

УДК 551/550

ОПОЛЗНЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ)

© 2014 г. З.А. Кальметьева¹, Б.Д. Молдобеков¹, И.А. Торгоев², И.И. Вольхин³

¹ Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г. Бишкек, Киргизия

² Научно-инженерный центр "Геоприбор" НАН Киргизии, г. Бишкек, Киргизия

³ Киргизско-Российский Славянский университет (КРСУ), г. Бишкек, Киргизия

Проведен сопоставительный анализ пространственно-временного распределения очагов фоновых землетрясений ($M \geq 2$) и оползней для двух оползнеопасных районов Киргизии, расположенных на территории Северного (горное обрамление Чуйской впадины) и Западного (северо-восточное обрамление Ферганской впадины) Тянь-Шаня. Для оценки геодинамической обстановки привлекались данные о механизмах очагов землетрясений, а также карты активных разломов и режимов новейших движений; рассматривались также данные об атмосферных осадках.

Полученные результаты позволяют предположить, что оползневая активность – самостоятельный деформационный процесс определенного масштабного уровня.

Установлено, что местоположение крупных оползней не совпадает с участками плотных скоплений эпицентров фоновых землетрясений; размещение оползней определяется глубинной структурой земной коры и приурочено к краевым частям современных поднятий. Активизация фоновой сейсмичности и оползней происходит синхронно в моменты, когда направление оси сжатия внезапно отклоняется от горизонтального.

Зависимость оползневой активности от количества выпадающих осадков очевидна, однако этот фактор следует рассматривать скорее как условие для снижения устойчивости склона, а не как причину оползневой активизации.

Ключевые слова: оползни, землетрясения, механизм очага землетрясения, ось сжатия, активные разломы, режим новейших движений, атмосферные осадки.

Введение

Ежегодно до 30% общего объема материального ущерба и человеческих потерь на территории Киргизии по данным республиканского МЧС приходится на оползни, в связи с чем изучению столь опасного природного явления уделяется большое внимание. На протяжении многих лет изучением оползней совместно занимаются соответствующие подразделения МЧС, институты Национальной академии наук Киргизии, представляющие разные научные направления – геологию, механику горных пород, сейсмологию, – при участии немецких коллег из Центра исследований Земли (GFZ, Потсдам, Германия).

Оползни опасны не только сами по себе; они влекут за собой серьезные и не менее опасные последствия, например, перекрытие русла рек с возникновением подпрудных водоемов, которые вследствие естественного размыва образуют селевые потоки, представляющие угрозу затопления населенных пунктов, инженерных сооружений, разрушения домов и хвостохранилищ, снос опасного материала в реки.

В связи со сказанным индивидуальному исследованию развития наиболее опасных оползней уделяется особое внимание. Для успешного прогнозирования оползневой активизации необходимо понимание природы этого явления в целом и в его взаимосвязи с другими природными рельефообразующими процессами. Считается, что основные факторы, влияющие на активизацию оползней, – это инженерно-геологические условия территории, атмосферные осадки, триггерное воздействие землетрясений.

Исследования связи между количеством атмосферных осадков и оползневой активизацией, проведенные как на территории Киргизии, так и в других регионах мира, показывают, что коэффициент корреляции между ними достигает 50–60%. При этом известны факты, когда оползень начинает свое движение и в сухую погоду.

Триггерное воздействие землетрясений на начало оползневого процесса, как правило, констатируется только по факту совпадения этих двух событий во времени; однако зачастую оползни приходят в движение и до момента сильного землетрясения. Общего сопоставительного анализа оползневой и сейсмической активизации по территории Киргизии ранее не проводилось. В 2009 г. к таким исследованиям приступил Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ) на территории Чуйской впадины и ее горного обрамления по материалам наблюдений цифровой сети сейсмических станций *KNET* [Кальметьева и др., 2010; Kalmetyeva, Moldobekov, 2011a,б]. В 2011 г. эти исследования были продолжены на территории Ферганской впадины и ее горного обрамления [Кальметьева и др., 2012] по материалам наблюдений Института сейсмологии НАН Киргизской Республики.

При всем различии истории развития, глубинной структуры, характера сейсмичности двух рассматриваемых территорий в пределах Тянь-Шаня для них удалось проследить некоторые общие закономерности, позволяющие делать обоснованные предположения о природе оползневой активности.

Северный Тянь-Шань (Чуйская впадина и ее горное обрамление)

Приступая к сопоставительному анализу сейсмической и оползневой активности Тянь-Шаня, мы полагали, что колебания, вызываемые сейсмическими событиями, приводят к потере устойчивости склона и сходу оползня, то есть имеет место триггерное воздействие землетрясений на активизацию оползней. Это убеждение сложилось среди ученых в результате анализа последствий сильных землетрясений и выглядит достаточно убедительно. Естественно, что при такой трактовке связи между двумя рассматриваемыми явлениями, прежде всего следовало выявить сейсмические события, которые могли бы оказать воздействие на оползень, вызывая движение. Однако анализ каталога землетрясений, проведенный для ряда оползней с использованием известных экспериментальных соотношений между магнитудой землетрясения и радиусом зоны, в пределах которой оползень произошел, не обнаружил ни одного сейсмического события, удовлетворяющего упомянутым соотношениям [Кальметьева и др., 2010].

Полевые обследования последствий сильных землетрясений проводятся по прошествии дней, а иногда и месяцев, после события. При этом нигде не указывается точное время схода оползня, связываемого с конкретным землетрясением. При сопоставлении данных каталога землетрясений с данными по оползням, чье движение фиксировалось инструментально с точностью до нескольких часов (например, для оползня Туюк-Су), было обнаружено, что активизация оползня (слабые подвижки) и повышение общей фоновой сейсмической активности (слабые события, регистрируемые приборами) происходят синхронно или же иногда подвижки оползня начинаются раньше [Кальметьева, Молдобеков, 2012; Кальметьева и др., 2012].

