

УДК 550.394.4/551.4.044  
PACS 91.30.Px

## **СЕЙСМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКАХ, В ОТЛОЖЕНИЯХ И РЕЛЬЕФЕ ГОРЫ ОПУК, КРЫМ**

**А.М. КОРЖЕНКОВ<sup>1</sup>, В.И. МОРДВИНЦЕВА<sup>2,3,4</sup>,  
А.Н. ОВСЮЧЕНКО<sup>1</sup>, А.А. СТРЕЛЬНИКОВ<sup>1</sup>, А.С. ЛАРЬКОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт всеобщей истории РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

<sup>4</sup> Государственный академический университет гуманитарных наук, г. Москва, Россия

**Автор для переписки:** А.А. Стрельников, e-mail: aas@ifz.ru

Поступила в редакцию 12.02.2021 г.; после доработки 14.06.2021 г.  
Принята к публикации 16.06.2021 г.

**Аннотация.** В исследованных нами древних строительных конструкциях и культурных слоях археологических памятников в районе горы Опук в ЮВ Крыму выявлены многочисленные разрывы. Выявленные деформации строительных конструкций по отдельности, а тем более в своей совокупности, указывают на сейсмическую причину их происхождения. Хорошая археологическая изученность памятников горы Опук позволяет в самом первом приближении наметить хронологию сейсмических событий. Обнаруженные в зольнике трещины, затухающие в слое конца II – III в., являются типичными сейсмогенными разрывами. Не исключено, что это землетрясение произошло в конце III в. Следы двух землетрясений обнаружены на поселении «Холм А». Последствия первого из них отражены в систематических поворотах субмеридиональных стен вокруг вертикальной оси по часовой стрелке. Сейсмические колебания при этом землетрясении действовали под углом к упомянутым стенам вдоль оси ССВ–ЮЮЗ. Здание устояло и было отремонтировано (стена-контфорс у северного фаса южной стены помещения «А»). При втором – более сильном – землетрясении сейсмогенный разрыв вышел на поверхность и сместил ЮВ часть постройки, практически полностью разрушив ее. Время гибели данного помещения – начало IV в. Следы катастрофических разрушений выявлены также в руинах цитадели на верхнем плато горы Опук. Значительные деформации испытала СЗ башня цитадели; в казарменном помещении выявлены следы двух землетрясений; сильно разрушены западная куртина и стена цитадели. Значительные сейсмические деформации были изучены также на так называемой «Восточной оборонительной стене», скорее всего синхронной цитадели. Цитадель полностью прекращает свое существование в первой половине VI в., возможно, во время сильного сейсмического события, чем завершается процесс разрушения инфраструктуры античного Киммерика. До прихода на территорию Керченского полуострова носителей салтово-маяцкой культуры жизнь на горе Опук и в ее окрестностях временно замирает. Следы двух землетрясений обнаружены в усадьбе салтово-маяцкого («хазарского») периода раннего средневековья в поселении «Над источником». Первое сейсмическое событие привело к развороту всех субмеридиональных стен усадьбы вокруг вертикальной оси против часовой стрелки, что указывает на действие сейсмических колебаний под углом к этим строительным элементам – вдоль оси ССЗ–ЮЮВ. Здание устояло, к нему лишь пристроили стену-контфорс с южного – внешнего фаса стены восточной комнаты. Второе землетрясение было более сильным: интенсивные сейсмические колебания обрушили отремонтированную стену и удерживающую ее стену-крепиду в южном направлении, со стороны источника упругих колебаний. Усадьба окончательно погибла в 30-е – 40-е гг. X в. Выразительные следы сильных землетрясений наблюдаются и в рельефе горы Опук. Согласно собранным данным, магистральный разрыв на горе является сейсмотектоническим, однако величина смещения была

многократно усилена сползанием скального массива в сторону моря. Разрыв представляет собой сегмент Южно-Керченской разломной зоны, которая прослеживается вдоль берега Черного моря. Последнее сейсмотектоническое смещение датировано в районе античного города Китей в III в. или сразу после него. За последние примерно 4000 лет, здесь произошло не менее трёх сейсмотектонических подвижек с суммарной величиной смещения не менее 3 м. Прослеженная минимальная длина активизированного сегмента – 20 км. Минимальную магнитуду события можно оценить, используя известные глобальные соотношения по параметрам сейсморазрывов, в пределах  $M_w = 6.6-6.9$ .

**DOI:** <https://doi.org/10.21455/VIS2021.2-4>

**Ключевые слова:** Северное Причерноморье, Боспорское царство, Крым, Керченский полуостров, сильные исторические и палеоземлетрясения, сейсмические деформации в археологических памятниках

**Цитирование:** Корженков А.М., Мордвинцева В.И., Овсяченко А.Н., Стрельников А.А., Ларьков А.С. Сейсмические деформации на археологических памятниках, в отложениях и рельефе горы Опук, Крым // Вопросы инженерной сейсмологии. 2021. Т. 48, № 2. С. 62–103. <https://doi.org/10.21455/VIS2021.2-4>

## ВВЕДЕНИЕ

Гора Опук расположена на южном побережье Керченского полуострова (рис. 1), выступая в акваторию Черного моря наряду с мысами Чауда, Карангат, Кыз-Аул и Такиль, разделенными небольшими мелководными бухтами. Эта гора – наиболее высокий элемент рельефа в этой части Крыма (183.7 м над у.м.); она входит в состав Опукского природного заповедника, площадь которого составляет 1592.3 га. Здесь располагаются десятки археологических памятников различных типов (поселения, городища, курганы, склепы и пр.) разных исторических эпох: от эпохи бронзы до позднего средневековья – нового времени. Наиболее известным среди них является городище Киммерик – «малый город» Боспорского царства, который локализуют на берегу Черного моря, у западного подножья горы Опук.

Сложная геоморфология, отдаленное местоположение и военно-стратегическое значение этого региона сказались на относительно невысокой степени его изученности. В отношении периода Раннего железного века по-прежнему актуальными остаются вопросы: 1) о времени появления здесь греческого населения; 2) о характере колонизации (неясно, откуда прибыли колонисты – из городов собственно Греции, колоний Южного Причерноморья, Боспора и пр.); 3) о роли города в системе городов Боспорского царства; 4) об отношениях греческого населения с ближайшей варварской периферией Центрального и Южного Крыма, с Херсонесом Таврическим и его хорой; 5) о роли Рима в формировании культуры местного населения в первые века н.э.; 6) о причинах прекращения функционирования городища на верхнем плато

горы Опук в III в. н.э. и постройки римской цитадели на восточной его оконечности в конце IV в. н.э.

Ответ на последний вопрос будет частично раскрыт в рамках настоящей работы. Она посвящена изучению следов древних землетрясений на горе Опук и продолжает цикл исследований, направленных на восстановление сейсмической истории Керченско-Таманского региона за последние 2.5–3 тыс. лет [Винокуров, Никонов, 2004; Винокуров и др., 2015; Овсяченко и др., 2015, 2017а–в, 2019а–в; Белик и др., 2016; Корженков и др., 2016а, 2017а,б, 2018а,б, 2019а–д, 2020а; Масленников и др., 2017; Molev et al., 2019; Ovsyuchenko et al., 2018; и др.].

## ГЕОЛОГИЯ, ТЕКТОНИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ

Историю сооружения древних поселений в окрестностях горы Опук и на ее верхнем плато нельзя рассматривать без отрыва от геологического строения и истории развития рельефа [Голенко, Клюкин, 2005]. Гора Опук возвышается на 183 м над прилегающей равниной (рис. 1). К западу расположена слабо всхолмленная Юго-Западная равнина Керченского п-ова, сложенная преимущественно глинистыми породами майкопской серии палеоген-неогенового возраста. К северу и востоку – гористая равнина северо-востока Керченского п-ова, где залегают более молодые рифовые известняки и глины неогенового возраста. Все слои осадочных отложений смяты в складки, сложность строения которых резко увеличивается с глубиной. Если в глинистых отложениях майкопской серии антиклинальные складки имеют вид узких вертикальных внедрений – диапиров, то в



**Рис. 1.** Обзорная схема рассматриваемого района (а) и схематичная морфотектоническая карта района горы Опук (б), составленная с использованием геологических карт: [Геология..., 1969; Самулева и др., 1970; Шнюков и др., 1981]

1 – глинистые породы майкопской серии палеоген-неогенового возраста; 2 – рифовые известняки и глины неогена (меотический и сарматский ярусы); 3 – морские и континентальные отложения четвертичного возраста; 4 – известные древние города; 5 – активные разломы [Овсяченко и др., 2019а; Molev et al., 2019]; 6 – оси антиклинальных складок

более молодых осадках они имеют облик валов с широкими и пологими склонами.

Гора Опук сложена белыми и светло-серыми ракушечно-детритусовыми, оолитовыми и мшанковыми известняками меотического яруса, которые подстилаются зеленовато-серыми сарматскими глинами [Клюкин, Голенко, 2006]. Молодые, плиоцен-четвертичные тектонические движения привели к поднятию массива горы Опук – она возвышается на 140 м над горой Приозерная и на 90 м над горой Острая, которые также сложены меотическими известняками.

Изначально плоская останцовая гора постепенно подвергалась разрушениям сейсмического и оползневого характера. В настоящее время от древнего рельефа осталось только плато, бронированное известняками и имеющее крутые скальные обрывы, переходящие в оползневые глинистые склоны. Плато срезано прямолинейным обрывом высотой до 25 м с рвом в основании. Во многих местах вдоль обрыва произошло оползание, отседание и отделение блоков. Эти нарушения отличаются впечатляющими размерами, незавершенностью развития и сохранением в таком состоянии в течение продолжительного времени, сходством отдельных блоков с сейсмогенными клиньями, образованными в зонах существовавших разрывов при раскачивании вершины горы, и другими особенностями, которые свидетельствуют об их связи с сильными землетрясениями [Клюкин, Голенко, 2006].

Эффектные нарушения горы Опук ранее были отнесены к гравитационно-сейсмодетекторному типу [Ена и др., 1989; Клюкин, 1995; Борисенко и др., 1999]. Этими авторами рвы, трещины, обрывы и береговые уступы были интерпретированы как элементы гигантского оползня-сдвига, наложенного на раздробленную тектоническую структуру в зоне активизированного разлома. Также было отмечено, что этот разлом и являлся выходом очага сильного землетрясения на поверхность [Белоусов, 1991]. По геоморфологическим данным выделены два катастрофических события, из которых первое (предположительно позднеплейстоценовое) было более значительным и образовало основные черты рельефа. Второе событие произошло в историческое время [Клюкин, Голенко, 2006]; время этого позднего землетрясения определяют, судя по состоянию археологических объектов, периодом между IV в. до н.э. и III в. н.э. Не исключено, что крупное землетрясение произошло здесь также в конце III в. н.э. [Винокуров, Никонов, 1999; Клюкин, Голенко, 2006]. Также возможно, что на состояние горы Опук оказало влияние землетрясение 63 г. до

н.э., разрушившее Пантикапей и ряд других городов Боспорского царства.

В рассматриваемом районе вдоль берега Черного моря по геофизическим данным выделена крупная Правдинская (Южно-Керченская) разломная зона [Геология..., 1992]. Она прослеживается вдоль современного прибрежного обрыва в виде сложной складчато-разрывной зоны в неоген-четвертичных морских и континентальных осадках. В районе античного города Китей разломная зона обнаруживает признаки позднеголоценовых смещений. В 30–40 м к востоку от крепостной стены Китея, в прибрежном обрыве, был изучен разрыв, смещающий чернозём и культурный слой III в. н.э. [Molev et al., 2019]. Основные смещения происходили в горизонтальной плоскости. За последние примерно 4000 лет (время накопления чернозёма с калиброванным радиоуглеродным возрастом 4076–4412 л.н., ИГАН-6520) здесь произошло не менее трёх сейсмодетекторных подвижек с суммарной величиной смещения не менее 3 м. Судя по смещению культурного слоя, последняя подвижка произошла в III в. н.э. или сразу после него.

Несмотря на грандиозные следы мощнейших сейсмических катастроф, в настоящее время уровень сейсмической активности здесь низкий [Пустовитенко и др., 2014]. За инструментальный период наблюдений, начатый сразу после Ялтинских землетрясений 1927 г., на всем Керченском полуострове было зарегистрировано лишь несколько слабых сейсмических событий магнитудой не более 4.0. Параметризованные сведения о землетрясениях Крыма ограничиваются, самое раннее, второй половиной XIX в. [Морозова, Шебалин, 1968, Никонов, Пономарева, 1991] и также свидетельствуют о низкой современной сейсмической активности Керченского полуострова.

Письменные источники древности крайне немногочисленны и сохранили надежные сведения лишь о нескольких сильных землетрясениях Крыма – 1292 г. в районе Судака, XV в. в районе Ялты и землетрясение 1615 г. в Феодосии, а также менее определенные сведения о землетрясении 63 г. до н.э. в Керчи (Пантикапее) [Ханаев, 2008]. В таких условиях при исследованиях долговременного сейсмического режима в последние годы особенную важность приобретают методы палео- и археосейсмологии. Изучение следов землетрясений по нескольким независимым источникам – в рельефе и молодых отложениях, археологических и исторических памятниках – дает возможность продления сейсмической «летописи» на сотни и тысячи лет и точной локализации и параметризации очагов сильных землетрясений далекого прошлого.

### ИСТОРИКО-АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

На горе Опук и в ее окрестностях располагается большое число археологических памятников, относящихся к эпохам поздней бронзы, античности и средневековья (рис. 2, 3). Первые археологические раскопки здесь были проведены П. Дюбрюксом в 1817–1830 гг. [Дюбрюкс, 1858]. Он описал «городище Киммерик» на западном склоне горы Опук и «акрополь» на вершине горы, считая их разными строительными архитектурными комплексами. Порт Киммерика Дюбрюкс помещал в бухте с восточной стороны крепости; локализация портовой части Киммерика остается спорной.

План городища Киммерик на западном склоне, более схематичный, был составлен также И.П. Блаرامбергом [Тункина, 2002]. Ему же принадлежит и полный план горы Опук с нанесенными на него оборонительными сооружениями. Этот план позже переиздавался Ю.Ю. Марти [Марти, 1928] и И.Т. Кругликовой [Кругликова, 1958]. В своем труде И.П. Бларамберг [Бларамберг, 1848] проанализировал сохранившиеся сведения древних авторов о данном регионе. Он пришел к выводу, что озеро Атал-Алчин (Кояшское) в

древности было заливом, и именно здесь следует искать Киммерик, поскольку напротив этого места в море расположены две скалы, упомянутые в «Перипле Понта Евксинского» анонимным автором [Бларамберг, 1848]. Что же касается топонима «Киммерик», то Бларамберг не сомневался, что именно это городище носило такое название, поскольку оно находится «в стране, где издревле жили киммерийцы» и поскольку рядом расположен вал, отделяющий Керченский полуостров от собственно Таврики [Бларамберг, 1848].

Обследование района от Киммерика до Акры в 1927 г. проводила экспедиция Керченского музея под руководством Ю.Ю. Марти. На городище Киммерик, расположенном на берегу Кояшского озера, экспедицией были обследованы строительные остатки и определены разрушения, произошедшие на памятнике после работ Дюбрюкса и Бларамберга. Ю.Ю. Марти выполнил также обследование и краткое описание состояния развалин цитадели на вершине горы Опук, отметив «полную картину разрушения и разорения» [Голенко, 2006].

