

УДК 550.3

СЛЕДЫ И ХРОНОЛОГИЯ СИЛЬНЫХ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА МЫСЕ ЗЮК В ВОСТОЧНОМ КРЫМУ

© 2019 г. А. Н. Овсяченко^{1*}, А. М. Корженков¹, А. А. Масленников²,
Р. Н. Вакарчук¹, А. С. Ларьков¹, А. И. Сысолин¹

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

²Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

*E-mail: ovs@ifz.ru

Поступила в редакцию 28.02.2018 г.

Принята в печать 03.12.2018 г.

Приводятся результаты изучения геологических и археологических следов сильных землетрясений на мысе Зюк, где расположено античное городище, существовавшее с рубежа VI–V вв. до н. э. до первой трети–середины VI в. н. э. Хорошая изученность памятника дала возможность составить хронологию сильных землетрясений за последние 2.5 тыс. лет. Обнаружение сейсмотектонической деформации позднеголоценовых отложений свидетельствует о выходе очага сильного землетрясения на мысе Зюк. Датировка этого события ограничена верхней возрастной рамкой – вторая половина IV в. до н. э. – начало III в. до н. э. Предыдущее событие датируется до рубежа VI–V вв. до н. э. Кроме них, предположительно можно говорить еще о четырех событиях: 63 г. до н. э.; до второй половины IV в. н. э.; первой трети–середины VI в. н. э. и XVIII столетия. Можно предполагать, что за последние 2.5 тыс. лет мыс Зюк подвергался сильным землетрясениям 4–5 раз. Отсутствие сведений о землетрясениях между VI и XVIII столетиями, т. е. за период продолжительностью более 1000 лет, может быть связано как с продолжительной эпохой затишья между сейсмическими активизациями, так и с неполнотой собранных данных.

Ключевые слова: археосейсмология, палеосейсмология, сейсмотектоника, сейсмический режим, активные разломы, Керченский полуостров.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002-333720194133-152>

ВВЕДЕНИЕ

Палео- и археосейсмологические исследования приобретают все большее значение в оценке современной сейсмической опасности того или иного региона. Обилие и разнообразие археологических памятников Крыма делают такие изыскания очень эффективным инструментом в получении данных о местоположении, силе и повторяемости сильных землетрясений. Особое значение они имеют в отношении Восточного Крыма, для которого соответствующие письменные свидетельства крайне ограничены. Статья посвящена работам на мысе Зюк (Крымское Приазовье), где в 1978–1984 гг. были открыты и хорошо изучены остатки небольшого античного городка Зенонов Херсонес, существовавшего примерно с рубежа VI–V вв. до н. э. до первой трети–середины VI в. н. э. [Масленников, 1992]. В настоящее время окрестности мыса очень густо заселены, и эта территория интенсивно осваивается как курортная микроразнона. Благодаря

комплексным работам по выявлению сейсмической опасности для строившейся в 1980-х гг. Крымской АЭС этот регион и упомянутый памятник уже были обследованы советскими и зарубежными специалистами по палеосейсмологии в 1987–1988 гг. При этом, именно здесь были выявлены наиболее яркие и убедительные следы древних землетрясений, в немалой степени обусловившие выводы специальной комиссии относительно высокой сейсмоопасности этого региона Крыма и нецелесообразности указанного строительства [Геология..., 1992; Масленников, 1992; 2013; Никонов, 1994; 1996; Клюкин, 1995; Винокуров, Никонов, 1998; 2004; 2015; Борисенко и др., 1999; и др.].

СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МЫСА ЗЮК

Мыс Зюк расположен на севере Керченского п-ова, в области развития обращенных положительно и отрицательно морфоструктур

[Благоволлин, 1962]. Ядра антиклинальных складок представлены денудационными котловинами, выработанными в относительно рыхлых майкопских или среднесарматских глинах (рис. 1). Они окаймляются эллиптическими известняковыми грядами, сложенными массивными мэотическими и позднесарматскими мшанковыми рифами.

По относительно неглубокому залеганию мезозойских пород, глубокому эрозионному срезу неогеновых отложений и поднятию позднеплейстоценовых морских террас в этой области выделяется Приазовское поднятие, объединяющее две антиклинальные зоны субширотного простирания [Геология..., 1992; Никонов, 1994; Трифонов, Караханян, 2004]. С севера Приазовское

поднятие ограничено Южно-Азовским активным разломом, который следует вдоль берега Азовского моря, выходя на сушу лишь на коротких отрезках [Никонов, 1994; Овсяченко и др., 2015; 2017]. В северном крыле разлома расположена область активного современного осадконакопления мелководной котловины Азовского моря.

Молодые тектонические деформации в Керченско-Таманском Приазовье распределены неравномерно. По деформациям осадков позднеплейстоценовых морских террас восстанавливается поднятие побережья относительно котловины Азовского моря. Средняя скорость поднятия оценена в 0.3–0.5 мм/год

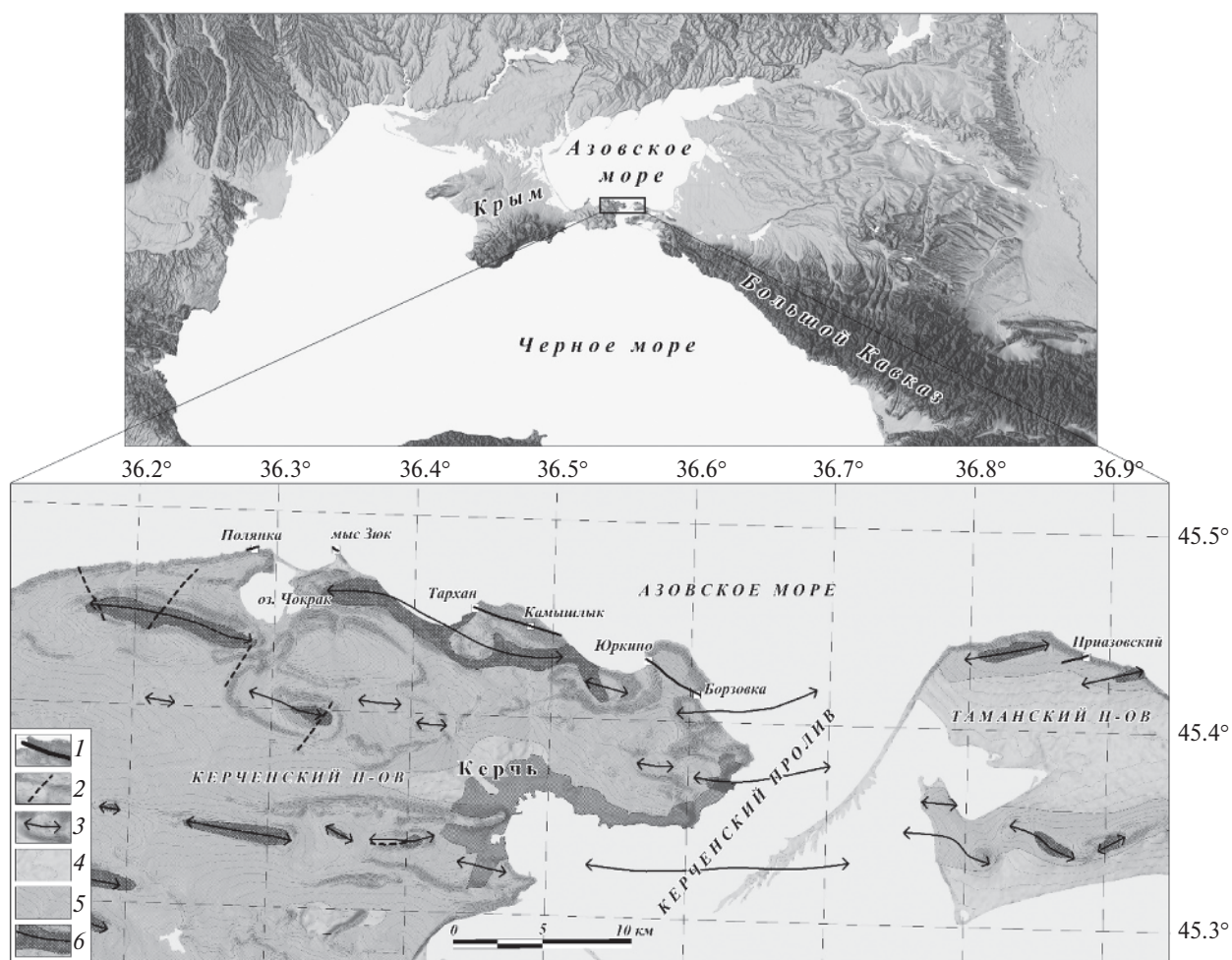


Рис. 1. Обзорная и структурно-геологическая схемы Крымско-Таманского Приазовья. Составлена с использованием геологических карт: [Самулева и др., 1970; Шнюков и др., 1981; Корсаков и др., 2001]: 1 – активные разломы (сегменты Южно-Азовского разлома) с изученными следами сеймотектонических подвижек прошлого (квадраты – места детального изучения) [Овсяченко и др., 2015; 2017]; 2 – прочие активные разломы; 3 – оси антиклинальных складок; 4 – четвертичные отложения; 5 – неогеновые (верхнемиоцен-плиоценовые) отложения; 6 – майкопская серия (олигоцен–нижний миоцен).

для последних 100–50 тыс. лет на Керченском п-ове [Никонов, 1994], и 2–3 мм/год для позднего голоцена на Тамани [Трифонов, Караханян, 2004]. По данным детального палеобиогеографического анализа кернов скважин, пробуренных на берегах оз. Чокрак, восстанавливается опускание этой озерной котловины со скоростью 0.4 мм/год для последних 5–6 тыс. лет [Kelterbaum et al., 2012].

