



А. М. Корженков*, А. Н. Овсяченко*, А. С. Ларьков*,
А. В. Мараханов*, Е. А. Рогожин*, Н. И. Сударев**

(* Институт физики Земли РАН, г. Москва;

** Институт археологии РАН, г. Москва)

Следы сильных землетрясений на Михайловском городище (Керченский полуостров, Крым)

За последние 250 лет Керченский полуостров, как будто бы не подвергался сильным землетрясениям. В связи с крайней ограниченностью письменных свидетельств о более раннем периоде местной истории палео- и археосейсмологические изыскания являются, по сути дела, единственным источником соответствующей информации. Благоприятные условия для широкого применения методов археосейсмологии в Крыму созданы обилием древних и старинных архитектурных памятников. Суть их заключается в выявлении и изучении необычных деформаций построек: наклонов, изгибов, разрывов, падений, смещений верхних или нижних частей стен, вращения участков стен вокруг вертикальной оси, сквозного растрескивания и других следов, вероятнее всего, связанных с сейсмическими сотрясениями. Эти исследования позволяют установить структурные особенности разрушений, зависящие от положения сейсмического очага. По величине и направлению смещения строительных элементов можно определить кинематические характеристики сейсмического события и рассчитать их численные параметры. Время события определяется по возрасту археологических артефактов и по данным определения абсолютного возраста. Таким образом, находят ответы на три главных вопроса сейсмологической науки: где, когда и какой силы. Систематическая ориентация сейсмических разрушений в древних зданиях позволяет создать банк данных для оценки интенсивности исторических землетрясений и реконструкции очагов максимальных сейсмических воздействий. Исследования в этом направлении были начаты сравнительно недавно [Борисенко и др., 1999, с. 101–132; Винокуров и др., 2015, с. 51–66; Белик и др., 2016, с. 17–35; Корженков и др., 2016а, с. 30–38; Корженков и др., 2016б, с. 30–47; Корженков и др., 2016в, с. 372–381], но можно надеяться, что они позволят собрать достоверные данные о характере сильных сейсмических подвижек в конкретных условиях полуострова.

В качестве примера таких изысканий остановимся на городище Михайловка, которое расположено на холме и его склонах примерно в 15 км западнее г. Керчи к югу от шоссе Керчь-Феодосия (рис. 1). Памятник раскапывался в 1963–1979 гг. [Петерс, 1978,

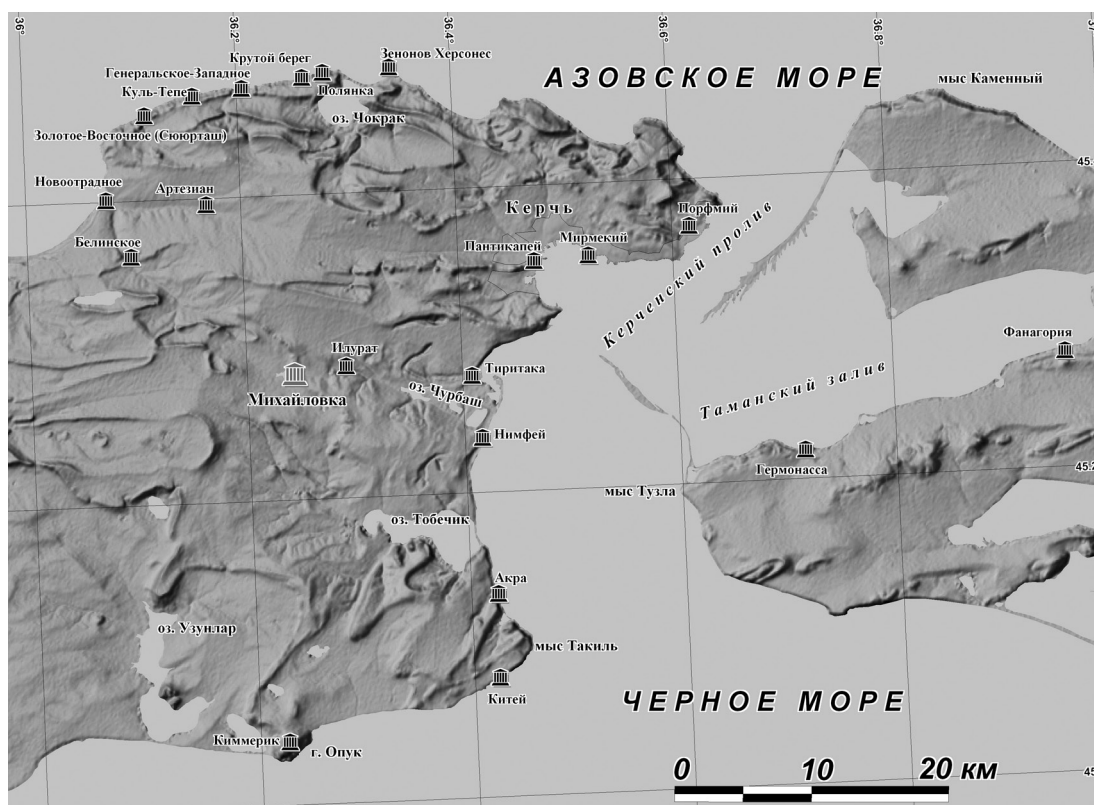


Рис. 1. Общая карта античных городов и поселений Керченско-Таманского региона с положением городища Михайловка

с. 117–127], и наряду с другими подобными поселениями (Новотрадное, Багерово, Тасуново, Андреевка-Северная, 11 км и мн. др.), скорее всего, представлял собой крепость на подступах к боспорской столице-Пантикапею [Масленников, 1998, с. 304 сл.]. Упомянутая возвышенность (Михайловская гряда) вытянута вдоль пласта позднемиоценовых известняков, залегающих в непосредственной близости от дневной поверхности, т. е. в благоприятных сейсмогрунтовых условиях (рис. 2).

Раскопками выявлено пять основных хроно-строительных периодов бытования этого поселения, начиная с IV–III в. до н. э. В течение I–III вв. н. э. городище несколько раз перестраивалось и расширялось. Центром его планировочного решения являлась «цитадель» – полностью раскрытая квадратная постройка размером 29×29 м на вершине холма (рис. 3). Средняя толщина её обводных стен составляла 2,3 м при сохранности до 2 м высоты. Жилые и хозяйственные помещения располагались по периметру большого двора. Между ними у стен оставлены коридоры – проходы шириной 1 м. По-видимому, в юго-восточном углу имела небольшая квадратная башня. На городище прослежены следы нескольких сильных разрушений, в том числе сопровождавшихся тотальными пожарами. Наиболее значительный из них, по-видимому, относится к началу II в. н. э. Но затем поселение было восстановлено и дополнительно укреплено стенами, шедшими в 1,5–4,7 м параллельно прежним. Толщина их в среднем 2 м. Длина



Рис. 2. Схема расположения Михайловского городища на основе космоснимка (<http://ecn.t0.tiles.virtualearth.net/tiles/a>).

