

DOI: 10.53737/8959.2023.12.93.006

А.Н. Овсюченко, А.М. Корженков, Д.Е. Едемский,
А.А. Масленников, А.И. Сысолин, А.С. Ларьков**АНТИЧНОЕ ПОСЕЛЕНИЕ КАЗАНТИП ВОСТОЧНЫЙ
И СЕЙСМОТЕКТОНИКА КРЫМСКОГО ПРИАЗОВЬЯ***

В 2021 г. выполнены археосейсмологические и геолого-геофизические исследования городища Казантип Восточный II и его окрестностей. В строительных остатках и естественном окружении городища выявлены и изучены как сейсмически наведённые, так и сейсмотектонические деформации, оставленные очагом сильного землетрясения. Сейсмический очаг вышел на поверхность в пределах городища в виде сейсмотектонического разрыва и сместил одну из его стен. Величина интенсивности сейсмических воздействий была не менее $I_0 = 9$ баллов по шкале MSK-64. Можно предположить, что на памятнике зафиксированы признаки выхода очага сильного землетрясения середины I в. до н. э. (63 г. до н. э.?).

Ключевые слова: археосейсмология, сейсмотектоника, активные разломы, Керченский полуостров, Боспор, Казантип, древние сельские поселения.

Сведения об авторах: Овсюченко Александр Николаевич¹, кандидат геолого-минералогических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН; Корженков Андрей Михайлович², доктор геолого-минералогических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН; Едемский Дмитрий Евгеньевич³, кандидат технических наук, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН; Масленников Александр Александрович⁴, доктор исторических наук, Институт археологии РАН, Сысолин Александр Иванович⁵, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН; Ларьков Александр Сергеевич⁶, кандидат геолого-минералогических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.

Контактная информация: ^{1,2,5,6}123242, Россия, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10, стр. 1, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, e-mail: ¹ovs@ifz.ru; ²korzhenkov@ifz.ru; ⁵alexandr.sysolin@gmail.com; ⁶las119@yandex.ru; ³108840, Россия, г. Москва; г. Троицк, Калужское шоссе, 4, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, e-mail: deedemsky@gmail.com; ⁴117292, Россия, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, 19, Институт археологии РАН, e-mail: iscander48@mail.ru.

A.N. Ovsyuchenko, A.M. Korzhenkov, D.E. Edemsky,
A.A. Maslennikov, A.I. Sysolin, A.S. Larkov**KAZANTIP VOSTOCHNYI SETTLEMENT IN THE 1st CENTURY BCE
AND SEISMOTECTONICS OF THE CRIMEAN AZOV REGION**

In 2021, archaeoseismological and geological-geophysical surveys were carried out at the Kazantip Vostochny II settlement and its environs. Seismically induced and seismotectonic deformations have been identified both in the hillfort debris and its environment. They are generated by the source of a strong earthquake. The seismic source had cracked the surface on the settlement to form a seismotectonic rupture and displaced one of its walls. The intensity of the seismic shaking was not less than $I_0 = IX$ MSK-64 scale. It can be assumed that at the Kazantip Vostochnyi II settlement, signs of the source of a strong earthquake were recorded which took place in the middle of the 1st century BCE (63 BCE?).

* Исследования выполнены в рамках государственного задания ИФЗ РАН, георадарные исследования выполнены при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-12-00083.

Статья поступила в номер 12 июля 2023 г.
Принята к печати 30 июля 2023 г.

Key words: archaeoseismology, seismotectonics, active faults, Kerch Peninsula, Bosphorus, Kazantip, ancient rural settlements.

About the authors: Ovsyuchenko Alexander Nikolaevich¹, PhD in Geology and Mineralogy, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences; Korzhenkov Andrey Mikhailovich², Dr. habil. in Geology and Mineralogy, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences; Edemsky Dmitry Evgenievich³, PhD in Engineering sciences, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation, Russian Academy of Sciences; Maslennikov Aleksandr Aleksandrovich⁴, Dr. habil. (History), Institute of Archeology, Russian Academy of Sciences; Sysolin Alexander Ivanovich⁵, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences; Larkov Alexander Sergeevich⁶, PhD in Geology and Mineralogy, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences.

Contact information: ^{1,2,5,6}123242, Russia, Moscow, 10 B. Gruzinskaya St., build. 1, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, e-mail: ¹ovs@ifz.ru; ²korzhenkov@ifz.ru; ⁵alexandr.sysolin@gmail.com; ⁶las119@yandex.ru; ³108840, Russia, Moscow; Troitsk, 4 Kaluga Highway, Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radiowave Propagation, Russian Academy of Sciences, e-mail: deedemsky@gmail.com; ⁴117292, Russia, Moscow, 19 Dm. Ulyanova St., Institute of Archeology, Russian Academy of Sciences, e-mail: iscander48@mail.ru.