Географически мыс Зюк – самая северная точка Керченского п-ова. Причем, таковым он, судя по анализу текста известного географа II в. н. э. Клавдия Птолемея и самому названию упомянутого выше городка, был и в античную эпоху. Как положительная форма рельефа, мыс существует в значительной мере благодаря прочности нескольких мшанковых рифов, пространство между которыми выполнено глинами, мергелями и обломочными отложениями. Самый крупный риф, изрубленный отвесными обрывами и расселинами, образует скальную оконечность мыса (рис. 2). От коренного берега мыс отделен плоской песчано-ракушечной низменностью. Низина как морская терраса имеет очень молодой возраст – в последний раз она целиком затапливались морем во время штормового нагона

в 1890 г. [Клюкин, Корженевский, 2004]. Мыс Зюк, по всей видимости, получил выражение в качестве положительной структуры уже в позднем миоцене, индикатором чего являются мшанковые рифы мэотиса, формирование которых четко связано с морскими отмелями на сводах растущих антиклинальных складок.

Чрезвычайно удобное расположение мыса (две гавани у его основания, широкий обзор окрестностей, относительная труднодоступность) делали его весьма привлекательным местом в эпоху освоения Приазовья древними греками. Однако показательно, что впоследствии, вплоть до середины XIX в., ни он, ни его ближайшая округа не были заселены вовсе. Одной из причин этого мог стать также и палеосейсмический фактор, вернее – его последствия (исчезновение, изменения режима солёности или перемещение местного подземного пресноводного горизонта).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Важнейшим источником информации о сильных землетрясениях прошлого (сотни и тысячи лет), необходимой для полной и достоверной оценки силы и повторяемости крупных сейсмических событий, являются, помимо



Рис. 2. Мыс Зюк. Общий вид с востока.

прямых или косвенных письменных свидетельств, данные палео- и археосейсмологических исследований.

Распознавание сейсмической природы повреждений археологических памятников и прежде всего остатков построек наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Использование кинематических индикаторов деформаций в древних сооружениях представляет собой эффективный количественный инструмент для решения главных задач археосейсмологической науки: а) выявления генезиса деформаций археологических памятников; б) оценки местной интенсивности сейсмических колебаний; в) локализации эпицентров методом, независимым от сейсмической сети и дополняющим ее; г) идентификации зон с сейсмически наведенной деформацией сжатия и растяжения; д) продлении сейсмической летописи на временной интервал в сотни и тысячи лет [Korzhenkov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001; и др.]. Археологические и историко-архитектурные исследования некоторых древних строительных комплексов Керченского п-ова, изученных нами с помощью археосейсмологического метода, уже позволили с той или иной степенью вероятности датировать и параметризовать выявленные здесь сейсмические разрушения [Винокуров и др., 2015; Белик и др., 2016; Корженков и др., 2016а; б; 2017; Масленников и др., 2017].

Для реконструкции древних сейсмических событий наравне с археосейсмологическим использован давно опробованный и постоянно совершенствуемый палеосейсмологический подход. Он был предложен, основываясь на том, что сильнейшие землетрясения далекого, в том числе доисторического прошлого с положением очага в земной коре оставляют на поверхности геологические следы — палеосейсмодислокации [Флоренсов, 1960; Солоненко, 1962]. Основная задача исследований в таком случае сводится к выявлению и изучению всех возможных следов сейсмогенной активности в молодых отложениях и формах рельефа — первичных сеймотектонических разрывов, отражающих выход очага сильного землетрясения на поверхность, и вторичных нарушений — оползней, обвалов и др. последствий сейсмических сотрясаний [Палеосейсмология, 2011; Рогожин, 2012].

Наличие на мысе Зюк массивных рифовых известняков создает благоприятные условия для

образования, согласно терминологии А.А. Никонова [Никонов, 1995], сейсмогенных деформаций встряхивания и выброса. Подобные деформации могут быть представлены трещинами, расселинами, местными провалами, возникающими над пустотами, или за счет уплотнения отложений, «расседания» скальных гребней и выступов склонов. Деформации выброса отражают редкие случаи выбрасывания и перебрасывания скальных блоков, глыб и грунтовых масс по воздуху. Эти перебросы по траекториям разной крутизны возникают, когда локальные пиковые ускорения мгновенно превышают ускорение силы тяжести [Никонов, 1995]. Для оценки интенсивности палеоземлетрясений по геологическим эффектам использована шкала ESI (Environmental seismic intensity), разработанная в рамках проекта международной геологической организации INQUA [Michetti et al., 2007].

ПАЛЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проявления выхода очага сильного землетрясения на поверхности

В южной части мыса, в стенке отрыва современного оползня, была изучена ассиметричная антиклинальная складка, осложненная пологим надвигом (рис. 3). Ядро складки сложено сильно деформированными среднесарматскими глинистыми породами (аргиллитами без следов первичной слоистости). На юго-западное крыло складки надвинуты выветрелые позднесарматские известняки, которые оказались переотложены в противоположном, северо-восточном крыле, захоронив здесь палеопочву. Литолого-фациальные особенности переотложенных образований свидетельствуют о том, что их накопление произошло очень быстро, в условиях резкого изменения крутизны склона и появления условий для обваливания крупных глыб. Задokumentированную структуру можно интерпретировать в качестве вала сжатия, возникшего в пределах сеймотектонического разрыва. Определить ориентировку вала сложно; возможно, он простирается в северо-западном направлении. В то же время, ясно, что вал имеет косую ориентировку по отношению к простиранию всей зоны Южно-Азовского разлома, что может свидетельствовать о сдвиговой кинематике смещений. Не исключено, что в образовании вала существенную роль сыграл диапиризм — тектоническое течение глинистого материала

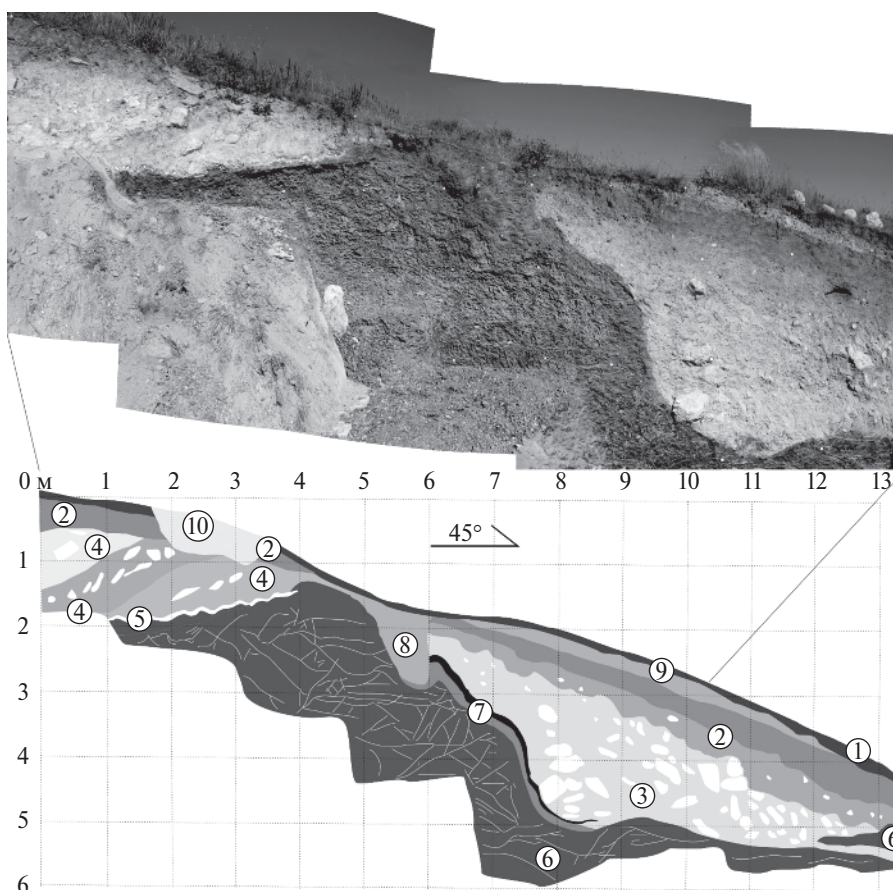


Рис. 3. Строение приразломной антиклинальной складки. Стенка расчистки, положение см. на рис. 4б: 1 – дерновый горизонт современного степного чернозема; 2 – почвенный гумус (чернозем) с мелкой крошкой известняков и обломками античной керамики со следами грубой окатанности (культурный слой) к низу плавно переходящий в иллювиальный супесчано-дресвянный горизонт; 3 – коллювий (глыбы, щебень известняков с пылеватым желтовато-коричневым супесчано-дресвяным заполнителем, который содержит обожженные кости и оббитую гальку из коренных конгломератов); 4 – слои детритовых песков с глыбами известняков, сохранивших черты коренного залегания (выветрелые миоценовые известняки среднесарматского подъяруса); 5 – белая известь, перетертая до порошка и смятая в дисгармоничные складки (тектонический разрыв); 6 – черные аргиллиты с разноориентированными, гипсово-лимонитовыми жилами покрытыми субгоризонтальными бороздами скольжения (светлые линии) и трещинами отдельности (нижний-средний сармат); 7 – палеопочва с тонким, обугленным дерновым горизонтом и известковыми примазками; 8 – выполнение окопа времен Великой Отечественной войны; 9 – отвалы окопа; 10 – оплывина.

и его протрузивное выдавливание к дневной поверхности по зоне разлома.

Образование вала пока можно датировать только по археологическим данным, с учетом того, что после этого события успел оформиться зрелый почвенный профиль. Профиль венчается относительно мощным культурным слоем (гумусовый горизонт почвенного профиля в условиях интенсивной хозяйственной деятельности человека), сложенный черноземом с крошкой известняков и равномерно рассеянными обломками керамики со следами грубой окатанности. Наиболее ранние образцы керамики датируются концом (второй половиной) IV в. до н. э. – началом III в. до н. э. Наиболее

поздние образцы отнесены к IV–VI в. н. э. Самая ранняя датировка дает нам верхнюю возрастную рамку интервала, в котором произошло сильное землетрясение с выходом очага на поверхность. К этой очень расплывчатой дате близок возраст каких-то разрушений, сопровождавшихся пожаром и произошедших на рубеже V и IV вв. до н. э. или немного позже [Масленников, 1992]. Не ранее указанного времени датированы наконечники стрел скифского типа. Не исключено, что с этими разрушениями связан чрезвычайно странный человеческий костяк, расчищенный в толще золы и мусора на северо-восточной окраине городища. Мысль о его захоронении исключается вследствие неестественного

положения — на животе, вниз лицом, голова ниже ног, вывернутые руки и ноги. Создается впечатление, что некто, вероятнее всего, уже покойником был сброшен/упал с обрыва и был довольно быстро засыпан мусорным слоем с горища.