Отмеченное заставило усомниться в том, что связь сейсмической и оползневой активизации сводится только к триггерному воздействию землетрясений, проявляющемуся в снижении устойчивости склонов. Дальнейшие исследования были направлены на детальный анализ местоположения крупных и мелких оползней, локализации гипоцентров землетрясений, временного изменения направления сил сжатия в земной коре, а также на рассмотрение основных характеристик современной геодинамики. Результаты проведенного анализа сводятся к следующему.

Оползни Северного Тянь-Шаня пространственно связаны со структурами современных поднятий, которые надвигаются на осадочные толщи Чуйской впадины и с севера ограничены серией кулисосопреженных разломов, выходящих из-под Киргизского хребта и затухающих во впадине (рис. 1). Обращает на себя внимание тот факт, что крупные оползни с объемом, превышающим 100000 м^3 , расположены вдоль узкой прямолинейной полосы субширотного простирания (серая штриховая линия на рис. 1 – условная ось этой полосы; азимут перпендикуляра к этой линии составляет 355°).

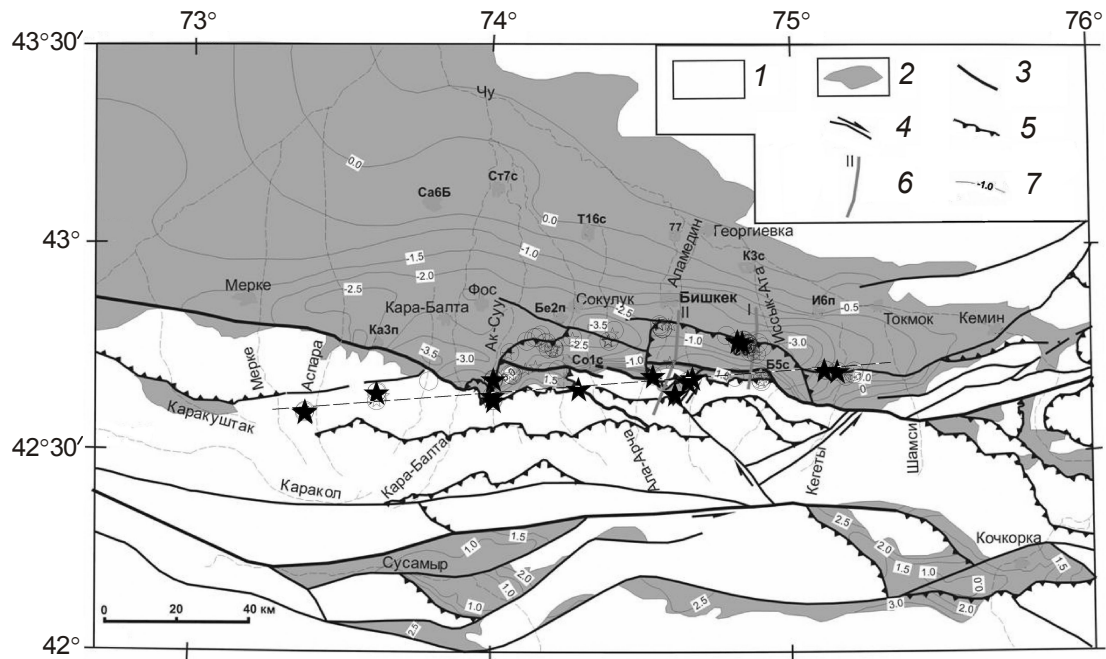


Рис. 1. Местоположение оползней в исследуемом районе по [Ерохин и др., 2006] и неотектоническая схема по [Миколайчук и др., 2003]. Кружки без заливки – оползни древнего заложения; звездочки без заливки – оползни, проявившиеся в 2002–2006 гг., с заливкой – крупные оползни с объемом более 100000 м^3 . 1 – отложения палеозойского возраста (Pz); 2 – кайнозойского (Kz); 3 – главные разломы; 4 – сдвиги; 5 – надвиги; 6 – линии геологических разрезов; 7 – изолинии палеозойского фундамента

Направление, соответствующее 355° , совпадает с направлением сил сжатия, вызывающих близширотное сокращение Тянь-Шаня. Это утверждение общепризнано и подтверждено результатами разного рода исследований, например геоморфологических [Чедия, 1986; Садыбакасов, 1990]; GPS-измерениями [Zubovich et al., 2010], а также изучением механизмов очагов землетрясений (МОЗ) [Ghose et al., 1998; Кальметьева, Меллорс, Сабитова, 2009].

В последней из названных работ показано, что более 50% землетрясений происходит в условиях субмеридионального сжатия (рис. 2). При этом максимальное количество событий, связанных с азимутом 355° , отмечается при близгоризонтальном положении оси сжатия ($Plung P < 50^\circ$). Таким образом, можно предположить, что крупные оползни горного обрамления Чуйской впадины происходят на фронтальной линии субмеридионального близгоризонтального сжатия.

На приводимом ниже рис. 3 прежде всего на себя обращает внимание факт отсутствия какой-либо отчетливой связи между положением оползней и эпицентров фоновых землетрясений. Другим важным моментом является то, что оползни 2002 и 2006 гг. в пространстве отделены от оползней, активизировавшихся в 2004 г., словно по меридиану 74.9° проходит какая-то граница раздела.

