Сейсмические деформации в древнем городе Илурате

А.М.Корженков, А.Н.Овсюченко, А.С.Ларьков

Памятники истории хранят поучительные уроки прошлого. Это касается событий не только человеческой истории, но и природных явлений. За последние 250 лет Керченский п-ов на востоке Крыма не подвергался сильным землетрясениям. Однако он хранит немало свидетельств сейсмических катастроф далекого прошлого, которые запечатлены не только в молодых тектонических деформациях, но и в руинах древних городов, давно покинутых человеком (рис.1). Один из них — Илурат, город-крепость I–III вв. Его название упоминается в сочинении античного географа II в. Клавдия Птолемея [1]. В отличие от большинства античных городов, Илурат расположен среди степных холмов в глубине Керченского п-ова. В те времена, когда на месте современной Керчи находилась столица Боспорского царства — Пантикапей, крепость защищала западные подступы от нападений со стороны степи и предгорий Крыма. После того как в III в. Илурат был покинут, серьезного строительства там не велось, и благодаря этому развалины очень хорошо сохранились. Планомерные археологические раскопки здесь начались в 1947 г. В итоге многолетних исследований нескольких поколений археологов были открыты остатки мощных оборонительных стен, башен, ворот, улиц и жилых кварталов (рис.2).

© Корженков А.М., Овсюченко А.Н., Ларьков А.С., 2016

Андрей Михайлович Корженков, *доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией палеосейсмологии и палеогеодинамики Института физики Земли им.О.Ю.Шмидта РАН. Область научных интересов — палео- и археосейсмология, историческая сейсмология, структурная геоморфология, оценка сейсмической опасности.*

Александр Сергеевич Ларьков, *научный сотрудник того же института. Круг научных интересов охватывает сейсмотектонику, палео- и археосейсмологию, оценку сейсмической опасности.*

Александр Николаевич Овсюченко, *кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования того же института. Специалист в области сейсмотектоники, палеосейсмологии и оценки сейсмической опасности.*

Ключевые слова: Боспорское царство, Илурат, археосейсмология, сейсмогенные нарушения.
Key words: Bosporan kingdom, Ilurat, archeoseismology, seismogenic destruction.

Руины древних городов как окаменевшие сейсмоскопы

Повреждения, наблюдаемые в древних руинах, могли возникнуть в результате плохой строительной технологии, выветривания каменного материала с течением времени (статическое повреждение), разрушения вражескими армиями или при землетрясениях. Распознание сейсмической природы повреждений посредством преимущественно ориентированного обрушения строительных элементов — обычный метод, применяемый в археологии.

Рис.1. Развалины древнего Илурата на слабонаклонном плато у современного села Ивановка.
Здесь и далее фото А.М.Корженкова

Данная работа показывает потенциальное использование особенностей разрушений и повреждений, наблюдаемых в городских руинах, в качестве количественного инструмента для решения главных задач археосейсмологии:

— выявления и доказательства сейсмической природы деформаций в древних памятниках;

— локализации эпицентральных зон землетрясений методом, независимым от сейсмической сети и дополняющим ее;

— идентификации зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения;

— оценки местной интенсивности сейсмических колебаний;

— продления сейсмической летописи на временной интервал в тысячи лет.

Особенности сейсмических повреждений, примененные впоследствии к археологическим местам, предварительно были нами прокалиброваны при исследовании сильных Кочкор-Атинского и Суусамырского землетрясений (1992 г., Кыргызстан) [3, 4].

В Древнем Китае сейсмограф представлял собой сосуд на площадке с восемью драконами, закрепленными на его боках и обращенными в различные стороны света: на север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад и северо-запад (рис.3). Каждый дракон держал в пасти шарик. Вслед за землетрясением монах инспектировал драконов, проверяя, какой из них уронил шарик в открытый рот лягушки внизу. Пара дракон и лягушка, обменявшиеся шариком, указывала направление на эпицентр землетрясения. Этот заме-