Вторичные сейсмические эффекты

В северной части мыса, сложенной мшанковыми рифами, нами изучены разнообразные нарушения скальных массивов. Происхождение большинства из них может быть связано с выветриванием, абразией, деятельностью человека на протяжении последних 2.5 тыс. лет или с ожесточенными боями во время Великой Отечественной войны, но некоторые имеют очевидные и яркие следы мощного динамического воздействия (рис. 4).

На северном окончании мыса вертикальный скальный гребень высотой около 15 м косо

рассечен субвертикальной расселиной с простиранием 340° (рис. 5, положение см. на рис. 4 — «расселина с разворотом»). У основания скального обрыва трещина выглядит как тектонический разрыв — закрытый, с субгоризонтальными бороздами скольжения. В верхней части, где расселина постепенно расширяется до 1.2 м, в ней застряли рухнувшие сверху глыбы. Кроме того, отсеченный расселиной фрагмент гребня испытал разворот против часовой стрелки вокруг вертикальной оси, что может свидетельствовать о мощных сейсмических воздействиях на скальный массив, либо о сейсмотектонической подвижке со сдвиговой кинематикой. Можно полагать, что расселина синхронна с обвалом, наблюдаемым тут же, к востоку от треснувшего гребня, послужив для формирования зоны отрыва.

Несмотря на крайнюю неуравновешенность и шаткость всей структуры, о солидном возрасте расселины говорят глубокие (до 0.5 м) карстовые каверны, покрывающие ее борта. Для

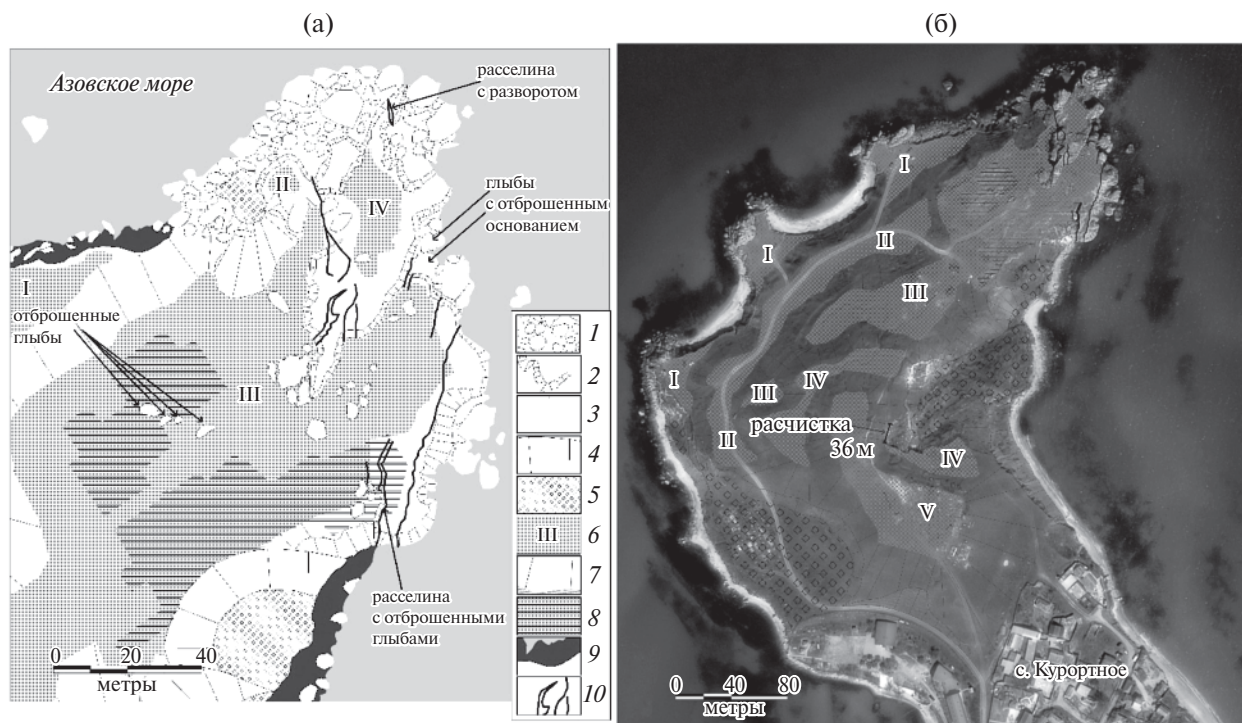


Рис. 4. Геоморфологическая схема мыса Зюк. Подписаны сейсмодислокации упоминаемые в тексте: (а) — детальная схема скального массива, сложенного мшанковыми рифами в северной части мыса; (б) — обзорная схема на основе космоснимка высокого разрешения (<http://sat01.maps.yandex.net/tiles?l=sat&x=>):

1 — нагромождения известняковых глыб (обвалы, выбросы и оползне-обвалы); 2 — отвесные скальные обрывы (стенки отрыва обвалов, выбросов, оползне-обвалов, клифы); 3 — скальный цоколь известнякового массива; 4 — цирки отрыва оползней и оползне-обвалов рыхлого чехла и глинистых коренных пород; 5 — тела оползней и оползне-обвалов; 6 — разновысотные террасовидные поверхности смешанного происхождения (сельскохозяйственно-абразионно-оползневые), римскими цифрами указана их высотная последовательность; 7 — относительно крутые (5° – 25°), задернованные, дефлюкционно-делювиальные склоны, разделяющие разновысотные террасовидные поверхности; 8 — археологические раскопы; 9 — песчаные пляжи; 10 — наиболее выразительные трещины и расселины в скальном массиве.

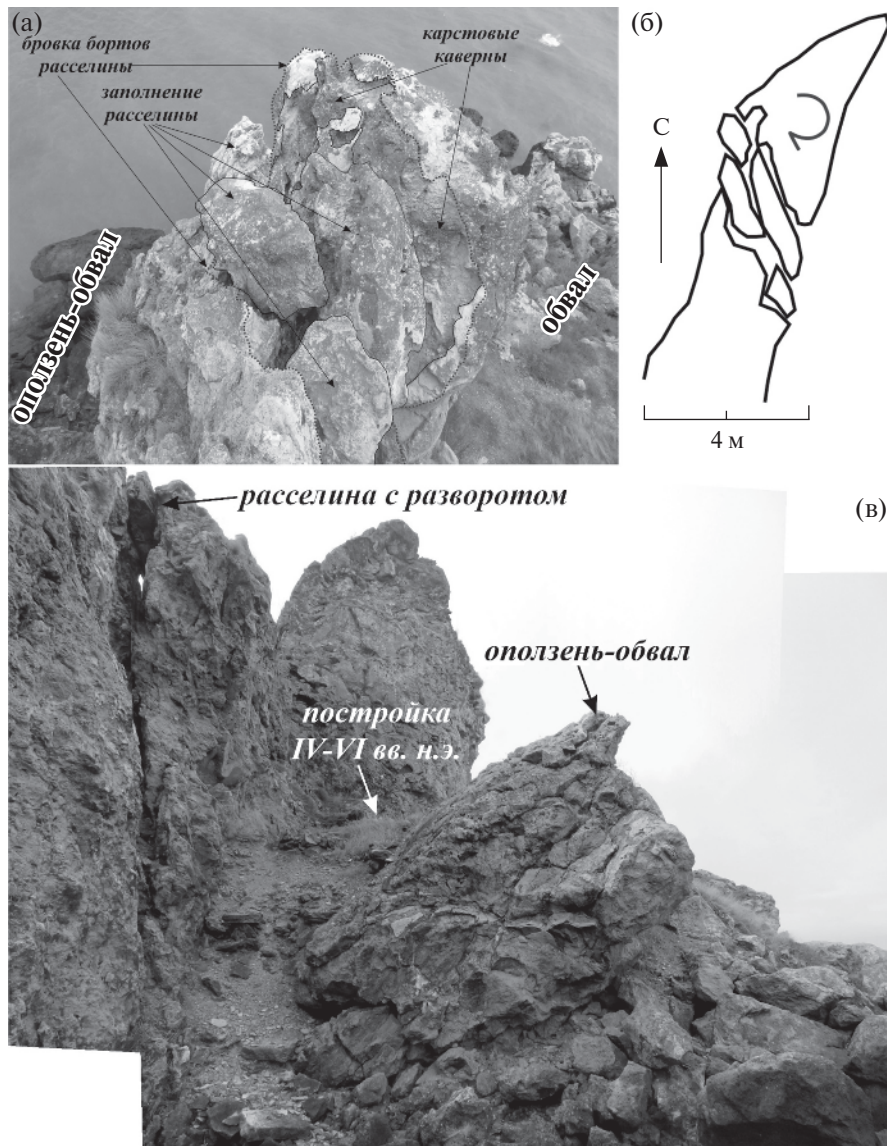


Рис. 5. Расселина с разворотом на северном окончании мыса:
 (а) – вид с юга; (б) – схематический план; (в) – вид с берега моря (с севера).

грубого определения возраста расселины можно привлечь результаты режимных наблюдений. Скорость абразии за последние 100 лет на мысе Зюк определена в 0.3 мм/год [Клюкин, 1998]. По данным 7-летних наблюдений скорость роста тыловой части грота в маастрихтских песчаных известняках горного массива Ак-Кая в Предгорном Крыму оценена в 0.5 мм/год [Душевский и др., 1979]. Приведенные оценки дают самое общее представление о скорости выщелачивания известняковых массивов в условиях Крыма. Используя эти оценки, возраст расселины составит 150–250 лет. Полученные цифры весьма условны. Определенно они могут свидетельствовать лишь о том, что возраст расселины,

а, соответственно, и последнего землетрясения, составляет первые сотни лет. В то же время, полученные цифры соответствуют дате сильного землетрясения, относимого А.А. Никоновым [1996] к 1751 г. с положением очага в зоне Южно-Азовского разлома.