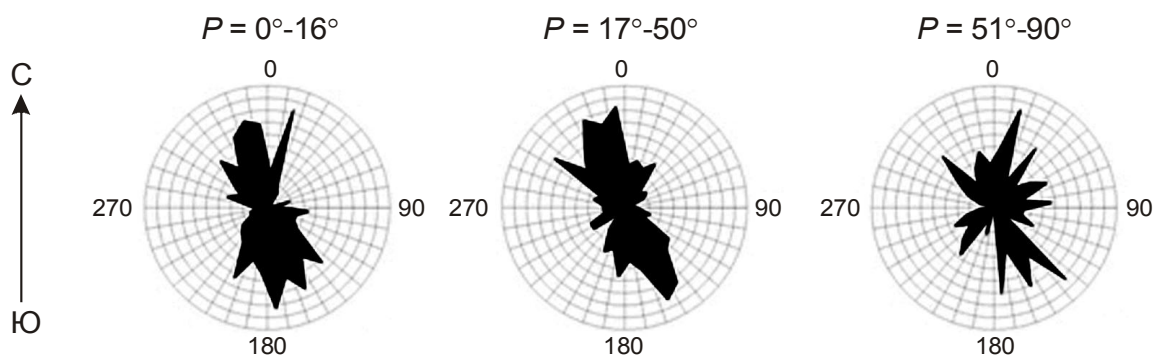


Рис. 2. Распределение количества землетрясений по азимуту оси сжатия при разных углах погружения (по данным каталога МОЗ Института сейсмологии НАН Киргизии за 1990–2005 гг.)

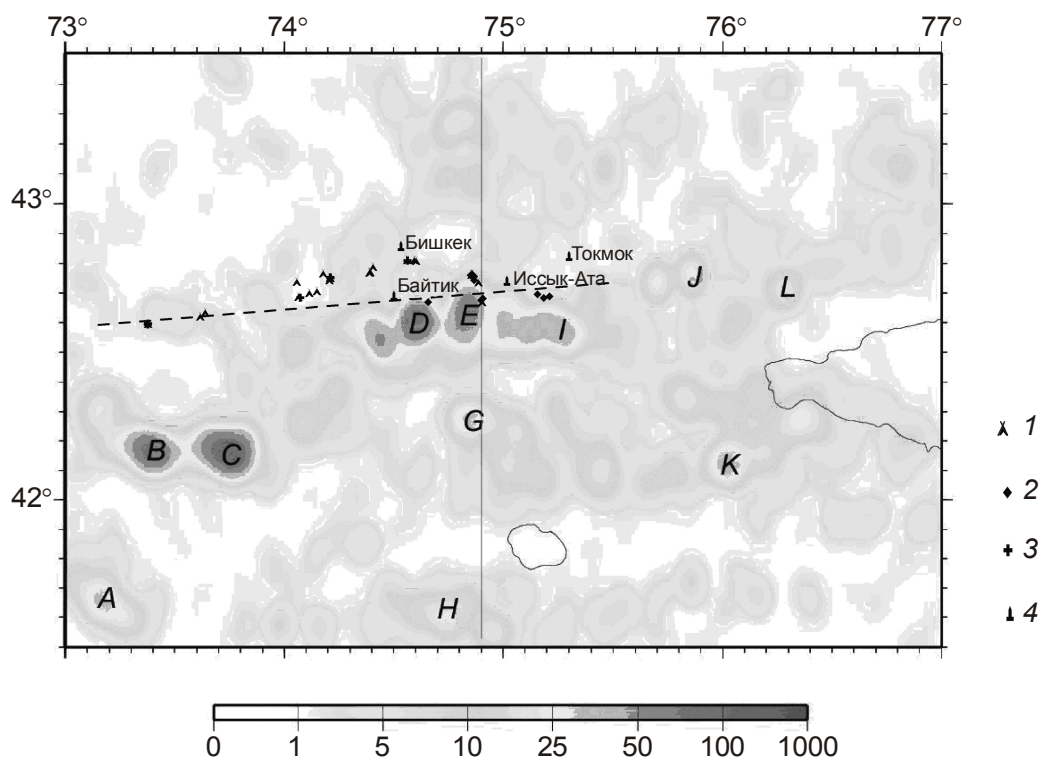


Рис. 3. Карта плотности эпицентров землетрясений по [Костюк, 2009]. Шкала внизу – количество землетрясений за 1994–2006 гг. Значения плотности вычислялись с равномерным шагом в 1 км и радиусом осреднения 10 км. Латинские буквы – участки наиболее плотных скоплений эпицентров. 1–3 – оползни, активизировавшиеся в разные годы: 2002 (1), 2004 (2), 2006 (3); 4 – метеопосты с указанием их названия. Штриховой линией отмечено направление, вдоль которого расположены наиболее крупные оползни

В самом деле, геологические разрезы до глубины 4 км по профилям I-I и II-II (положение профилей см. на рис. 1), расположенным по разные стороны от меридиана 74.9° , существенно различаются. Различно и положение гипоцентров в скоплениях *D*, *E* и *I*, также расположенных по разные стороны от меридиана 74.9° . Гипоцентры в группах *D* и *E* сосредоточены в диапазоне глубин 8–17 км; в группе *I* в этом диапазоне нет ни одного гипоцентра, но отчетливо прослеживаются их скопления выше и ниже – на глубинах 5–8 км и 17–25 км (рис. 4, б).

Метеоусловия на всех четырех метеопостах, отмеченных на рис. 3, в 2002–2006 гг. были одинаковыми и, следовательно, атмосферные осадки не могли стать причиной различия во времени активизации оползней.