В 1947–1951 гг. на Киммерике были проведены исследования Киммерикской экспедиции,



Рис. 2. Общая карта горы Опук на основе космоснимка высокого разрешения ([http://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World\\_Imagery/MapServer/tile/](http://server.arcgisonline.com/ArcGIS/rest/services/World_Imagery/MapServer/tile/)) с положением основных археологических объектов, обсуждаемых в тексте

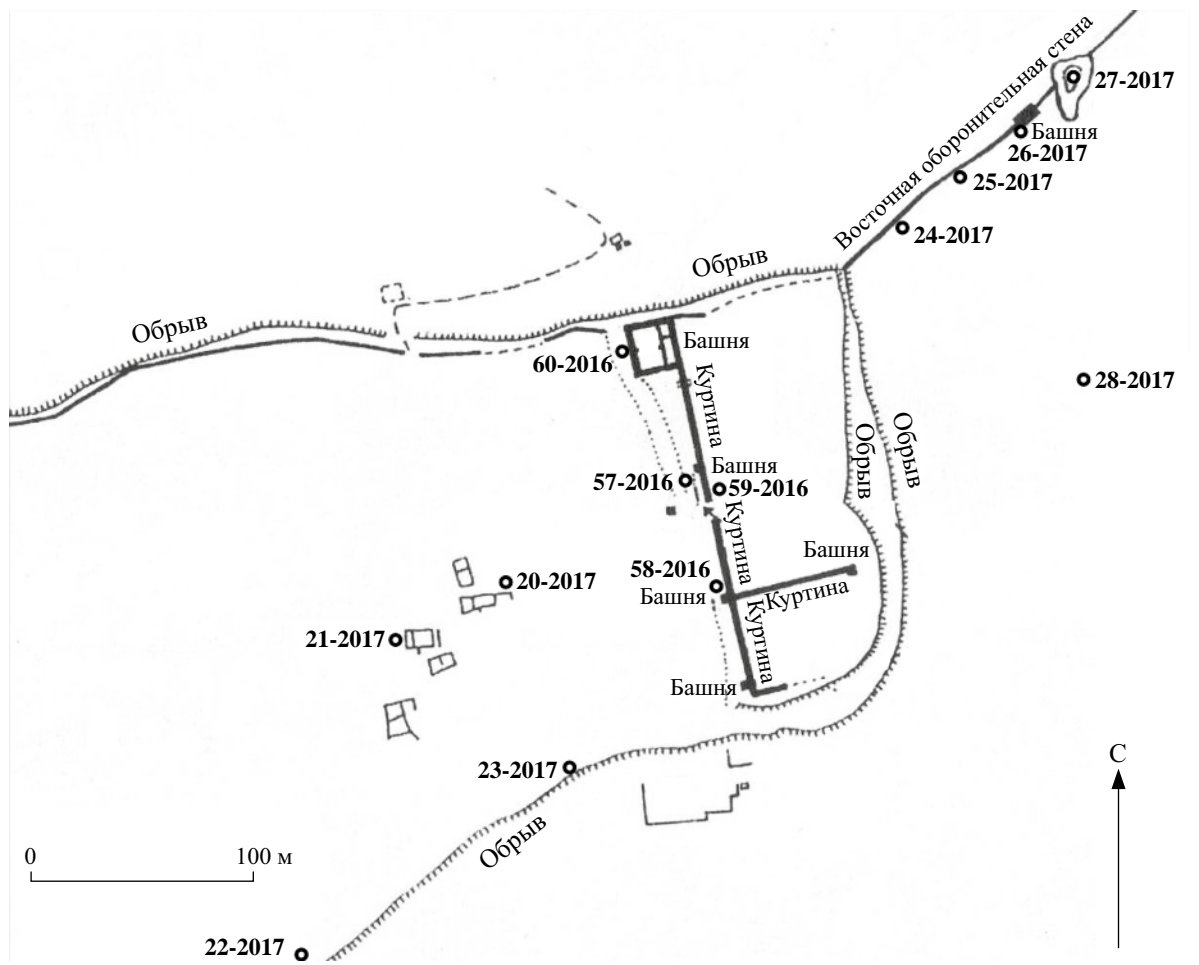


Рис. 3. Цитадель на вершинном плато горы Опук (по [Голенко, 2006], с изменениями и дополнениями). Пары чисел – номера наших точек наблюдения и годы исследований

организованной Керченским музеем совместно с сектором античной археологии ИИМК АН СССР под руководством И.Б. Зеест. Отдельными работами на горе Опук руководила И.Т. Кругликова; участие в экспедиции приняли также Д.Б. Шелов и А.К. Коровина. В первый год (1947) были проведены сопоставление сохранившихся строительных остатков с описаниями П. Дюбрюкса, И.П. Бларамберга и Ю.Ю. Марти и разведочные раскопки. И.Б. Зеест было определено, что наиболее ранние материалы с городища относятся к IV в. до н.э.; в I в. н.э. город был укреплен системой оборонительных сооружений и просуществовал до III–IV вв. н.э. Гавань города И.Б. Зеест предположительно поместила в Кояшском озере. В 1949–1950 гг. раскопки были продолжены [Зеест, 1949; Кругликова, 1958].

В 1950–1951 гг. Киммерикской экспедицией под руководством И.Т. Кругликовой у берегового обрыва восточнее «Змеиного холма» были

вскрыты разрушенный береговой абразией комплекс из нескольких помещений I–II вв. н.э. и несколько хозяйственных ям. Под эллинистическим слоем были выявлены фрагменты сосудов «катакомбного облика», кремневые отщепы и прочий материал эпохи поздней бронзы [Кругликова, 1952, 1958]. На ЮВ склоне горы Опук были обнаружены культурные напластования VI – начала IV вв. до н.э. – поселение «Холм А» (рис. 2). Там были вскрыты остатки поселения с жилищами, состоящими из отдельных изолированных помещений с отдельными входами и привратным мощным двориком, пристроенных к единой глухой стене. Постройка пережила два строительных периода и несколько этапов подсыпки полов. Попытки расширить площадь раскопа с целью дальнейшего исследования поселения не дали результатов; возможно, другие комплексы были уничтожены оползнями [Голенко, 2006].

С 1952 по 1989 гг. работы на горе Опук не производились в связи с тем, что этот район был передан под юрисдикцию Министерства обороны СССР. В период между 1949 и 1964 гг. разведки в окрестностях Опука проводил В.В. Веселов, которому принадлежит открытие ряда памятников от эпохи бронзы до раннего средневековья [Веселов, 2005].

В 1989 г. исследования на горе Опук и ее окрестностях продолжила Южно-Боспорская экспедиция ИА АН СССР, а с 1996 г. – Крымского филиала ИА НАНУ под руководством В.К. Голенко (рис. 3) [Голенко, 2006]. С 2011 по 2014 гг. работы Международной Южно-Боспорской экспедиции КФ ИА НАНУ проводились под руководством В.И. Мордвинцевой [Мордвинцева, 2014, 2017]. Помимо раскопок в восточной части верхнего плато горы Опук, была проведена геодезическая и инструментальная съемка, в результате которой уточнены контуры сохранившейся части цитадели. С 2015 г. на территории Опуцкого заповедника магнитную разведку и геодезическую съемку проводила экспедиция под руководством Т.Н. Смекаловой [Мордвинцева и др., 2018; Деваев, Мордвинцева, 2018; Смекалова и др., 2019].

#### АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В своих исследованиях на археологических памятниках специалист имеет дело с многочисленными обрушениями и повреждениями. Они могут быть вызваны военными действиями, просадками подстилающих грунтов, плохим качеством строительства, статической нагрузкой вышерасположенных частей зданий, уклоном рельефа, оползневыми процессами и некоторыми другими причинами. Только опытный археосейсмолог может отделить воздействие описанных агентов деструкции на строительные конструкции от деформаций, вызванных сейсмическим воздействием. Авторы настоящей работы в течение нескольких десятилетий проводили археосейсмологические работы в разных регионах мира [Korjenkov, Mazar, 1998; Korzhenkov, Mazar, 1999; Корженков, Мазор, 2001; Овсяченко и др., 2015, 2016, 2017а–в, 2019а–в; Корженков и др., 2016а–д, 2019а–е, 2020а–д; Моисеев и др., 2018, 2019, 2020; Гмыря и др., 2019; Рогожин и др., 2019; Минчев и др., 2020; Новичихин и др., 2020; Стрельников, Корженков, 2020]. В ходе этих работ совершенствовались методы археосейсмологических исследований и приобретался неоценимый опыт, некоторые аспекты которого обобщены в статье [Корженков и др., 2020б].

Археосейсмолог имеет дело с двумя различными типами деформаций:

1. Разрывы со смещением строительной конструкции или слоя, содержащего артефакты.

2. Разрушения и повреждения сооружений, вызванные сильными сейсмическими колебаниями.

Оба этих типа информативны для параметризации сильных древних землетрясений, недоступных для изучения современной инструментальной сейсмической сетью. В первом случае специалист легко определяет древнюю эпицентрально-зону – выход сейсмического очага на поверхность, магнитуду (энергию) сейсмического события по величине смещения строительного элемента, а затем, с помощью археолога или методом абсолютного датирования, – возраст сильного землетрясения.

Во втором случае археосейсмологу предстоит доказать, что наблюдаемые деформации являются сейсмически наведенными. Это осуществляется детальным их изучением и выявлением характерных признаков сейсмических деформаций – кинематических индикаторов, а также систематических проявлений определенных разрушений и повреждений в стенах определенных простираний. В числе таких информативных деформаций можно упомянуть систематические обрушения, наклоны, выдвигания, а также развороты частей стен; это так называемые сейсмоинерционные деформации. В этом случае удается определить направление на эпицентрально-зону и с помощью макросейсмических шкал вычислить местную интенсивность сейсмических колебаний. Возраст землетрясения, как и в первом случае, определяется с помощью археолога или методом абсолютного датирования.

#### *Разрывы строительных конструкций и/или слоев с артефактами*

В 1990 г. Южно-Боспорская экспедиция под руководством В.К. Голенко на плато у цитадели исследовала зольный холм высотой около 3 м, который перекрывал культурный слой IV–III вв. до н.э. и сформировался в течение периода со II–IV вв. до начала VI в. н.э. Нижние слои, включая и сам материк, оказались рассеченными тремя субвертикальными трещинами субширотного ( $80^\circ$ – $90^\circ$ ) и диагонального ( $60^\circ$ ) простирания с микросмещениями слоев, постепенно затухающими в слое в артефактами конца II – III в. н.э. Трещины наследуют тектонические разрывы, которые прослеживаются в меотических известняках параллельно и диагонально к обрывам, ограничивающим плато с востока и юга, и находятся соответственно в 60 и 150 м от них. Таким образом, трещины, обнаруженные в зольнике, являются типичными сейсмогенными разрывами (хоть и небольшими), образованными после отложения слоев с

материалом II–III вв. н.э. Не исключено, что это землетрясение произошло в конце III в. [Голенко, 2006].

Во время работ Международной Южно-Боспорской экспедиции неоднократно выявлялись приведшие к смещениям культурного слоя разрывы грунта, которые могли быть вызваны древними землетрясениями. Изучение морфологии шурфа III/2012 г., заложенного вдоль трассы Восточной оборонительной стены (рис. 2, 3), показало наличие хорошо выраженного разрыва: разломной зоны со смещением, выполненной рыхлыми отложениями. Важно отметить, что на рис 5, б имеет место вздергивание расположенного ниже по склону блока против сил гравитации. Разрыв нарушил культурный слой, содержащий фрагменты лепной керамики эпохи поздней бронзы. Появление разломной зоны, вероятно, обусловлено сейсмическими событиями XIV–XIII вв. до н.э. [Мордвинцева, 2014] (рис. 4, 5).

Шурф 1/2017 г., пройденный и достигший материка – скального основания, показал сейсмогенный разрыв в северной стене (рис. 6). Это плоскость с ССЗ простираем, надвиг. Возможно, что по разрыву имеется и праводвиговая компонента. Разрыв смещает слои с керамикой, но не проходит в современную хорошо развитую почву мощностью до 1 м; таким образом, возраст сейсмического события – первые тысячи лет.

Разведочный шурф 1/2017 г. на верхнем плато горы Опук с напластованиями IV–III вв. до н.э., прорезанными хозяйственными ямами II–III вв. н.э. (рис. 7), также свидетельствует о гибели комплекса в результате сильного землетрясения после середины III в. н.э. [Мордвинцева и др., 2018]. Судя по материалам исследования шурфа, первоначально на древнем горизонте образовался слой, который по предварительным данным датируется IV–III вв. до н.э. На нем сформировался горизонт, в котором представлены фрагменты эллинистических амфор и чернолаковой керамики, в том числе придонная часть стенки канфара с каннелюрами III в. до н.э.

В этом слое впоследствии был выкопан котлован помещения, которое сгорело в пожаре. Непосредственно над слоем пожара обнаружено клеймо на ручке синопской амфоры ок. 277 г. до н.э. [Деваев, Мордвинцева, 2018]. Этот пожар синхронизируется с другими значительными пожарами на территории Крыма. Во II–III вв. н.э. на верхнем плато отмечена регулярная застройка. Видимо, и на этом месте было какое-то помещение, хозяйственные ямы которого были впущены в сформировавшийся ранее культурный слой.

В комплексе на так называемом «Холме А» был выявлен 1-метровый разрыв, смещающий его юго-восточную часть (помещение «Г») по правилу левого сдвига (рис. 8). Азимут простираения разрыва – 42°. Все стены постройки при сильном землетрясении, произошедшем после строительства, деформировались. Обе длинные стены в помещении «А» (азимут простираения обоих – 141°) повернулись против часовой стрелки на величину до 12°. Также против часовой стрелки на 8° развернулась длинная ЮЗ стена в помещении «В». Короткие стены в своих ЮЗ окончаниях во всех помещениях развернулись по часовой стрелке на величину от 8° до 18°. Все стены при сейсмических колебаниях «расселись» и разрушились. От них остались лишь первые – нижние – ряды каменной кладки.

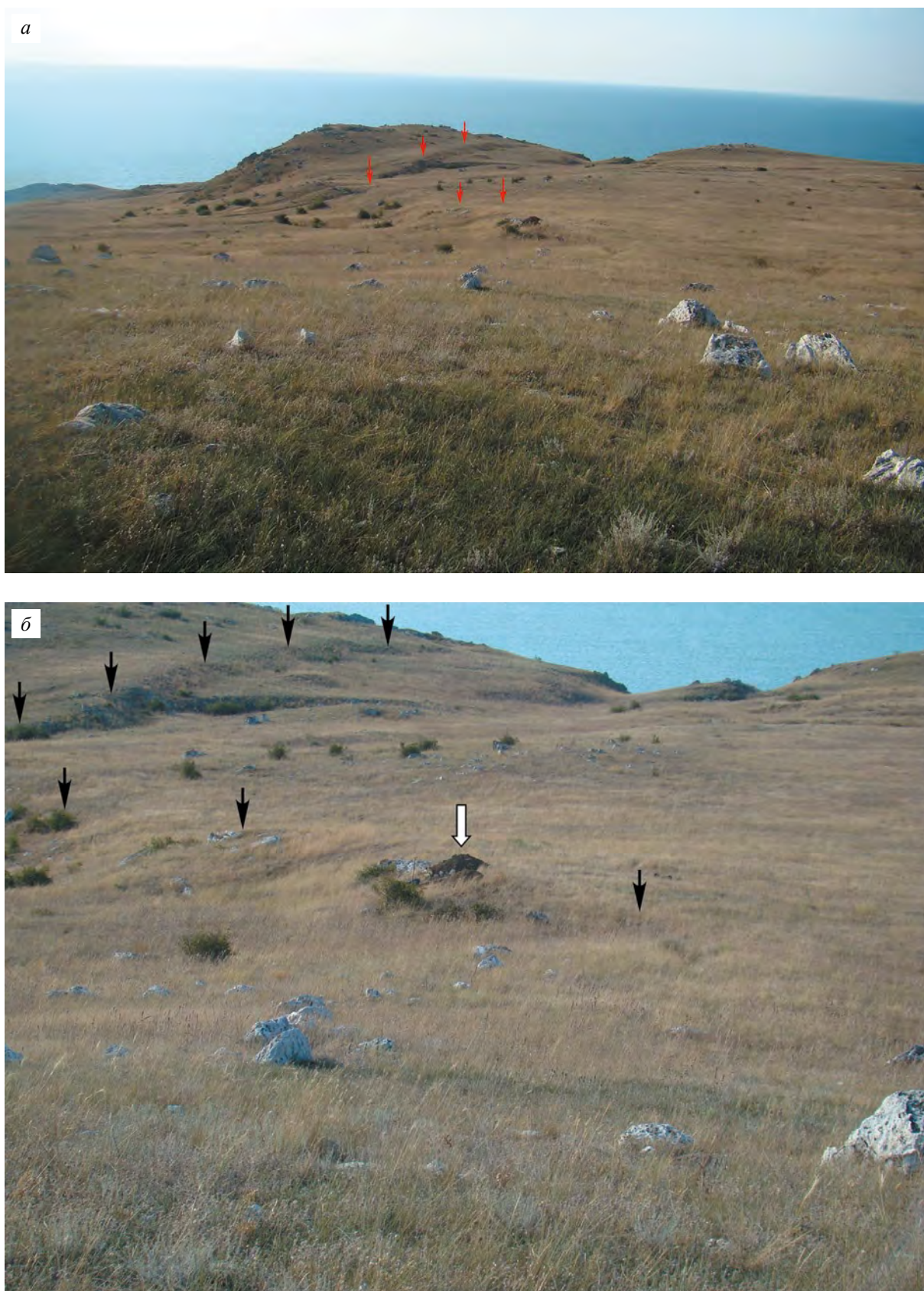
Возможно, что постройка испытала сильные сейсмические колебания дважды. Об этом свидетельствует внутренняя стена-контрфорс в помещении «А». При первом значительном землетрясении произошло серьезное повреждение ЮЗ стены этого помещения, возможно, ее наклон на северо-восток. Именно поэтому, чтобы укрепить эту стену и предотвратить ее заваливание, к СВ фасаду была пристроена стена-крепида. При втором – более сильном – землетрясении сейсмогенный разрыв вышел на поверхность и сместил ЮВ часть здания, практически полностью разрушив его.