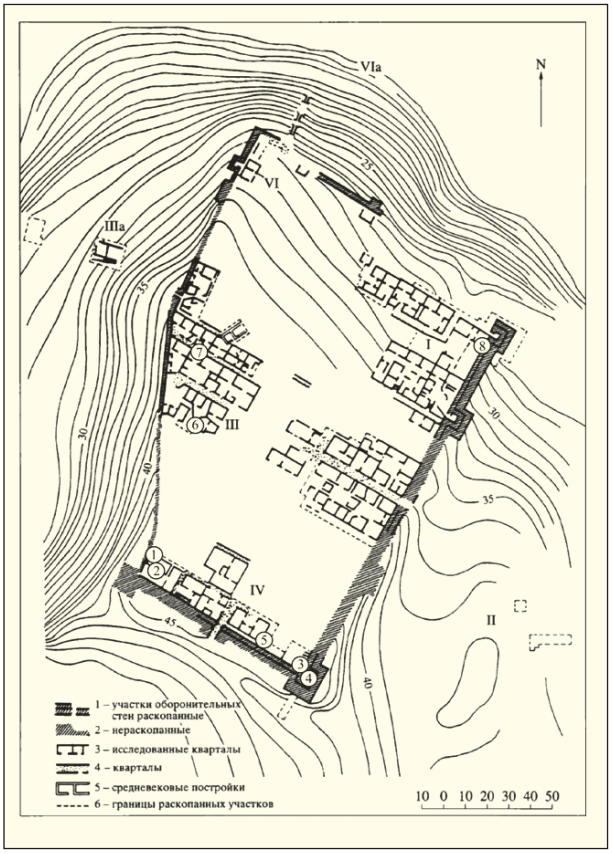

Рис.2. Вид северо-восточного склона городища Илурат [2, с дополнениями]. Кружками показаны точки наших наблюдений с выявленными сейсмическими деформациями.

Рис.3. Древний китайский сейсмограф.
www.liveinternet.ru

чательный сейсмограф использовал простой критерий, обычно применяемый для интерпретации особенностей сейсмических разрушений.

Сейчас сейсмическая активность регистрируется сетью чувствительных приборов. Сейсмическая служба очерчивает регионы, характеризующиеся частыми событиями различной степени интенсивности, и оконтуривает районы относительного спокойствия. Имеет ли здесь силу геологическое правило «настоящее есть ключ к познанию прошлого»? В ряде случаев ответ будет отрицательным. Землетрясения связаны с реализацией тектонических напряжений и управляемы многими факторами, такими как трение между блоками горных пород, наличие больших или мелкомасштабных трещин, температура, давление и др. Сумма энергии, которую необходимо накопить для того, чтобы вызвать землетрясение, будет различаться в разных геолого-структурных обстановках. Низкий «порог землетрясений» существует

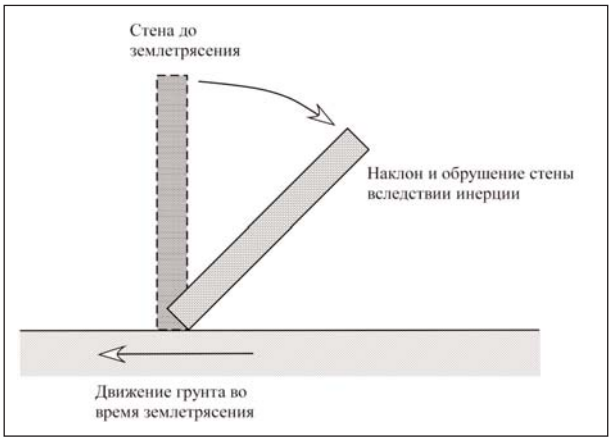

Рис.4. Схематическая модель наклона и обрушения стен, перпендикулярных направлению распространения сейсмических колебаний.

в определенных регионах, где напряжение реализуется в частых относительно небольших событиях или посредством продолжающегося крипа (смещения рыхлого покрова вниз по склону). Другие регионы обладают значительно более высоким порогом землетрясений. Там длинные интервалы спокойствия прерываются редкими сейсмическими событиями высокой интенсивности, т.е. происходит одно катастрофическое землетрясение через несколько десятков или даже сотен лет. Для обнаружения таких редких, но значительных сейсмических катастроф необходимы сейсмические записи за период от нескольких сот до нескольких тысяч лет. Так, для районов строительства атомных электростанций требуется оценка повторяемости сильных землетрясений за последние 10 тыс. лет. Имеются ли в нашем распоряжении такие долгопериодные и широко распространенные записи? Есть ли у нас доступ к сейсмографам, подобным древнему китайскому? Можно ли датировать время их срабатывания?

Важность исследования исторически задокументированных землетрясений давно признана, но их изучение носит скорее качественный характер. Однако древние, хорошо сконструированные здания могут рассматриваться как окаменевшие, или «замороженные», сейсмометры. Раскопки помогают разгадывать события сейсмических разрушений, которые могут быть датированы археологическими находками, изредка сопровождаемыми исторической документацией. Систематическая ориентация повреждений древних зданий позволяет создать банк данных, с помощью которого возможно оценить интенсивность исторических землетрясений и реконструировать направление распространения сейсмических подвижек.