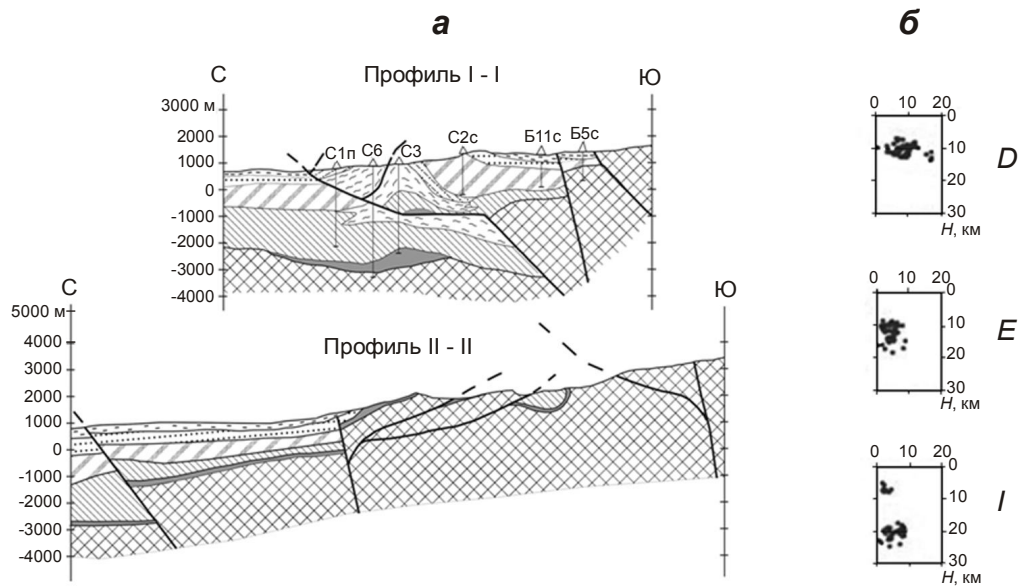


Рис. 4. Геологические разрезы по профилям I-I и II-II по [Миколайчук и др., 2003] и широтные разрезы через скопления гипоцентров *D*, *E* и *I* [Костюк, 2009]

Как было сказано выше, заметной связи между местоположением оползней и пространственным распределением эпицентров землетрясений не прослежено. Однако можно использовать данные о механизмах очагов землетрясений (МОЗ) для характеристики поля напряжений, а именно для анализа угла между горизонтом и направлением действия сил сжатия, так как ранее отмечалось, что положение крупных оползней контролируется фронтальной линией близгоризонтального сжатия. На рис. 5 отчетливо видно, что до активизации в 2002 и 2006 гг. оползней, расположенных левее меридиана 74.9° , в течение примерно 6 мес происходила стабилизация горизонтального сжатия. Оползневая активизация совпадает во времени с резким отклонением сил сжатия от горизонта. Подобная картина наблюдается и для активизировавшихся в 2004 г. оползней, расположенных правее меридиана 74.9° .

В отличие от участков *D*, *E*, на участке *I* горизонтальное сжатие сохранялось дольше, почти 3 года – с начала 2001 г. до конца 2003 г.

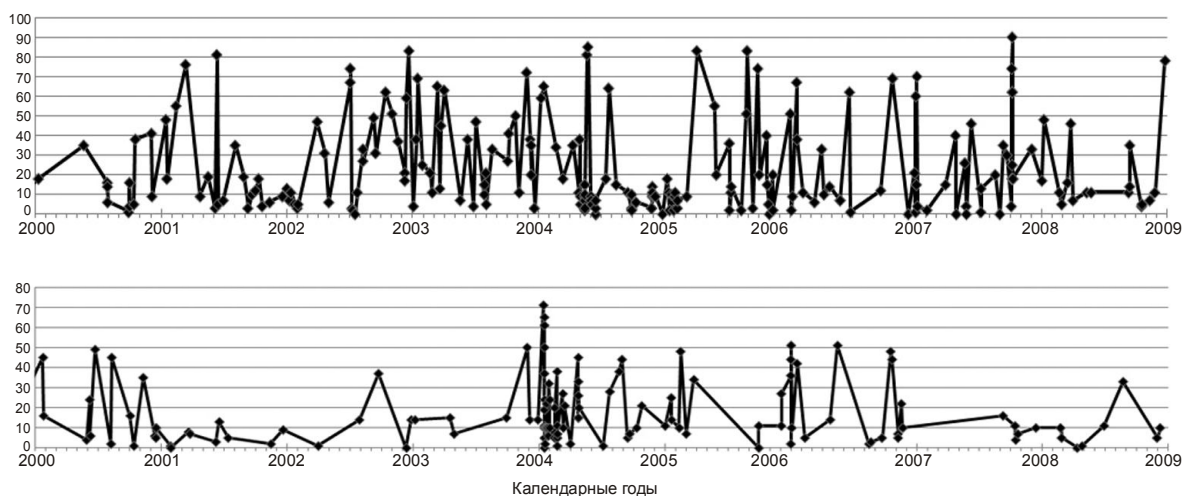


Рис. 5. Изменение во времени величины угла между горизонтом и осью сжатия в скоплениях *D*, *E* (верхний график) и *I* (нижний график) по [Сычева, 2005]

Западный Тянь-Шань (Ферганская впадина и ее горное обрамление)

Территория Ферганской межгорной впадины и ее горного обрамления существенно отличается от Чуйской впадины глубинной структурой, историей развития, инженерно-геологическими условиями, а также особенностями современной геодинамики. Как отмечается в [Буртман, 2012], кинематика кайнозойских деформаций в восточном и северном горных обрамлениях Ферганской впадины связана с формированием Каратау-Ферганского транспрессивного поднятия, активностью Таласо-Ферганского сдвига и перемещением и вращением Ферганского жесткого блока. В сравнении с Чуйской впадиной, где тектонические структуры и активные разломы простираются параллельно Киргизскому хребту, здесь картина гораздо сложнее. Если в северной части горного обрамления впадины тектоническая зональность (границы зон устойчивых поднятий и устойчивых опусканий) повторяет рисовку разлома и граница устойчивых поднятий проходит по Арсланбобскому разлому, то в северо-восточной эта граница сечет почти под прямым углом активные разломы (рис. 6).