Штриховые линии – горизонтали рельефа в метрах

одной, открытой полностью стороны новой оборонительной линии составляла 36 м. Вероятно, могла иметь место пристройка к прежней стене некоего внешнего панциря с бутово – земляным заполнением. Тогда вся ширина стены достигала 8 м, что не типично для собственно античной фортификации, но имело место как на Боспоре, так и на т.н. позднескифских городищах Крыма. Эта «поздняя» цитадель, как и всё поселение, погибла во второй четверти III в. н. э., однако жизнь здесь теплилась, по крайней мере, до IV в. н. э.

Сейсмические повреждения и разрушения – это постоянная угроза, которую следует иметь в виду при планировании и строительстве населенных пунктов в соответствующих природно-географических зонах, как правило, совпадающих с регионами бытования всех ранних цивилизаций. Не исключение – и античный мир, включавший, как известно, всё Средиземноморье и сопредельные пространства, в том числе и Северное Причерноморье. Надо сказать, что уже древние архитекторы и строители в своей деятельности в той или иной мере учитывали этот природный фактор и стремились, как могли, ему противодействовать.

Выше уже отмечалось, что период систематических инструментальных сейсмологических наблюдений на этой территории составляет немногим более сотни лет. Однако



Древности Боспора. 22

для достоверной оценки сейсмической опасности и обоснованности выводов и рекомендаций, особенно при возведении крупных, потенциально опасных или особо сложных объектов (атомных электростанций, мостовых переходов и т.п.) необходима информация о сильных землетрясениях за длительный промежуток времени, примерно за последние 10 тыс. лет. Для решения этой задачи в 80–90-х гг. прошлого века возникло новое научное направление – археосейсмология [Archaeoseismology, 1996, 433 с.]. Среди наиболее важных, недавно опубликованных работ на эту тему приведем следующие: Galadini et al. [2006, с. 395–414]; Similox-Tohon [2006, 322 с.]; Similox-Tohon et al. [2006, с. 371–387]; Caputo and Helly, [2008, с. 7–19]; Karakhanyan et al. [2008, с. 122–147]; Sintubin and Stewart [2008, с. 2209–2230]; Giner-Robles et al. [2009, 130 с.]; Silva et al [2009, с. 93–121]; Caputo et al., [2010, с. 20–40]; Eppelbaum, [2010, с. 45–68]; Eppelbaum et al., [2010, с. 849–860]; Kázmér and Major [2010, с. 185–198; 2015 с. 10–20]; Karakhanyan and Avagyan [2011, с. 277–305]; Kázmér et al. [2011, с. 102–105]; Rodríguez-Pascua et al., [2011, с. 20–30]; Schreiberer et al. [2012, с. 22–44]; Peláez et al. [2013, с. 1–20]; Kázmér [2014, с. 1–7] и др.

Первые историко-археологические сведения о сильных сейсмических событиях на Керченском п-ове относятся к т.н. пантикапейскому землетрясению 63 г. до н.э. [Блаватский, 1977, с. 56–57]. Во время работ по оценке сейсмической опасности района строительства Крымской АЭС (1980-е годы) были выявлены уже не только археологические, но и геологические свидетельства сильных землетрясений древности [Геология..., 1992, 188 с.; Никонов, 1996, с. 62–74; Борисенко и др., 1999, с. 101–132]. После некоторого перерыва археосейсмологические исследования на Керченском п-ове были возобновлены авторами статьи в 2014 г.

Имеющиеся инструментальные данные и материалы полевых эпицентральных обследований современных землетрясений, произошедших в Киргизии в последние годы, обеспечили более надёжную базу для идентификации особенностей сейсмических повреждений в древности [Богачкин и др., 1997, с. 3–18; Ghose et al., 1997, с. 23–38; Korzhenkov and Mazor, 1999, с. 62–74; Корженков и Лемзин, 2000, с. 14–21; Корженков и др., 2006, с. 219–225]. Эти обследования обеспечили также базу для идентификации типов сейсмогенных повреждений, выявленных нами в древних городах Ближнего Востока, Средней Азии, Западного Кавказа и Крыма и их интерпретации в терминах сейсмической интенсивности и направления прихода сейсмических волн [Korjenkov and Mazor, 1999a, с. 265–282; Korjenkov and Mazor, 1999b, с. 193–226; Korjenkov and Mazor, 2003, с. 51–83; Korjenkov and Mazor, 2005, с. 1–15; Korjenkov and Mazor, 2014, с. 75–92; Korzhenkov and Mazor, 1999, с. 62–74; Mazor and Korjenkov, 2001, с. 123–153; Korjenkov and Erickson-Gini, 2003, с. 39–50; Korjenkov et al., 2003, с. 241–261; Korjenkov et al., 2008, с. 199–215; Korjenkov and Schmidt, 2009, с. 79–97; Корженков и др., 2016а, с. 30–38; Корженков и др., 2016б, с. 30–47; Корженков и др., 2016в, с. 372–381; Винокуров и др., 2015, с. 51–66].

Здания, стены и другие конструкции, построенные из необработанных и обработанных каменных блоков, составляют сеть геометрических линий, составляющих прямоугольники и позволяющие исследователям идентифицировать тип и величину деформаций с точностью в пределах нескольких градусов и сантиметров.