Археологические данные позволяют грубо определить возраст оползня-обвала на северо-западном окончании мыса Зюк. В тыловом шве крупной глыбы была открыта небольшая постройка, пристроенная к отвесной скале – зоне отрыва оползня-обвала. Она возведена прямо на скале и датирована второй половиной IV–VI вв. н. э. [Масленников, 1992]. Это дает нам

верхнюю возрастную рамку обрушения скалы в этом месте.

В юго-восточном направлении трещины продолжают абразионным гротом без явных следов отседания, приуроченным к контакту разновозрастных толщ рифовых известняков. Южнее грота крупные блоки известняков оказались выбиты из скального обрыва на несколько (3–6) метров в восточном направлении. Основания продолговатых блоков высотой до 10 м находятся в море, а верхние части прислонены к обрыву (рис. 6, положение см. на рис. 4 – «глыбы с отброшенным основанием»). Вероятнее всего это говорит о мощном сейсмическом ударе с запада в широтном направлении. Возможен также вариант схода скального оползня по механизму оползня вращения, с поворотом глыбы вокруг горизонтальной оси за счет соскальзывания вниз по склону. Однако на морских картах (Navionics SonarChart – <http://backend.navionics.io/tile/>) глубина моря достигает 2 м примерно в 50 м от берега, что говорит об отсутствии значимого уклона. Рассмотренные глыбы расположены в тылу более крупного обвала, а самая дальняя глыба расположена в 30 м от современной скальной стенки и в 15 м от предполагаемого древнего берега моря. Основания отброшенных глыб обнаруживают следы длительного абразионного воздействия – глубокие (до 1 м и более) волно-

прибойные ниши. Между скальным обрывом и глыбами образовались сужающиеся кверху пустоты, которые были заполнены обломками известняков и пылеватыми желтовато-коричневыми супесчано-дресвяными накоплениями. Этот материал обнаруживает литологическое сходство с коллювиальными образованиями, накопившимися в северо-восточном крыле вала сжатия в южной части мыса. Здесь также отсутствуют обломки керамики, постепенно появляющиеся выше по разрезу. Заполнение пустот могло попасть сюда одним путем – постепенно сыпаться сверху в зияющие трещины. В настоящее время супесчано-дресвяные накопления размываются штормами, что говорит об их отложении в условиях более низкого уровня моря, т. е. несколько тысяч лет назад. Перечисленные обстоятельства позволяют предположить, что выброс глыб произошел по времени близко к образованию сейсмотектонического вала сжатия в южной части мыса.

Выброс глыб в субширотном (юг-юго-западном) направлении вскрыт раскопом под мощной (до 10 м) толщей золы и мусора в северо-восточной части городища [Масленников, 1992]. Здесь скальный массив оказался расщелен серией открытых трещин с простиранием $5\text{--}15^\circ$ (рис. 7, положение см. на рис. 4 – «расселина с отброшенными глыбами»). Длина

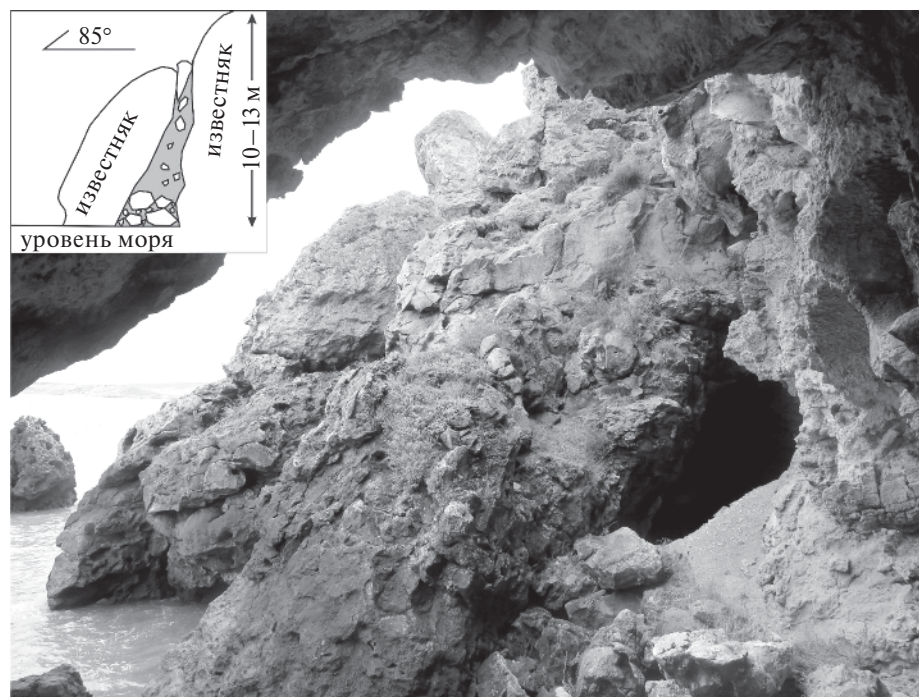


Рис. 6. Глыбы с отброшенным основанием на северо-восточном побережье мыса, вид на юг. На врезке – схематический разрез.

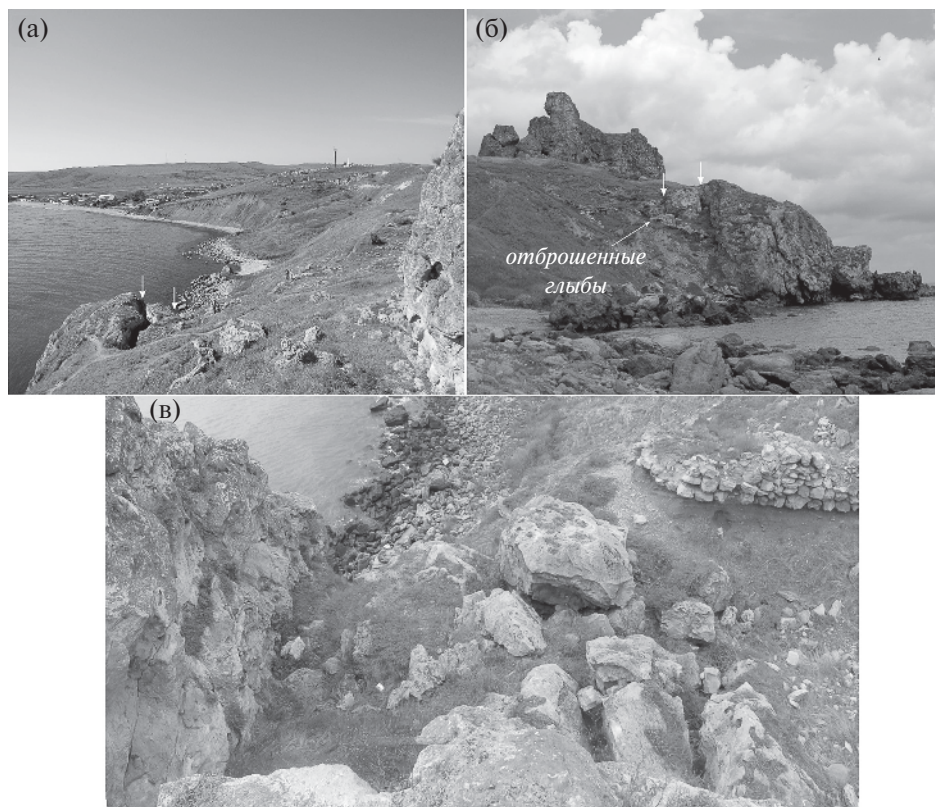


Рис. 7. Расселины с отброшенными глыбами (показаны стрелками): (а) — вид на юг; (б) — вид на север; (в) — вид на юг вблизи.

самой крупной трещины, вскрытой раскопом, достигает 30 м; ширина — 2 м. Борты расселин ступенчато понижаются в западном направлении. Высота ступеней не превышает 1 м. Примечательно, что поднятыми оказались борты расположенные ближе к морю, т. е. ниже по склону. Ближе к берегу моря расселины выкололи в известняках две отвесные скальные стенки высотой до 10 м у самой крупной. Глыбы размером до 3 м в поперечнике отлетели на расстояние, сильно превышающее высоту скальных стенок, что нельзя объяснить без мощного бокового импульса. Во время существования античного городка на мысе Зюк здесь было место мусорно-золистого сброса, функционировавшего с рубежа VI—V вв. до н. э. до середины III в. до н. э., а затем частично застроенного. Следовательно, выброс глыб произошел до рубежа VI—V вв. до н. э.

Наиболее яркие и убедительные выбросы глыб открыты раскопом в центральной части городища [Масленников, 1992]. Здесь огромные глыбы (до $2 \times 2 \times 1$ м) известняка залегают прямо на культурном слое и постройках III—I вв. до н. э. (рис. 8, положение

см. на рис. 4 — «отброшенные глыбы»). Скорее всего, глыбы откололись от коренной скалы во время известного из литературных источников и раскопок в Пантикапее (Керчь) [Блаватский, 1977] и некоторых других местах полуострова, мощного землетрясения 63 г. до н. э. [Масленников, 1992]. Интенсивность землетрясения непосредственно на городище Зенонов Херсонес была в свое время оценена в 9 баллов [Геология..., 1992]. Самая дальняя глыба расположена в 45 м от современной скальной стенки и в 35 м от предполагаемого древнего скального обрыва. У основания обрыва (в 2—4 м) наблюдаются самые крупные отброшенные блоки до 8 м в поперечнике. Направление выброса — запад-юго-запад (245° — 255°). В это же время, возможно, почти полностью была разрушена и потом разобрана ранняя оборонительная стена городища, разрушены стены большинства строений. В результате, общая планировка и облик городка со второй половине I в. до н. э. изменился самым решительным образом [Масленников, 1992].