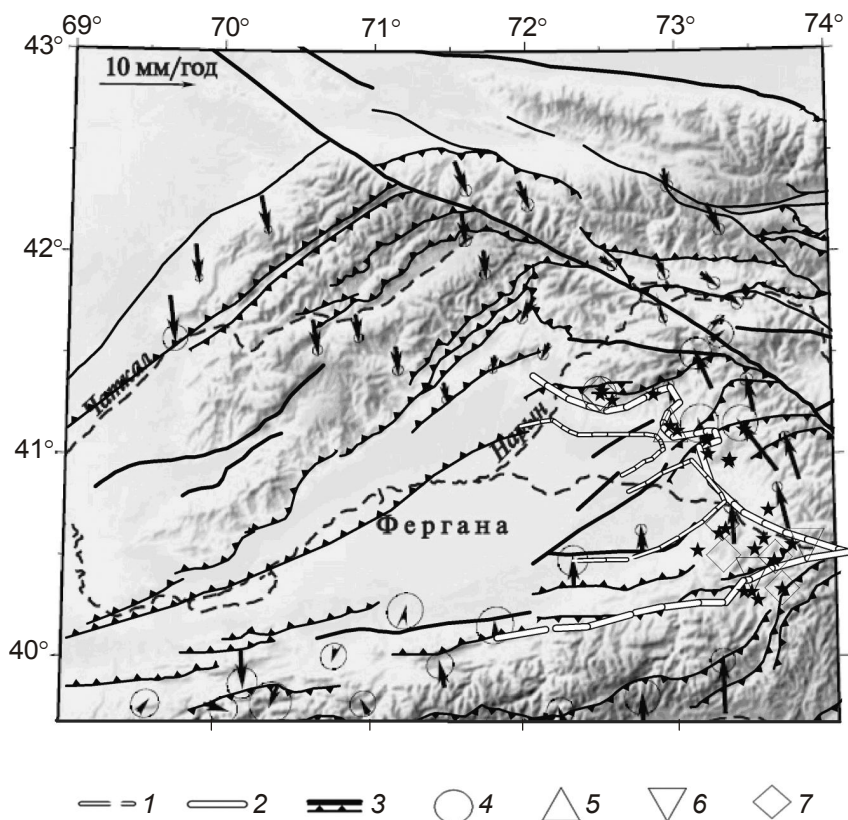


Рис. 6. Тектоническая схема исследуемого района. Поле векторов перемещений пунктов GPS из [Буртман, 2012]. 1–2 – границы зон с разным режимом новейших движений по [Чедия, 1986]: устойчивые опускания (1) и поднятия (2); 3 – активные разломы по данным А.В. Миколайчука, приводимым в [Кальметьева и др., 2009]. Крупные оползни, следуя [Ибатуллин, 2011], отмечены звездочкой; 4–7 – циклы их активизации (с первого по четвертый по данным [Meleshko, 2002])

На рис. 6 видно также, что крупные оползни объемом в 1000000 м^3 и более (обозначены звездочками) тяготеют к границе устойчивых поднятий. В восточной части обрамления впадины значительная часть крупных оползней располагается на территории, которую О.К. Чедия [1986] относит к зонам периферийных межгорных впадин, представленных предгорьями и внутривпадинными поднятиями до 2–2.5 км, сформированным в четвертичное время на месте палеоген-неогеновых прогибов с опусканиями до 4 км.

Эта территория расположена между границами зон устойчивых поднятий и устойчивых опусканий. Здесь происходит резкое изменение направления смещения пунктов GPS с северного на север–северо-западное. На участке северо-восточного обрамления территории отмечено северо-западное направление смещения пунктов GPS.

Оползневая активизация во второй половине прошлого столетия включает четыре цикла [Meleshko et al., 2002] (см. рис. 6). Первый цикл активизации отмечен в начале 1950-х годов прошлого столетия на территории вблизи пос. Майлисай на самом западном участке полосы крупных оползней. Возникновение в этом районе многочисленных оползней инициировало создание на южной части территории Киргизии оползневой службы (1954 г.), а позже – оползневой станции (1957 г.).

Для второго цикла активизации (1969 г.) характерно смещение оползней к востоку; в третьем большая часть оползней активизируется на территории восточного обрамления впадины, где в 1993 г. отмечается наибольшее количество оползней (четвертый цикл). Надо отметить, что для четвертого цикла характерна оползневая активизация по всей рассматриваемой полосе.

К сожалению, решения МОЗ систематически начинают определяться только в 1970-е годы; для более раннего периода такие решения известны лишь для отдельных событий. Однако имеющиеся данные за 30 лет уже дают представление о том, что направление действия сил сжатия не остается неизменным во времени. При сопоставлении поведения направления оси сжатия во времени с периодами активизации оползней наблюдается вполне определенная закономерность – оползни начинают “оживать” при ослаблении горизонтального сжатия, которое способствует возникновению сбросовых подвижек.

Замечено, что крупные оползни происходят циклами: объем активизирующихся оползней увеличивается со временем и после достижения некоторого максимума снова уменьшается. Последний такой цикл, начавшись в 1993 г., достиг максимума в 1998 г. и завершился к 2005 г. В 1993 г. возникли два оползня объемом около 1000000 м^3 – один в пос. Майлисае, второй – в селе Сары-Булак вблизи восточного обрамления впадины. Оба оползня возникли за год до существенного увеличения количества выпадающих атмосферных осадков. Массовый же сход оползней совпадал по времени со значительным увеличением количества атмосферных осадков. Самые крупные оползни этого цикла (объемом до 17000000 м^3) произошли в 1998 г., когда количество осадков значительно уменьшилось. Очевидно, что количество атмосферных осадков существенно влияет на устойчивость склонов, покрытых глинистыми породами, но при этом толчком к сходу оползней оказывается изменение направления сил сжатия, а именно его отклонение от горизонтального положения.