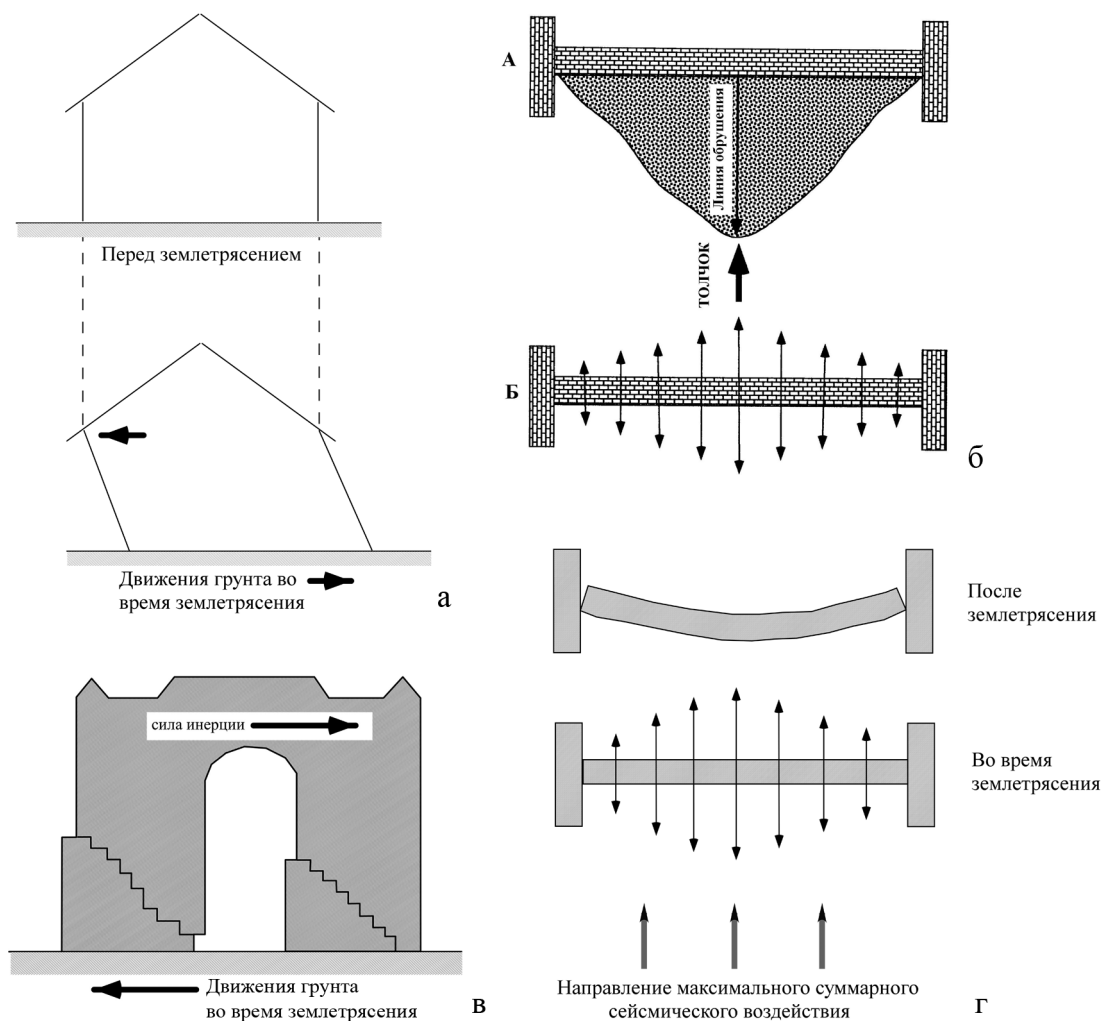


Рис. 4. Систематически направленные наклоны и обрушения стен, а также горизонтальное смещение: выдвигания и латеральное изгибание верхних частей строительных конструкций – результат сильных землетрясений. а – деформация здания во время сильного землетрясения (по Rapp, 1986, с. 31–45); б – систематическая форма конуса обрушения вследствие колебания стены, вызванная сильным землетрясением (по Корженкову и Мазору, 2001, с. 108–125); в – смещение верхней части надмогильного сооружения в сторону эпицентра Суусамырского землетрясения ($M_s=7.3$, I=IX–X, 1992, Кыргызстан); г – изгибы стен вследствие землетрясений

Систематически направленные наклоны (рис. 4а) и обрушения стен (рис. 4б), колонн, а также горизонтальное смещение: выдвигания (рис. 4в) и латеральное изгибание (рис. 4г) верхних частей строительных конструкций являются результатом сильных землетрясений. В таких случаях нижняя часть строительной конструкции смещается вместе с грунтом в направлении соответствующих сейсмических подвижек, в то время как верхние части остаются на месте вследствие инерции.

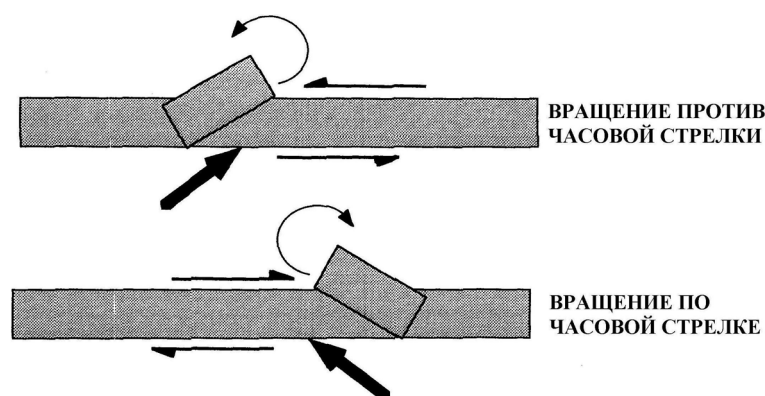


Рис. 5. Вращение элементов здания при сейсмических колебаниях, направленных под углом к стене

Значительное расстояние обрушившихся обломков от их первоначального положения является критерием высокой интенсивности землетрясения. В случаях несейсмических разрушений обрушившиеся обломки обычно падают как бы вблизи, на расстояние не более $1/3$ первоначальной высоты строительной конструкции. При сильных землетрясениях это расстояние значительно больше. Например, в развалинах древней Шивты (Израиль) камни, слагавшие сельскохозяйственные стены высотой до 1 м, были отброшены до 8 м, причём против уклона местности [Korjenkov and Mazor, 1999a, с. 265–282].

Вращения отдельных каменных блоков или частей стен вокруг вертикальной оси по или против часовой стрелки является характерным следствием землетрясения. Они вызываются сейсмическими движениями, действующими под углом (в плане) к стене соответствующего направления (рис. 5). Вращения строительных элементов вокруг горизонтальной оси также могут наблюдаться в поврежденных постройках, что вызвано высвобождением неравномерных напряжений, накопившихся в стенах.

При этом лучшая сохранность стен определенной ориентировки указывает на аналогичное направление сейсмических движений.

Следы ремонта и стены – контрфорсы – дополнительные доказательства сейсмических повреждений.

Свидетельства разрушительного землетрясения в исследуемом археологическом комплексе становятся тем более очевидными, чем больше выявляется типов и количества сейсмических повреждений. Возраст выявленных сейсмических деформаций моложе возраста самих строительных конструкций, но старше возраста последующего ремонта или перекрывающих сооружений.

Обратимся теперь непосредственно к выбранному нами объекту – Михайловскому городищу, в частности, потому, что оно остаётся на сегодняшний день одним из самых раскопанных на пространствах боспорской «глубинки». Сразу же бросаются в глаза обрушения стен. Так, в северо-восточной части городища, в помещении № VI/XII видны остатки широтной стены № 17 (т. н. № 45 на рис. 3). Её азимут простирания – 90° . В настоящее время стена имеет как бы *дугообразную форму* с небольшим



Рис. 6. Латеральное выгибание, наклон, выдвижение и обрушение широтной стены № 17 на север в СВ части раскопа № III Михайловского городища. Вид на запад

(до 30 см) выпячиванием на север (рис. 6). Кроме этого в её центральной части каменные блоки *выдвинулись, наклонились* и упали в северном направлении. Угол наклона сохранившейся части стены № 17 – 70° . Выдвижение отдельных камней относительно друг-друга – до 10 см.