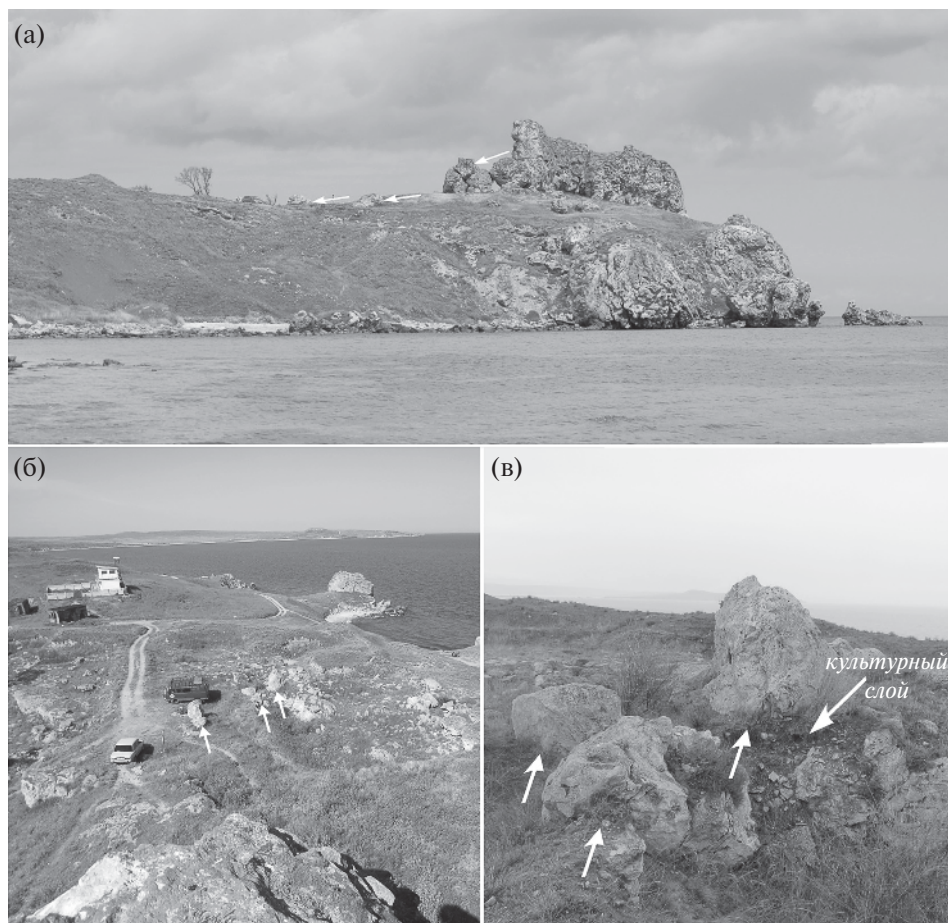


Рис. 8. Отброшенные глыбы, открытые раскопом в центральной части городища. Стрелками показано предполагаемое направление выброса: (а) – вид на северо-запад; (б) – вид на юго-запад; (в) – вид на юго-запад вблизи.

АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2017 г. нами были проведены археосейсмологические исследования на археологическом памятнике Мыс Зюк (рис. 9). Был выявлен ряд деформаций, которые по их морфологическим признакам мы отнесли к повреждениям и разрушениям, возникающим при сильных сейсмических колебаниях.

Наклоны строительных элементов

Наклоны стен и других строительных элементов являются типичными деформациями, возникающими во время сильных землетрясений. Стена, перпендикулярная направлению сейсмических колебаний, наклоняется в сторону их источника вследствие сил инерции. Следует отметить, что стены могут наклоняться и падать от других причин, таких как военные динамические воздействия, а также «старения и усталости» покинутой строительной

конструкции со временем. Надежными критериями отделения сейсмических наклонов и разрушений от прочих является их систематическая повторяемость для стен определенных ориентировок [Корженков, Мазор, 2001]. Важным является также наблюдение, когда древние стены наклоняются не вниз по склону, как этого следовало бы ожидать под воздействием сил гравитации, но против уклона местности или наискосок этому уклону.

В раскопанной части поселения на мысе Зюк подобные повреждения получили плиты древнего водостока (т. н. 17–14 рис. 9). Водоотводное сооружение имеет ЮВ простирание (135°). Две параллельные боковые плиты наклонились на ЮЗ (рис. 10) под углом $71\text{--}77^\circ$.

Остаток мощной (городской?) стены II–I вв. до н. э. [Масленников, 1992] в раскопе 2 (т. н. 17–17), имеющей азимут простирания 100° , немного наклонился на север под углом 80° (рис. 11). Его верхняя часть целиком также выдвинулась в том же направлении по нижнему ряду

каменной кладки на 20 см. Важно отметить, что эти деформации направлены против общего уклона местности.

Смещения рядов каменной кладки

В северной части раскопа № 2 (рис. 9, т. н. 17–11) имеется стена III–IV вв. н. э. [Масленников, 1992]. Она сложена из рваного, почти необработанного камня и сохранилась лишь на высоту 2-х камней (рис. 12). Тем не менее, хорошо выражено смещение верхнего ряда кладки на СЗ на расстояние 8–13 см. Простирание стены 49°.

Еще одно похожее смещение – выдвигание фрагмента стены из нижнего ряда каменной кладки было отмечено нами в стене II–I вв. до н. э. 7 камней, составляющие этой фрагмент, были выбиты в ЮВ направлении на расстояние в 15–30 см (рис. 13). Простирание верхнего (оставшегося на месте) фрагмента стены 58°.

(a)



(б)

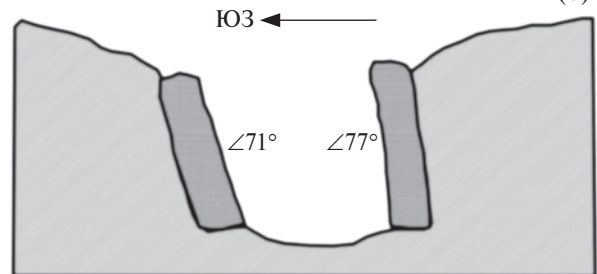


Рис. 10. Наклон на ЮЗ боковых плит водостока на раскопе № 3, т. н. 17–14.

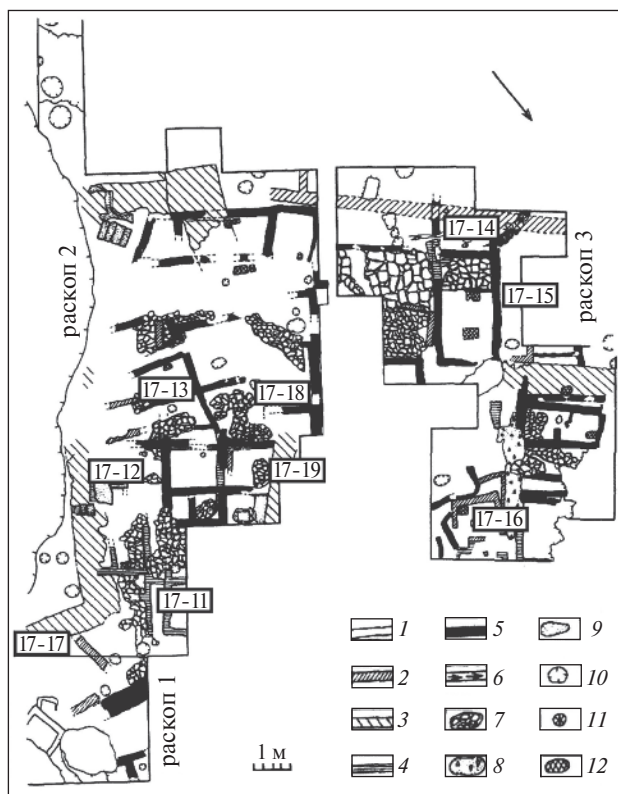


Рис. 9. План-схема строительных остатков поселения на мысе Зюк [Масленников, 1992 с изменениями и дополнениями]: 1 – стены V–IV вв. до н. э.; 2 – стены III–II вв. до н. э.; 3 – стены II–I вв. до н. э.; 4 – стены III–IV вв. н. э.; 5 – стены I–VI вв. н. э.; 6 – водостоки; 7 – каменные вымостки; 8 – щебенчатые вымостки; 9 – цемянка виноделен; 10 – ямы; 11 – жертвенники; 12 – печи. В прямоугольниках указаны номера точек наблюдения.

Латеральные (в плане) изгибы и изломы стен

Латеральные в плане изгибы и изломы сравнительно длинных стен могут свидетельствовать об их колебаниях в горизонтальной плоскости во время сильных землетрясений. В центре такой стены, закрепленной по краям перпендикулярными стенами, имеется максимальная свобода для колебаний, направленных перпендикулярно простиранию рассматриваемой стены [Korjenkov, Schmidt, 2009; Корженков и др., 2017]. Подобное отклонение от прямой в плане линии наблюдалось нами в стене I–VI вв. н. э. [Масленников, 1992]. Субширотная стена остаточной высотой в один камень имеет изгиб на север (рис. 14). Азимут простирания изогнутой стены меняется от 100 до 125°.

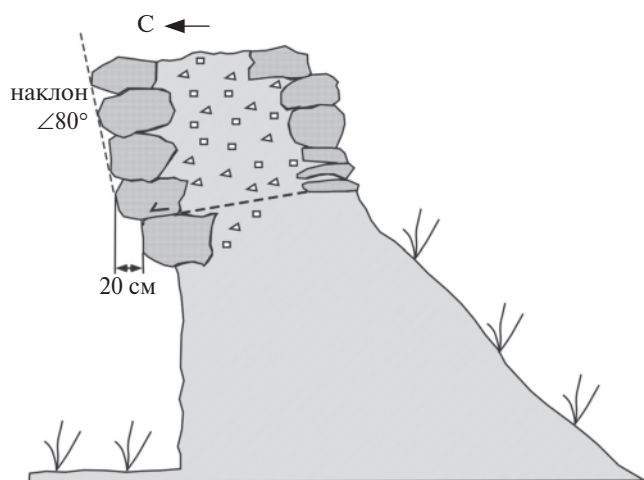


Рис. 11. Схематическая зарисовка. Наклон и выдвигание нижней части городской (?) стены II—I вв. до н. э. на север в раскопе № 2.