Следы землетрясений сохранились и на самом Опукском плато в виде протяженных трещин – заколов (рис. 9), часто серповидной формы. Эти трещины рвут и смещают древние (греческие) постройки. Так, например, трещина СВ простираения (азимут 40°–60°) нарушает каменную кладку в нашей точке наблюдения № 20-2017 (см. рис. 3). Сохранившийся нижний каменный ряд просел в нее на 0.5 м (рис. 10). GPS-координаты точки – 45°03'35.2" с.ш., 36°13'49.0" в.д., высота – 162 м, точность определения координат ± 4 м.

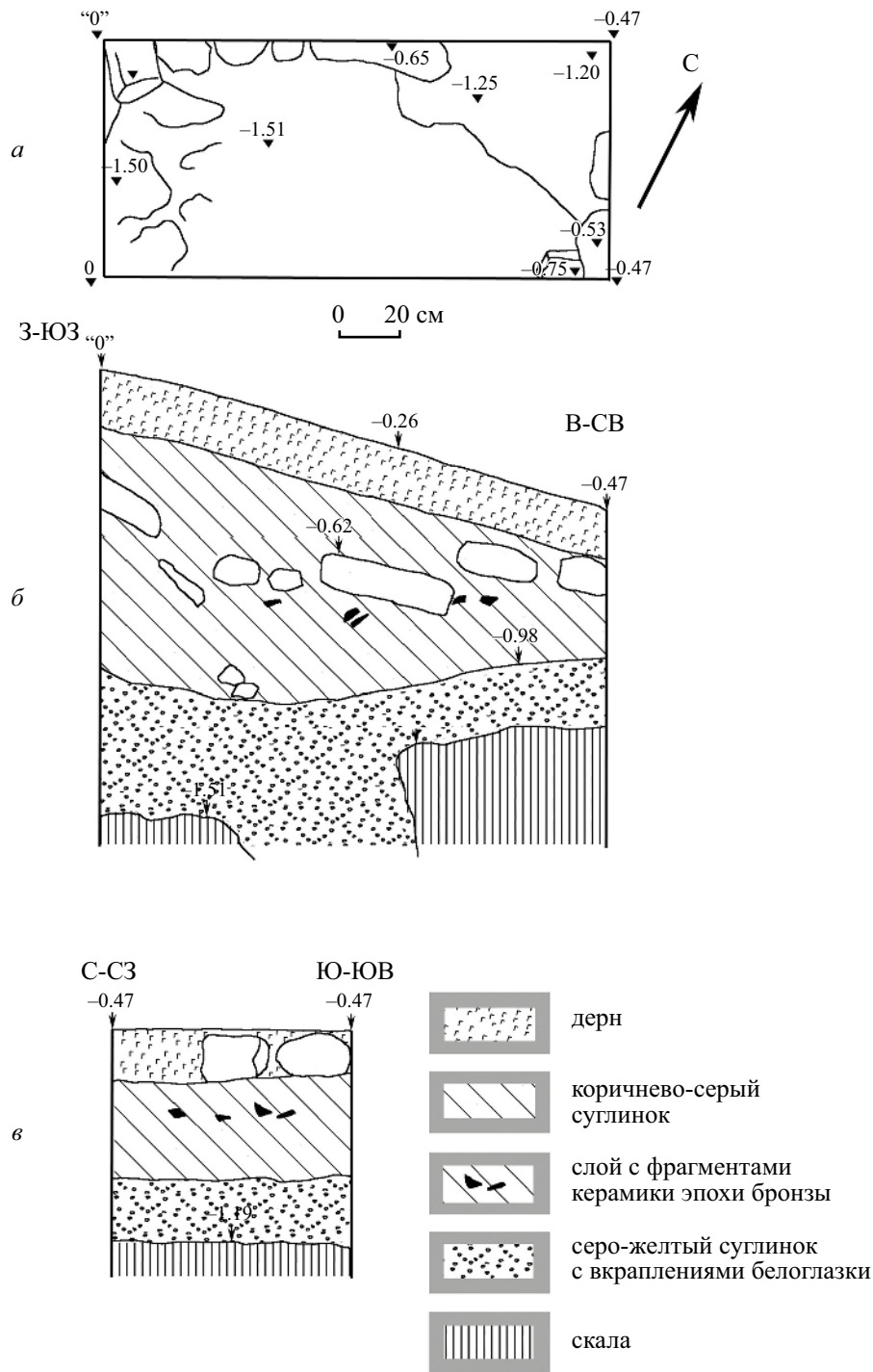
Комплекс деформаций был встречен нами в археологическом раскопе прямоугольного помещения А1, расположенном к западу от нашей предыдущей точки наблюдения, о котором пойдет речь ниже. В точке наблюдения № 21-2017 сохранившаяся каменная кладка над скальным полом в северо-западном углу помещения наклонилась в сторону трещины – закола, расположенного рядом (рис. 11, а, б). Особенно сильный наклон (до 52°) получили каменные блоки широтной стены (азимут простираения – 85°).

Со сползанием в трещину отседания, по-видимому, связан разворот по часовой стрелке на 25° западного фрагмента северной стены помещения (рис. 11, в, г). По разрыву в стене произошло ее смещение до 70 см. Толщина





**Рис. 4.** Восточная оборонительная стена: *а* – вид на «Вал Ольги»; *б* – вид на «Вал Ольги» и шурф III. Оба вида с севера. Вал помечен стрелками, шурф указан жирной белой стрелкой



**Рис. 5.** Восточная оборонительная стена. Шурф III. План и стратификация:

*a* – топографический план пройденного шурфа; *б* – стратиграфический разрез южной стенки шурфа; *в* – стратиграфический разрез восточной стенки шурфа

описываемой стены 70 см, остаточная высота – до 130 см. При этом повороте приходившая в движение часть стены «расселась». GPS-координаты точки – 45°02'34.1" с.ш., 36°13'47.8" в.д., высота – 154 м, точность определения координат ± 4 м.

В некоторых местах стена в помещении начинается не с каменной кладки, а с вытесанного основания (рис. 11, *д*). В одном из таких мест видно смещение сохранившегося блока каменной кладки на величину до 20 см от его первоначального положения. Азимут простираения



**Рис. 6.** Шурф 1/2017 г. неподалеку от точки наблюдения 26-2017 с сейсмогенным разрывом – надвигом в его северной стенке

этой стены  $170^\circ$ , смещение имело место к западу – против уклона местности.

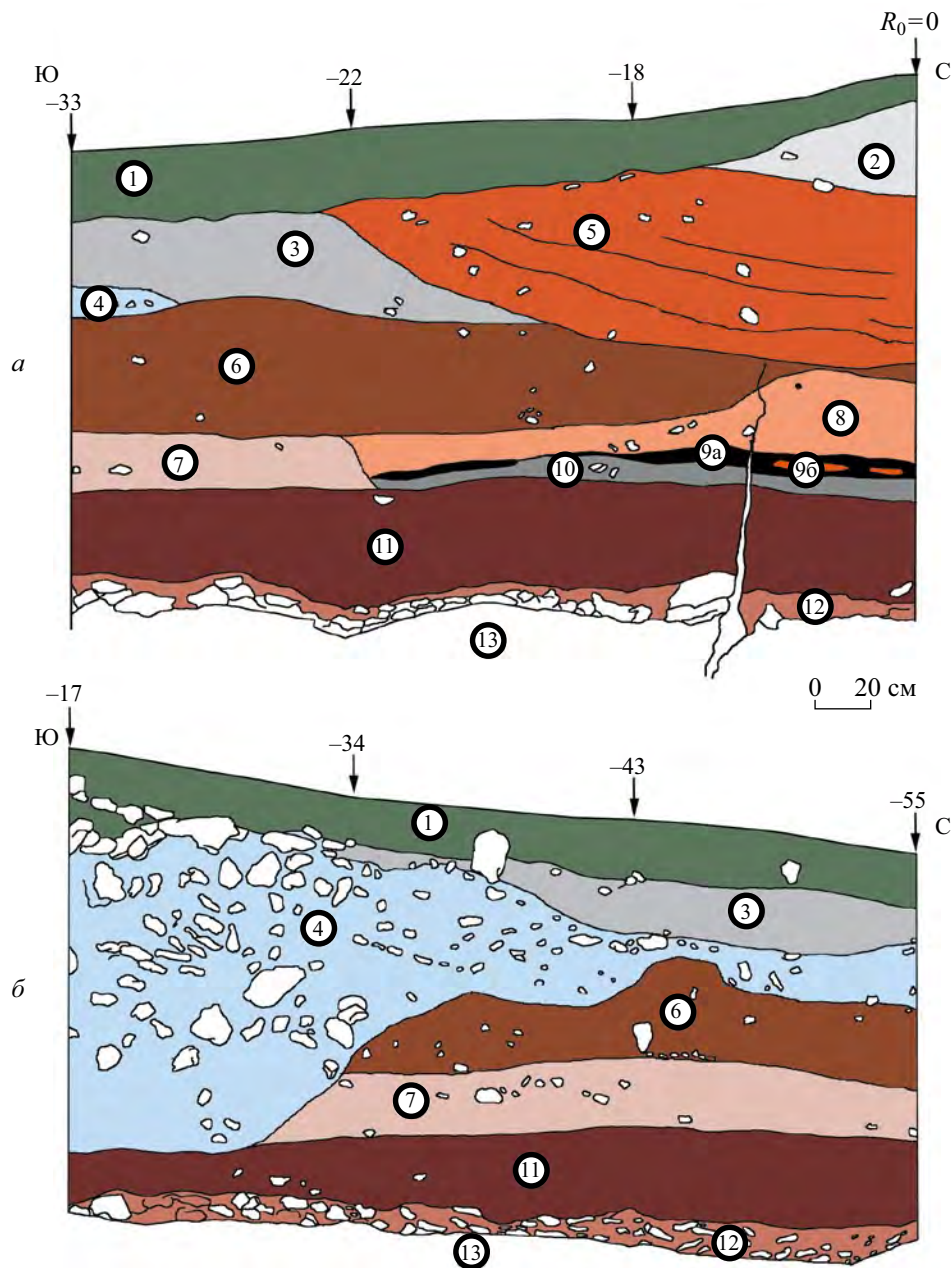
Южный край – обрыв Опукского плато – представляет собой хаотическое нагромождение оползшего материала (рис. 12) в виде столбовидных отдельностей. Имеются значительные опустившиеся, но не разрушившиеся блоки известняка. Этот тип обрушения указывает на следующий механизм разрушения южного края плато: образование протяженных трещин близ края плато при сильных землетрясениях(?), а затем отрыв блоков и их опускание вниз к морю. Морское побережье находится сравнительно далеко отсюда (GPS-координаты точки наблюдения № 22-2017:  $45^\circ 02' 32.4''$  с.ш.,  $36^\circ 13' 48.2''$  в.д., высота – 156 м, точность определения координат  $\pm 5$  м), т.е. подмыв нижней части стенки оползня исключен.

Вместе с обрушением блоков краев Опукского плато происходит разрушение или повреждение древних строительных конструкций. Наиболее наглядно это видно по деформациям выдолбленных в скале площадок – вероятно, тарапанов для отжима винограда, оказавшихся в настоящее время прямо на краю плато (GPS-координаты точки наблюдения

№ 23-2017:  $45^\circ 02' 33.2''$  с.ш.,  $36^\circ 13' 51.8''$  в.д., высота – 155 м, точность определения координат  $\pm 5$  м). Эти примеры показаны на рис. 13. У первого тарапана (рис. 13, б, левая схема на рис 13, а) уже оторвана «приемная ниша» – понижение для стока виноградного сока. Второй тарапан (рис. 13, в, средняя схема на рис 13, а) пока еще цел, но его близость к обрыву подразумевает скорое разрушение, возможно, при будущем сильном землетрясении. Третий тарапан (рис. 13, г, правая схема на рис 13, а) имеет повреждение давящей площадки и тоже уже потерял приемную нишу.

#### *Сейсмо-инерционные деформации в древних строительных конструкциях*

В 2013 г. было исследовано помещение А1. Оно ориентировано по линии З–В, его внутренние размеры  $9 \times 4.5$  м. Постройка состояла из вырубленного в скале на глубину до 0.5 м котлована, восточная стена которого закруглена, в ее северо-восточной части – полукруглая в плане ниша. Над котлованом возведены стены, нижняя часть которых представляла собой однослойную постелистую кладку из крупных камней, а, верхняя, по-видимому, состояла



**Рис. 7.** Шурф 1/2017: *а, б* – западный борт раскопа, стратиграфия Ю–С; *б* – восточный борт раскопа, стратиграфия С–Ю; *в* – северный борт раскопа, стратиграфия З–В

1 – слой дерна (темно-серый суглинок с корнями растений, фрагментами керамики и костями животных); 2 – слой рыхлого золистого светло-серого суглинка с фрагментами керамики и костями животных; 3 – слой серого относительно плотного суглинка с фрагментами керамики и костями животных; 4 – слой светло-серого очень плотного суглинка с редкими фрагментами керамики и костей животных; 5 – заполнение провала: рыжевато-серый относительно рыхлый суглинок с фрагментами керамики и костями животных; 6 – слой темно-коричневого относительно рыхлого суглинка с фрагментами керамики и костями животных; 7 – слой серого относительно рыхлого суглинка с незначительной примесью щебня, с фрагментами керамики и костями животных; 8 – слой коричнево-серого относительно рыхлого суглинка с незначительной примесью щебня, с фрагментами керамики и костями животных; 9а – слой (линза) темного черно-коричневого (горелого) золистого суглинка с малочисленными фрагментами керамики и костями животных; 9б – слой (линзы) желтого суглинка, нижний и верхний края которого имеют рыжевато-красноватый цвет (обожжены); 10 – слой плотного серого золистого суглинка с малочисленными фрагментами керамики и костями животных; 11 – слой темно-коричневого рыхлого суглинка; 12 – предскальный слой; 13 – скала

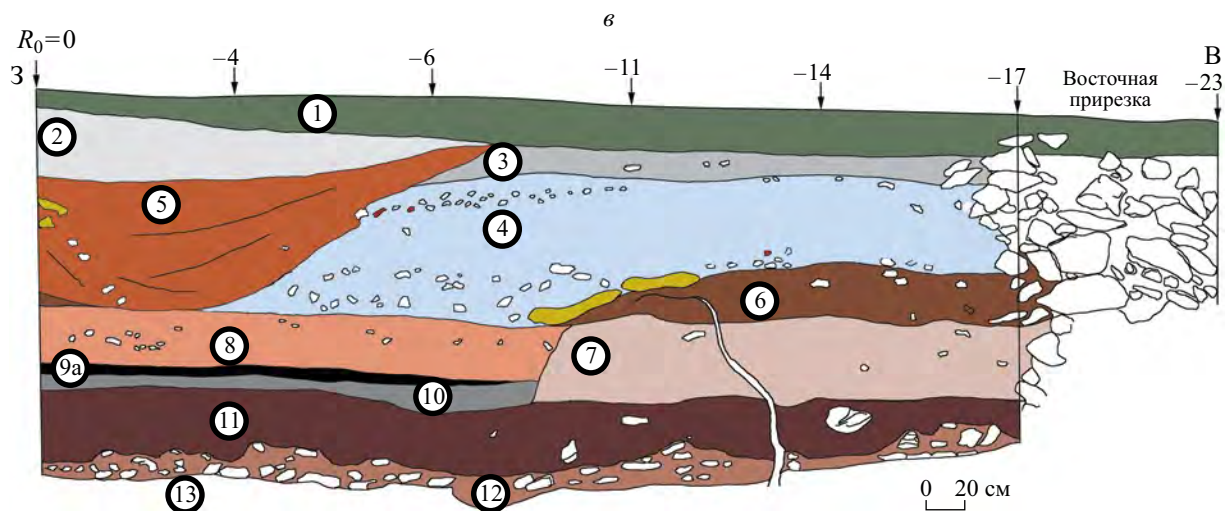


Рис. 7 (окончание)