Пространственное распределение эпицентров землетрясений, произошедших в 1996–2010 гг., показано на рис. 7 раздельно для событий с очагами в верхней (0–15 км) и нижней (16–30 км) частях сейсмоактивного слоя. Выбор для анализа названного периода определялся тем, что в это время глубины гипоцентров уже могли быть определены методом оценки скоростей пробега прямых волн на годографе [Грин, Кальметьева, 1978], позволяющим определить глубину с точностью ~3 км.

Ранее, при обсуждении оползней Северного Тянь-Шаня, уже говорилось, что области скопления эпицентров землетрясений не совпадают с местоположением оползней. Та же картина наблюдается и на территории Ферганской впадины и ее горного обрамления. На картах эпицентров землетрясений (рис. 7) видно, что гипоцентры верхней части сейсмоактивного слоя образуют широкие полосы северо-западного простирания, параллельные Таласо-Ферганскому разлому и секущие активные разломы; гипоцентры в нижней половине сейсмоактивного слоя демонстрируют довольно отчетливую приуроченность к линиям активных разломов.

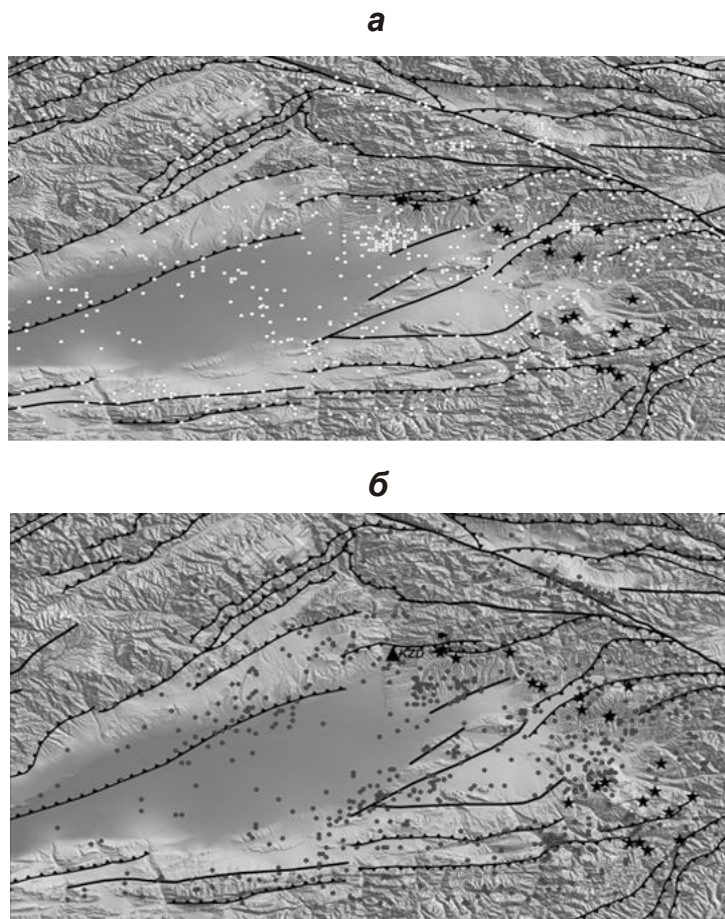


Рис. 7. Схема распределения эпицентров землетрясений с очагами в верхней (0–15 км, *а*) и нижней (16–30 км, *б*) частях сейсмоактивного слоя, произошедших в 1996–2010 гг. Звездочки – пункты инструментальных наблюдений на оползнях вблизи пос. Майлисая по данным [Havenith *et al.*, 2006]; на *б* треугольник – местоположение сейсмической станции Кызыл-Джар

Здесь следует отметить, что у значительной части землетрясений в очагах, расположенных на глубинах 15–30 км, происходят взбросовые подвижки. На приведенных на рис. 7 схемах видно, что скопления эпицентров ни в верхней части сейсмоактивного слоя, ни в нижней не совпадают с местоположением крупных оползней. Зато отчетливо видно, что полоса эпицентров мелких ($H=0-15$ км, рис. 7, *а*) землетрясений в пределах впадины располагается параллельно линии крупных оползней, что может свидетельствовать о характере поверхностных деформаций в ближайшей эпохе геологического развития региона.

Проводя сопоставление геодинамической обстановки и оползневой активности, надо иметь в виду, что анализируемые данные представляют существенно различающиеся масштабы времени. Так, для доказательства вращения жесткого Ферганского блока привлекаются сведения, характеризующие историю тектонических движений за сотни миллионов лет; режимы новейших движений оценены по данным за 20–30 млн. лет; активность разломов оценивается по данным примерно за 10 тыс. лет. Данные об оползневой активности охватывают только 50 лет (некоторые современные оползни располагаются на местах древних), а данные МОЗ и инструментальные данные о движениях оползней получены за еще меньшие периоды наблюдений. Поэтому, принимая во внимание исторические сведения, для исследования природы оползневой активности необходимо привлекать данные, получаемые методами удаленного зондирования – GPS, космоснимки.

Выше отмечалось, что эпицентры мелких землетрясений образуют полосы северо-западного простирания; близкое простирание имеет и полоса крупных оползней. Ответить на вопрос, может это быть свидетельством современных тектонических движений и следует ли считать крупные оползни их признаками, трудно. К тому же проведенные исследования показали, что оползневая активизация – скорее самостоятельный процесс, нежели следствие триггерного эффекта землетрясений. Нельзя забывать, что благоприятные условия для развития оползней создают обильные атмосферные осадки, приводящие к обводнению внутренних слоев склонов.