Подобные разрушения наблюдались и многократно исследовались по всему миру, но данные их ориентировки по отношению к эпицентру можно встретить лишь в немногих сообщениях [5]. Особенности разрушений мы систематически использовали как независимый индикатор при определении местоположения макросейсмического эпицентра Суусамырского землетрясения (19 августа 1992 г., M_s = 7.3, I_o = IX–X баллов), произошедшего в горах Тянь-Шаня [4]. Было подтверждено, что преимущественная ориентация деформаций находится в соответствии с локальным направлением распространения сейсмических волн, записанной сетью сейсмических станций.

Обрушения или наклоны элементов зданий ориентированы к эпицентру или от него. Если пораженное место находится в квадранте сжатия, то деформация будет вызвана толкающими движениями, приложенными к грунту, что приведет к наклону или обрушению в сторону эпицентра (рис.4). Наоборот, в местах, расположенных в квадранте растяжения, деформация производится дергающими движениями, вызывая наклон и обрушение в сторону от эпицентра. В любом случае

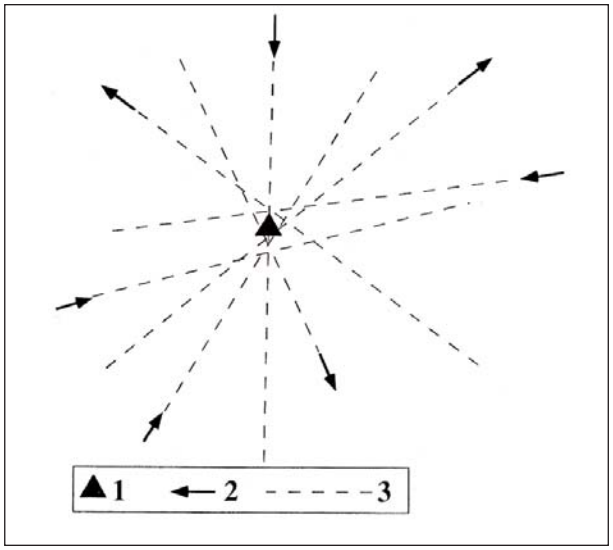

Рис.5. Определение местоположения эпицентра землетрясения с использованием направлений обрушений [4]. Так как обрушение происходит по направлению к эпицентру или от него, пересечения линий обрушения рассеяны вокруг эпицентра, что позволяет изобразить его графически. 1 — эпицентр, 2 — направления обрушений, 3 — линии обрушений.

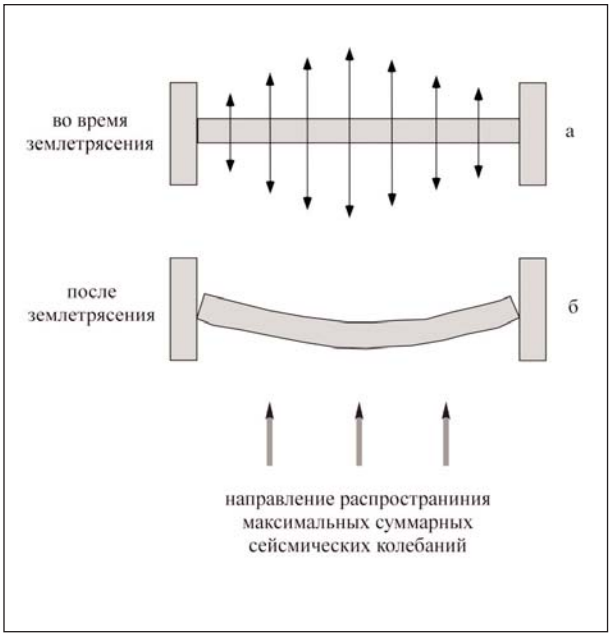

Рис.6. Поведение стен во время сильных горизонтальных колебаний грунта. Вид в плане: а — колебания стены, б — латеральный изгиб стены, вызванный движениями грунта.

линия обрушения будет соединять первоначальную позицию объекта и его положение после землетрясения или соответствовать азимуту падения. Точки пересечения линий обрушения, замеренные во многих местах, сойдутся в эпицентральной области (рис.5) [4].

Латеральный (в плане) изгиб стен также служит кинематическим индикатором, позволяющим выявить сейсмическую природу наблюденной деформации и определить местное направление суммарных максимальных сейсмических колебаний. Стены большой протяженности во время сильных горизонтальных подвижек грунта подвергаются значительным колебаниям. Верхние части стен при этом обычно обрушаются, а нижние, более эластичные, изгибаются (рис.6).