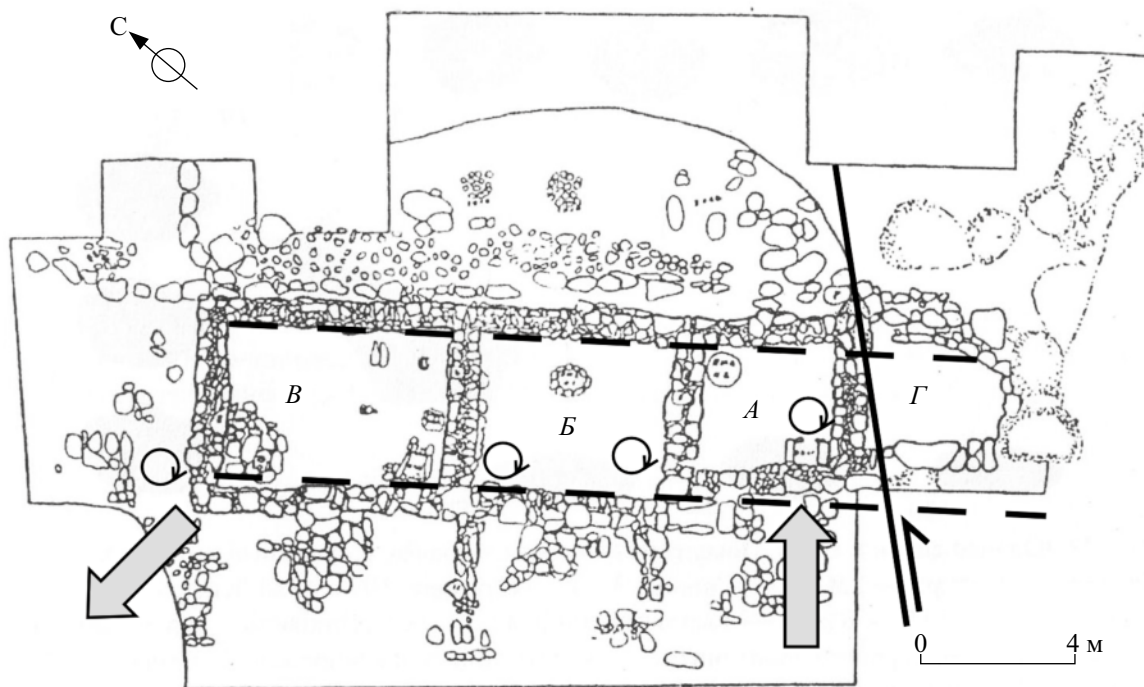


Рис. 8. Комплекс деформаций в комплексе раскопа «Холм А» (раскопки И.Т. Кругликовой, по [Голенко, 2006], с добавлениями)

Сплошная толстая линия – сейсмогенный разрыв (левый сдвиг); прерывистые линии – положение внутренних фасов длинных стен постройки до деформации; окружности со стрелками – систематические повороты коротких стен по часовой стрелке; большие серые стрелки – смещение грунта юго-восточной части комплекса на северо-восток и северо-западного предела на запад

из камня среднего размера и светлой глины (предположительно сырцовый кирпич). Вход в помещение с тремя ступенями располагался посередине южной стены. В верхней части слоя светлой глины *in situ* был обнаружен медный статер боспорского царя Радамсада

(314/315 г. н.э.). В юго-восточном углу помещения, под угловым камнем, *in situ* зачищен двойной медный боспорский денарий Котиса III (ок. 227–233/234 г. н.э.). Судя по монетам, помещение использовалось до второй четверти IV в. н.э.



**Рис. 9.** Трещины у южного края Опукского плато

Восточная часть северной стены здания повалилась к северу, при этом нижнюю часть кладки выдавило внутрь, видимо, в результате сильных сейсмических колебаний, направленных перпендикулярно её простиранию (рис. 14).

В раскопе было видно, что простирание стен составляет  $115^\circ$ , камни упали на ССВ. GPS-координаты точки наблюдения № 26-2017:  $45^\circ 02' 45.8''$  с.ш.,  $36^\circ 14' 21.3''$  в.д., высота – 79 м, точность определения координат  $\pm 5$  м. Если обратиться к самой археологической документации 2013 г., то в ней отражено, что в раскопе наблюдался комплекс деформаций (см. рис. 14): наклон и черепитчатый завал северной стены

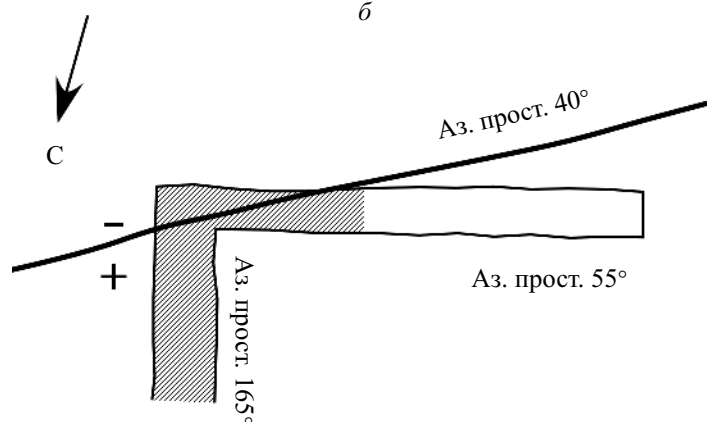
на юг, а также разворот по часовой стрелке двух соседних камней в западной стене.

Комплексная деформация наблюдается и в западной стене цитадели на вершине плато (куртине, см. рис. 3), выходящей к протейхизме (т. набл. 57-2016, GPS-координаты:  $45^\circ 02' 36.8''$  с.ш.,  $36^\circ 13' 55.0''$  в.д., высота – 160 м, точность определения координат  $\pm 5$  м). Здесь, по-видимому, в связи с сильными сейсмическими колебаниями грунта, произошло выбивание наружу (на запад) одного из каменных блоков в нижнем ряду кладки западного фаса стены (рис. 15). В связи с отстреливанием этого камня соседние к северу каменные блоки развернулись по часовой стрелке на  $5^\circ$  и  $10^\circ$ , причем нижний, получивший большее ускорение, выдвинулся

а



б



**Рис. 10.** Проседание каменной кладки античного времени в трещину

а – фотография 2017 г., вид на северо-запад; б – схематическая внесмасштабная зарисовка, план

на большую величину. В образовавшейся из-за потери камня нише видна сквозная трещина с наклоном к югу. Общее простирание стены –  $170^\circ$ , западный фас стены имеет общий наклон на запад под углом  $77^\circ$ – $82^\circ$ .

В южной башне на западной куртине цитадели на вершине плато (т. набл. 58-2016, GPS-координаты:  $45^\circ 02' 35.5''$  с.ш.,  $36^\circ 13' 55.3''$  в.д., высота – 156 м, точность определения координат  $\pm 4$  м) имеются систематические развороты

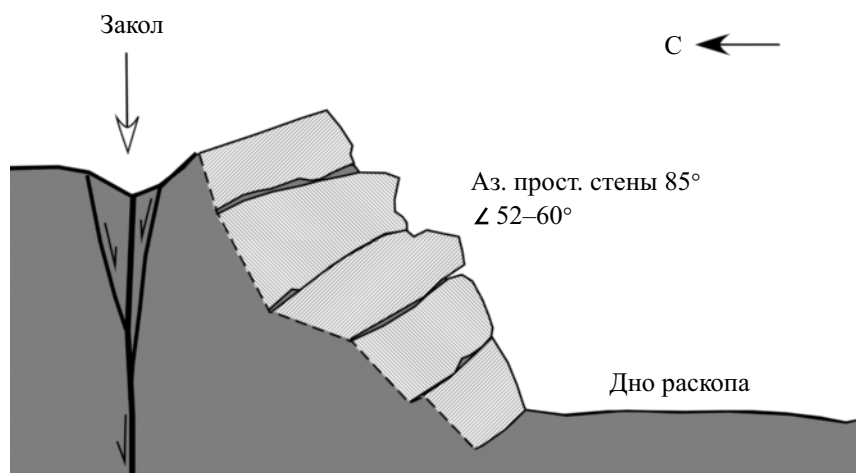
двух фрагментов стен против часовой стрелки на  $10^\circ$  (рис. 3, 16). Общее простирание стены –  $165^\circ$ , азимуты простирания повернутых фрагментов –  $155^\circ$ . При этом вся стена немного наклонилась на восток под углом  $86^\circ$ .

Важно отметить, что сама западная куртина цитадели сильно разрушена. От нее остались лишь первые нижние ряды каменных блоков. Верхние же блоки при сильном сейсмическом событии отлетали к западу на значительное

а



б



**Рис. 11.** Комплексная деформация в археологическом раскопе прямоугольного помещения в т. набл. № 21-2017 (заросший раскоп помещения А1 раскопки 2013 года)

а – сильный наклон камней на север в СЗ углу помещения, вид на СЗ (фотография 2017 г.); б – то же, схематическая внемасштабная зарисовка; в – разворот части северной стены, вид на ЮЗ (фотография 2017 г.); г – то же, схематическая внемасштабная зарисовка; д – смещение на запад каменного блока, находившегося на выгесанной нижней части стены, схематическая внемасштабная зарисовка



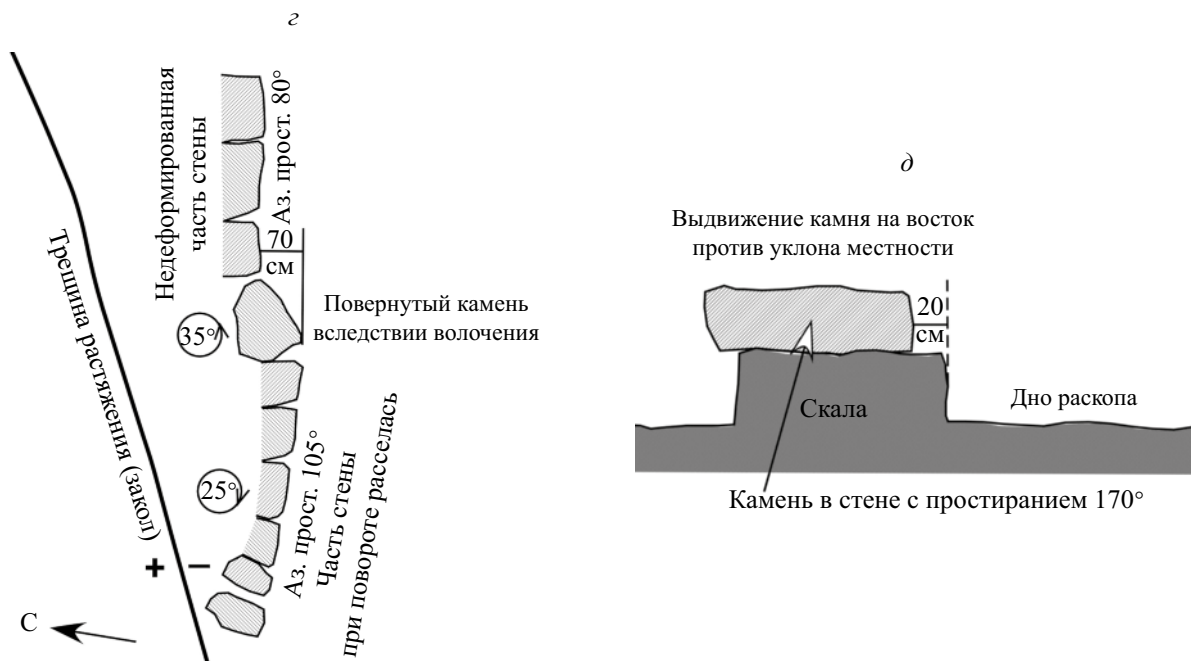


Рис. 11 (окончание)



**Рис. 12.** Край Опукского плато с сейсмогравитационными деформациями. Фотография 2017 г. Вид на ВЮВ

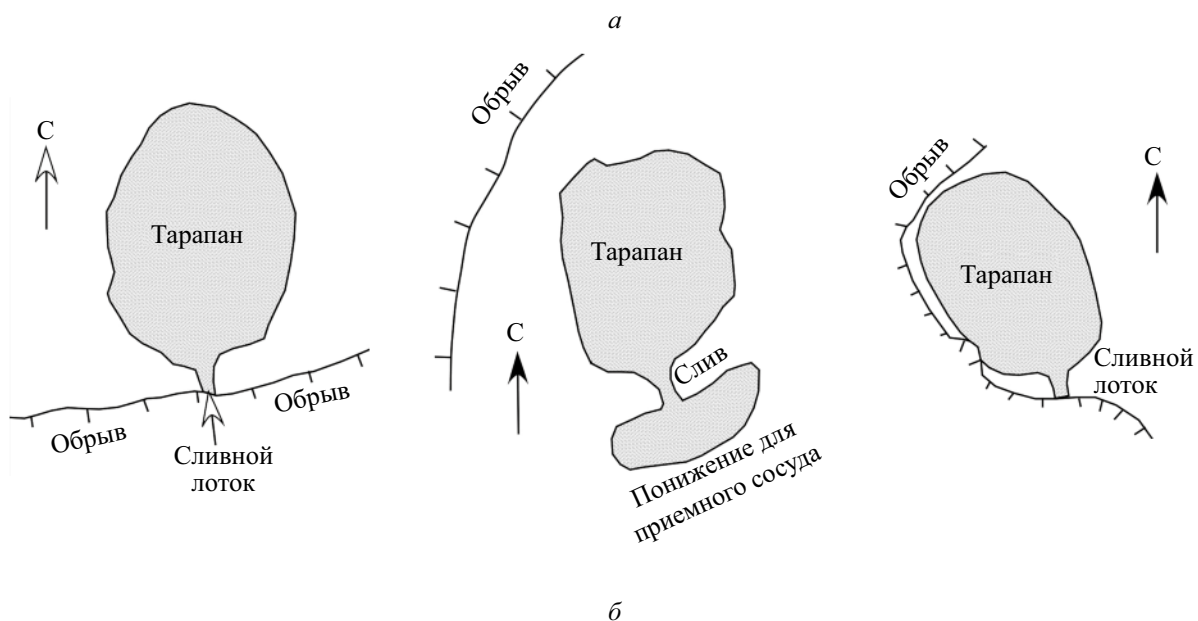
расстояние (рис. 17). Максимальное замеренное расстояние отброшенных каменных блоков – 15 м, на это расстояние отбросило камень размерами  $150 \times 60 \times 40$  см. Другой каменный блок размерами  $100 \times 90 \times 45$  см отлетел на расстояние 7 м. Еще один камень размером  $80 \times 60 \times 40$  см находится сейчас на расстоянии 8 м от западного фаса стены. Следует заметить, что к востоку от стены каменных блоков гораздо меньше.

Внутренняя стена казарменного помещения (рис. 18, наша точка наблюдения № 59-2016 на рис. 3) повернулась против часовой стрелки на  $5^\circ$ , в то время как параллельные ей северная и южная стены сооружения систематически повернулись по часовой стрелке на  $5^\circ$  и  $10^\circ$  соответственно. Мы объясняем эти деформации следующим образом: в восточной части средней стены располагался проход, и из-за этого обстоятельства данная часть стены подверглась необычному – противоположному – повороту. Необходимо отметить наличие стены-контрфорса у южной стены южного казарменного помещения. Эта стена-крепида была пристроена с южной стороны. Этот факт, возможно, означает, что первичная стена была

сильно повреждена – наклонилась на юг во время первого сильного землетрясения, но устояла. Чтобы предотвратить ее обрушение наружу, с юга к ней вплотную была пристроена стена-подпорка. Обе эти стены – первичная и контрфорсная – вместе развернулись по часовой стрелке во время второго землетрясения.