О триггерном воздействии землетрясений уверенно можно говорить только в случаях возникновения сильных землетрясений с интенсивностью $I_0 \geq 7$ [Ниязов, 2009]. На рис. 8 показано сопоставление количества микротолчков, зарегистрированных сейсмической станцией Кызыл-Джар (KZD) в 1997–2006 гг., с инструментальными данными о смещении оползней вблизи пос. Майлиса, расположенном в 30 км от станции KZD, за тот же временной период. И сейсмическая станция, и оползни расположены на левом берегу реки Майли-Суу.

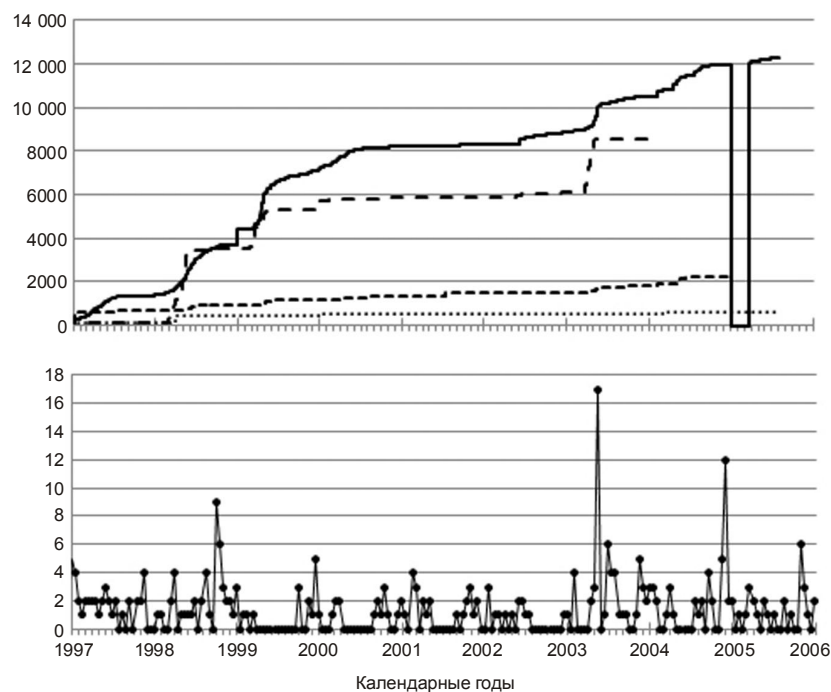


Рис. 8. Сопоставление количества микротолчков, зарегистрированных сейсмической станцией Кызыл-Джар (внизу), с движением оползней вблизи пос. Майлиса, зарегистрированным инструментально в четырех пунктах (вверху) (по [Havenith et al., 2006])

Можно видеть, что движения оползня и возникновение микротолчков происходят синхронно. Другими словами – подвижки оползня не являются следствием этих микротолчков, а происходят независимо от них. К сожалению, определить местоположение источников микротолчков невозможно.

При оценке сейсмических воздействий на развитие оползневых процессов нами не рассматривались и не учитывались типы оползней, их механизмы и возраст. Несомненно, учет этих факторов и характеристик очень важен при оценке устойчивости склонов, как и знание времени возникновения и магнитуды (энергетического класса) каждого из землетрясений. В настоящее время нами получены цифровые записи 21 сейсмической станции за период наблюдений 2009–2010 гг. в пределах Ферганской впадины и ее горного обрамления. Эти материалы находятся в обработке, в дальнейшем планируется их использование для более детального анализа.

Выводы

Оползневая активность является самостоятельным деформационным процессом определенного масштабного уровня.

Местоположение оползней определяется внутренней структурой земной коры и геодинамическими условиями.

Активизация оползней и фоновой сейсмичности происходит синхронно в моменты времени, когда после некоторой стабилизации происходит внезапное отклонение оси сжатия от горизонтального направления.

Зависимость оползневой активности от количества выпадающих осадков очевидна. Однако этот фактор следует рассматривать скорее как условие для снижения устойчивости склона, чем как причина оползневых процессов.