Длина описываемой стены 5,5 м, ширина 0,6 м. В центральной своей части она сохранилась на высоту до 0,35 м, в то время как в своих крайних смежных с другими стенами частях она сохранилась до высоты в 1 м. Важно отметить, что камни стены № 17 отлетели на расстояние в три раза большее ее максимально сохранившейся высоты [Корженков и Мазор, 2013, с. 59–73], что означает значительное динамическое воздействие. Аналогичные деформации испытывали все широтные стены восточной анфилады, расположенные к югу от вышеописанной: все они наклонились к северу под углами от 55° до 80° (рис. 7). Одна из стен – № 27 была, по-видимому, сильно повреждена

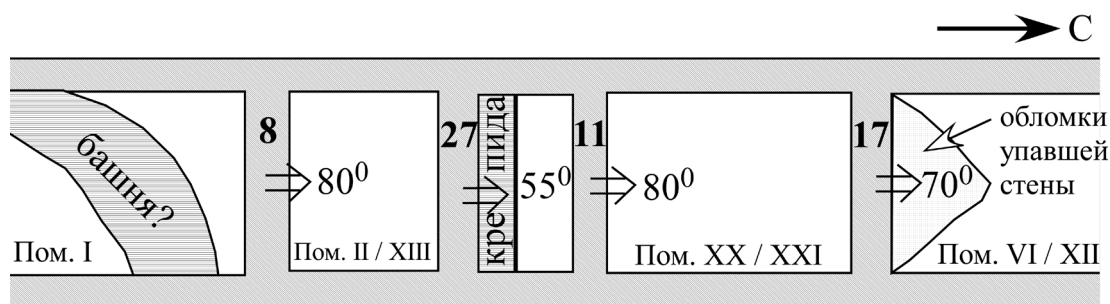


Рис. 7. Схематическая зарисовка стен восточной анфилады комнат в раскопе № III (план). Все широтные стены наклонились на север под различными углами.

во время какого то более раннего землетрясения, поэтому к ней позднее пристроили контрфорсную стенку – крепиду.

Такой же тип обрушений наблюдался нами в проходе в помещение XVII/XXIII (т. н. № 46 на рис. 3). Стена, в которой имеется этот проем, простирается по азимуту 0° . Таким образом, каменные плиты, составлявшие дверной обклад, имеют перпендикулярное простираение (рис. 8). Одна из плит – южная была сорвана со своего «постамент» и упала на север, сместившись немного к западу (на 13 см) и при этом повернувшись по часовой стрелке на 5° . Эти замеры говорят о том, что направление прихода максимальных суммарных сейсмических воздействий не было строго перпендикулярно изначальному простираению упавшей плиты, а шло под некоторым углом к ней.

Строительные элементы другого – меридионального простираения систематически выдвинулись, наклонились и упали на запад. Так, стена № 22 в раскопе № III имела три проёма-входа. Все они деформированы (рис. 9). Общее простираение стены – 90° . Ширина стены до 0,9 м, остаточная высота 0,8 м. Восточный каменный блок западного дверного обклада выдвинулся на запад на 13 см (рис. 9б) и, при этом, повернулся против часовой стрелки на 5° . Восточная же каменная плита срединного дверного обклада упала в западном направлении (рис. 9в). Восточная каменная плита восточного дверного обклада наклонилась на запад под углом 82° (рис. 9г).

Уникальным элементом сейсмических деформаций, встреченных на Михайловском городище, является выкалывание и выдвигание к югу значительного (10–12 м) фрагмента северной оборонительной стены по линиям косых сколов (рис. 10а–в). Подобные сколы уже встречались нами в развалинах Херсонеса и Мангуп-Кале (рис. 10г). При своем смещении к югу сколотый фрагмент стены № 19 встретил перпендикулярную стену между помещениями XI/XIV и XVI и сломался в месте соединения стен (рис. 10а). В связи с этим произошел поворот против часовой стрелки на 10° в западном окончании сколотой стены и поворот по часовой стрелки также на 10° в восточной части сколотого участка северной стены. Следует отметить и значительную ширину стены, в которой имел место скол – 1,8 м!

Мы уже писали выше о *поворотах* отдельных строительных блоков или даже частей стен. Подобные деформации типичны для сильных землетрясений. Вращаются и стены целиком. Так, например, стена к западу от входа в помещение № XI/XIV развернулась целиком на 10° против часовой стрелки (рис. 10а), а также наклонилась и обрушилась

