

УДК 551.24.05

Абдрахматов К.Е.,
Институт сейсмологии НАН КР при ПКР,
г. Бишкек, Кыргызстан
Стром А.Л.
ООО «ЦГИ», ООО «ИГИИС»,
г. Москва, Россия

АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация. В статье даётся понятие термина «активный разлом». Авторы приходят к выводу, что активный разлом — это тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений его крыльев в позднем плейстоцене - голоцене (за последние ~100 000 лет), проявленными в рельефе и/или в разрезе отложений соответствующего возраста, величина (скорость) которых такова, что она представляет опасность для сооружения и требует специальных конструктивных и/или компоновочных мероприятий для обеспечения его безопасности. Активный разлом считается сейсмогенерирующим, если для него не доказан исключительно криповый характер движений.

Ключевые слова: активный разлом, тектоническая деформация, подвижка, период повторяемости.

АКТИВДҮҮ КЕМЧИЛИКТЕР: НЕГИЗГИ ТҮШҮНҮКТӨР ЖАНА КОЛДОНУЛУШТАР

Кыскача мазмуну. Макалада «активдүү жарака» термини аныкталат. Авторлор активдүү жарака – бул плейстоцендин аягындагы (акыркы ~100 000 жыл ичинде) анын дубалдарынын үзгүлтүксүз же мезгил-мезгили менен жылышуу белгилерин көрсөткөн тектоникалык дислокация, ал ошол курактагы чөкмөлөрдүн топографиясында жана/же стратиграфиялык бөлүгүндө байкалат, мында жылышуунун чондугу (же ылдамдыгы) түзүлүшкө коркунуч келтирип, анын коопсуздугун камсыз кылуу үчүн атайын долбоорлоо жана/же жайгаштыруу чараларын талап кылат деген тыянакка келишкен. Активдүү жарака кыймылдын сейсмикалык жылышуу гана экени далилденбесе, сейсмикалык деп эсептелет.

Негизги сөздөр: активдүү жарака, тектоникалык деформация, тектоникалык жылышуу, кайталануу мезгили.

ACTIVE FAULTS: BASIC CONCEPTS AND APPLICATION

Abstract. The article defines the term «active fault». The authors conclude that an active fault is a tectonic dislocation exhibiting signs of continuous or periodic displacement of its walls during the Late Pleistocene–Holocene (over the last ~100,000 years)—manifested in the topography and/or the stratigraphic section of deposits of that age—where the magnitude (or rate) of displacement poses a hazard to a structure, necessitating special design and/or layout measures to ensure its safety. An active fault is considered seismogenic unless the movement is proven to be exclusively aseismic creep.

Keywords: active fault, tectonic deformation, displacement, recurrence interval.

Основная цель изучения опасных природных процессов при инженерных изысканиях — это дать проектировщикам исходные данные для разработки работоспособной и экономически приемлемой конструкции, обеспечивающей защиту от

исследуемого опасного процесса или для обоснования необходимости отказа от возведения сооружения на исследуемой площадке или по исследуемой трассе.

Утверждение, что трассу или площадку строительства пересекает активный разлом, без указания количественных параметров возможного опасного воздействия и точной локализации места пересечения, не несёт информации, необходимой проектировщику. Но в то же время такое утверждение настораживает экспертов при проведении технической или экологической экспертизы проектов. Поэтому крайне важно дать корректное определение понятия «активный разлом», следование которому обеспечит достаточный уровень надёжности принимаемых технических решений при выполнении изысканий и исследований в разумные сроки и при экономически оправданном уровне затрат.

Среди исследователей нет единого мнения насчёт того, какой разлом следует считать «активным», в первую очередь имея в виду временной интервал, в течение которого происходили перемещения. Различные определения приводились в многочисленных публикациях [1-8]. В русскоязычной литературе первая попытка дать унифицированное определение активных разломов, по-видимому, была предпринята А.А. Никоновым [9]. Им были рассмотрены основные определения активных разломов, принятые в разных странах и разными исследователями, а также вопросы, связанные с выделением таких разрывных нарушений и их интерпретации.