Введение

Археосейсмологические исследования иногда открывают ранее не известные страницы истории. Причина тому — крайняя ограниченность письменных источников и инструментальных сейсмологических данных. В особенности это актуально для Боспора, где известно лишь три — четыре спорных упоминания о сильных землетрясениях античного периода в письменных источниках (Блаватский 1977; Никонов 2001; Хапаев 2008; Масленников 2020). Инструментальные данные о Крымских землетрясениях имеются начиная только с 1927 г., когда произошли известные Ялтинские землетрясения (Пустовитенко и др. 2014).

Архео- и палеосейсмологические исследования позволяют решить отмеченную проблему и направлены на восстановление сейсмической истории за последние несколько тысяч лет. За последние 20—30 лет археосейсмологические исследования обрели статус самостоятельного научного направления с хорошо разработанным методическим инструментарием. Кроме совершенствования типологии сейсмогенных повреждений (Nikonov 1988; Stiros, Jones 1996; Korzhenkov, Mazor 1999; Rodríguez-Pascua et al. 2011; Kázmér 2015; Корженков и др. 2020a; Stiros 2020 и др.), получили развитие количественные методы тестирования деформаций археологических объектов (Galadini et al. 2006; Hinzen et al. 2011; Forlin et al. 2018; Schweppe et al. 2021 и др.), оценки интенсивности сотрясений (Mazor, Korjenkov 2001; Rodríguez-Pascua et al. 2011; Винокуров и др. 2015; Silva et al. 2020 и др.), а также выявления и оценки параметров очаговых зон исторических землетрясений по археосейсмологическим данным (Korzhenkov, Mazor 1999; Giner-Robles et al. 2013; Martín-González 2021 и др.). Наиболее показательны случаи, в которых очаги сильных землетрясений достигают поверхности, разрывают и смещают строительные конструкции или культурные слои (Reches Hoexter 1981; Zhang et al. 1986; Klinger et al. 2000; Korjenkov et al. 2006; Similox-Tohon et al. 2006; Galli et al. 2010; Трифонов, Кожурин 2010; Корженков и др. 2019; Molev et al. 2019; Овсюченко и др. 2020; Зубарев и др. 2022 и др.). Такие деформации маркируют проявление сейсмического очага на поверхности, а строительные конструкции и культурные слои древности служат надежным репером для определения возраста события и параметров сейсмотектонической подвижки.

Развиваемый нами подход направлен на изучение следов землетрясений по нескольким независимым источникам — в археологических и литературных памятниках, а также в

рельефе и молодых отложениях. Такие комплексные исследования успешно зарекомендовали себя в Крыму и дают возможность точной локализации очагов сильных землетрясений далёкого прошлого с продлением сейсмической летописи на тысячи лет (Корженков и др. 2016; Масленников и др. 2017; Корженков и др. 2019; Molev et al. 2019; Овсяченко и др. 2019а; Корженков и др. 2021; Овсяченко и др. 2021; Зубарев и др., 2022 и др.). Настоящая статья посвящена северо-западному уголку Боспора, где по своей археосейсмологической информативности выделяется поселение Казантип Восточный II.

Методы исследований

В районе городища Казантип Восточный II нами были выполнены археосейсмологические и геолого-геофизические исследования. Методы архео- и исторической сейсмологии направлены на выявление и параметризацию сейсмических событий путём специального анализа архитектурных и литературных памятников древности. Распознавание сейсмической природы повреждений архитектурных памятников наиболее достоверно при выявлении преимущественно ориентированного обрушения и деформирования строительных элементов. Систематические наклоны, выдвигания, обрушения, повороты элементов древних строительных конструкций, характерные для стен определенных простираний, представляют собой кинематические индикаторы характера деформаций (Korzhnikov, Mazor 1999; Mazor, Korjenkov 2001; Корженков и др. 2020 и др.).

Геологические исследования выполнены с использованием палеосейсмологического метода, основанного на том, что сильнейшие землетрясения далёкого, часто доисторического прошлого оставляют на поверхности геологические следы — палеосейсмодислокации (Солоненко 1973). Основная задача исследований сводится к выявлению и изучению всех возможных следов сейсмогенной активизации в молодых отложениях и формах рельефа (McCalpin 2009; Рогожин 2012). Идентификация сейсмических очагов наиболее однозначна при выявлении сейсмотектонических разрывов — импульсных смещений древней дневной поверхности, маркирующих собой выход очага сильного землетрясения на поверхность в зоне активного разлома. По отношению к очагу землетрясения такие нарушения являются первичными. Не менее важны исследования вторичных эффектов землетрясений, вызванных собственно сейсмическими сотрясениями.