Более хрупкие стены могут претерпеть излом в своей центральной части. Так, остатки стены I—VI вв. н. э. [Масленников, 1992] северо-восточного простирания получила излом в своей средней части (рис. 15), направленный в ЮВ направлении. СВ отрезок стены также наклонился в СЗ направлении под углом 80° .

Не следует, вероятно, предполагать изначально плохое качество строительства. Плохо, неровно построенные стены, приведут к очень скорому разрушению всей строительной конструкции без всяких землетрясений, а даже от сильного ветра и статической нагрузки верхних частей здания. Об этом знали древние строители и старались строить добротнo. Ко всему прочему, некачественно построенное здание, как и сегодня, не было бы оплачено заказчиком.

Вращения строительных элементов

Вращение элементов строительных конструкций вокруг вертикальной оси — довольно частое явление в постройках, попавших в эпицентральные зоны сильных землетрясений. Отдельные камни, фрагменты стен и стены целиком могут повернуться по (или против) часовой стрелке в случае, если направление прихода сейсмических колебаний направлено под углом к простиранию стены [Korzhentkov, Mazor, 1999].

Подобную деформацию при сильном землетрясении получила стена II—III вв. н. э.



Рис. 12. Смещение на СЗ верхнего ряда кладки в стене III—IV вв. н. э. Нижний ряд каменной кладки (на нем лежит компас и чехол от него) вместе с грунтом сместился во время землетрясения к ЮВ, а нижний — вследствие инерции остался на месте.



Рис. 13. Выбивание нижнего из нижнего ряда каменной кладки фрагмента из 7 каменных блоков на ЮВ в стене II–I вв. до н. э.



Рис. 14. Выгиб при землетрясении субширотной стены I–VI вв. н. э. на север. Раскоп № 2, т. н. 17–13.

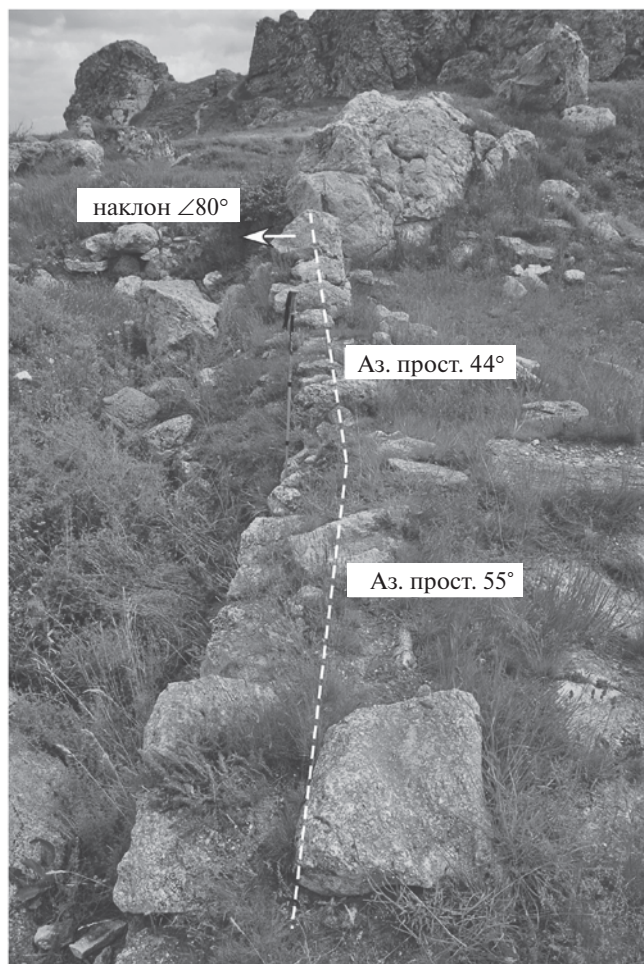


Рис. 15. Излом стены I–VI вв. н. э. в ЮВ направлении. Раскоп № 3, т. н. 17–15.

[Масленников, 1992] ЮВ простирания в раскопе 3 (т. н. 17–16). Стена сохранилась на высоту лишь в два ряда каменной кладки. Повернулся фрагмент верхнего ряда (рис. 16) против часовой стрелки на 10° . Кроме поворота, поврежденный фрагмент стены еще и выдвинулся целиком к СВ на расстояние в первые десятки сантиметров.

Еще один поворот того же направления был отмечен нами в останце стены I–VI вв. н. э. [Масленников, 1992], сохранившейся лишь в один-два ряда каменной кладки (рис. 17). Ее первоначальное простирание было 142° . Три каменных блока, как единый фрагмент длиной в 3 м, повернулись против часовой стрелки на 11° . Ширина стены (ширина одного каменного блока) – 45–50 см. Ее высота над днищем раскопа 50 см.

Стены-подпорки (крепиды)

В центральной части раскопа № 2 сохранились нижние фрагменты двух параллельных стен, присоединенных друг к другу вплотную (рис. 18). Одна из стен, по-видимому, является подпорной. СВ стена (азимут простирания 125°) является более высокой: она сохранилась на уровень двух рядов каменной кладки, ее ширина 55 см. ЮЗ стена (азимут простирания 135°) сохранилась на высоту в один ряд камней. Она более широкая – 75 см, именно поэтому мы предполагаем ее поддерживающий статус. Первичная стена (СВ) была построена раньше, но она по-видимому была повреждена при сильном землетрясении: наклонилась на ЮЗ. Чтобы сохранить ее от разрушения, позднее была пристроена стена-крепида с ЮЗ. Возраст обеих стен определен А.А. Масленниковым [1992] как I–VI вв. н. э.

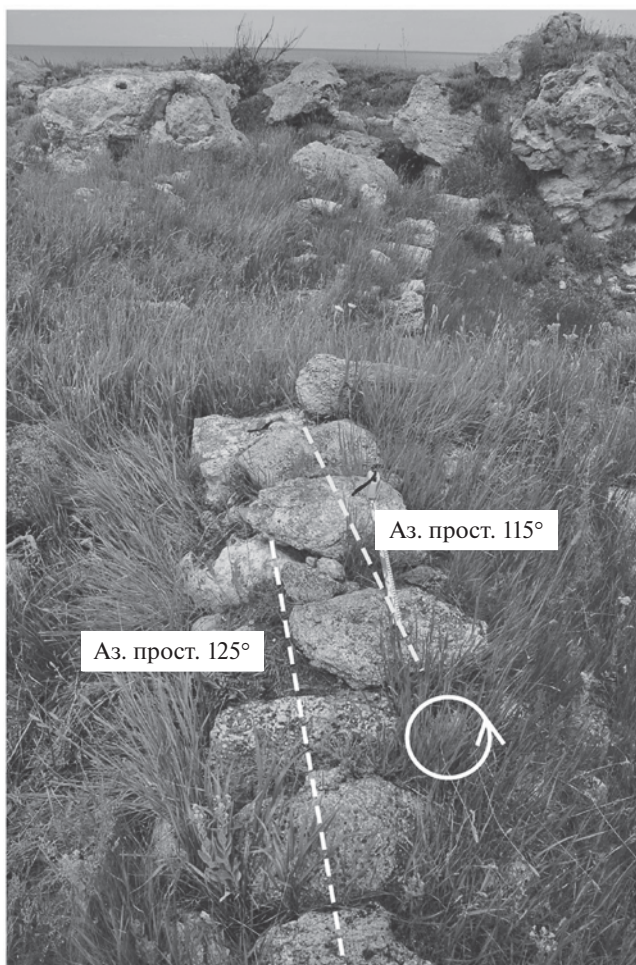


Рис. 16. Разворот против часовой стрелки на 10° сохранившегося верхнего ряда кладки в стене III–II вв. до н. э. ЮВ простирания в раскопе № 3 (т. н. 17–16).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Хорошая изученность памятника на мысе Зюк дает нам возможность сопоставить следы землетрясений с возрастом отдельных археологических объектов.

В южной части мыса выявлена структура, которую можно интерпретировать в качестве вала сжатия, возникшего в пределах сейсмостектонического разрыва сдвиговой кинематики. Поздняя возрастная рамка интервала (вторая половина IV в. до н. э. — начало III в. до н. э.), в котором произошло сильное землетрясение с выходом очага на поверхность, датирована по керамике в культурном слое, «запечатывающем» деформированный разрез. Ранее голоценовые сейсмостектонические разрывы в зоне Южно-Азовского разлома были выявлены в районе мыса Тархан, где изучен прямолинейный ров, предположительно ассоциируемый с сейсмостектоническим [Клюкин, 1995; Борисенко и др., 1999]. Позже они были обнаружены в нескольких местах на северо-западе Таманского и северо-востоке Керченского п-овов [Овсяченко и др., 2015; 2017].

На мысе Зюк остался невыясненным вопрос о выходе очага на поверхность при других землетрясениях. При этом надо иметь в виду, что морфологические типы деформаций по Южно-Азовскому разлому обнаруживают очень сильную изменчивость по простиранию. Геофизическими методами Южно-Азовский разлом детально изучен в акватории Азовского моря в районе п-ова Казантип и Арабатской стрелки [Геология..., 1992]. Зона разлома на каждом профиле меняет свой облик, количество индивидуальных разрывов, их наклон и величину в целом незначительного вертикального смещения. Направленность смещений по разлому в вертикальной плоскости меняется в разновозрастных геологических комплексах — если в низах майкопской серии и мел — эоценовых отложениях по геофизическим данным фиксируется резкое погружение южного крыла, то на уровне неоген—четвертичных осадков это же крыло поднято. Такая изменчивость морфологии смещений по простиранию и разрезу характерна для разломов с существенной компонентой смещений в горизонтальной плоскости. В молодых отложениях разрывные смещения были выявлены на нескольких участках прибрежного обрыва, постоянно обновляемого активной абразионно-оползневой деятельностью (см. рис. 1).