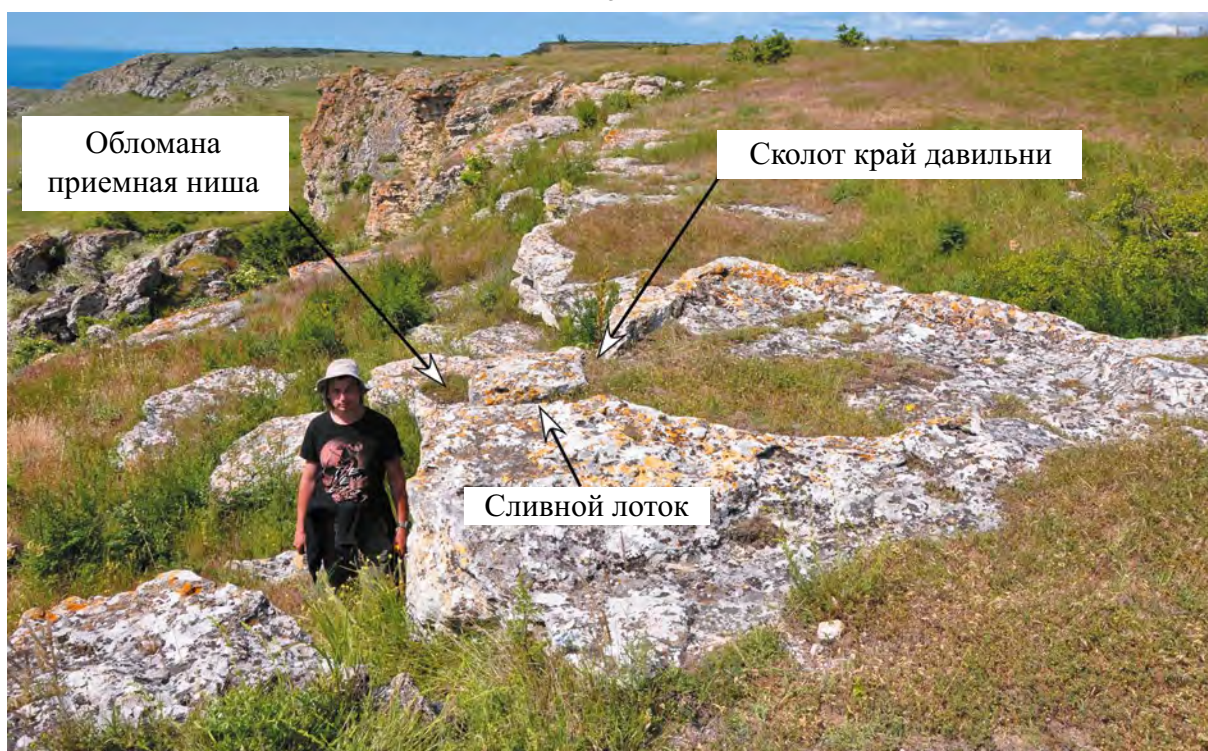
Значительные деформации получила СЗ башня цитадели (рис. 19, наша точка наблюдения № 60-2016 на рис. 3). Её субмеридиональные стены наклонились к востоку на угол до  $65^\circ$  (рис. 19, а, в), а северная стена имеет такой же ( $63^\circ$ – $65^\circ$ ) наклон на юг в своей нижней – сохранившейся – части (рис. 19, г, д). Впечатляют значительный разрыв в восточном фасае западной стены и разворот северной части против часовой стрелки (рис. 19, а, б).

Значительные сейсмические деформации были изучены в так называемой «Восточной оборонительной стене». В точке наблюдения 24-2017 (GPS-координаты:  $45^\circ 02' 40.8''$  с.ш.,  $36^\circ 14' 00.0''$  в.д., высота – 137 м, точность определения координат  $\pm 4$  м) стена разрушена. Когда-то ее высота, возможно, достигала 5 м при ширине 2.5–3 м, но в настоящее время от нее сохранились лишь нижние ряды каменной



**Рис. 13.** Деформации тарапанов на краю Опуковского плато. Описание в тексте

*a* – схематическая внесштабная зарисовка, план; *б* – фотография 2017 г. левого тарапана на рис. 13, *a*, вид на восток; *в* – фотография 2017 г. среднего тарапана на рис. 13, *a*, вид на север; *г* – фотография 2017 г. правого тарапана на рис. 13, *a*, вид на запад



**Рис. 13 (окончание)**



**Рис. 14.** Раскоп 2013 г. в восточной оборонительной стене

Виден ряд деформаций: вращение двух камней против часовой стрелки (показано окружностями со стрелками) в западной стене строения и наклон и черепитчатое обрушение северной стены на юг (показано большой стрелкой). Вид на восток

кладки. Простирание стены –  $48^\circ$ . Слагающие ее камни в основном упали в СЗ направлении (рис. 20). Те же камни, что остались *in situ* (GPS-координаты точки наблюдения № 25-2017:  $45^\circ 02' 46.2''$  с.ш.,  $36^\circ 14' 18.3''$  в.д., высота – 85 м, точность определения координат  $\pm 5$  м), систематически наклонились (рис. 21) в том же СЗ направлении под углом  $10^\circ$ – $15^\circ$ .

Следующая точка наблюдения № 27-2017 имеет GPS-координаты  $45^\circ 02' 46.3''$  с.ш.,  $36^\circ 14' 24.9''$  в.д., её высота – 70 м, точность определения координат  $\pm 5$  м. Здесь также видно обрушение Восточной оборонительной стены, расположенной на небольшом отроге на СЗ. Однако здесь камни в отвале расположились не хаотично, а черепитчато (рис. 22), что означает дезинтеграцию стены при ее ударе о землю (Корженков, Мазор, 2013). Средний наклон глыб в указанном направлении составляет  $40^\circ$ .

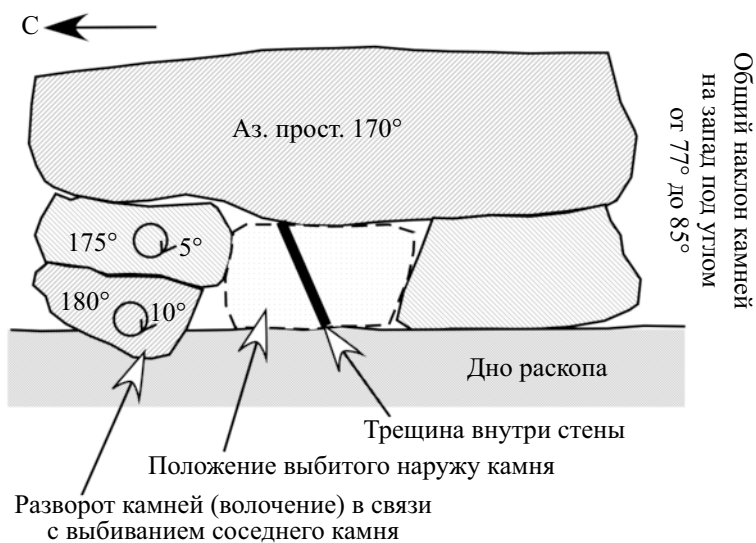
Всё описанное выше относится к античному периоду. Однако на территории Опукского природного парка-заповедника имеются еще и строения, относящиеся к так называемому салтово-маяцкому («хазарскому») периоду ранне-средневековья – IX–X вв. н.э. Археологами была раскопана усадьба этого времени [Голенко, 2006]. Каменная кладка «в ёлочку», относящаяся к этому периоду, сразу же распознаётся специалистами. Пример такого сейсмостойкого строительства – усадьба 1 (рис. 23) поселения «Над источником».

Невзирая на свою относительную сейсмостойкость, даже кладка камней «в ёлочку» не выдерживает сильных сейсмических колебаний. Это видно на плане раскопок на рис. 23. Все субмеридиональные стены (средний азимут простирания  $158^\circ$ ) в своей южной части развернулись против часовой стрелки: стена II – на  $3^\circ$ , стена IV – на  $7^\circ$ , стена IX – на  $16^\circ$ .

а

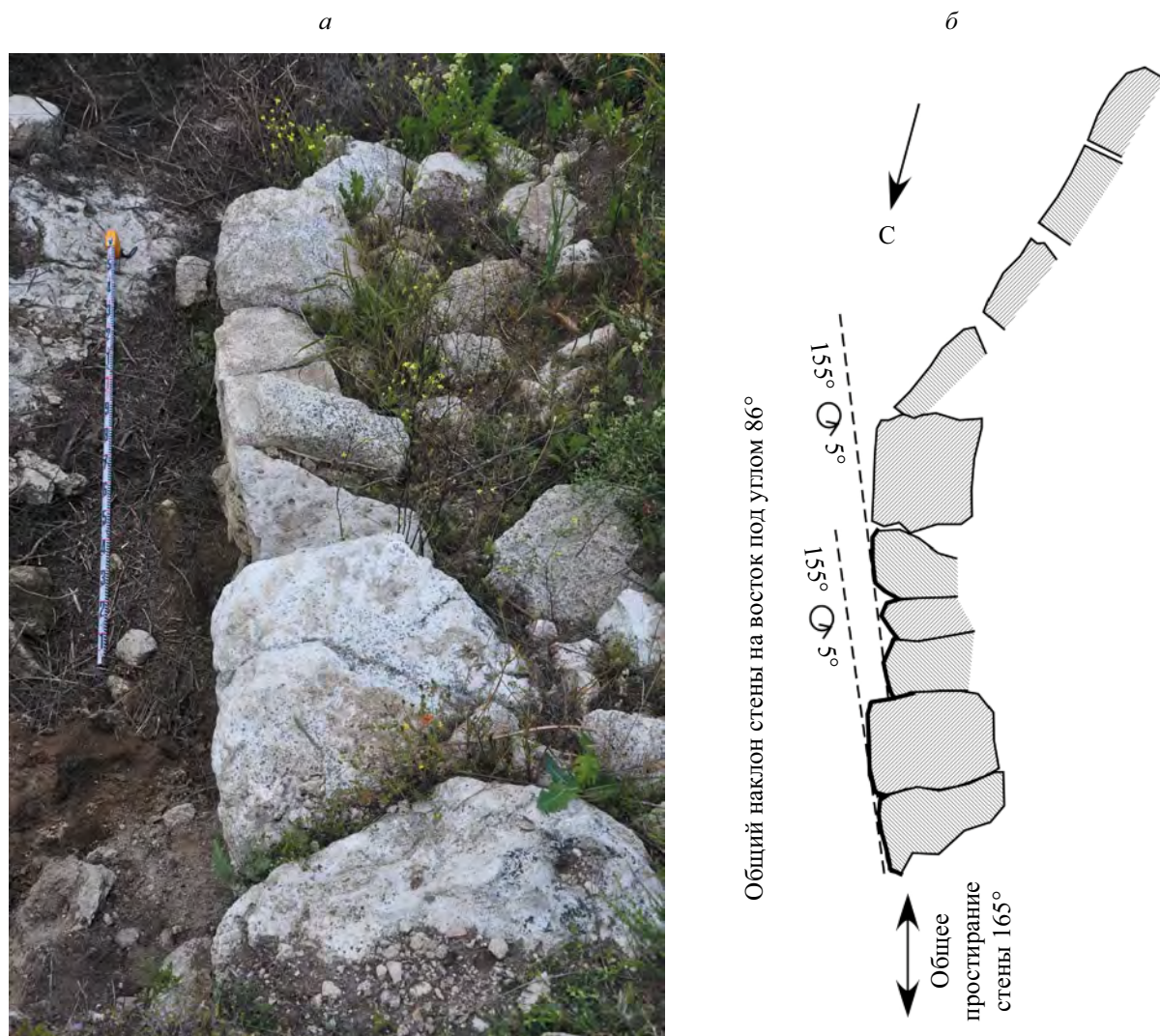


б



**Рис. 15.** Комплексная деформация в западной цитадели на верхнем плато (верхняя часть шурфа 1, раскопанного в 2013 г.): выбивание наружу одного из камней кладки, разворот по часовой стрелке двух каменных блоков, сквозная трещина позади выбитого камня, общий наклон стены на запад

а – фотография 2016 г.; б – схематическая внемасштабная зарисовка



**Рис. 16.** Систематические развороты стен против часовой стрелки в южной башне на западной кургине цитадели на вершине плато

*а* – фотография 2016 г.; *б* – схематическая внесштабная зарисовка

В то же время длинная стена VIII повернулась в своей центральной и восточной частях по часовой стрелке на  $5^\circ$ .

Во время сильных сейсмических колебаниях все стены «расселись», от них остались лишь самые нижние ряды каменной кладки. Это расседание особенно хорошо видно в стене VII: в своей центральной части стена имеет ширину до 90 см, в то время как ее западное окончание имеет ширину в 50 см.

Следует особо остановиться на руинах стены X. Это стена-контрфорс, она была специально пристроена с южного фаса стены VIII. По-видимому, во время первого землетрясения стена VIII получила значительный наклон на юг и, чтобы предохранить ее от обрушения,

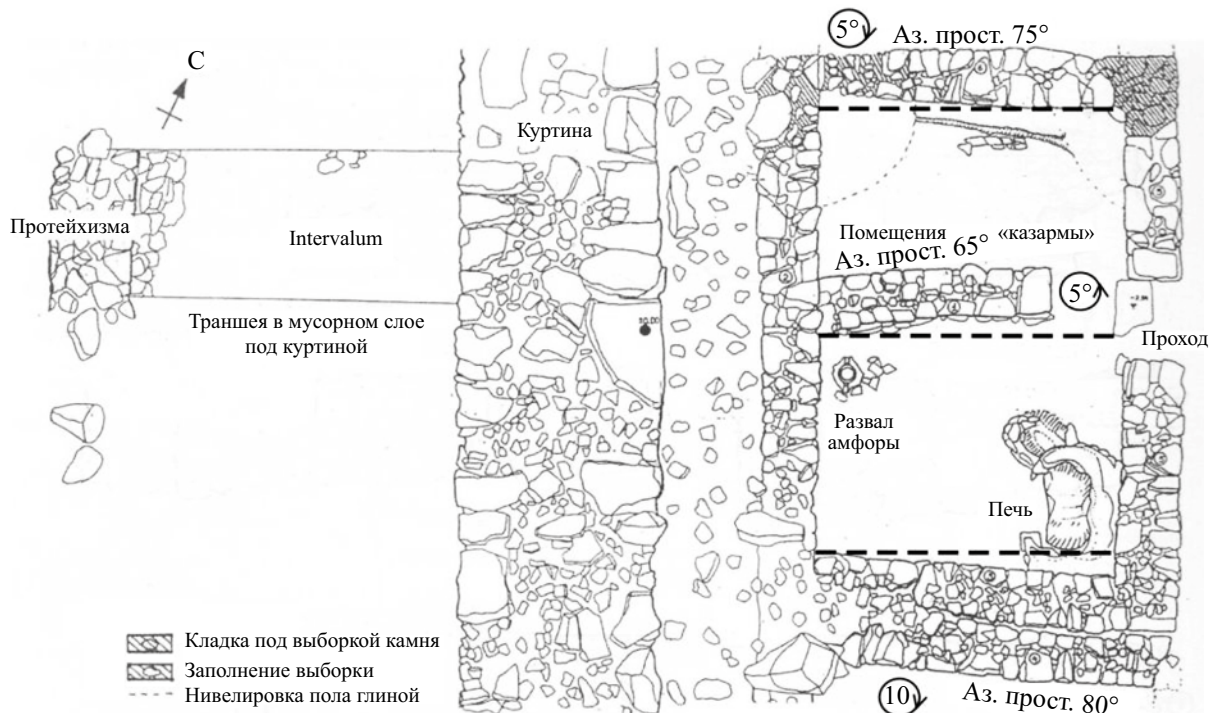
позднее к ней была пристроена стена-крепида. Однако при втором сильном землетрясении стена VIII повернулась по часовой стрелке и сильно толкнула стену-контрфорс к югу. Стена X сравнительно хорошо сохранилась лишь в своей западной части. Центральная и восточная части упали в южном направлении, их обломки расположились в виде веера на расстояниях более 1 м.

Не исключено, что во время второго землетрясения имело место небольшое (десятки сантиметров) смещение к югу стены V. Можно также отметить выбивание к югу на расстояние до 10 см нескольких камней из фундамента стены VIII (рис. 24).