В сейсмически пораженной области часто наблюдаются повернутые блоки, кирпичи, камни или постаменты колонн. Вращение вызывается сдвиговой парой сил, приложенной к плоскому элементу конструкции. Сейсмические колебания, направленные параллельно или перпендикулярно к стенам здания, приведут к их обрушению, смещению или наклону без вращения. Вращение же происходит, когда главные напряжения приложены под углом к элементу конструкции, а результирующие сдвиговые напряжения высоки. Таким образом, развернутые элементы, находящиеся на перпендикулярно ориентированных стенах, должны иметь противоположное направление вращения, если максимальные суммарные сейсмические колебания были направлены вдоль биссектрисы между двумя стенами (рис.7).

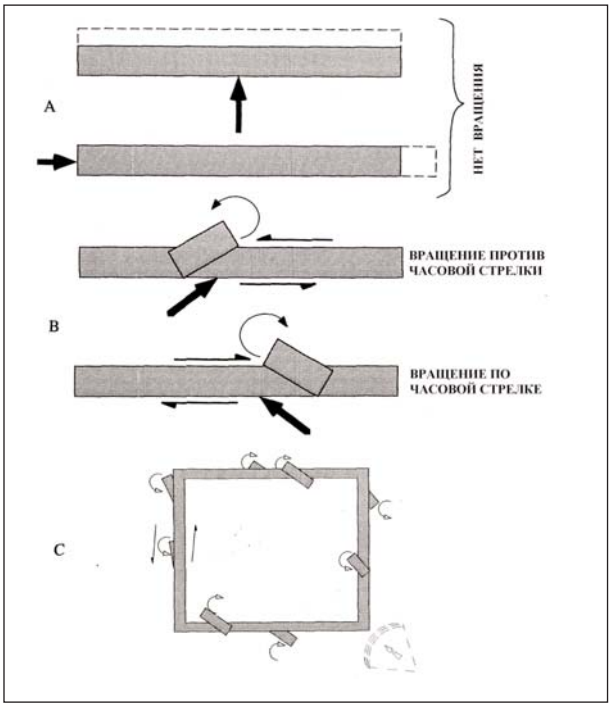

Рис.7. Вращение элементов здания [4, с изменениями]: а — максимальные суммарные сейсмические колебания, перпендикулярные к стене, не вызывают вращения; б — сейсмические колебания, направленные под углом к стене, приводят к вращению элементов здания; в — сейсмические подвижки, направленные вдоль биссектрисы между перпендикулярными стенами здания, вызывают противоположное вращение в этих стенах.

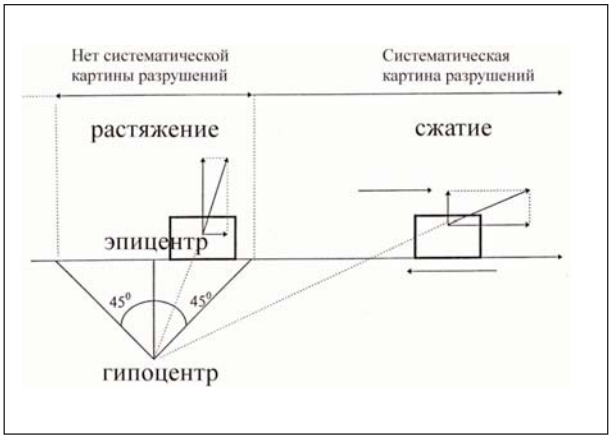

Рис.8. Схема различных типов сейсмических разрушений, происходящих под различными углами от гипоцентра [4].

Подобный анализ ведет к дополнительному заключению, которое объясняет отсутствие ориентированных наклонов и обрушений в эпицентральной области. Сейсмические колебания, движущиеся под высоким углом от гипоцентра к поверхности, приводят к латеральному растяжению строительных конструкций. Этот факт объясняет, почему при известных современных землетрясениях (Акапулько, 1962; Скопле, 1963; Ташкент, 1966 и др.) в областях над гипоцентром не наблюдались систематические наклоны и обрушения, в то время как на некотором расстоянии от эпицентра указанные деформации постоянно проявлялись (рис.8).

Во многих старых зданиях, даже построенных очень качественно, со временем начинается растрескивание. Появление трещин вызывается накоплением статической («мертвой») нагрузки, «старением» строительных материалов, выветриванием. Растрескивание может быть и следствием военных действий (при использовании тарана или при бомбежки), а также произойти в результате движения грунта во время сильного землетрясения.