Наиболее распространённое определение термина «активный разлом» можно сформулировать следующим образом: «активным является такой разлом, по которому за некоторый оговоренный период времени произошла хотя бы одна подвижка». При этом основные дискуссии разворачивались по поводу продолжительности этого периода. Разные авторы предлагали рассматривать интервалы времени от всего четвертичного периода, продолжительность которого сейчас принимается равной 2.58 миллиона лет [10], до нескольких десятков лет, в течение которых проводились инструментальные измерения, фиксирующие относительные перемещения крыльев разломов. Наиболее целесообразно определять её на основании эмпирических данных о повторяемости смещений на одном и том же отрезке разлома. Поэтому чаще всего она принимается в интервале от 10000–11000 лет (голоцен) до ~100000 лет (поздний плейстоцен - голоцен). Учитывая, что в некоторых случаях установленные интервалы между последовательными землетрясениями на одном участке активного разлома превышали 10000 лет (например, [11]), а также принимая во внимание возможности современных методов датирования четвертичных отложений, наиболее целесообразно рассматривать период времени порядка 50000 – 100000 лет.

Подчеркнем, что это не означает, что изыскатель во всех случаях должен изучить историю движений по разлому за весь этот период. Если, как в варианте 1 на рисунке 1, удалось выявить несколько последовательных событий с интервалами между ними около 1000 лет, и с возрастом последнего события примерно 1000 лет, этого достаточно, чтобы принять обоснованное решение о высокой вероятности повторения аналогичного события за срок службы проектируемого сооружения.

Однако, возможны и другие сценарии, когда период повторяемости последовательных событий составляет многие тысячи, иногда первые десятки тысяч лет. Причём, если в варианте 2 на рисунке 1, несмотря на то, что последнее событие было сравнительно недавно, следующая подвижка (следующее землетрясение, связанное с этим разломом) произойдёт, скорее всего, в отдалённом будущем, то в варианте 3 они, опять же, могут с достаточно высокой вероятностью произойти за срок службы сооружения. Для того, чтобы не пропустить такие ситуации и иметь возможность при необходимости изучить историю движений по разлому за достаточно продолжительный период времени, в определении «активного разлома» целесообразно указать временной интервал порядка 100000 лет.

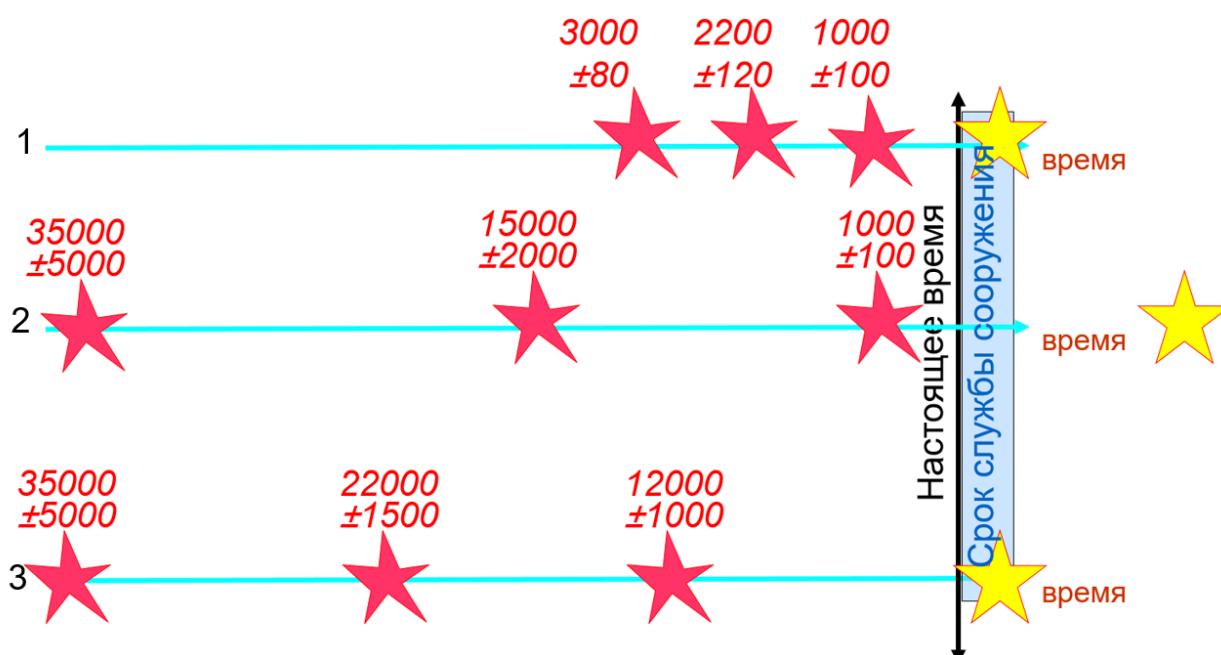


Рисунок 1. Идеализированные сценарии последовательных событий на активных разломах.