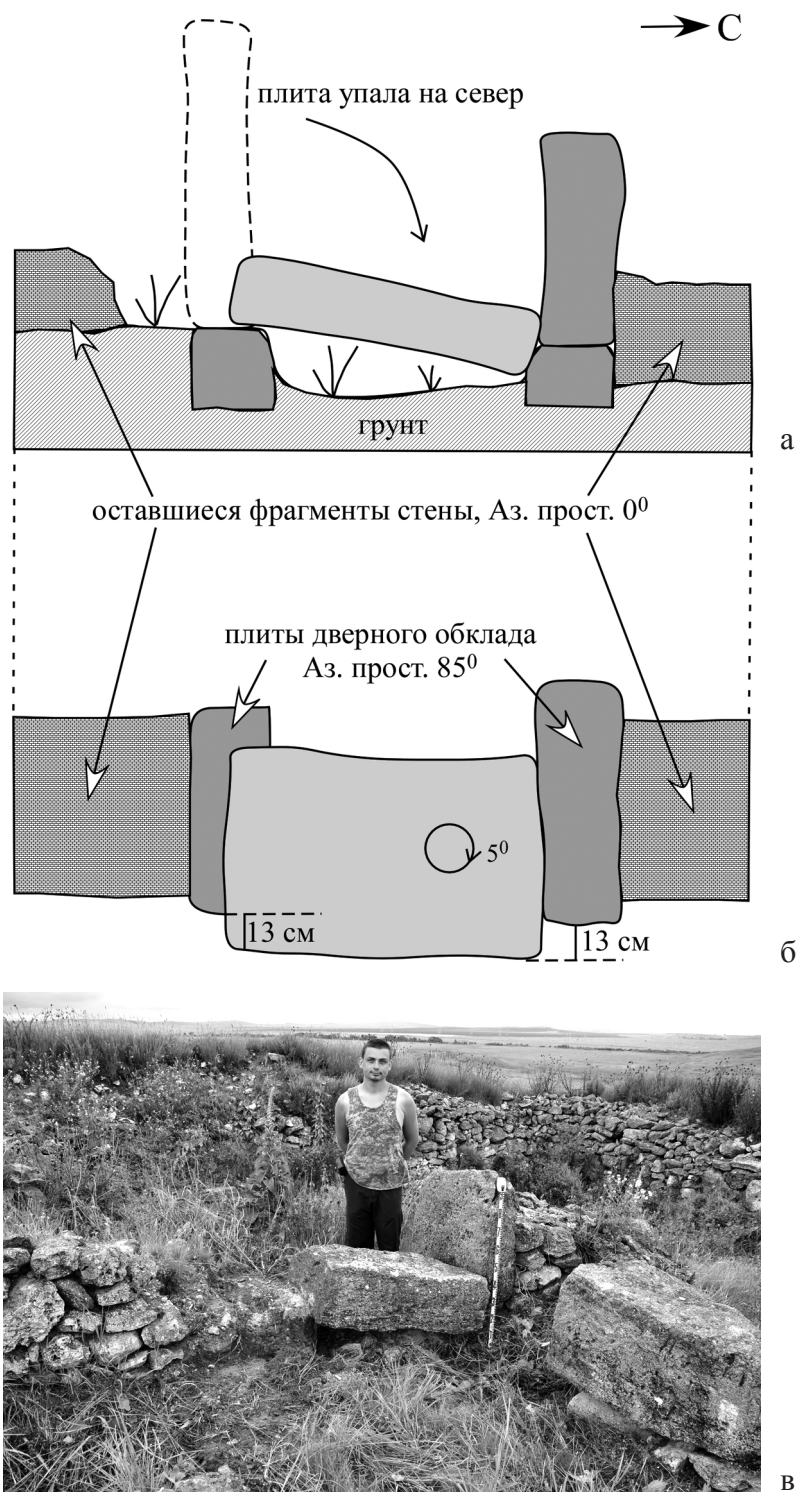


Рис. 8. Деформации дверного проема в помещении XVII/XXIII раскопа № III в Михайловском городище. Схематические зарисовки: а – разрез, б – план, в – фотография (вид на ЗСЗ)

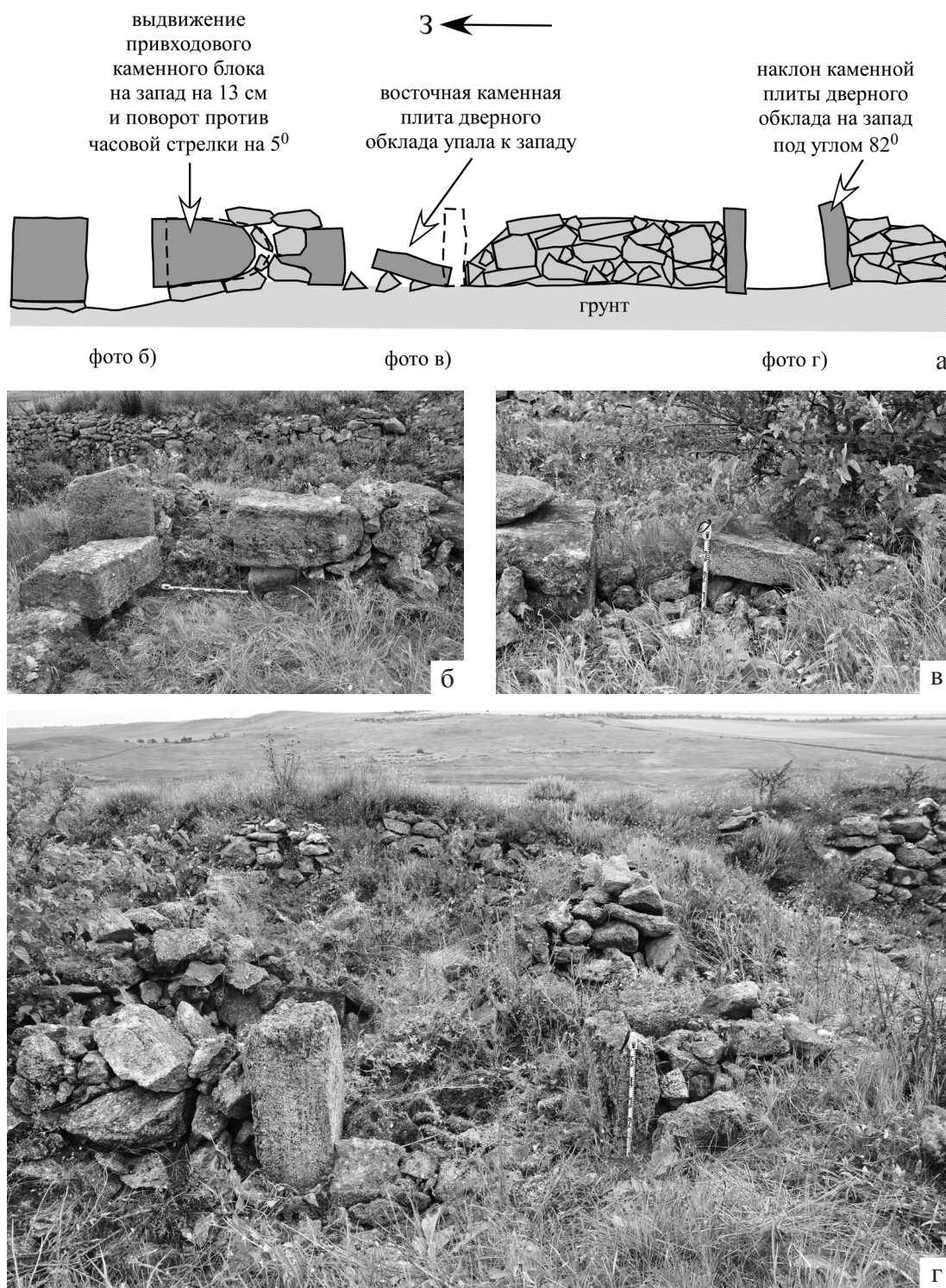


Рис. 9. Деформации входов в широтной стене № 22 (а – схематическая зарисовка стены, вид на север). Здесь имело место выдвигание привходовых каменных блоков (б), их обрушение (в) и наклон (г) на запад