В целом различные типы трещин по конфигурации разделяются на две основные группы: наклонные и субвертикальные (рис.9). Наклонные

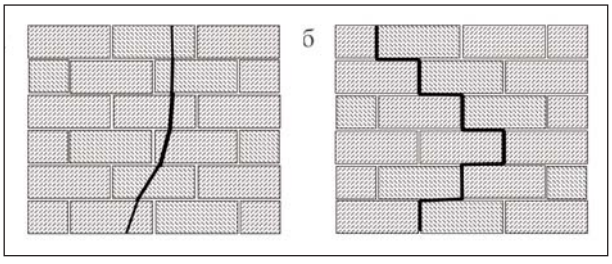

Рис.9. Различные виды трещин в поврежденных стенах: а — сквозные, предполагающие их сейсмогенное происхождение; б — ортогональные, возникающие как при статической нагрузке, так и при сейсмических колебаниях.

трещины для своего распространения обычно используют пространство между кирпичами (строительными блоками), как наиболее легкий путь для разрыва стены. Они возникают под действием статических и динамических процессов.

В отличие от наклонных — межблоковых, сквозные трещины возникают лишь при сильном динамическом воздействии [4]. Например, при крупных землетрясениях для преодоления «тектонической тени» свободных поверхностей на границах каменных блоков (т.е. свободного пространства между соседними кирпичами или камнями) требуется значительная энергия. Таким образом, появление сквозных трещин в стенах зданий очень важно при определении сейсмогенности повреждений и при оценке сейсмической интенсивности исторических землетрясений.

В структурной геологии для реконструкции движений и сил, действующих во время деформационных событий, применяются кинематические индикаторы. Однако подобные детали, но вызванные сейсмическими колебаниями, остаются в строительных конструкциях и рельефе и после сильных землетрясений, обеспечивая запись сейсмически наведенной деформации. Современное Суусамырское землетрясение и деформации в древнем городе Авдате в пустыне Негев (Израиль) [4] использовались для формулировки и калибровки сейсмических кинематических индикаторов. Мы проинспектировали следующие особенности деформаций строительных элементов:

— наклоны и обрушения стен, их фрагментов, арочных перекрытий, крыш и других строительных конструкций;

— смещение отдельных блоков в стенах, арках и колоннах;

— вращение отдельных блоков и больших фрагментов арок и стен;

— трещины, проходящие через несколько соседних строительных блоков.

Таким образом, было установлено, что преимущественно ориентированные обрушения, наклон, вращение стен, ограждений, арок и других элементов зданий представляют собой надежный инструмент для реконструкции сейсмических событий. Поскольку древние города расположены на всей территории Тянь-Шаня, пустыни Негев и окружающих регионов, данные по археосейсмологии уточняют оценки повторяемости сильных землетрясений, определения местоположения эпицентров древних толчков и их силы.

Наши результаты

Мы применили вышеописанный археосейсмологический подход к исследованию древнего Илурата и обнаружили следующее.

Сквозные трещины (точки наблюдения 1, 3—5 на рис.2), пробивали несколько камней подряд

(рис.10). Напомним, что такие трещины возникают лишь при больших динамических нагрузках (взрывах, действии тарана, землетрясениях). Взрывы можно исключить: раскопки археологического памятника начались уже после Великой Отечественной войны. Тараны вряд ли часто использовались в небольших внутренних помещениях. Остается сильное землетрясение. Учитывая, что подобные трещины распространялись преимущественно в стенах северо-северо-восточного простирания, то и максимальное суммарное сейсмическое воздействие было приложено приблизительно вдоль этой оси.

Мы наблюдали и разворот верхнего фрагмента стены (с первоначальным простиранием 125°) на 9° вокруг вертикальной оси по часовой стрелке (рис.11). Длина повернутого фрагмента 3.5 м, высота 0.5 м, ширина 0.7 м. Максимальное его смещение от первоначального положения составляло 0.3 м в юго-западном направлении.

Кроме того, в конструкциях города были обнаружены следы двух землетрясений (рис.11). При первом событии повредился дверной вход (азимут простирания 110°), который затем был заложен каменными блоками. При втором событии произошел разворот по часовой стрелке дверного порога (на 13°) и вторичной каменной кладки (на 7°). В дополнение к развороту порог был выбит в северном направлении на 38 см, а каменная кладка — на 20 см.