Геофизические исследования выполнены методом георадиолокации с применением георадара «Лоза-В», укомплектованного резистивно-нагруженными антеннами с центральной частотой зондирующего сигнала 50 МГц. Амплитуда зондирующего импульса составляла 5 кВ, ширина зондирующего импульса 7—10 нс. Такой комплект антенн способен обеспечивать глубину зондирования до 10—20 с разрешающей способностью 0,25—0,5 м. В ряде работ (Koreikin et al. 2012; Едемский и др. 2018; 2021; Edemsky et al. 2021; Зубарев и др. 2022; Овсяченко и др. 2022) приведены результаты применения данных приборов для решения различных геологических задач. При интерпретации георадарных разрезов были использованы основные признаки, отражающие нарушения в разрезе типа разрывов:

1 — разрывы осей синфазности с их смещением или изменением угла наклона по субвертикальным линиям нарушения;

2 — изменение мощности георадарных комплексов по мере приближения к плоскости нарушения;

3 — образование дифрагированных волн в плоскости линий нарушений; 4 — формирование своеобразной локальной геометрии пакетов отражений с изменением волновой картины отражений.

Объект исследований и его положение относительно активных разломов

Городище Казантип Восточный II расположено в Крымском Приазовье, на юго-восточном берегу мыса Казантип (рис. 1). Здесь трассируется зона Южно-Азовского активного разлома. Разлом образует региональную границу растущей Крымско-Кавказской орогенной гряды и погружающегося Индоло-Кубанского предгорного прогиба, занятого в рассматриваемом районе мелководной котловиной Азовского моря. Молодая тектоническая подвижность и сейсмогенерирующая роль Южно-Азовского разлома были установлены уже в конце 1980-х гг., во время работ по оценке сейсмической опасности для строящейся Крымской АЭС (Геология 1992: 96—118; Никонов 1994: 23—26). Сейсмотектонические разрывы в рельефе и молодых отложениях были выявлены на мысах Казантип, Зюк и Тархан (Никонов 1994: 23—26; Клюкин 1995: 113—114; Борисенко и др. 1999: 115—116). Позже голоценовые сейсмотектонические разрывы были обнаружены нами в многих местах азовского побережья Таманского и Керченского п-овов (Овсяченко и др. 2015; 2017; 2019а; 2019б; Масленников и др. 2017; Корженков и др. 2019). Рассмотренный участок азовского побережья неоднократно служил ареной выхода очага сильного землетрясения на поверхность. Было установлено, что зона разлома следует вдоль азовского побережья Керченского и Таманского п-овов, и кое-где выходит на сушу. Средняя скорость поднятия приазовского побережья по разлому оценена в 1 мм/год для последних 20—25 тыс. лет на Керченском п-ове (Никонов 1994: 22), и 2—3 мм/год для позднего голоцена на Тамани (Трифонов, Караханян 2004: 319). Следы сильных землетрясений сохранились и в виде вторичных нарушений — специфических оползней и обвалов, имеющих признаки аномального перемещения, встряхивания, выброса или отличающиеся колоссальными размерами, а также сейсмогенных разжижений песчаных грунтов.

Археологический памятник Казантип-восточный II был обнаружен в небольшой бухте по обнажению культурного слоя в береговом обрыве (Веселов 2005: 74; Кругликова 1975: 275). Ни по микрорельефу, ни на аэрофотоснимках он не прослеживался. Вероятно, такая ситуация сложилась вследствие того, что позднейший природный катаклизм, уже после запустения поселения, перекрыл культурные напластования слоем камней и грунта мощностью от 0,2 до 0,8 м, что и скрыло памятник от визуальной разведки (Масленников, Литвинюк 2014: 41). Но ниже лежали культурные напластования, причём достаточно мощные (до 3,2 м) с неплохо сохранившимися строительными остатками. Прослежен слой общего разрушения поселения, последовавшего вслед за его запустением в III в. н.э. Всего вскрыта площадь около 640 кв. м.