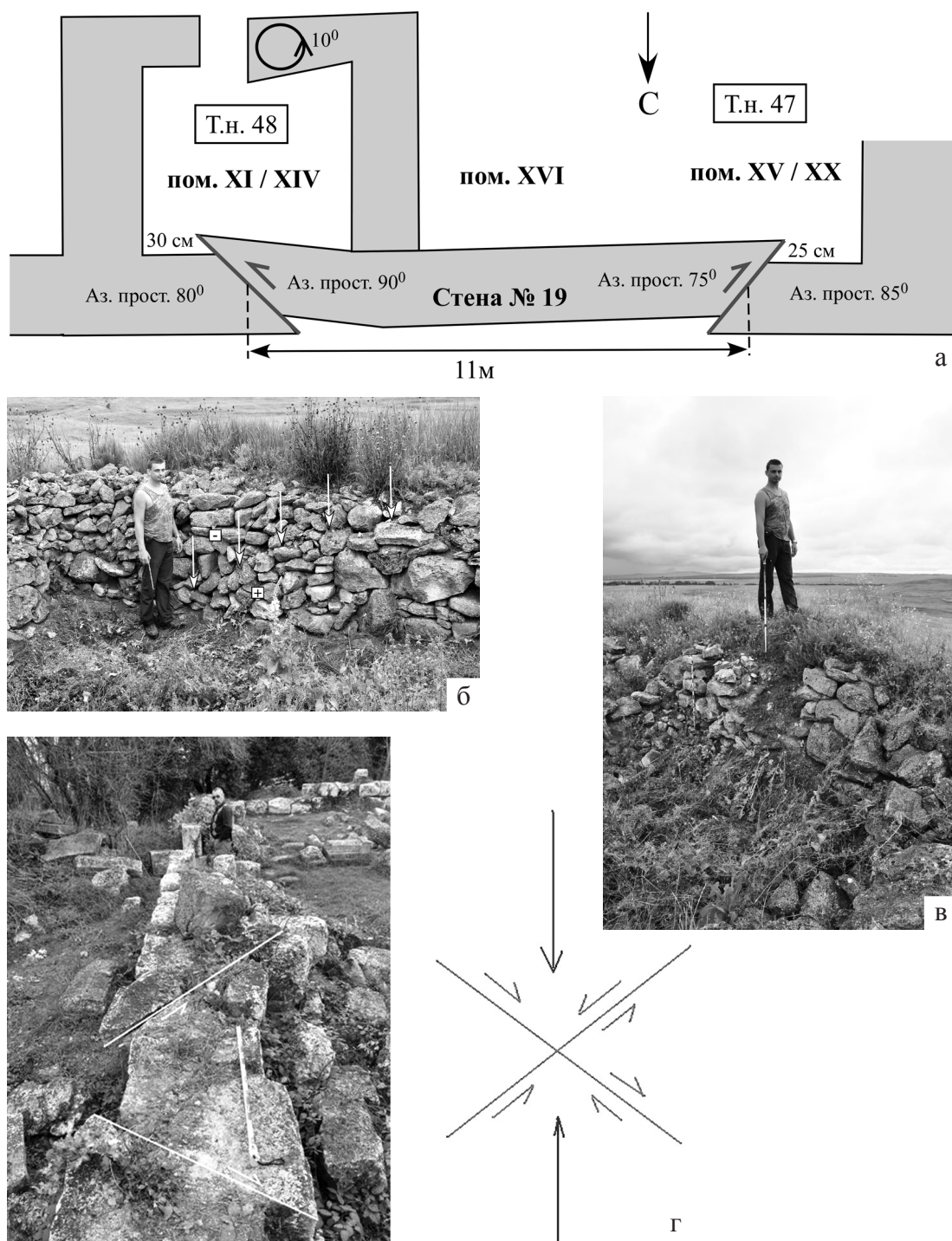


Рис. 10. Выкалывание значительных фрагментов стен в древних городах Крыма: а–в – в северной стене Михайловского городища, г – в горной крепости Мангуп-Кале. а – схематическая зарисовка СЗ части городища (план), б – западный скол (показан стрелками, + выдвигание вовнутрь строения), в – восточный скол. г – Выкалывание и выбивание к востоку фрагмента меридиональной стены в Базилике VI–XV вв. в Мангуп-Кале.

на север (точнее на ССЗ). Азимут простирания непо потревоженной восточной от входа стены – 80°.

Итак, выявленные деформации в раскопе № III Михайловского городища однозначно указывают на сейсмогенную причину их появления. Исследованный нами комплекс деформаций включает: систематические наклоны, выдвигания и обрушения к северу строительных конструкций широтного простирания. При этом строительные элементы меридионального простирания наклонились, выдвинулись и упали к западу. Был выявлен и один разворот незакрепленной части стены широтного простирания против часовой стрелки. Наиболее впечатляющим и уникальным является также скалывание и смещение к югу значительного участка северной городской стены. Большое количество «двойных» стен (первичных – и контрфорсов – крепид) говорит о том, что на данном городище имело место, по крайней мере, два значительных сейсмо-события, сопровождавшихся разрушениями и деформациями. Местная сейсмическая интенсивность достигала, по-видимому, $(VIII) \leq I_0 \leq IX$.

Однако после этих разрушений поселение было отстроено заново и дополнительно укреплено параллельными стенами толщиной до 2 м. Вероятно, могла иметь место пристройка внешнего панциря с бутово – земляным заполнением. Окончательно цитадель погибла в III в. н. э., возможно, во время второго сильного землетрясения. Это «маркируется» слоем пожарища с находкой монеты 234–239 г. н. э. Максимальные суммарные сейсмические колебания во время первого землетрясения распространялись, по-видимому, в широтном направлении, что привело к выкалыванию значительной части северной стены городища. Сейсмические удары второго землетрясения шли по оси ССЗ–ЮЮВ, о чем говорит систематический характер наклонов, выдвиганий и обрушений стен широтного и меридионального направлений. Впрочем, обстоятельства, причины и время этой катастрофы остаются неоднозначными и требуют уточнения.



Список литературы

- Белик, Корженков, Куликов, Ларьков, Мараханов, Овсюченко, Рогожин, 2016. Белик Ю. Л., Корженков А. М., Куликов А. В., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Овсюченко А. Н., Рогожин Е. А. Сейсмогенные деформации в стенах позднесредневековой крепости Еникале в Восточном Крыму // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 43, № 2. М.
- Блаватский, 1977. Блаватский В. Д. Землетрясение 63 г. до н. э. на Керченском полуострове // Природа. № 8.
- Богачкин, Корженков, Мамыров, Нечаев, Омуральев, Петросян, Плетнёв, Рогожин, Чаримов, 1997. Богачкин Б. М., Корженков А. М., Мамыров Э., Нечаев Ю. В., Омуралиев М., Петросян А. Э., Плетнев К. Г., Рогожин Е. А., Чаримов Т. А. Структура