Наблюдали мы и S-образную (в плане) деформацию стены шириной 55 см с общим простиранием 175°. Ее северная часть выгнулась на запад до 20 см, а южная — на 50 см на восток (рис.12). Такую деформацию получили лишь верхние ряды кладки («эффект небоскреба»). Нижний же ряд остался почти прямолинейным. Величина деформации возрастает вверх. Трудно себе представить, что древние рабочие изначаль-

Рис.10. Сквозные трещины в Илурате: б — трещина (показана стрелками), пробивающая в стене четыре строительных блока подряд (точка наблюдения 4 в квартале IV); а — трещина длиной 1 м, пробивающая в стене два камня подряд (точка наблюдения 6 в квартале IV);

Рис.12. S-образная (в плане) деформация субмеридиональной стены в Илурате (точка наблюдения 6 в квартале III). Рис.13. Наклоны и обрушения строительных блоков-плит в Илурате (точка наблюдения 7 в квартале III).

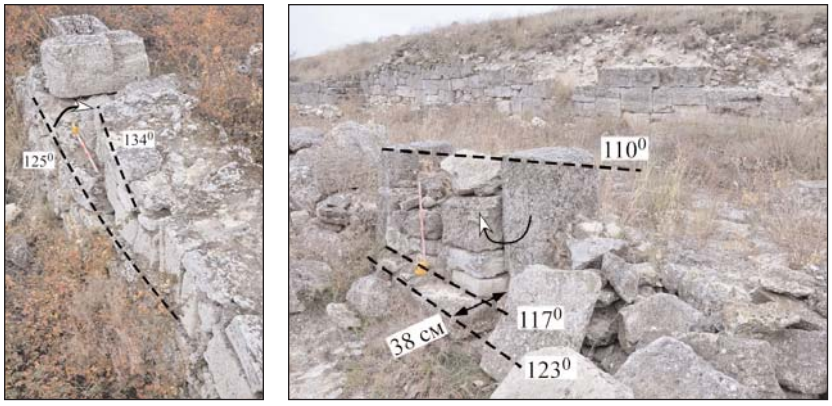

Рис.11. Развороты строительных конструкций в древнем Илурате: а — разворот верхнего фрагмента стены вокруг вертикальной оси по часовой стрелке (точка наблюдения 8 в квартале I); б — повороты по часовой стрелке ступеньки и дверного заклада (точка наблюдения 2 в квартале IV).

но строили стены так неровно. Скорее всего, они деформировались в результате колебательных движений во время сильного землетрясения. Максимальное суммарное сейсмическое воздействие в данном случае было направлено перпендикулярно простиранию стены.

В квартале III Илурата мы видели наклоны и обрушения строительных блоков (рис.13). Плиты для загонов скота (письменное сообщение Д.Бейлина), присоединенные к смежной перпендикулярной стене, устояли, остальные же наклонились и обрушились на востоко-юго-восток (110°). Первоначальное простирание всех плит составляло 20°. Отметим, что их наклон не совпадает с общим наклоном рельефа (на север).

Исторические данные

Крепость Илурат погибла вскоре после 267 г. Такую дату позволил уточнить клад, найденный В.А.Горончаровским в центре города [2]. Археолог исследовал небольшой дом, выходивший с восточной стороны на перекресток двух главных улиц. Одно из его помещений, целиком вымощенное каменными плитами, предназначалось для содержания скота. Под угловой плитой этой вымостки и оказался металлический комок зеленоватого оттенка, в котором находились монеты прекрасной сохранности. На их лицевой стороне изображен бюст царя Рескупорида V (242/43–275/76), а на оборотной — правивший в год выпуска монет римский император. Монеты датированы по боспорской эре, (которая легко переводится в современное летоисчисление), т.е. они были отчеканены в период 242–267 гг.

В последующие семь лет чеканка монет в Боспоре не проводилась, что было связано с враждебными действиями вторгшихся в Крым германских племен готов, боранов, герулов и их сарматских союзников. Скорее всего, именно на это время и приходится гибель крепости. Возможно, ее жители получили известие о нападении заранее. Укрепленные пункты на западных рубежах государства находились не так уж далеко друг от друга, и, очевидно, они могли связываться между собой световой сигнализацией. Защищать крепость, видимо, было признано бессмысленным. Почему это произошло, в какой-то степени объясняют результаты раскопок в северо-восточном районе городища. Там Горончаровский исследовал дом, который был настолько основательно разрушен при землетрясении, произошедшем в середине III в., что каменный завал мощностью до метра даже не стали разбирать, а прямо на его выровненной поверхности надстроили и укрепили старые и возвели новые стены. Между землетрясением и прекращением существования дома прошло немного лет, так как новый уровень двора не успели перекрыть вымосткой.