Надо также иметь в виду, что повторяемость наиболее опасных высокомагнитудных землетрясений в конкретной очаговой зоне далеко не всегда регулярна. Нередки случаи, когда периоды повышенной активности, в течение которых такие землетрясения повторялись с интервалом в несколько сотен лет, сменялись периодами относительного «затишья», когда интервалы времени между последовательными землетрясениями существенно возрастают, как это было установлено, например, для очаговой зоны Эль-Аснамского землетрясения 1980 г. в Алжире [11]. Схожая ситуация, возможно, имела место и по разлому Кеминского землетрясения 1911 г. на Северном Тянь-Шане, где в одной из траншей, пройденных через уступ сейсмогенного взброса, было установлено, что за последние примерно 400 лет там произошли 2 подвижки (последняя – в 1911 г.), а до этого в течение примерно 6000 лет движений не происходило.

В то же время, надо учитывать, что вероятность возникновения ожидаемого в будущем события (подвижки по разлому, землетрясения) в течение нормативного срока службы сооружения (обычно 50-100 лет) тем меньше, чем больше период повторяемости этих событий, на порядки превышающий нормативные сроки службы большинства искусственных сооружений. И если за последние 100000 лет таких движений не наблюдалось, то вероятность, что оно произойдет крайне мала и может не приниматься в расчёт. Поэтому увеличивать продолжительность рассматриваемого периода времени за пределы 100 000 лет при проведении инженерных изысканий нецелесообразно.

Следует отметить, что в ряде нормативных документов, регламентирующих в основном изыскания для проектирования радиационно-опасных объектов (АЭС, пунктов захоронения радиоактивных отходов), предлагается учитывать движения за существенно более продолжительные интервалы времени – от 1 миллиона до нескольких миллионов лет. Но при этом часто возникают ситуации, когда доказать наличие или отсутствие подвижек по разлому в течение столь продолжительного периода времени, за который накопилась толща отложений мощностью в десятки метров, практически невозможно, особенно если величина подвижки сравнительно невелика, или, тем более, если подвижка сдвиговая, что не позволяет выявить её геофизическими методами (рисунок 2). Такое смещение можно установить только в траншее, но если разлом не проявлен в рельефе, то непонятно, где её, собственно, копать?

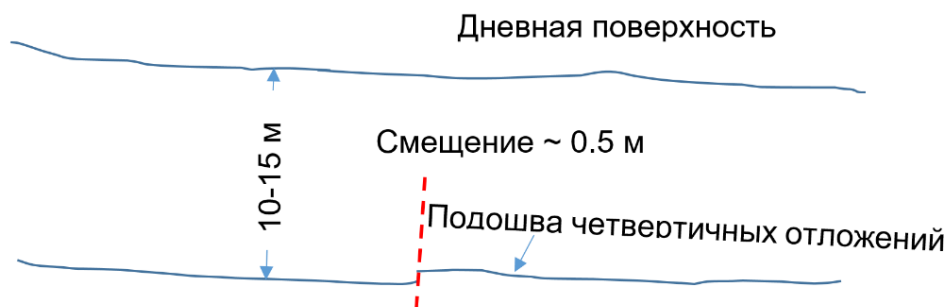


Рисунок 2. Гипотетическая ситуация, когда обнаружить следы подвижки по разлому практически невозможно.

Соответственно, рассматриваемое определение логично сформулировать следующим образом: «активным является такой разлом, по которому за последние примерно 100000 лет произошла хотя бы одна подвижка». Но, в таком определении отсутствует характеристика величины или скорости подвижки, т.е. именно тех параметров, которые, собственно, и определяют величину воздействия подвижки по разлому на сооружение и, соответственно, закладываются в расчёт сооружения, пересекаемого активным разломом. Ведь единовременная подвижка, или смещение, накопленное за какой-то промежуток времени, могут составить несколько метров, что очевидно опасно, а могут и не превышать сантиметры или миллиметры, являясь, тем не менее отражением тектонических деформаций. А в зависимости от конструкции и предназначения сооружения такие деформации могут быть как опасными (например, для высокоскоростных железных дорог, где даже незначительная деформация полотна может иметь самые тяжелые последствия), так и практически безопасными (например, для магистральных трубопроводов, у которых «обычные» температурные и гидродинамически обусловленные деформации могут достигать 10 и более сантиметров).