**Рис. 17.** Отброс каменных блоков западной куртины цитадели на верхнем плато на запад на расстояние до 15 м

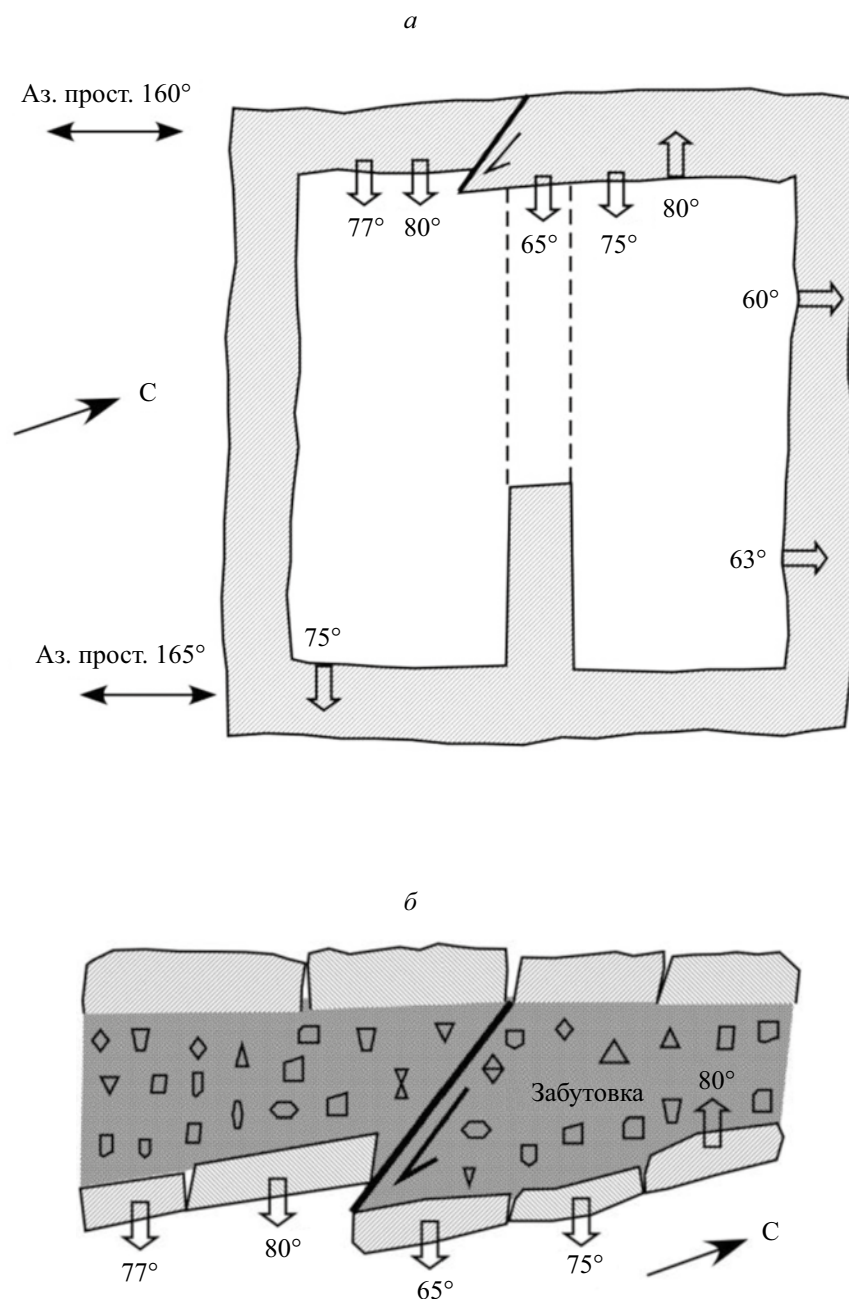
Вид на ЮЮВ. Фотография 2016 г., один из авторов статьи стоит на остатках стены



**Рис. 18.** План раскопанной западной части куртины, казарменных помещений, intervalum'a и протейхизмы (по [Голенко, 2006], с изменениями и дополнениями)

Прерывистыми линиями показано исходное положение повернутых стен. Стрелки окружностей указывают направления, а цифры – углы поворотов в градусах





**Рис. 19.** Деформации в СЗ башне цитадели

а – схематический немасштабный план башни, стрелками показаны значительные наклоны стен и разрыв в западной стене с поворотом ее северной части против часовой стрелки; б – схематическая немасштабная зарисовка западной стены башни, претерпевшей наклон, разрыв и разворот, план; в – наклон восточной стены башни на восток (фотография 2016 г.), вид на юг; г – значительный наклон южного фаса северной стены башни на север (фотография 2016 г.), вид на запад; д – то же, схематическая немасштабная зарисовка, план

в



г



д

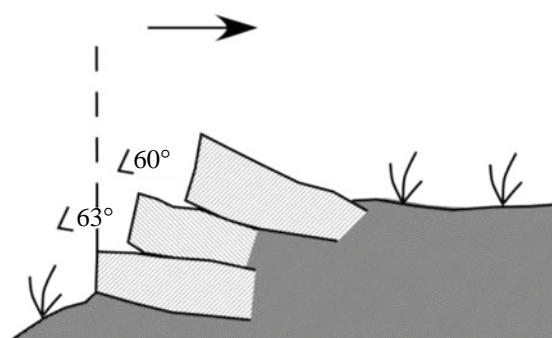


Рис. 19 (окончание)

*Палеосейсмологические наблюдения  
и сеймотектоника региона*

Гора Опук рассечена грандиозными расщелинами и уступами с величиной общего смещения в первые десятки метров. Самые эффектные рвы и уступы развиты в известняках и ограничивают известняковое плато на вершине горы (рис. 25). Ниже уступов к морю спускается серия ступенчатых оползневых блоков.

Магистральный разрыв северо-восточного простирания оперён многочисленными более мелкими рвами и уступами. На северо-востоке плато он приобретает облик прямолинейного уступа высотой 15–20 м (рис. 26). Здесь, вдоль подножия уступа, образовался грабен – ров шириной до 50 м. В юго-западной части магистральный разрыв имеет зигзагообразную форму. Здесь он распадается на короткие



**Рис. 20.** Восточная оборонительная стена. Фотография 2017 г. Вид на ЮЗ. Каменные блоки со стены падали преимущественно в СЗ направлении

сегменты, образующие эшелонированный ряд и представленные преимущественно структурами растяжения (рвами и микрограбенами). Глубина таких структур достигает 30 м.

На катастрофический характер сейсмического события определён указывают крупные (размером с двухэтажный дом) глыбы, отброшенные и перевёрнутые на западном отрезке магистрального разрыва (рис. 27), где этот разрыв представлен рвом глубиной до 10 м. Он трассируется вдоль границы глинистых сарматских отложений и меотических известняков. По степени сглаженности склоновыми процессами можно предполагать, что магистральный ров имеет несколько генераций,

последовательно обновляющих ров, смещаясь в северном направлении при каждой новой подвижке (рис. 28). По всей видимости, такая миграция разрывов отражает компоненту растяжения (суммарная ширина рва – до 150 м), связанную с оползневыми смещениями известнякового плато – каждый новообразованный разрыв сползал вниз по склону. В таком случае можно говорить о постоянстве выхода сейсмотектонического разрыва на поверхность при нескольких землетрясениях и сейсмотектонической природе магистрального рва.

Хронология образования магистрального уступа высотой 15–20 м изучена слабо. О том, что его образование предшествовало последней



**Рис. 21.** Наклон оставшихся в Восточной оборонительной стене камней на СЗ. Фотография 2017 г. Вид на ЮВ

генерации сейсмогенных нарушений рельефа, свидетельствуют немногочисленные более поздние блоки отседания, оползни и обвалы, сошедшие с основного уступа. Так, уступ послужил зоной отрыва небольшого оползня-обвала шириной около 60 м, который оказался отброшен в горизонтальном направлении на расстояние до 55 м (рис. 29).

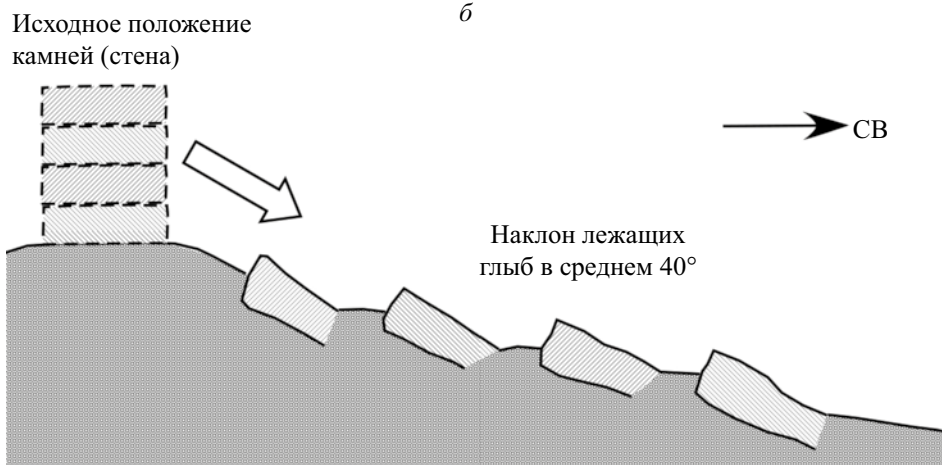
На северо-восточном склоне плато, в пластичных глинистых породах, магистральный разрыв переходит в пологие, сильно заплывшие ложбины и уступы (рис. 30), однако уверенно прослеживается от одного пляжа к другому на всем своем протяжении. Общая длина магистрального разрыва – около 3.4 км.

У западного подножия горы Опук прослеживаются три уровня морских террас. Морские отложения террас лежат на субгоризонтальной абразионной поверхности, выработанной в известняках сползшего блока. Нижняя терраса расположена на высоте 2.5–3 м, её покров сложен косослоистыми пляжными песками. Скорее всего, терраса образовалась во время нимфейской трансгрессии, т.е. 1–2 тыс. л.н., так как в основании почв, перекрывающих её поверхность, найдены неокатанные фрагменты причерноморской амфоры VIII–IX вв. [Клюкин, Голенко, 2006]. Крупные фрагменты таких же амфор обнаружены указанными авторами под обвалом в основании примитивных

а



б

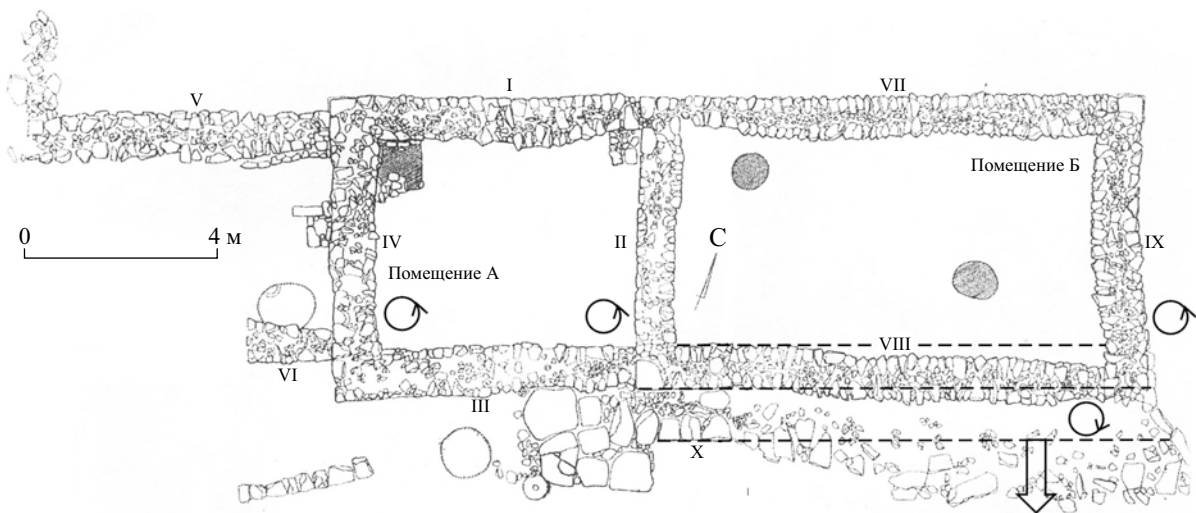


**Рис. 22.** Черепитчатое расположение каменных глыб, слагавших стену. Такое их положение означает падение стены целиком и ее дезинтеграцию лишь при ударе о землю

а – фотография 2017 г., вид на ЮЗ; б – схематическая внемасштабная зарисовка

почв, покрывающих шестиметровую террасу в 0.6 км западнее м. Опук. В ряде мест нимфейская терраса была приподнята до 8 м над уровнем моря., оказавшись вздернутой напорным валом в результате оползневых подвижек [Клюкин, 2006].

Высота среднего фрагмента террасы у тылового шва составила 6 м, а верхнего, у бровки – около 8–9 м над у.м. Морские отложения перекрыты щебнисто-глыбовым коллювием мощностью 3–6 м. Цоколь террас местами расчленен зияющими трещинами, в которые отчасти

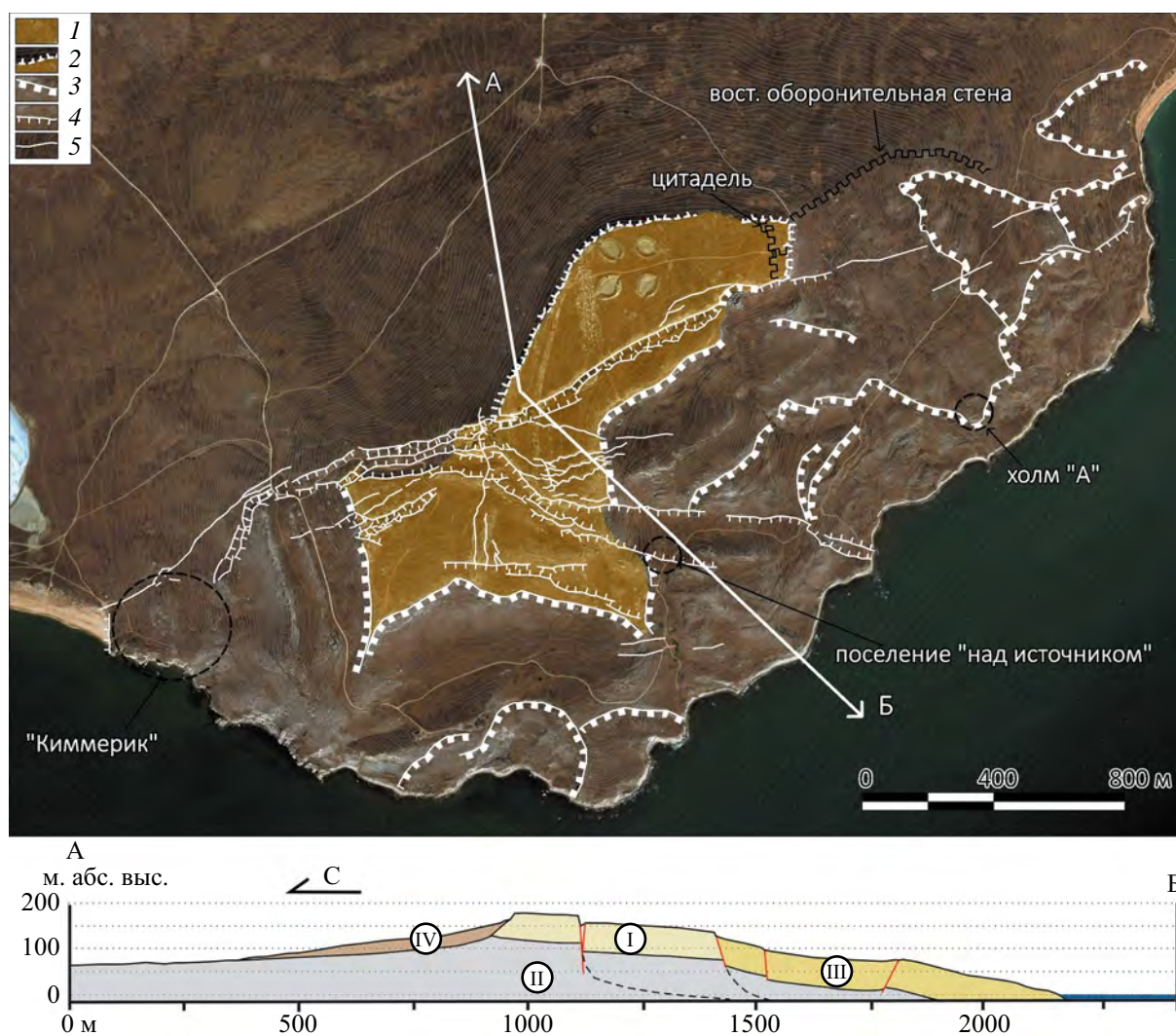


**Рис. 23.** План усадьбы 1 раннесредневекового поселения «Над источником» (по [Голенко, 2006], с исправлениями и добавлениями)

Римскими цифрами обозначены номера стен. Штриховые линии – изначальные положения северных и южных фасов стен VIII и X; окружности со стрелками – направления поворотов южных частей стен II, IV и IX; большая стрелка –направление обрушения стены-крепиды X



**Рис. 24.** Выбивание наружу камней фундамента субширотной стены VIII усадьбы 1 ранне-средневекового поселения «Над источником»



**Рис. 25.** Схема нарушений рельефа на горе Опук и схематический геологический разрез по профилю А–Б (составлен с использованием данных: [Геология..., 1968; Клюкин, 2006])

1 – известняковое плато; 2 – северный литологический уступ плато; 3 – бровки зон отрыва крупнейших оползней; 4 – тектонические уступы; 5 – трещины без существенного вертикального смещения; I – морские мшанковые известняки и ракушечники, меотический ярус нижнего неогена; II – глины с прослоями мергелей, сарматский ярус нижнего неогена; III – известняковые блоки, вовлеченные в крупномасштабные оползневые смещения; IV – обвально-оползневые известняково-глинистые накопления северного склона

провалились морские отложения. Верхняя терраса сложена гравием, галькой и валунами из местных известняков и чужеродных вулканитов с детритусово-ракушечным заполнителем. Морские отложения террасы покрыты солонцеватыми почвами мощностью до 1 м. Из кровли галечников 9-метровой террасы извлечен полуокатанный фрагмент венчика эллинистической амфоры (Гераклея Понтийская) [Клюкин, Голенко, 2006].