Литература

- Буртман В.С.* Тянь-Шань и Высокая Азия: Геодинамика в кайназое. М.: ГЕОС, 2012. 186 с.
- Грин Т.П., Кальметьева З.А.* Определение скоростной структуры и глубин землетрясений при детальном сейсмологическом наблюдении // Геолого-геофизическая характеристика сейсмогенных зон Киргизии. Фрунзе: Илим, 1978. С.13–31.
- Ерохин С.А., Биденко З.С., Толмушев Б.О., Зарипова Г.К.* Карта обвальнo-оползневой опасности Чуйской области, масштаба 1: 200000. Бишкек: УГ КР, 2006.
- Ибатулин Х.В.* Мониторинг оползней Кыргызстана. Бишкек: МЧС КР, 2011. 145 с.
- Кальметьева З.А., Меллорс Р., Сабитова Т.М.* Механизмы очагов землетрясений и скоростная структура литосферы Тянь-Шаня // Сборник материалов Четвертого международного симпозиума “Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геозоологические проблемы”, 15-20 июня 2008 г. М.; Бишкек: МНИЦ-ГП, 2009. С.367–372
- Кальметьева З.А., Костюк А.Д., Мелешко А.В., Сычева Н.А.* О взаимосвязи оползней и землетрясений // Изв. НАН КР. 2010. № 4. С.19–27.
- Кальметьева З.А., Миколайчук А.В., Молдобеков Б.Д., Мелешко А.В., Жантаев М., Зубович А.В.* Атлас землетрясений Кыргызстана. Бишкек: ЦАИИЗ, 2009. 232 с.
- Кальметьева З.А., Молдобеков Б.Д., Торгоев И.А., Вольхин И.И.* Оползневые процессы и поле напряжений земной коры по данным механизмов очагов землетрясений // Материалы Третьей тектонофизической конференции “Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле”, 8–12 октября 2012 г. Т. 2. М.: ИФЗ РАН, 2012. С.8–12.
- Костюк А.Д.* Исследование современных деформаций земной коры Северного Тянь-Шаня по данным механизмов очагов землетрясений и космической геодезии: дис. ... канд. физ-мат. наук. М., 2009. 167 с.
- Миколайчук А.В., Собел Э., Губренко М.В., Лобанченко А.Н.* Структурная эволюция северной окраины Тяньшаньского орогена // Изв. НАН КР. 2003. № 4. С.50–58.
- Ниязов Р.А.* Оползни Узбекистана (тенденции развития на рубеже XXI века). Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2009. 207 с.
- Садыбакасов И.С.* Неотектоника Высокой Азии. М.: Наука, 1990. 180 с.
- Сычева Н.А.* Исследование особенностей механизмов очагов землетрясений и сейсмотектонических деформаций Северного Тянь-Шаня по данным цифровой сейсмической сети KNET: дис. ... канд. физ-мат. наук. М., 2005. 176 с.
- Чедия О.К.* Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим, 1986. 314 с.
- Ghose S., Hamburger M.W., Ammon Ch.J.* Source parameters of moderate-sized earthquakes in the Tien-Shan, Central Asia from regional moment tensor inversion // Geophys. Res. Lett. 1998. V. 25, N 16. P.3181–3184.
- Havenith H.B., Torgoev I., Meleshko A., Aleshin Y., Torgoev A., Dannels G.* Landslides in the Mailuu-Suu valley, Kyrgyzstan – hazards and impacts // J. Landslides. 2006. V. 3, N 2. P.137–147.
- Kalmeteva Zoya, Moldobekov Bolot.* The analysis of landslide activity in seismic regions // Proceedings of International Conference. “Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety”. EngGeoPro-2011. Moscow, Russia. 2011. P.77–81.

Meleshko A.V., Usupaev Sh.E., Torgoev I.A. Modern Landslides of Kyrgyzstan: retrospective analysis of their development at representative sites // Abstracts of NATO Advanced Research Workshop: "Massive Rock Slope Failure: New Models for Hazard Assessment". Italy. June 16-21, Celano, Abruzzo, 2002. P.97.

Zubovich A.V., Wang X., Scherba Yu.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber Ch., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger W., Hager B.H., Dang Ya., Bragin V.D., Beisenbaev R.T. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // *Tectonics*. 2010. V. 29. TC6014, doi: 10.1029/2010TC002772.

Сведения об авторах

КАЛЬМЕТЬЕВА Зоя Арслановна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ). 720027, Бишкек, ул. Тимура Фрунзе, д. 73/2. Тел.: 996-312-555111. E-mail: z.kalmetyeva@caiaig.kg

МОЛДОБЕКОВ Болот Дуйшеналиевич – кандидат геолого-минералогических наук, содиректор, Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ). 720027, Киргизия, Бишкек, ул. Тимура Фрунзе, д. 73/2. Тел.: 996-312-555111. E-mail: b.moldobekov@caiaig.kg

ТОРГОЕВ Исакбек Асангалиевич – кандидат технических наук, директор, Научно-инженерный центр "Геоприбор" Национальной академии наук Киргизии. 720017, Киргизия, Бишкек, ул. Медерова, д. 98. Тел.: 996-312-541131. E-mail: geopribor@mail.ru

ВОЛЬХИН Иван Игоревич – студент Киргизско-Российского Славянского университета (КРСУ). 720000, Киргизия, Бишкек, ул. Киевская, д. 44. Тел.: 996-312-662567. E-mail: astro2006@list.ru

LANDSLIDE PROCESSES AND THE STRESS FIELD OF THE EARTH'S CRUST ACCORDING TO DATA ON EARTHQUAKE SOURCE MECHANISMS (ON THE EXAMPLE OF THE TIEN SHAN)

Z.A. Kalmetyeva¹, B.D. Moldobekov¹, I.A. Torgoev², I.I. Volkhin³

¹ *Central-Asian Institute for Applied Geosciences, Bishkek, Kyrgyzstan*

² *Engineering Center "GEOPRIBOR" NAS KR, Bishkek, Kyrgyzstan*

³ *Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyzstan*

Abstract. Comparative analysis of spatial-temporal distribution of background earthquakes ($M \geq 2$) and landslides was carried out in two earthquake and landslide-active areas in Kyrgyzstan: the Northern Tien Shan (mountains surrounding of the Chu valley) and the Western Tien Shan (northeast surrounding of the Fergana valley). Data on the active faults, regimes of modern tectonic movements and earthquake source mechanisms were analyzed to estimate the geodynamic conditions of the studied area. Atmospheric precipitations data were also taken into consideration.

The findings allow us to assume that landslide activity is an independent deformation process of a certain scale.

It was established that the locations of major landslides and dense clusters of background earthquake epicenters do not coincide; landslide locations are mostly determined by deep structure of the crust and are confined to the edges of the principal structure of the modern crustal uplift; the activation of the background seismicity and landslides occurs synchronously when the direction of the compression axis suddenly deviates from the horizontal.

Dependence of landslide activity on the amount of atmospheric precipitations is obvious. However, this factor should be considered rather as a condition for decreasing slope stability rather than the cause of landslide processes.

Keywords: landslides, earthquakes, earthquake source mechanism, compression axis, active faults, regime of the modern movements, precipitations.