Следы серьезных повреждений середины III в. отмечены Горончаровским и в других поселениях с террасированными склонами Европейского Боспора. Даже если стены и башни Илурата хотя бы частично пострадали в результате подземных толчков, восстановить их в условиях нестабильной обстановки и финансовых затруднений в государстве вряд ли представлялось возможным. Судя по отдельным строительным остаткам, кто-то еще возвращался на родное пепелище, но оборонительные сооружения так и остались лежать в руинах. В VIII–IX вв., когда Восточный Крым контролировался хазарами, их использовали (уже в совершенно других — мирных — целях) для постройки загонов для скота.

Геологические свидетельства древних землетрясений

Сильные землетрясения оставляют на поверхности геологические следы, которые можно объединить в две основные группы: выходы очага землетрясения на поверхность в виде сейсмотектонических разрывов и последствия сейсмических сотрясений в виде обвалов, оползней, разнообразных деформаций в подвижных обводненных осадках.

На Керченском п-ове обнаружены практически все типы геологических следов землетрясений. Наиболее уверенно о положении очага позволяют судить сейсмотектонические разрывы в молодых слоях и формах рельефа, встреченные на азовском и черноморском побережьях полуострова

Рис.14. Карта расположения археологических памятников, для которых имеются сведения о сейсмических разрушениях III в., и древних сейсмотектонических разрывов.

(рис.14). На азовском побережье они датированы XV–X вв. до н.э., IV–II вв. до н.э. и XVIII в. н.э. [6]. Следы землетрясения III в. Н.э., датированные археологическими методами [7], известны и на черноморском побережье, где расположены эффектные расселины и обрывы горы Опук [8].

Опук представляет собой небольшое плато, на котором неогеновые известняки залегают в виде покрышки на глинистых отложениях, что создает благоприятные условия для образования оползней (рис.15). Но кроме многочисленных оползней плато рассекают колоссальные расселины глубиной до 30 м и уступы высотой до 40 м, развитые исключительно в известняках (рис.16). Сейсмическое происхождение данных нарушений надежно доказывают крупные глыбы размером с двухэтажный дом, отброшенные и перевернутые в магистральном рве. На глинистых склонах плато нарушения переходят в пологие, сильно заплывшие уступы, однако магистральный разрыв уверенно прослеживается от одного пляжа до другого через весь небольшой полуостров.

О тектонической природе нарушений свидетельствует и прямолинейность магистрального разрыва, и распространение его за пределы многочисленных оползней. У западного подножия горы Опук разрыв сечет три уровня морских террас (рис.17), покров которых сложен характерными пляжными песками с многочисленными раковинами моллюсков. Нижняя терраса, по всей видимости, образовалась во время нимфейской трансгрессии, т.е. 1–2 тыс. лет назад [9]. Все террасы на пересечении с магистральным рвом в разной степени деформированы. Это говорит о многократном возрождении рва при нескольких событиях.

Разрыв на горе Опук, скорее всего, сейсмотектонический. Но смещение многократно усиливалось оползанием скального массива в сторону моря. По всей видимости, на сушу вышла лишь окраина крупной сейсмогенерирующей структуры, расположенной в акватории Черного моря.

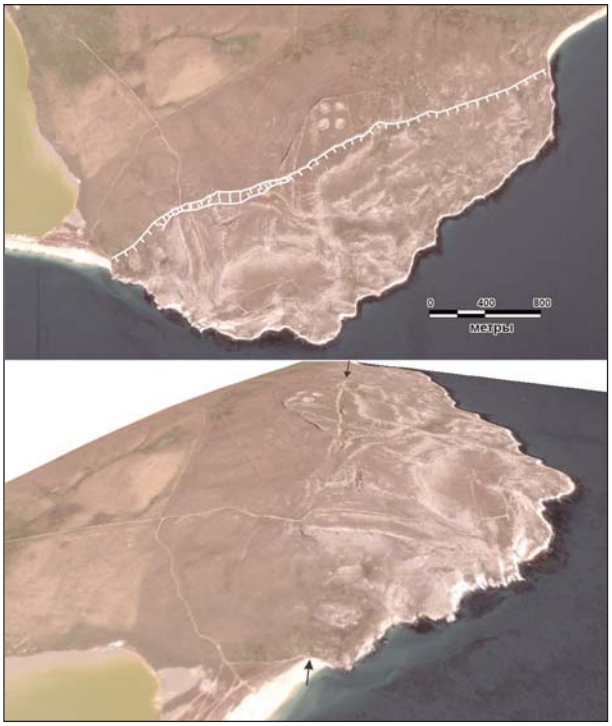

Рис.15. Гора Опук на космическом снимке высокого разрешения (вверху) и на трехмерной модели рельефа. Линиями и стрелками показан магистральный разрыв.