Поэтому при разработке Свода правил СП 14.13330 «Строительство в сейсмических районах» и ряда других нормативных документов, принятых в Российской Федерации, было предложено следующее определение: «**активный разлом** — тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений его крыльев в позднем плейстоцене - голоцене (за последние ~100000 лет), величина (скорость) которых такова, что она представляет опасность для сооружения и требует специальных конструктивных и / или компоновочных мероприятий для обеспечения его безопасности». Учитывая, что признаками таких перемещений, позволяющими судить о величине (скорости) смещений, являются деформации молодых форм рельефа и/или отложений, к этому определению следует добавить: «проявленными в рельефе и/или в разрезе отложений соответствующего возраста». Это существенно уменьшает возможность возникновения ситуации, показанной на рисунке 2, так как подавляющее большинство действительно активных, т.е. опасных разломов все же проявляется в рельефе.

Поскольку резкая единовременная подвижка по разлому в основании сильнее воздействует на сооружение, чем постепенные медленные деформации и, к тому же, сопровождается землетрясением, что представляет дополнительную опасность для сооружений, к приведённому выше определению стоит также добавить, что если не доказан исключительно кривой характер движений по активному разлому, то такой разлом должен считаться **сейсмогенерирующим**.

Таким образом, уточнённое определение может быть сформулировано следующим образом: «**активный разлом** — тектоническое нарушение с признаками постоянных или периодических перемещений его крыльев в позднем плейстоцене - голоцене (за последние ~100 000 лет), проявленными в рельефе и/или в разрезе отложений соответствующего возраста, величина (скорость) которых такова, что она представляет опасность для

сооружения и требует специальных конструктивных и / или компоновочных мероприятий для обеспечения его безопасности. Активный разлом считается **сейсмогенерирующим**, если для него не доказан исключительно криповый характер движений».

В зависимости от типа и конструктивных особенностей сооружения пороговая величина единовременной (сейсмогенной) подвижки или скорость относительного перемещения крыльев разрыва при тектоническом крипе, при достижении которой разлом должен классифицироваться, как активный, может и должна меняться.

Применение этого определения в практике инженерных изысканий подразумевает тесное сотрудничество изыскателей и проектировщиков. Именно проектировщики могут и должны определять, какие смещения представляют опасность для того или иного сооружения, а какие – нет, и установлению каких параметров возможных движений по исследуемому разрыву следует уделить особое внимание.

ЛИТЕРАТУРА

1. Allen CR (1975) Geological criteria for evaluating seismicity. Bull. Geol Soc Am 86:1041–1057.
2. Wallace RE (1981): Active faults, paleoseismology, and earthquake hazards in the western United States. Earthquake Prediction: An International Review (D. W. Simpson, and P. G. Richards, Eds.), Maurice Ewing Ser. 4, pp. 209–216. American Geophysical Union, Washington, DC.
3. Ding G (1982): Active faults in China. Proceedings of the 1979 Yinchuan Conference. Seis. Comm. China Seismologica. Society, Seismology Press, Beijing, China (in Chinese).
4. Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез, М., Наука, 1983, 224 с.
5. Slemmons DB, dePolo CM (1986): Evaluation of active faulting and related hazards. Active Tectonics. Studies in Geophysics, National Academic Press, Washington, DC, 45–62.
6. Research Group for Active Faults (1991): Active Faults in Japan—Sheet Maps and Inventories, Revised edition. University of Tokyo Press, Tokyo (in Japanese with English abstract).
7. Stewart I, Owen LA, Vita-Finzi C (Eds) (1993): Neotectonics and Active Faulting. Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl. Bd. 94.
8. Trifonov VG, Machette MN (1993): The world map of major active faults project. Ann. Geophys. (Annali di Geofisica) XXXVI (3–4), 225–236.
9. Никонов А.А. Активные разломы: определение и проблемы выделения // Геоэкология, № 4, 1995, с.16-27.
10. Стратиграфический кодекс России. Издание третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, Межведомственный стратиграфический комитет, 2019. 96 с.
11. Kumamoto T (1998): Long-term conditional seismic hazard of Quaternary active faults in Japan. J. Seismol. Soc. Japan, 50, 53-71.
12. Meghraoui, M., and F. Doumaz (1996). Earthquake-induced flooding and paleoseismicity of the El Asnam, Algeria, fault-related fold, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 101(B8), 17617–17644.

Рецензент: к.г.-м.н. Ормуков Ч.А.