Все террасы на пересечении с магистральным разрывом оказались в разной степени деформированными (рис. 31). Это говорит о многократном обновлении разрыва при нескольких

(не менее чем трёх) эпизодах выхода очага сильного землетрясения на поверхность. Направленность вертикальных смещений, по-видимому, менялась от одной подвижки к другой. Террасы II и III в северном крыле расположены на несколько метров выше, чем в южном. В то же время самая молодая терраса I в южном крыле выше, чем в северном, на 1.5–2 м. Скорее всего, самое молодое событие (возможно III в. н.э.) привело к подвижке всего скального массива и вздергиванию террасы в результате запрокидывания массива по механизму вращения блокового оползня, тогда как предыдущие подвижки были более масштабными и



Рис. 26. Общий вид уступа в восточной части плато

оставили след в виде магистрального уступа, нарушающего известняковое плато.

В качестве следа исторических землетрясений также можно привести скальный оползень (рис. 32), на котором сформировалась Нимфейская терраса с двумя горизонтами керамики. Совершенно очевидно, что скальные обломки упали в аэральных условиях, затем поднявшийся уровень моря заполнил пространство между обломками: напластование морских осадков совершенно горизонтальное (рис. 33). Однако пытливого взгляду палеосейсмолога видны горизонты сейсмогенных конволюций – сейсмитов (рис. 34), подстилаемых снизу и перекрываемых сверху недеформированными слоями.

#### АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные деформации строительных конструкций по отдельности, и уж тем более в своей совокупности, указывают на сейсмическую причину их происхождения [Korzhenkov,

Mazor, 1999]. Хорошая археологическая изученность памятников горы Опук позволяет в самом первом приближении наметить хронологию сейсмических событий.

В исследованных нами древних строительных конструкциях и культурных слоях археологических памятников в районе горы Опук в ЮВ Крыму выявлены многочисленные разрывы. Обнаруженные в зольнике трещины, затухающие в слое конца II – III в. н.э., являются типичными сейсмогенными разрывами, образованными после отложения слоев с материалом II–III вв. н.э. Не исключено, что такое землетрясение произошло в конце III в. [Голенко, 2006].

Следы двух землетрясений обнаружены на поселении «Холм А». Последствия первого землетрясения отражены в систематических поворотах субмеридиональных стен вокруг вертикальной оси по часовой стрелке. Сейсмические колебания при этом землетрясении действовали под углом к упомянутым стенам, вдоль оси ССВ-ЮЮЗ. Здание устояло





Рис. 27. Ров в западной части плато, вид на восток

и было отремонтировано (стена-контфорс у северного фаса южной стены помещения «А»). При втором – более сильном – землетрясении сейсмогенный разрыв вышел на поверхность и сместил ЮВ часть постройки, практически полностью разрушив её. Время гибели данного помещения – начало IV в. до н.э. [Кругликова, 1952, с. 67].

Следы катастрофических разрушений выявлены в руинах цитадели на верхнем плато горы Опук. Значительные деформации испытала СЗ башня цитадели; в казарменном помещении выявлены следы двух землетрясений; сильно разрушены западная куртина и стена цитадели. Значительные сейсмические деформации были изучены также на так называемой «Восточной оборонительной стене», скорее всего синхронной цитадели [Голенко, 2006, с. 164]. Цитадель полностью прекращает свое существование в первой половине VI в. н.э., чем завершается процесс разрушения инфраструктуры античного Киммерика [Голенко, 2006, с. 233]. До прихода на территорию Керченского полуострова носителей салтово-маяцкой культуры жизнь на

горе Опук и в ее окрестностях временно замирает. Данных по археологическим памятникам о землетрясении в районе горы Опук в VI в. н.э. пока не обнаружено.

Следы двух землетрясений обнаружены в усадьбе салтово-маяцкого («хазарского») периода раннего средневековья в поселении «Над источником». Первое сейсмическое событие привело к развороту всех субмеридиональных стен усадьбы вокруг вертикальной оси против часовой стрелки, что указывает на действие сейсмических колебаний под углом к этим строительным элементам - вдоль оси ССЗ–ЮЮВ. Здание устояло, к нему лишь пристроили стену-контфорс с южного – внешнего фаса стены восточной комнаты. Второе землетрясение было более сильным: интенсивные сейсмические колебания обрушили отремонтированную стену и удерживающую ее стену-крепиду в южном направлении, со стороны источника упругих колебаний. Усадьба окончательно погибла в 30-е – 40-е гг. X в. н.э. [Голенко, 2006, с. 239].



**Рис. 28.** Предполагаемые разновозрастные генерации обновления магистрального разрыва в западной части плато. Вид на запад

Штриховыми линиями показаны днища разновозрастных рвов, цифрами – их предполагаемое ранжирование по возрасту



**Рис. 29.** Оползень-обвал на северо-востоке магистрального уступа



Рис. 30. Магистральный разрыв в восточной части плато, вид на запад



Рис. 31. Морские террасы у западного подножия горы Опук

Штриховая линия – разрыв; пронумерованные пунктирные линии – бровки террас

Весьма выразительные следы сильных землетрясений наблюдаются в рельефе горы Опук. Согласно собранным данным, магистральный разрыв на горе является сейсмотектоническим, однако величина смещения была многократно усилена сползанием скального массива в сторону моря. Разрыв представляет собой сегмент Южно-Керченской разломной зоны, которая прослеживается вдоль берега Черного моря. Последнее сейсмотектоническое смещение датировано в районе античного города Китей в III в. н.э. или сразу после него [Molev *et al.*, 2019]. Ранее очаг этого землетрясения века с  $M = 7.2 \pm 0.5$  и  $I = 9.0 \pm 0.5$  баллов был помещен в акваторию Керченского пролива [Никонов,

2000, 2016], хотя конкретных сведений об этом событии А.А. Никоновым не приводится. За последние примерно 4000 лет (время накопления чернозёма с калиброванным радиоуглеродным возрастом 4412–4076 л.н., ИГАН 6520) здесь произошло не менее трёх сейсмотектонических подвижек с суммарной величиной смещения не менее 3 м. Прослеженная минимальная длина активизированного сегмента – 20 км. Минимальную магнитуду события можно оценить, используя известные глобальные соотношения по параметрам сейсморазрывов [Wells, Coppersmith, 1994; и др.], в пределах  $M_w = 6.6–6.9$ .



**Рис. 32.** Нимфейская морская терраса, выработанная на теле древнего скального оползня  
Фото 2016 г. в районе Ракушечного пляжа. Вид на ЗСЗ. Длина трековой палки – 1.1 м



**Рис. 33.** Горизонтальное напластование морских отложений, заполнивших пространство между обломками скального оползня. Фотография 2016 г. Вид на север



**Рис. 34.** Сейсмиты (под выступающей глыбой и справа от нее) в горизонтальном напластовании морских осадков, заполняющих пространство между обломками скального оползня. Фотография 2016 г. Вид на север

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данное исследование было проведено при финансовой поддержке гранта РФФИ №. 18-05-01004, Государственного академического университета гуманитарных наук, а также согласно плану работ по государственному заданию Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят А.С. Деваева за его помощь в организации и проведении полевых исследований на объекте.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### ЛИТЕРАТУРА

Белик Ю.Л., Корженков А.М., Куликов А.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Овсяченко А.Н., Рогожин Е.А. Сейсмогенные деформации в стенах позднесредневековой крепости Ени-Кале в Вос-

точном Крыму // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016. Т. 43, № 2. С. 17–35.

Белоусов Т.П. Палеодислокации рельефа горы Опук на юге Керченского полуострова // Вопросы инженерной сейсмологии. 1991. Вып. 32. С. 187–189.

Бларамберг И.П. Замечания на некоторые места древней географии Тавриды // Записки Одесского Общества истории древностей. 1848. № 2. С. 1–19.

Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Ключин А.А., Ена А.В., Китин М.А. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма // Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 год. Симферополь: ИГ НАНУ, 1999. С. 101–132.

Веселов В.В. Сводная ведомость результатов археологических разведок на Керченском и Таманском полуостровах в 1949–1964 гг. // Древности Боспора. Supplementum 2. Тула: ИПП Гриф и К., 2005. 264 с.

Винокуров Н.И., Никонов А.А. К обоснованию сейсмической причины тотальных разрушений на Боспоре в середине – второй половине III в. н.э. // VI чтения памяти профессора В.Д. Блаватского (к 100-летию со дня рождения). М., 1999.

- Винокуров Н.И., Никонов А.А. Тотальные разрушения второй половины III в. н.э. на Боспоре как хронологический репер // Боспорский феномен. Проблемы хронологии и датировки памятников. Ч. 1. СПб.: Изд-во Гос. Эрмитажа, 2004. С. 95–103.
- Винокуров Н.И., Корженков А.М., Родкин М.В. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. 2015. Т. 42, № 2. С. 51–66.
- Геология СССР. Т. 8. Крым. Часть 1. Геологическое описание / Ред. М.В. Муратов. М.: Недра, 1969. 575 с.
- Геология и геодинамика района Крымской АЭС / Отв. ред. Н.М. Гавриленко, А.В. Чекунов. Киев: Наукова думка, 1992. 188 с.
- Гмыря Л.Б., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. Вероятные палеосейсмические деформации на Рубаском археологическом памятнике середины VI в., Южный Дагестан // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 3. С. 91–103. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-6>
- Голенко В.К. Древний Киммерик и его округа. Симферополь: Сонат, 2006. 408 с.
- Голенко В.К., Клюкин А.А. Актуальные проблемы исторической географии черноморского побережья Керченского полуострова // Древности Боспора. 2005. Т. 8. С. 122–141.
- Деваев А.С., Мордвинова В.И. Ранний культурный слой на верхнем плато горы Опук (по материалам разведки 2017 года) // В.Ю. Зуев, В.А. Хршановский (ред.). Боспорский феномен. Общее и особенное в историко-культурном пространстве античного мира. Материалы международной научной конференции. Часть 2. СПб.: ИПЦ СПбГУПТД, 2018. С. 305–310.
- Дюбриук П. Описание развалин и следов древних городов и укреплений, некогда существовавших на Европейском берегу Босфора-Киммерийского, от входа в пролив близ Еникальского маяка до горы Опук включительно, при Черном море // Записки Одесского общества истории и древностей. 1858. № 4. С. 3–84.
- Ена А.В., Тихонечко Э.П., Борисенко Л.С., Новик Н.Н. Предварительные результаты палеосейсмических исследований Керченского полуострова // Докл. АН УССР, сер. Б. 1989. № 7. С. 9–13.
- Зеест И.Б. Раскопки Киммерика в 1947–1948 гг. // Вестник древней истории. 1949. № 3. С. 92–101.
- Клюкин А.А. Сейсмодислокации Керченского полуострова // Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г. Симферополь, 1995. С. 112–117.
- Клюкин А.А. Природа и разнообразие факторов среды Опукского природного заповедника // Труды Никитского ботанического сада – Национального научного центра. 2006. Т. 126. С. 8–22.
- Клюкин А.А., Голенко В.К. Геоморфология горы Опук // Голенко В.К. Древний Киммерик и его округа. Симферополь: Сонат, 2006. С. 15–22.
- Корженков А.М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Сер. обществ. наук. 2001. № 1. С. 108–125.
- Корженков А.М., Мазор Э. Признаки сейсмических повреждений в руинах древних городов в пустыне Негев, Израиль // Геотектоника. 2013. № 1. С. 59–73. <https://doi.org/10.7868/S0016853X13010049>
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. 2016а. № 10. С. 30–38.
- Корженков А.М., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Деев Е.В., Павлис Т., Рогожин Е.А., Турова И., Юдахин А.С. О следах сильного землетрясения в стенах средневековых городищ Сары-Булуна на Великом шелковом пути (Западное Прииссыккулье, Северный Тянь-Шань) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016б. Т. 43, № 4. С. 5–20. <https://doi.org/10.21455/vis2016.4-1>
- Корженков А.М., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Эмруллаев Ш.А. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов Салачике // Вопросы инженерной сейсмологии. 2016в. Т. 43, № 3. С. 30–47. <https://doi.org/10.21455/vis2016.3-3>
- Корженков А.М., Деев Е.В., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Агатова А.Р., Мажейка Й.В., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Сорокин А.А., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Шен Д., Юдахин А.С. Сильное средневековое землетрясение в Северном Прииссыккулье (Тянь-Шань): Результаты палеосейсмологических и археосейсмологических исследований // Геофизические процессы и биосфера. 2016г. Т. 15, № 4. С. 43–63. <https://doi.org/10.21455/GPB2016.4-4>
- Корженков А.М., Кольченко В.А., Лужанский Д.В., Абдиева С.В., Деев Е.В., Мажейка Й.В., Рогожин Е.А., Родина С.Н., Родкин М.В., Фортуна А.Б., Чаримов Т.А., Юдахин А.С. Археосейсмологические исследования и структурная позиция средневековых землетрясений на юге Иссык-Кульской впадины (Тянь-Шань) // Физика Земли. 2016д. № 2. С. 71–86. <https://doi.org/10.7868/S0002333716020083>
- Корженков А.М., Ломакин Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. О следах сильных позднесредневековых землетрясений в комплексе медресе – мечеть Узбека (г. Старый Крым) // Геофизические процессы и биосфера. 2017а. Т. 16, № 3. С. 5–28. <https://doi.org/10.21455/GPB2017.3-1>
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. Археосейсмологическое исследование древних исторических и археологических памятников в Феодосии, Крым // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Бишкек, 2017б. С. 26–29.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А., Сударев Н.И. Следы сильных землетрясений на Михайловском городище (Керченский полуостров, Крым) // Древности Боспора. 2018а. Т. 22. С. 115–132.