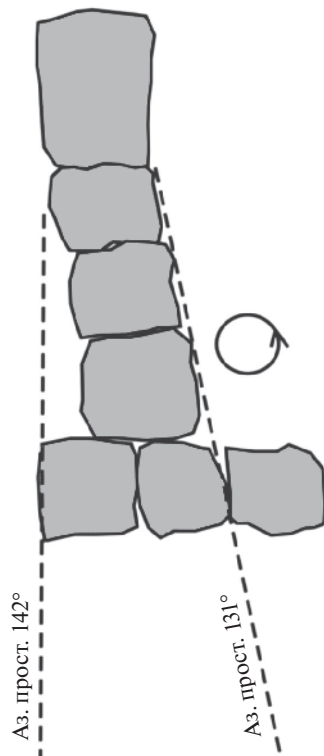


Рис. 17. Поворот фрагмента стены I–VI вв. н. э. в раскопе № 2 (т. н. 17–18). Схематическая зарисовка.

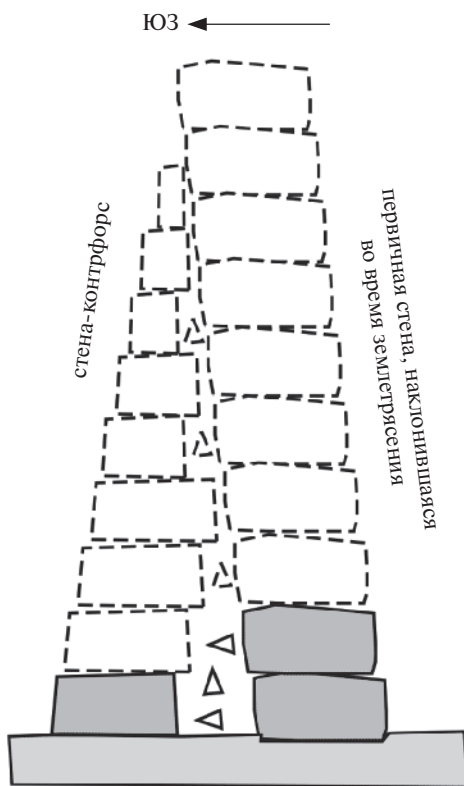


Рис. 18. Схематическая зарисовка. Остатки основной стены и стены-подпорки, пристроенной позже для предотвращения обрушения первичной стены. Возраст обеих стен I–VI вв. н. э. Раскоп № 2, т. н. 15–12.

В изученных разрезах разлом демонстрирует чрезвычайно изменчивый облик – от надвигов до пологих сбросов и субвертикальных правых сдвигов.

Изменчива по простиранию и преобладающая ориентировка выраженных в рельефе нарушений в скальных массивах. В 4.5 км к западу от мыса Зюк нами был изучен район античного поселения Полянка [Масленников и др., 2017]. Здесь, в рифовых известняках была прослежена ортогональная система прямолинейных расселин СЗ (305–325°) и СВ (60–75°) простирания (рис. 19). Система имеет четкую морфоструктурную позицию и вытянута вдоль берега моря в широтном направлении не менее чем на 600 м. В отличие от мыса Зюк, где основные расселины

вытянуты в субмеридиональном направлении, здесь происходит разворот системы нарушений. Это может быть обусловлено сменой ориентировки поля тектонических напряжений и положения относительно индивидуальных очагов в системе сегментации Южно-Азовской сейсмогенерирующей зоны.

В районе Полянки основные черты деформаций имеют характерные признаки тектонических. Также все они носят следы неоднократных катастрофических обновлений. Строение разрывов СВ простирания прослежено в недрах непосредственно в прибрежном обрыве и по данным профильных геофизических исследований по методике MASW (сейсморазведочный метод многоканального анализа поверхностных волн). Разрывы, прекрасно

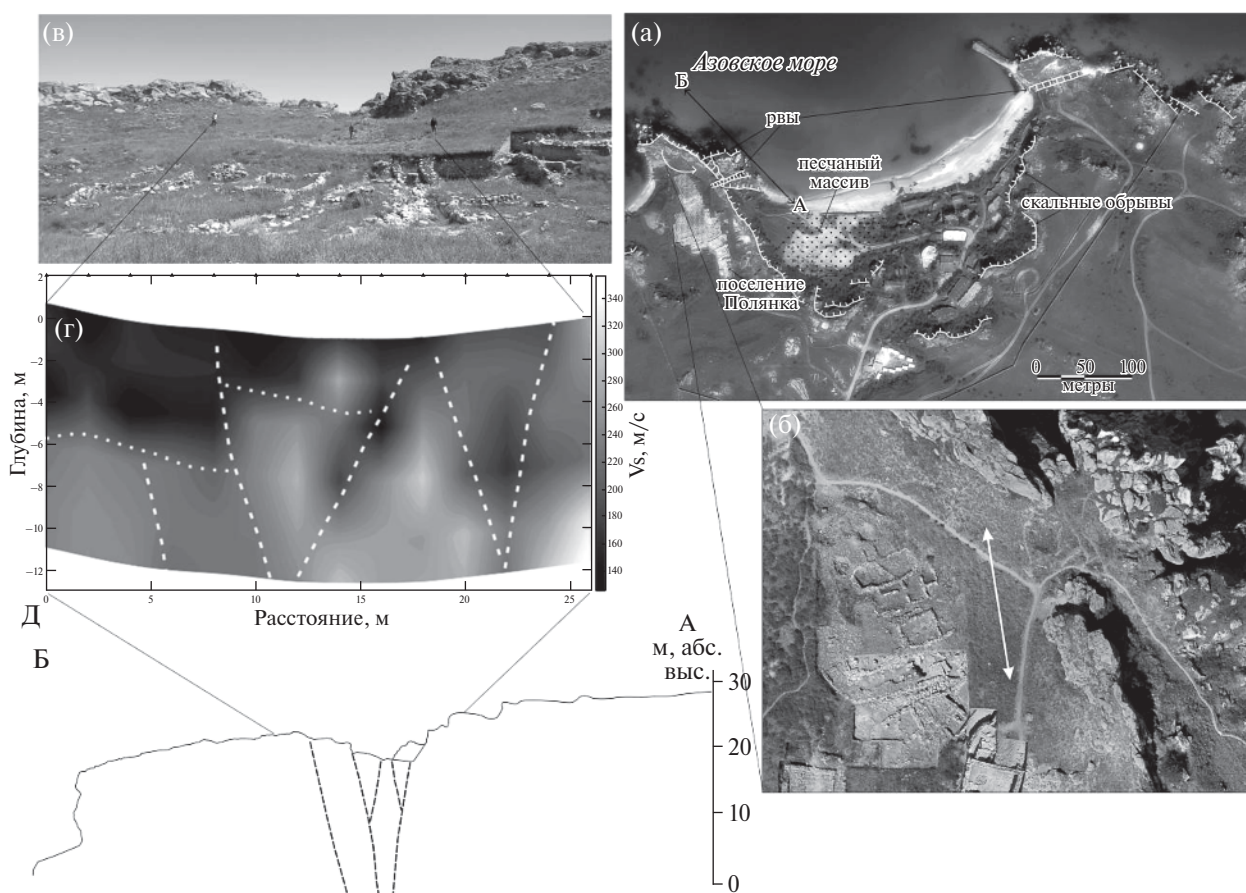


Рис. 19. Геофизические исследования на археологическом памятнике Полянка: (а) – геоморфологическая схема района городища Полянка на основе космоснимка высокого разрешения (<http://sat01.maps.yandex.net/tiles?l=sat&x=>). Белой стрелкой к северу от Полянки показано направление разворота скального массива; (б) – положение сейсморазведочного профиля MASW на аэрофотоснимке городища Полянка; (в) – фото расселины СВ простирания и положение профиля MASW на местности, вид на восток; (г) – скоростной разрез поперечных сейсмических волн вкрест простирания расселины СВ простирания. На разрезе близгоризонтальными линиями показана подошва низкоскоростного слоя (наносы или культурные слои городища); крутонаклонными – низкоскоростные зоны потери прочностных свойств (предполагаемые тектонические разрывы); (д) – схематический профиль с предполагаемым трассированием тектонических разрывов в недра (штриховые линии) по данным сейсморазведки и непосредственных наблюдений, линия А–Б на геоморфологической схеме.

выраженные в рельефе, не могут быть следствием расседания массива под действием лишь одной силы тяжести. В то же время, в скальных породах у высокого прибрежного обрыва тектонические смещения могли быть увеличены за счет силы тяжести.

Наблюдаемые на мысе Зюк расселины массивного мшанкового рифа и выбросы глыб, прекрасно выраженные в рельефе, также не могут быть следствием расседания массива под действием силы тяжести, выветривания, абразии или деятельности человека. Они имеют четкие признаки воздействия мощных сейсмических импульсов — аномальные отбросы глыб или расселины с разворотом бортов. Как и в районе Полянки, на мысе Зюк деформации могли быть усилены силой тяжести. Тем не менее, можно полагать, что в совокупности описанные нарушения отвечают интенсивности IX баллов согласно шкале ESI. Для этого использованы следующие параметры: ширина (более 1 м) и длина (видимая до 30 м) трещин, а также аномально далекие (до 35 м) отбросы глыб в горизонтальном направлении.

В разновозрастных сейсмодислокациях отмечается изменчивость перечисленных параметров. Приведенные выше максимальные параметры получены для сейсмодислокаций более ранних генераций: 63 г. до н. э.; ограниченной верхней возрастной рамкой — вторая половина IV в. до н. э. — начало III в. до н. э. и до рубежа VI—V вв. до н. э.

Самая молодая генерация, изученная на северном окончании мыса, где вертикальный скальный гребень рассечен субвертикальной расселиной с признаками тектонического разрыва со сдвиговой кинематикой смещения. Расселина с провисающими глыбами является результатом последнего землетрясения, о чем определенно свидетельствует ее нахождение в очень хрупком равновесии. Можно полагать, что расселина одновозрастна с обвалом, наблюдаемым тут же, к востоку от треснувшего гребня, послужив заколом для формирующейся зоны отрыва. Отбросы глыб размером до 8 м в поперечнике по азимуту 70–80° не превышают 15–17 м в горизонтальном направлении от предполагаемого древнего скального обрыва и сопоставимы с высотой последнего. Это позволяет заключить, что интенсивность последнего события была менее IX баллов по шкале ESI. Скорее всего, событие произошло первые сотни лет назад;

возможно в XVIII в. (см: [Никонов, 1996; Белик и др., 2016]).