- очага Сусамырского землетрясения 1992 г. на основании анализа его геологических и сейсмологических проявлений // Физика Земли. № 11.
- Борисенко, Пустовойтенко, Дублянский, Вахрушев, Клюкин, Ена, Китин, 1999. Борисенко Л. С., Пустовойтенко Б. Г., Дублянский В. Н., Вахрушев Б. А., Клюкин А. А., Ена А. В., Китин М. А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. Симферополь.
- Винокуров, Корженков, Родкин, 2015. Винокуров Н. И., А. М. Корженков, М. В. Родкин. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 42. № 2.
- Геология и геодинамика района Крымской АЭС. 1992 / Отв. ред. Н. М. Гавриленко, А. В. Чекунов. Наукова думка. Киев.
- Корженков, 2006. Корженков А. М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим.
- Корженков, Лемзин, 2000. Корженков А. М., Лемзин И. Н. Макросейсмическое обследование и геологические условия Кочкор-Атинского (1992, $M_L=6,2$) землетрясения в Южном Кыргызстане // Наука и новые технологии. № 3. М.
- Коржинков, Мазор, 2001. Корженков А. М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Известия МОН РК, НАН РК. № 1.
- Корженков, Муралиев, Ормуков, Сейталиев, Джумабаева, Гребенникова, 2006. Корженков А. М., Муралиев А. М., Ормуков Ч. О., Сейталиев М. М., Джумабаева А. Б., Гребенникова В. В. Макросейсмическое обследование Кочкорского землетрясения 26 декабря 2006 года ($M = 5,5$, $K = 14$, $I_0 = 7$) в Северном Кыргызстане // Наука и новые технологии. № 3–4.
- Корженков, Мазор, 2013. Корженков А. М. Мазор Э. Признаки сейсмических повреждений в руинах древних городов в пустыне Негев // Геотектоника. № 1.
- Корженков, Овсяченко, Ларьков, 2016а. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. № 10.
- Корженков, Моисеев, Овсяченко, Ларьков, Мараханов, Рогожин, Эмруллаев, 2016б. Корженков А. М., Моисеев Д. А., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Мараханов А. Н., Рогожин Е. А., Эмруллаев Ш. А. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов Салачике // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 43, № 3.
- Корженков, Ларьков, Мараханов, Молев, Овсяченко, Рогожин, Хршановский, 2016в. Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Молев Е. А., Овсяченко А. Н., Рогожин Е. А., Хршановский В. А. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров // Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного круглого стола. СПб.: ПАЛЛАДО.
- Масленников, 1998. Масленников А. А. Эллинская хора на краю Ойкумены. «ИНДРИК». М.
- Никонов, 1996. Никонов А. А. Разрушительное землетрясение 1751 г. в Крыму // Физика Земли. № 1.
- Петерс, 1978. Петерс Б. Г. Михайловское городище античного времени // Проблемы советской археологии. М.: Наука.

- Archaeoseismology. Fitch Laboratory Occasional Papers 7 (Publ. House of British Archaeological School, Athens, 1996).
- Caputo, Helly. 2008. Caputo R. and Helly B. The use of distinct disciplines to investigate past earthquakes // *Tectonophysics*. Vol. 453.
- Caputo, Hinzen, Liberatore, Schreiber, Helly, Tziafalias, 2010. Caputo R., Hinzen K.-G., Liberatore D., Schreiber S., Helly B., Tziafalias A. Quantitative archaeoseismological investigation of the Great Theatre of Larissa, Greece // *Bull. Earthquake Eng.*
- Eppelbaum, 2010. Eppelbaum L. V. Archaeological geophysics in Israel: past, present and future // *Advances in Geophysics*. Vol. 24.
- Eppelbaum, Khesin, Itkis, 2010. Eppelbaum L. V., Khesin B. E., Itkis S. E. Archaeological geophysics in arid environments: Examples from Israel // *Journal of Arid Environments*. V. 74.
- Fabian, 1998. Fabian P. Evidence of earthquakes destruction in the archaeological record – the case of ancient Avdat // *Israel Geological Society Annual Meeting. Mitzpe Ramon. Field Trips Guidebook*.
- Galadini, Hinzen, Stiros, 2006. Galadini F., Hinzen K.-G., Stiros S. Archaeoseismology: Methodological issues and procedures // *J. Seismol.* V. 10.
- Ghose, Mellors, Korjenkov, Hamburger, Pavlis, Pavlis, Omuraliev, Mamyrov, Muraliev, 1997. Ghose, S., Mellors R. J., Korjenkov A. M., Hamburger M. W., Pavlis T. L., Pavlis G. L., Omuraliev M., Mamyrov E., Muraliev A. R. The Ms = 7,3 1992 Suusamy, Kyrgyzstan earthquake in the Tien Shan: 2. Aftershock focal mechanisms and surface deformation // *Bulletin of Seismological Society of America*. Vol. 87, No. 1.
- Giner-Robles, Rodríguez-Pascua, Pérez-López, Silva, Bardají, Grützner, Reicherter, 2009. Giner-Robles J. L., Rodríguez-Pascua M. A., Pérez-López R., Silva P. G., Bardají T., Grützner C., Reicherter K. Structural analysis of Earthquake Archaeological Effects (EAE): Baelo Claudia Examples (Cádiz, South Spain). 1st INQUA-IGCP 567 International Workshop on Earthquake Archaeology and Palaeoseismology. Vol. 2. 7–13 September. Baelo Claudia (Cádiz, South Spain).
- Karakhanyan, Trifinov, Ivanova, Avagyan, Rukieh, Mimini, Dodonov, Bachmanov, 2008. Karakhanyan A. S., Trifinov V. G., Ivanova T. P., Avagyan A., Rukieh M., Mimini H., Dodonov A. E., Bachmanov D. M. Seismic deformation in the St. Simeon Monasteries (Qal'at Sim'an), Northwestern Syria // *Tectonophysics*. Vol. 453.
- Karakhanyan, Avagyan, 2011. Karakhanyan A. S., Avagyan A. Archaeoseismological investigations in the temple of Amenhotep II and the impact of an early earthquake. In: (Souroussian H. – ed.) Fifth Report on Excavation and Conservation Work at Kom El-Hettan from 9th to 2th seasons (2007–2010) by the Colossi of Memnon and Amenhotep II Temple Conservation Project: Part I: The Colossi of Memnon and Amenhotep and Archaeoseismology. ASAE. Vol. 85.
- Kázmér, Sanittham, Charusiri, Pailoplee, 2011. Kázmér M., Sanittham K., Charusiri P., Pailoplee S. Archaeoseismology of the AD 1545 earthquake in Chiang Mai, northern Thailand // 2nd INQUA-IGCP-567 International Workshop on Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering, Corinth, Greece.