- Корженков А.М., Ларьков А.С., Овсяченко А.Н., Соколова О.Ю. Следы сильных землетрясений в руинах Боспорского города Нимфея // Боспорские исследования. 2018б. Вып. 37. С. 111–138.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Димитров О.В., Сударев Н.И., Устаева Э.Р. О следах сильных землетрясений в древнем городе Гермонасса-Тмутаракань и структурное положение их очаговых зон // Боспорские исследования. 2019а. Вып. 39. С. 242–274.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Федосеев Н.Ф., Ларьков А.С. Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике «Госпиталь», г. Керчь, Крым // Геология и геофизика Юга России. 2019б. Т. 9, № 1. С. 135–149.
- Корженков А.М., Новичихин А.М., Овсяченко А.Н., Рангелов Б.К., Рогожин Е.А., Димитров О.В., Ларьков А.С., Лю Ц. Поиск следов сильных древних землетрясений на Западном Кавказе: Археосейсмологические исследования в древней Горгиппии // Геофизические процессы и биосфера. 2019в. Т. 18, № 4. С. 110–128. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.4-10>
- Корженков А.М., Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Супренков А.А. Сейсмические деформации в урочище Сююрташ в Крымском Приазовье // Древности Боспора. 2019г. Вып. 24. С. 370–397.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Зинько В.Н. Следы сильных землетрясений на древнем городище Тиритака в Восточном Крыму // Боспорские исследования. 2019д. Вып. 38. С. 137–159.
- Корженков А.М., Усманова М.Т., Анарбаев А.А., Максудов Ф.А., Муродалиев Р.Х., Захидов Т.К., Рахманов З.О. Недооцененная сейсмическая опасность Ферганской впадины: Новые археосейсмологические данные // Геофизические процессы и биосфера. 2019е. Т. 18, № 3. С. 77–90. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.3-5>
- Корженков А.М., Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Родина С.Н. Следы сейсмических катастроф в руинах усадебных комплексов IV–III вв. до н.э. в Крымском Приазовье // Проблемы истории, филологии, культуры. 2020а. № 3. С. 49–76.
- Корженков А.М., Минчев А., Тенкеджиев В., Овсяченко А.Н., Димитров О., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Рангелов Б., Стрельников А.А. Сейсмические деформации в раннехристианском монастыре в местности Джанавара (Варна, Болгария). Часть 1: Методы исследований // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020б. Т. 47, № 4. С. 72–91. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.4-5>
- Корженков А.М., Гаджиев М.С., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. Следы сейсмической активности на архитектурных памятниках г. Дербент, Дагестан // Геофизические процессы и биосфера. 2020в. Т. 19, № 1. С. 5–29. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.1-1>
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Димитров О.В., Димов Т., Ларьков А.С., Рангелов Б., Рогожин Е.А., Родина С.Н. Следы сильных землетрясений энеолита и средневековья в археологическом памятнике Дуранкулак, Северо-Восточная Болгария // Вулканология и сейсмология. 2020г. № 4. С. 1–22. <https://doi.org/10.31857/S0203030620040021>
- Корженков А.М., Усманова М.Т., Анарбаев А.А., Саидов М., Насриддинов Ш., Захидов Т.К. Сейсмические деформации в археологических памятниках Мугкальа и Мугтепа (Ферганская впадина, Узбекистан) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020д. Т. 47, № 3. С. 5–27. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.3-1>
- Кругликова И.Т. Памятники эпохи бронзы из Киммерика // КСИИМК. 1952. Т. XLIII. С. 108–118.
- Кругликова И.Т. Киммерик в свете археологических исследований 1947–1951 гг. // В.Ф. Гайдукевич (ред.). Боспорские города. Т. 2. Работы Боспорской экспедиции 1946–1953 гг. (Материалы и исследования по археологии СССР – 85). М.: АН СССР, 1958. С. 219–253.
- Марти Ю.Ю. Городища Боспорского царства к югу от Керчи. Киммерик, Китей, Акра // Известия Таврического общества истории, археологии и этнографии. 1928. Т. 59, № 2. С. 103–126.
- Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Следы сильных землетрясений на городище Полянка и Южно-Азовский активный разлом // Древности Боспора. 2017. Т. 21. С. 265–294.
- Минчев А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Димитров О.В., Ларьков А.С., Рангелов Б.К., Рогожин Е.А., Андреева Н.В. Деформации в епископской базилике г. Варна – свидетельства сильных исторических землетрясений в Северо-Восточной Болгарии // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, № 3. С. 16–32. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.3-2>
- Моисеев Д.А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н. Следы сейсмогенных разрушений черепичной печи средневекового гончарного центра в балке руч. Суаткан (Бахчисарайский район, Крым) // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17, № 2. С. 23–47. <https://doi.org/10.21455/GPB2018.2-2>
- Моисеев Д.А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Крымское разрушительное землетрясение второй половины XV в. // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019. Т. 46, № 2. С. 37–53. <https://doi.org/10.21455/VIS2019.2-4>
- Моисеев Д.А., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Усадьба на высоте Масляная хоры Херсонеса Таврического и свидетельства разрушительного античного землетрясения // Геофизические процессы и биосфера. 2020. Т. 19, № 4. С. 16–26. <https://doi.org/10.21455/GPB2020.4-2>
- Мордвинцева В.И. Оборонительная стена городища на восточном склоне горы Опук. Новые данные // Древности Боспора. 2014. Т. 18. С. 257–257.
- Мордвинцева В.И. О времени сооружения крепостной стены цитадели на верхнем плато горы Опук // В.Н. Зинько, Е.А. Зинько (ред.). Международная

- научная конференция «XVIII Боспорские чтения». Симферополь, Керчь: КФУ, 2017. С. 353–357.
- Мордвинцева В.И., Смекалова Т.Н., Деваев А.С. Исследование городища на верхнем плато г. Опук в 2017 г. // В.Н. Зинько, Е.А. Зинько (ред.). Международная научная конференция «XIX Боспорские чтения». Симферополь, Керчь: КФУ, 2018. 323–327.
- Морозова Р.М., Шебалин Н.В. О землетрясениях Крыма 1800–1967 гг. (опыт критического каталога) // Геофизический сборник АН УССР. 1968. Вып. 26. С. 13–41.
- Никонов А.А. Сейсмический потенциал Крымского региона: Сравнение региональных карт и параметров выявленных событий // Физика Земли. 2000. № 7. С. 53–62.
- Никонов А.А. Сейсмогеодинамика Крымского региона (по материалам за последние 2.6 тыс. лет) // Материалы XLVIII Тектонического совещания. Т. 2. М.: Геос, 2016. С. 43–48.
- Никонов А.А., Пономарева О.Н. Сильные землетрясения Крыма во второй половине XIX в. // Вопросы инженерной сейсмологии. 1991. Вып. 32. С. 59–76.
- Новичихин А.М., Корженков А.М., Овсяченко А.Н. Археосейсмологические исследования на территории археологического заповедника «Горгипия» в 2019 г. // Древности Боспора. 2020. Т. 25. С. 260–288.
- Овсяченко 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.
- Овсяченко А.Н., Меньшиков М.Ю., Рогожин Е.А., Корженков А.М. Циклы сейсмической активности во второй половине голоцена на Западном Кавказе и их связь с этапами цивилизационного развития (на примере верховьев р. Мзымта) // Геофизические процессы и биосфера. 2016. Т. 15, № 2. С. 5–38.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова // Докл. РАН. 2017а. Т.472, № 1. С. 89–92.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатиков А.В., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Сысолин А.И. Следы сильного землетрясения в средневековом городе Фанагория на Таманском полуострове // Геология и геофизика Юга России. 2017б. № 3. С. 78–94.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере Керченско-Таманского региона // Наука и технологические разработки. 2017в. Т. 96, № 1. С. 5–18. <https://doi.org/10.21455/std2017.1-1>
- Овсяченко А.Н., Вакарчук Р.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Сысолин А.И., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. Активные разломы Керченского полуострова: новые результаты // Докл. РАН. 2019а. Т. 488, № 4. С. 408–412.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Масленников А.А., Вакарчук Р.Н., Ларьков А.С., Сысолин А.И. Следы и хронология сильных исторических землетрясений на мысе Зюк в Восточном Крыму // Физика Земли. 2019б. № 4. С. 133–152. <https://doi.org/10.31857/S0002-333720194133-152>
- Овсяченко А.Н., Новичихин А.М., Быхалова О.Н., Рогожин Е.А., Корженков А.М., Ларьков А.С., Бутанав Ю.В., Лукашова Р.Н. Междисциплинарное датирование Утришских сейсмодислокаций: к локализации очага сильного исторического землетрясения на Западном Кавказе // Вопросы инженерной сейсмологии. 2019в. Т. 46. № 3. С. 32–49. <https://doi.org/10.21455/VIS2019.3-4>
- Пустовитенко Б.Г., Луцик А.В., Боборыкина О.А., Кульчицкий В.Е., Можжерина А.В., Насонкин В.А., Панков Ф.Н., Поречнова Е.И., Пустовитенко А.А., Тихоненков Э.П., Швырло Н.И. Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2014. 364 с.
- Рогожин Е.А., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Харазова Ю.В., Димитров О.В., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Стрельников А.А. Голоценовая геологическая и сейсмическая активность системы разломов в Северо-Восточной Болгарии по комплексу геолого-геоморфологических и археосейсмологических методов // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 2. С. 57–71. <https://doi.org/10.21455/GPB2019.2-5>
- Самулева В.И., Балакина А.А., Алейникова П.К. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Сер. Крымская, листы L-37-XIX/XXV. Ред. М.В. Муратов. Киев: Киевгеология, 1970.
- Смекалова Т.Н., Деваев А.С., Смокотина А.В. Итоги археолого-геофизического изучения городища Киммерик // В.Н. Зинько, Е.А. Зинько (ред.). Международная научная конференция «XX Боспорские чтения». Симферополь, Керчь: КФУ, 2019. С. 521–525.
- Стрельников А.А., Корженков А.М. Разрушение средневековых археологических памятников сильными землетрясениями в юго-западной части Иссук-Кульской впадины, Тянь-Шань // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47, № 3. С. 53–74. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.3-3>
- Тункина И.В. Русская наука о классических древностях Юга России (XVIII – середина XIX вв.). СПб.: Наука, 2002. 676 с.
- Хапаев В.В. Письменные источники по истории Крымских землетрясений античного и средневекового периодов // Ученые записки Таврического национального университета. Серия «История». 2008. Т. 21 (60). № 1. С. 3–8.
- Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л., Науменко П.И., Иноземцев Ю.И., Скиба С.И. Геология шельфа УССР Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 160 с.



- Korzenkov A.M., Mazor E.* Seismogenic origin of the ancient Avdat ruins, Negev desert, Israel // *Nat. Hazards*. 1998. V. 18, N 3. P. 193–226. <https://doi.org/10.1023/A:1026488932377>
- Korzhenkov A.M., Mazor E.* Structural reconstruction of Seismic events: Ruins of ancient cities as fossil seismographs // *Science and New Technologies*. 1999. No. 1. P. 62–74.
- Molev E.A., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S.* Potential traces of earthquakes in the ancient city of Kytaiia, Kerch Peninsula, Crimea // *Geodesy and Geodynamics*. 2019. N 10. P. 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.03.006>
- Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Larkov, A.S., Marahanov A.V., Rogozhin E.A.* Estimation of Seismic Hazards of Low-Active Areas: Case Study of Kerch-Taman Region // *Seismic Instruments*. 2018. V. 54, N 5. P. 565–572. <https://doi.org/10.3103/S0747923918050109>
- Wells D.L., Coppersmith K.J.* New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1994. V. 84, N 4. P. 974–1002.

#### *Сведения об авторах*

**КОРЖЕНКОВ Андрей Михайлович** – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. E-mail: korzhenkov@ifz.ru

**МОРДВИНЦЕВА Валентина Ивановна** – Институт всеобщей истории РАН. Россия, 119334, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 32А; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». Россия, 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11; Государственный академический университет гуманитарных наук. Россия, 119049, г. Москва, Мароновский пер., д. 26. E-mail: vmordvintseva@hse.ru

**ОВСЮЧЕНКО Александр Николаевич** – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. E-mail: ovs@ifz.ru

**СТРЕЛЬНИКОВ Андрей Андреевич** – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. E-mail: aas@ifz.ru

**ЛАРЬКОВ Александр Сергеевич** – Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. Россия, 123242, г. Москва, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. E-mail: las119@yandex.ru

### **SEISMIC DEFORMATIONS AT ARCHAEOLOGICAL SITES, SEDIMENTS AND RELIEF OF MOUNT OPUK, CRIMEA**

**A.M. KORZHENKOV<sup>1</sup>, V.I. MORDVINTSEVA<sup>2,3,4</sup>, A.N. OVSYUCHENKO<sup>1</sup>, A.A. STRELNIKOV<sup>1</sup>, A.S. LARKOV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of General History, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> National Research University “Higher School of Economics”, Moscow, Russia

<sup>4</sup> State Academic University of Humanities, Moscow, Russia

**Corresponding author:** A.A. Strelnikov, e-mail: aas@ifz.ru

**Abstract.** In the ancient building structures and cultural layers of archaeological sites we studied in the area of Mount Opuk in the southeast of Crimea, numerous ruptures were revealed. The revealed deformations of building structures individually, and even more so in their totality, indicate a seismic reason for their origin. A good archaeological study of the monuments of Mount Opuk allows us, in the very first approximation, to outline the chronology of seismic events. The cracks found in the ash pan, damping in the layer of the end of the II-III century, are typical seismogenic ruptures. It is possible that this earthquake occurred at the end of the 3rd century. Traces of two earthquakes were found at the settlement “Kholm A”. The consequences of the first of them are reflected in the systematic clockwise rotation of the submeridional walls around the vertical axis. Seismic vibrations during this earthquake acted at an angle to the above-mentioned walls along the NNE – SSW axis. The building survived and was repaired (buttress wall at the northern face of the southern wall of room “A”). In the second, stronger, earthquake, the seismogenic rupture came to the surface and displaced the SE part of the structure, almost completely destroying it. The time of the death of this room is the beginning of the 4th century. Traces of catastrophic destruction

were also found in the ruins of the citadel on the upper plateau of Mount Opuk. The citadel's NW tower underwent significant deformations; traces of two earthquakes were found in the barracks; the western curtain and the citadel wall were badly destroyed. Significant seismic deformations were also studied on the so-called "Eastern defensive wall", most likely a synchronous citadel. The citadel completely ceases to exist in the first half of the 6th century, possibly during a strong seismic event, which ends the process of destruction of the infrastructure of ancient Cimmerian. Before the arrival of the carriers of the Saltovo-Mayatsk culture on the territory of the Kerch Peninsula, life on Mount Opuk and in its environs temporarily stops. Traces of two earthquakes were found in the estate of the Saltovo-Mayatsk ("Khazar") period of the early Middle Ages in the settlement "Above the source". The first seismic event led to the turn of all submeridional walls of the estate around the vertical axis counterclockwise, which indicates the action of seismic vibrations at an angle to these building elements - along the NW-SE axis. The building resisted, only a buttress wall was added to it from the southern - outer facade of the eastern room wall. The second earthquake was more severe: intense seismic vibrations brought down the repaired wall and the wall-crepida holding it in the southern direction, from the side of the source of elastic vibrations. The estate finally perished in the 30s – 40s of X century. Expressive traces of strong earthquakes are also observed in the relief of Mount Opuk. According to the collected data, the main rupture on the mountain is seismotectonic, but the magnitude of the displacement was multiplied by the sliding of the rock mass towards the sea. The fault is a segment of the South Kerch fault zone, which is traced along the Black Sea coast. The last seismotectonic displacement is dated in the area of the ancient city of Kiti in the 3rd century or immediately after it. Over the past 4000 years, at least three seismotectonic movements have occurred here with a total displacement of at least 3 m. The traced minimum length of the activated segment is 20 km. The minimum magnitude of an event can be estimated using the known global relationships for the parameters of seismic ruptures, within  $M_w = 6.6-6.9$ .

**Keywords:** Northern Black Sea region, Bosphorus kingdom, Crimea, Kerch peninsula, strong historical and paleoearthquakes, seismic deformations in archaeological sites

*About the authors:*

**KORZHENKOV Andrey Mikhailovich** – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Russia, 123242, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 10-1. E-mail: korzhenkov@ifz.ru

**MORDVINTSEVA Valentina Ivanovna** – Institute of General History of the Russian Academy of Sciences. Russia, 119334, Moscow, Leninsky Av. 32A; National Research University "Higher School of Economics". Russia, 109028, Moscow, Pokrovsky blvd. 11; State Academic University of Humanities. Russia, 119049, Moscow, Maronovsky per. 26. E-mail: vmordvintseva@hse.ru

**OVSYUCHENKO Alexander Nikolaevich** – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Russia, 123242, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 10-1. E-mail: ovs@ifz.ru

**STRELNIKOV Andrey Andreevich** – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Russia, 123242, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 10-1. E-mail: aas@ifz.ru

**LARKOV Alexander Sergeevich** – Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences. Russia, 123242, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya st., 10-1. E-mail: las119@yandex.ru

**Cite this article as:** Korzhenkov A.M., Mordvintseva V.I., Ovsyuchenko A.N., Strelnikov A.A., Larkov A.S. Seismic deformations at archaeological sites, sediments and relief of Mount Opuk, Crimea, *Voprosy Inzhenernoi Seismologii* (Problems of Engineering Seismology). 2021. V. 48, No. 2. P. 62–103. [in Russian]. <https://doi.org/10.21455/VIS2021.2-4>

English translation of the article will be published in *Seismic Instruments*, ISSN: 0747-9239 (Print) 1934-7871 (Online), <https://link.springer.com/journal/11990>