^4 - 0.7836 * \lg R^3 + 0.5404 * \lg R^2 - 0.1581 * \lg R + 2.9427, \text{ при Mw}=7,5, \quad (1)$$

$$\lg PGA = 0.2749 * \lg R^4 - 0.9278 * \lg R^3 + 0.6399 * \lg R^2 - 0.1872 * \lg R + 2.5801, \text{ при Mw}=7,0, \quad (2)$$

$$\lg PGA = 0.3603 * \lg R^4 - 1.2162 * \lg R^3 + 0.8388 * \lg R^2 - 0.2454 * \lg R + 1.855, \text{ при Mw}=6,0, \quad (3)$$

$$\lg PGA = 0.4457 * \lg R^4 - 1.5046 * \lg R^3 + 1.037 * \lg R^2 - 0.3037 * \lg R + 1.1299, \text{ при Mw}=5,0, \quad (4)$$

где $\lg PGA$ – пиковое ускорение для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний, $\lg R$ - расстояние (км). PGA на расстоянии от вероятного очага 1.0 км для события Mw =5.0 составляет около 13 см/сек², для события Mw =6.0 - 71 см/сек², для события Mw=7.0 - 380 см/сек² и для события Mw =7.5 - 876 см/сек².

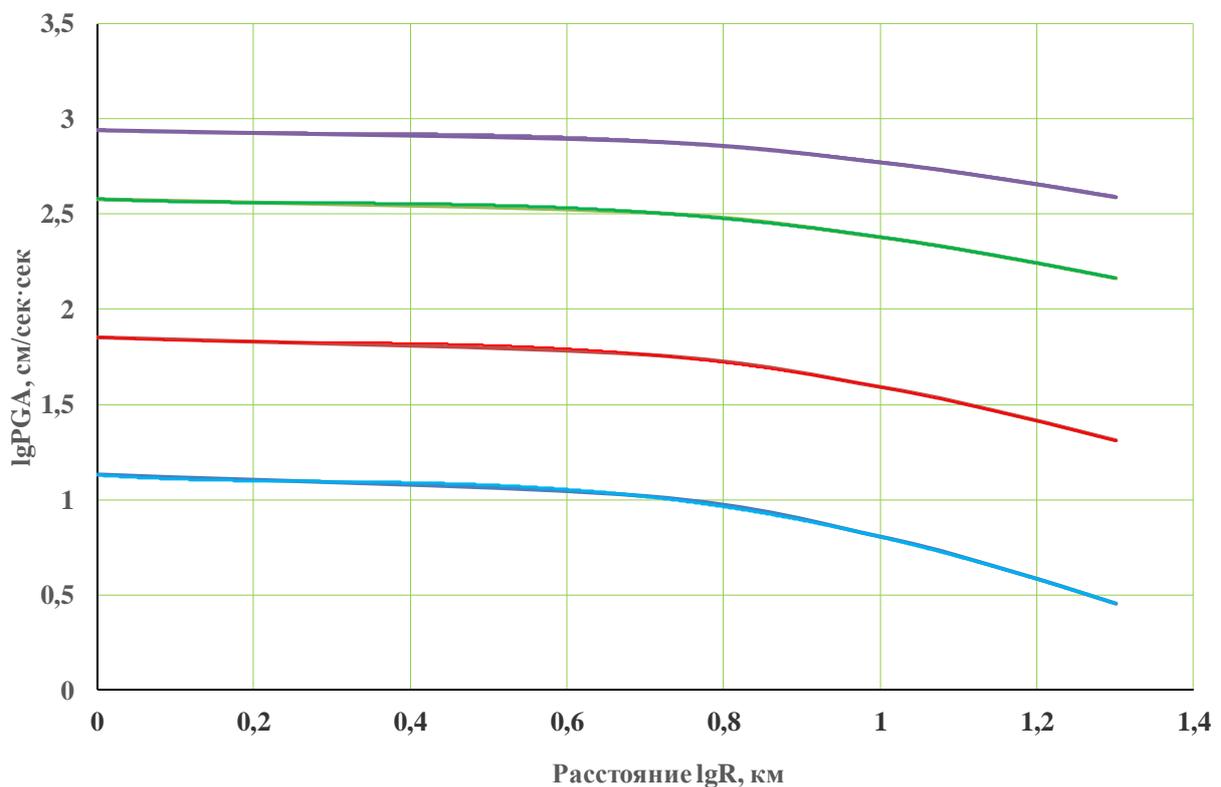


Рисунок 10. Затухание пикового ускорения скального грунта (PGA) для землетрясений Mw= 5.0, 6.0, 7.0 и 7.5 (снизу-вверх) разлома Актеке взбросового типа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С помощью лазерного тахеометра («Total Station») определено, что среднечетвертичная ($Q_{IV}^{(2)}$) терраса смещены на 20-23 м, позднечетвертичная терраса ($Q_{III}^{(2)}$) – на 3-7 м, голоценовая (Q_{IV}) терраса – на 2.5-4.3 м.
2. Траншеей вскрыты две зоны сейсмогенных разломов: северная и южная. Северный разлом взбросо- надвигово-сдвигового характера на глубине имеет угол падения 50°-55°, в верхней части разреза вышолаживается угол падения около 25°. Южный разлом надвигово-сдвигового характера в нижней части разреза имеет угол падения 30°-35°, в верхней части разреза - угол падения порядка 25°. Подвижки по этим