Следы землетрясения удалось датировать благодаря хорошей археологической изученности античного г.Киммерик, остатки которого сохранились на горе Опук. Это один из малых приморских городов Боспорского царства, возникший на рубеже VI–V вв. до н.э. [7]. До раннего средневековья здесь жили люди, создавшие хорошо сохранившийся природно-антропогенный ландшафт. Остатки античной цитадели и нескольких поселений, а также сельскохозяйственных, транспортных, гидротехнических и других сооружений рас-

Рис.16. Нарушения на горе Опук: а — магистральный разрыв в западной части плато, глыба размером примерно 6×10 м в правой части фото была отброшена и повернута вокруг своей оси; б — уступ высотой до 40 м в восточной части плато.

Рис.17. Террасы у западного подножия горы Опук. Разрыв показан штриховой линией, бровки террас обозначены пунктирными линиями и пронумерованы цифрами.

положены как на самой горе, так и на ее склонах. О возрасте последнего землетрясения наиболее определенно свидетельствуют трещины, затухающие в культурных слоях II–III вв. В конце III в. начала угасать жизнь Киммерика, и он прекратил свое существование [7].

Землетрясения второй половины III в. оставили следы не только в Илурате и Киммерике. Разрушения хозяйственно-жилых построек, сельскохозяйственных террас, подпорных стен, выявленные при раскопках античных поселений Артезиан и Золотое на севере Керченского п-ова, не объясняются ни военными действиями, ни пожарами [10]. Разрушения произошли в середине — второй половине III в. и в конечном итоге привели к деградации и прекращению жизни в этих поселениях. Третьим веком — первой половиной четвертого датированы и следы землетрясения, в результате которого жители покинули античный город Китей [11]. Возможно, следы разрушений III в. имеются также в руинах небольшого античного городка Зенонов Херсонес на мысе Зюк [12].

Колоссальные разрывы на горе Опук свидетельствуют о том, что очаг землетрясения, разрушившего древний Илурат, располагался у южного побережья Керченского п-ова. Возраст последнего события (вторая половина III в.) здесь довольно надежно датируется по археологическим данным, когда античный город Киммерик прекратил свое существование [7]. Это катастрофическое землетрясение привело к разрушениям на территории почти всего Керченского п-ова.■

Приведенные в статье материалы получены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-05-06197).

Литература

1. *Гайдукевич В.Ф.* Боспорское царство. М.; Л., 1949.
2. *Горончаровский В.А.* Оборонительная система Илурата // Российская археология. 2006. №4. С.119–130.
3. *Корженков А.М., Лемзин И.Н.* Макросейсмическое обследование и геологические условия Кочкор-Атинского (1992, MLH = 6.2) землетрясения в Южном Кыргызстане // Наука и новые технологии. 2000. №3. С.14–21.
4. *Корженков А.М., Мазор Э.* Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия общественных наук. 2001. №1. С.108–125.
5. *Коньков А.А.* Локализация плейстосейстовой зоны землетрясений азимутальным методом // Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. Вып.1. 1970. С.157–177.
6. *Овсюченко А.Н., Шварев С.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В.* Следы сильных землетрясений Керченско-Таманского региона по геологическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т.42. №3. С.33–54.
7. *Голенко В.К.* Древний Киммерик и его округа. Симферополь, 2006.
8. *Борисенко Л.С., Пустовойтенко Б.Г., Дублянский В.Н. и др.* Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. Симферополь, 1999. С.101–132.
9. *Горлов Ю.В., Поротов А.В., Столярова Е.В.* К оценке изменений уровня Черного моря в античный период по археолого-палеогеографическим данным // Древности Боспора. Вып.7. 2004. С.117–127.
10. *Винокуров Н.И., Никонов А.А.* О следах землетрясений Античного времени на западе Европейского Боспора // Российская археология. 1998. №4. С.98–115.
11. *Молев Е.А.* Боспорский город Китей. Симферополь; Керчь, 2010.
12. *Аркелян Ф.О.* Исследование раскопок античных сооружений на Керченском полуострове для оценки интенсивности разрушительных землетрясений // Изв. АН АрмССР. Сер. Науки о Земле. 1983. Т.34. №4. С.40–49.