- Kázmér, Major, 2010. Kázmér M., Major B. Distinguishing damages from two earthquakes – Archaeoseismology of a Crusader castle (Al-Marqab citadel, Syria) // Geological Society of America Special Papers. V. 471.
- Kázmér, 2014. Kázmér M. Damage to Ancient Buildings from Earthquakes // Encyclopedia of Earthquake Engineering. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- Kázmér, Major, 2015. Kázmér M., Major B. Sāfitā castle and rockfalls in the 'dead villages' of coastal Syria – an archaeoseismological study // C.R. Geosciences.
- Korjenkov, and Mazor, 1999a. Korjenkov, A.M., and Mazor, E. Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel // Isr. J. Earth Sci. Vol. 48.
- Korjenkov, and Mazor, 1999b. Korjenkov, A.M., and Mazor, E. Seismogenic origin of the ancient Avdat ruins, Negev desert, Israel // Natural Hazards. Vol. 18, No. 3.
- Korzhnikov, and Mazor, 1999c. Korzhnikov A.M., and Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // Science and New Technologies. No. 1.
- Korjenkov, Baypakov, Chang, Peshkov, Savelieva, 2003. Korjenkov, A.M., Baypakov K.M., Chang C., Peshkov Yu., Savelieva T. Traces of ancient earthquakes in Medieval cities along the Great Silk Route, northern Tien Shan and Dzhungaria // Turkish Journal of Earth Sciences. Vol. 12.
- Korjenkov, Ericson-Gini, 2003a. Korjenkov A.M., Ericson-Gini T. The seismic origin of the destruction of the Nabataean Forts of Ein Erga and Ein Rahel, Arava Valley, Israel // Archaeologischer Anzeiger, No. 2.
- Korjenkov, Kaiser, 2003b. Korjenkov A.M., Kaiser D. Historical-macroseismic study of the town church in Wittstock, northern Germany // Proc. 11th FIG Symp. "Deformation Measurements", Santorini, Greece, Patras Univ. Press.
- Korjenkov, and Mazor, 2003c. Korjenkov, A.M., and Mazor, E. Archeoseimology in Mamshit (southern Israel): Cracking a millennia code of earthquakes preserved in ancient ruins // Archaeologischer Anzeiger. No. 2.
- Korjenkov, Kaiser, Groupner, 2005. Korjenkov A.M., Kaiser D., Groupner S. Preliminary analysis of damages of possible seismic origin to historical monuments in north-eastern Germany // Archeosismicite & Vulnerabilite. Patrimoine bati ouvert au public. Actes des Vie et VIIe Recontres du Groupe APS.
- Korjenkov, Mazor, 2005a. Korjenkov, A.M., and Mazor, E. Diversity of earthquakes destruction patterns: The Roman-Byzantine ruins of Haluza, Negev desert, Israel // Archaeologischer Anzeiger, No. 2.
- Korjenkov, Schmidt, 2009. Korjenkov A.M. and K. Schmidt. Archeoseismological Study at Hujayrat Al-Ghuzlan, Southern Wadi Araba, Jordan: Seismic Destruction of Chalcolithic- Early Bronze Structures," in Prehistoric Aqaba I, Ed. by R. Eichmann. L. Khalil, and K. Schmidt (Orient-Archeologie, Verlag Marie Leidorf, Rahden).
- Korzhnikov, Mazor, 2014. Korzhnikov A.M. and Mazor E. Archaeoseismological damage pattern at the ancient ruins of Rehovot-ba-Negev, Israel // Archaeologischer Anzeiger. № 1.
- Kovach, 1988. Kovach R. L. Earthquake hazard in Jordan // Natural Hazards. V. 1.

- Mazor, Korjenkov, 2001. Mazor E., Korjenkov A.M. Applied archeoseismology: Decoding earthquake parameters recorded in archeological ruins // *The Makhteshim Country: A Laboratory of Nature. Geological and Ecological Studies in the Desert Region of Israel*. Pensoft Rress, Sofia-Moscow.
- Parker, 1999. Parker S.T. Brief notice on a possible early 4th century church at Aqaba, Jordan // *Journal of Roman Archaeology*. 1999. V. 12.
- Peláez, Castillo, Gómez Cabera, Sánchez Gomez, Martínez Solarez, López Casado, 2013. Peláez J.A., Castillo J.C., Gómez Cabera F., Sánchez Gómez M., Martínez Solarez J.M. and López Casado C. A review of the 1170 Andújar (Jaén, South Spain) earthquake, including the first likely archeological evidence // *Earthquake Research and Analysis – New Advances in Seismology*. Intech Press, Croatia.
- Rodríguez-Pascua, Pérez-López, Giner-Robles, Silva, Garduño-Monroy, Reicherter, 2011. Rodríguez-Pascua M.A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy V.H., Reicherter K. A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures // *Quaternary International*. V. 242.
- Schreiber, Hinzen, Fleischer, Schütte, 2012. Schreiber S., Hinzen K.-G., Fleischer C. and Schütte S. Excavation-parallel laser scanning of a medieval cesspit in the archaeological zone Cologne, Germany // *ACM J. Comput. Cult. Herit*. 5, 3, Article 12.
- Silva, Reicherter, Crützner, Baradají, Lario, Goy, Zazo, Becker-Heidmann. 2009. Silva P.G., Reicherter K., Crützner C., Baradají, T., Lario J., Goy J.L., Zazo C. and Becker-Heidmann P. Surface and subsurface palaeoseismic records at the ancient Roman city of Baelo Claudia and the Bolonia Bay area, Cádiz (south Spain) // *Geological Society, London, Special Publications*. V. 316.
- Similox-Tohon, 2006. Similox-Tohon D. An integrated geological and archaeoseismological approach of the seismicity in the territory of Sagalassos (SW Turkey). Towards the identification of active faults in the Burdur-Isparta region. Ph. D. Thesis. Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- Similox-Tohon, Sintubin, Muches, Verhaert, Vanneste, Fernandez, Vandycke, Vanhaverbeke, Waelkens, 2006. Similox-Tohon D., Sintubin M., Muches P., Verhaert G., Vanneste K., Fernandez M., Vandycke S., Vanhaverbeke H., Waelkens M. The identification of the active fault by a multidisciplinary study at the archeological site of Sagalassos (SW Turkey) // *Tectonophysics*, 420.
- Sintubin, Stewart. 2008. Sintubin M. and Stewart S. A logical methodology for archaeoseismology: A Proof of concept at the archaeological site of Sagalassos, Southwest Turkey // *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 98. No. 5.



Summary

A. M. Korzhenkov, A. N. Ovsyuchenko, A. S. Lar'kov,

A. V. Marakhanov, E. A. Rogozhin, N. I. Sudarev

**Traces of the strong earthquakes in ancient Mikhaylovka archeological monument,
Kerch' Peninsula, Crimea**

In the paper there are results of archeoseismological study of an antic archeological monument – Mikhaylovka hill-fort located in Kerch' peninsula. Studied deformations complex includes: systematic tilts, shifts and collapses of building constructions of latitudinal strike northward. Building elements of longitudinal strike tilted, shifted and collapsed westward. We revealed one counterclockwise rotation in a wall part which was not anchored. Most impressive and unique is shearing and shifting southward of a significant fragment of northern city wall. The revealed deformations in the trench No. III of Mikhaylovka hill-fort undoubtedly demonstrate their seismogenic origin. Large number of double walls – original walls and counterforce ones – “krepida's” testifies on at least two events of destruction and deformation in Mikhaylovka fort-hill. Local seismic intensity was apparently (VIII) $\leq I_0 \leq IX$. According to numismatic finds and fire traces first earthquake occurred in beginning of II century AD, second earthquake - in III century AD. Maximum summary seismic oscillations during first earthquakes propagated apparently in latitudinal direction which led to wedging of significant part of the northern wall of the hill-fort. Seismic shocks during second earthquakes went along NNW-SSE axis. This direction is testified by systematic character of tilts, shifts and collapses of the walls of both directions.