- разломам составляли около 2.0-2.5 м вследствие двух палеоземлетрясений с $M_w = 6.7-7.2$
3. В районах нп. Кош-Кёль, Тамчы, Чок-Тал в озерных отложениях отмечены сейсмиды, образованные разжижением - динамической неустойчивостью грунтов вследствие сильных землетрясений.
 4. Разлом Актеке на северном крыле Иссык-Кульской впадины разветвляется на голоценовый разлом Южный Актеке взбросо-надвигово-сдвигового характера и линеаменты Северный-Торуайгыр и Южный Торуайгыр. В этих разломах отмечены сейсмоступы. Амплитуды подвижек в них составляют порядка 0.9 -1.5 м вследствие палеоземлетрясений с $M_w=6.5-7.0$.
 5. На северном склоне дна озера Иссык-Куль восточнее нп. Тамчы и в районах нп. Чок-Тал на космическом снимке отмечается вероятная зона деформации, параллельная береговой линии в теле предположительной подводной оползневой массы.
 6. Затухание PGA при $M_w=7.5, 7.0, 6.0, 5.0$ выражается формулами с достоверностью аппроксимации 0.99:

$$\lg PGA = 0.2321 * \lg R^4 - 0.7836 * \lg R^3 + 0.5404 * \lg R^2 - 0.1581 * \lg R + 2.9427, \text{ при } M_w=7.5,$$

$$\lg PGA = 0.2749 * \lg R^4 - 0.9278 * \lg R^3 + 0.6399 * \lg R^2 - 0.1872 * \lg R + 2.5801, \text{ при } M_w=7.0,$$

$$\lg PGA = 0.3603 * \lg R^4 - 1.2162 * \lg R^3 + 0.8388 * \lg R^2 - 0.2454 * \lg R + 1.855, \text{ при } M_w=6.0,$$

$$\lg PGA = 0.4457 * \lg R^4 - 1.5046 * \lg R^3 + 1.037 * \lg R^2 - 0.3037 * \lg R + 1.1299, \text{ при } M_w=5.0,$$

где $\lg PGA$ – пиковое ускорение для горизонтальной составляющей сейсмических колебаний, а $\lg R$ - расстояние (км).

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчёт о НИР «Разработать методические рекомендации по использованию аэрокосмических данных для характеристики сейсмических районов. Исследовать роль активных разломов в формировании сейсмогенных структур». -1990. - 212 с. Фонды ИС НАН КР.
2. Omuraliev M, Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: Pim. 2004. -166p.
3. Омуралиев М. Карта новейшей тектоники территории Киргизской Республики. Масштаб 1:500 000. 1988, Ташкентская картографическая фабрика, Центр «Природа» ГУГК при Совете Министров СССР, научный редактор Чедия О.К.
4. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. - Б.: ОСОО «ТРИАДА Принт». -2019. - 98 с.
5. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. -2006. -290 с.
6. Wells, D.L. and Coppersmith, K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement: Bulletin of the Seismological Society of America. -1994. v. 84, p. 974-1002.
7. Корженков А.М., Д. Бауман, М. Омуралиев, К. Хасельтон Следы древних сильных землетрясений в отложениях озера Иссык-Куль // Изв. РГО. - 1999. - Т. 131. - Вып. 4. - С. 48-55.
8. Гладков А.С., Лунина О.В. Сейсмиды юга Восточной Сибири: проблемы и перспективы изучения // Геодинамика и тектонофизика. -2010. – Т. 1. – № 3.
9. Zhao J.X, J. Hu, F. Jiang, J. Zhou, Y. Zhang, X. An, M. Lu, D. A. Rhoades Nonlinear site models derived from 1D Analyses for Ground-Motion Prediction Equations Using Site

- Class as the Site Parameter //Bulletin of the Seismological Society of America. -2015. -Vol. 105. -No. 4. -pp. 2010–2022.
10. De Batist, M., Imbo Y., Vermeesch P.M., Klerkx J., Giralt S., Delvaux D., Lignier V., Beck C., Kalugin I., Abdrakhmatov K.Y., 2002. Bathymetry and sedimentary environments of Lake Issyk-Kul, Kyrgyz Republic (Central Asia): a large, high-altitude, tectonic lake, in: Klerkx J., Imanackunov B. (Eds.), Lake Issyk-Kul: Its Natural Environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 101-123.
 11. Абдрахматов К.Е. Активные деформации дна озера Иссык-Куль. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2017. -№2(10). -с.13-8.
 12. Akkar, S., Bommer, J. J. Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East. Seismological Research Letters. -2010. 81 (2). 195-206 doi:10.1785/gssrl.81.2. C. 195

Рецензент: чл. – корр. НАН КР, д. г-м.н., проф. Абдрахматов К.Е.