Исходя из датировки постройки, возведенной в тыловом шве оползня-обвала на северо-западном окончании мыса Зюк, еще одно предполагаемое событие можно датировать верхней возрастной рамкой — вторая половина IV вв. н. э. При этом произошло обрушение глыб размером до 12 м в поперечнике по азимуту 325–335°. Упомянутая постройка погибла вместе с городищем и была целиком засыпана землей и щебнем [Масленников, 1992].

Окончательное разрушение городища на мысе Зюк произошло примерно в первой трети—середине VI в. н. э. Оно было всеобщим и катастрофическим. Развалины практически повсюду покрыты слоем пожара с завалами камней и человеческими костями в отдельных местах. Можно предположить, что это была не локальная катастрофа, так как, видимо, одновременно погибли или разрушались и некоторые другие города Боспора, а также соседние поселения Крымского Приазовья [Масленников, 1992]. Следы сейсмических деформаций выявлены и в самом последнем строительном комплексе городища на мысе Зюк, что позволяет предположить связь окончательного разрушения с сильным землетрясением. Спустя примерно 150–200 лет, в VIII—IX вв. н. э. мыс вновь ненадолго стал обитаем. Впоследствии, вплоть до середины XIX в., ни мыс Зюк, ни его ближайшая округа не были заселены вовсе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют наметить хронологию сильных сейсмических событий. В руинах археологического памятника Мыс Зюк нами были выявлены следы нескольких сильных землетрясений, которые привели к наклонам, выдвиганиям и латеральным в плане изгибам и изломам остатков стен различного возраста: от IV—III вв. до н. э. до I—VI вв. н. э. Отмечены также развороты против часовой стрелки стен ЮВ простирания, но также различного возраста. Судя по сохранности археологического памятника Мыс Зюк, сила исторических землетрясений была от I до IX баллов.

В строительных остатках нами не были зафиксированы систематические проявления сейсмических деформаций. Это может быть вызвано двумя обстоятельствами: 1) недостаточное

количество наблюдений; 2) нахождение эпицентральных зон сильных исторических землетрясений в непосредственной близости или непосредственно под археологическим памятником. Изучение геологических эффектов землетрясений позволяет полагать, что положение очага и выхода его на поверхность не были постоянными при разных событиях. Это определило разницу в интенсивности и направлении сейсмических импульсов.

В пользу выхода очага сильного землетрясения на мысе Зюк свидетельствует обнаружение сеймотектонической деформации позднеголоценовых отложений, датировка которой ограничена верхней возрастной рамкой – вторая половина IV в. до н. э. – начало III в. до н. э. Предыдущее событие датируется до рубежа VI–V вв. до н. э. Кроме них, предположительно, можно говорить еще о четырех событиях: 63 г. до н. э.; до второй половины IV вв. н. э.; первой трети–середины VI в. н. э. и XVIII столетия. Таким образом, можно предполагать, что за последние 2,5 тыс. лет мыс Зюк подвергался сильным землетрясениям 4–5 раз. Отсутствие сведений о землетрясениях между VI и XVIII столетиями, т. е. за период продолжительностью более 1000 лет, может быть связано как с продолжительной эпохой затишья между сейсмическими активизациями, так и с неполнотой собранных данных. Необходимы дальнейшие исследования на близрасположенных памятниках Азовского побережья Крыма, а также берегах Керченского пролива.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-05-01004 и 18-35-00521), а также гранта Президента Российской Федерации для поддержки научных школ № НШ-5545.2018.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блаватский В.Д. Землетрясение 63 г. до н.э. на Керченском полуострове // *Природа*. 1977. № 8. С. 56–57.

Благоволлин Н.С. Геоморфология Керченско-Таманской области. М.: изд-во АН СССР. 1962. 161 с.

Белик Ю.Л., Корженков А.М., Куликов А.В., Ларьков А.С., Мараханов А.Н., Овсюченко А.Н., Рогожин Е.А. Сейсмические деформации в стенах позднесредневековой крепости Ени-Кале в Восточном Крыму // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2016. Т. 43. № 2. С. 17–35.

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

Винокуров Н.И., Никонов А.А. О следах землетрясений античного времени на западе Европейского Боспора // *Российская археология*. 1998. № 4. С. 98–115.

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 и геодинамика района Крымской АЭС. / Отв. ред. Н.М. Гавриленко, А.В. Чекунов. К.: Наукова думка. 1992. 188 с.

Душевский В.П., Клюкин А.А., Солдатов Ю.В. Условия и скорость роста денудационных полостей в обрывах куэст Крыма. Карст Средней Азии и горных стран. Ташкент: ПО «Узбекгидрогеология». 1979. С. 49–51.

Клюкин А.А. Сейсмодислокации Керченского полуострова. Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г. Симферополь. 1995. С. 112–117.

Клюкин А.А. Абразия берегов Керченского полуострова в XX веке // *География и природные ресурсы*. 1998. № 1. С. 111–116.

Клюкин А.А., Корженевский В.В. Крымское Приазовье. Симферополь: Бизнес-Информ. 2004. 144 с.

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.

Корженков А.М., Овсюченко А.Н., Ларьков А.С. Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // *Природа*. 2016 а. № 10. С. 30–38.

Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Молев Е.А., Овсюченко А.Н., Рогожин Е.А., Хршановский В.А. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров. Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного круглого стола. СПб.: ПАЛЛАЦО. 2016 б. С. 372–381.

Корженков А.М., Ломакин Д.А., Овсюченко 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*. 2017. Т. 16. № 3. С. 5–28.

- Корсаков С.Г., Зарубин В.В., Соколов В.В., Черных В.И., Прокуронов П.В., Сааков В.Г., Ослопов Д.С. Геологическая карта РФ масштаба 1:200000. Серия Кавказская, листы L-37-IX, L-37-XV (Тамань). СПб.: изд-во карт. фабрики ВСЕГЕИ. 2001. 106 с.
- Масленников А.А. Зенонов Херсонес – городок на Меотиде. Очерки археологии и истории Боспора. М.: Наука. 1992. С. 127–141.
- Масленников А.А. О локальных геоморфологии, палеосейсмизме и археологии Крымского Приазовья или по следам древних землетрясений. Древности Боспора. Т. 17. 2013. С. 232–253.
- 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. Т. 21. 2017. С. 265–294.
- Никонов А.А. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов // Геотектоника. 1994. № 5. С. 16–28.
- Никонов А.А. Терминология и классификация сейсмогенных нарушений рельефа // Геоморфология. 1995. № 1. С. 4–10.
- Никонов А.А. Разрушительное землетрясение 1751 г. в Крыму // Физика Земли. 1996. № 1. С. 62–74.
- 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., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова // Докл. РАН. 2017. Т. 472. № 1. С. 89–92.
- Палеосейсмология. В 2-х томах / Ред. Дж. П. Мак-Калпин. М.: Научный Мир. 2011.
- Рогожин Е.А. Очерки региональной сейсмоструктуры. М.: ИФЗ РАН. 2012. 340 с.
- Самулева В.И., Балакина А.А., Алейникова П.К. Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Крымская, листы L-37-XIX/XXV / Ред. М.В. Муратов. Объяснительная записка. К.: Киевгеология. 1970. 70 с.
- Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций. М.: Наука. 2004. 668 с.
- Солоненко В.П. Определение эпицентральных зон землетрясений по геологическим признакам // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 11. С. 58–74.
- Флоренсов Н.А. О неотектонике и сейсмичности Монголо-Байкальской горной области // Геология и геофизика. 1960. № 1. С. 74–90.
- Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л., Науменко П.И., Иноземцев Ю.И., Скиба С.И. Геология шельфа УССР. Керченский пролив. К.: Наукова думка. 1981. 160 с.
- Kelterbaum D., Brückner H., Dikarev V., Gerhard S., Pint A., Porotov A., Zin'ko V. Palaeogeographic changes at Lake Chokrak on the Kerch peninsula, Ukraine, during the Mid- and Late-Holocene // Geoarchaeology. 2012. V. 27. № 3. P. 206–219.
- Korjenkov A.M., Mazor E. Earthquake characteristics reconstructed from archeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel // Isr.J. Earth Sci. V. 48. 1999. P. 265–282.
- Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpınar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Morner N.A., Ota Y., Rogozhin E. Intensity scale ESI 2007. Special paper APAT. Memorie descrittive della carta geologica d'Italia. 2007. V. 74. 41 p.

The Traces and Chronology of the Strong Historical Earthquakes on Cape Zyuk, East Crimea

A. N. Ovsyuchenko^{a,*}, A. M. Korzhenkov^a, A. A. Maslennikov^b, R. N. Vakarchuk^a,
A. S. Lar'kov^a, and A. I. Sysolin^a

^aSchmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123242 Russia

^bInstitute of Archaeology, Russian Academy of Sciences, Moscow, 117292 Russia

*E-mail: ovs@ifz.ru

Received February 28, 2018

The results of studying the geological and archaeological traces of the strong earthquakes on Cape Zyuk where the ancient settlement existed from the turn of the 6th to the 5th centuries B.C. to the first-third–middle of the 6th century A.D. are presented. The detailed knowledge gained on this monument allowed us to compile the timeline of the strong earthquakes for the past 2500 years. The detection of the seismotectonic deformation of the Late Holocene sediments indicates that the rupture of the source of a strong earthquake at Cape Zyuk extended to the surface. The dating of this event is constrained by the upper age of the second

half of the 4th century B.C. to the beginning of the third century B.C. The previous event is dated to before the turn of the 6th–5th centuries B.C. Besides these events, there were presumably another four earthquakes in 63 B.C., before the second half of the 4th century B.C., in the first third to the mid-6th century A.D., and in the 18th century. Presumably Cape Zyuk was struck by four or five strong earthquakes during the past 2500 years. The lack of information about the earthquakes between the 6th and 18th centuries, i.e., during more than a 1000-year period, can probably be related to both the long period of quiescence between seismic activations and to the incompleteness of the collected data.

Keywords: archaeoseismology, palaeoseismology, seismotectonics, seismic regime, active faults, Kerch Peninsula