Археологические исследования на памятнике проводились И.М. Безрученко в 1992, 1996—1997 гг., но опубликованы не были. Памятник, судя по всему, являлся сельским поселением с террасной застройкой. Последняя (на вскрытой части объекта) состояла из нескольких подпрямоугольных помещений, имевших единые внешние стены (блок-квартиры), разделённых узкими улицами. Анализ амфорного материала позволил А.В. Ковальчук (2013) установить довольно широкую общую датировку памятника: IV в. до н.э. — III в. н.э. с периодом расцвета в III—II вв. до н.э. В бытовании поселения выделено четыре строительных периода. В первый — (III — первая половина II вв. до н.э., от более раннего строения не выявлено), видимо, возводились постройки из сырцовых кирпичей на высоких каменных цоколях, но характер общей планировки пока не ясен. Во второй строительный период (вторая половина II в. до н.э. — I в. до н.э.) складывается регулярная и террасная планировка поселения. Постройки четвертого строительного периода (I—II вв. н.э.) возводятся на зольно-мусорных субструкциях — «подушках», что, по-видимому, должно было снизить опасность сейсмического воздействия после предполагаемого пережитого землетрясения (Ковальчук 2013: 190). Находки в целом малоинформативны и относительно немногочисленны. Во всё время бытования поселения постройки были явно одноэтажными и не имели черепичной кровли. Оборонительные сооружения пока не

обнаружены, а особенности топографии памятника столь специфичны, что их существование вообще сомнительно. На этом имеющиеся сведения о хронологии и планировке городища исчерпываются.

Археосейсмологические исследования

Наиболее эффективным и важным среди всех обнаруженных нами деформаций является разрыв каменной кладки стены, находящейся на СВ раскопанного пространства (рис. 2). Разорванной оказалась стена с простиранием 100° . Её горизонтальное смещение по правилу левого сдвига, замеренное по южному фасу, составило 30—35 см. Подвижка по разрыву привела к развороту прилегающих пакетов камней по часовой стрелке вокруг вертикальной оси на 15° и 25° (рис. 3). Этот феномен в структурной геологии называется «волочение» или (по-английски) «drag». Азимут простирания самого разрыва — $40\text{—}50^\circ$.

В археосейсмологических исследованиях сеймотектонические деформации встречаются не так часто. Зато частыми деформациями в руинах древних зданий являются сеймоинерционные деформации: когда нижняя часть сооружения во время сильного землетрясения смещается вместе с грунтом, а верхняя часть как бы остается на месте вследствие сил инерции. В археологическом раскопе наблюдаются тогда систематические наклоны, обрушения, выдвигания и повороты.

Выдвигания верхних частей стен

Раскопанной оказалась лишь небольшая часть поселения Казантип Восточный II. Да и на той площади, что раскопана, строительные остатки чаще всего мало информативны. От них остались лишь нижние ряды каменной кладки. Тем не менее, в ЮЗ части раскопанного городища в помещениях 3, 8 и 9 нам удалось выявить и описать ряд деформаций (рис. 4).

Во время сильных землетрясений бывает так, что вся верхняя часть строительной конструкции «остается на месте» во время сильных движений грунта. Так, например, СЗ стена помещения 9 сместилась в СЗ направлении, т.е. против уклона местности (рис. 5). Азимут простирания этой стены 30° , выдвигание произошло по азимуту 300° на величину до 10 см. Направление смещения грунта, создавшего описанную деформацию было в направлении 120° .

Аналогичный случай имел место в помещении 8 (рис. 6). Нижняя часть СЗ стены помещения с азимутом простирания 30° во время землетрясения сдвинулась в ЮВ направлении по азимуту 120° . В то же время, верхний ряд камней по инерции остался на месте и теперь видно его смещение на 15 см по азимуту 300° против уклона местности.

Срыв верхних рядов камней имел место при сильных сейсмических подвижках в верхней части стены 14 внутрь помещения 7 (рис. 7). Азимут простирания стены 115° . Во время землетрясения грунт с нижней частью стены подвинулся в ССВ направлении по азимуту 25° , в то время как три верхних ряда камней по инерции выдвинулись в ЮЮЗ направлении на расстояние до 0,5 м и наклонились в том же направлении.

От юго-восточной стены помещения 8 остался только нижний ряд кладки (рис. 8). Её общее простирание 35° . Однако и он сместился в СЗ направлении по азимуту 305° . При этом смещение грунта имело место в направлении 125° . Камни стояли на подтесанной скале. Их смещение составило 10 см, один из них при движении повернулся вокруг горизонтальной оси на угол в 45° .

Такие изломы стен во время сильных землетрясений имеют место при хрупком режиме деформации — резких ударах и сильнейших колебаниях от расположенных рядом очагов сильных землетрясений. Однако довольно часто можно наблюдать постепенный наклон всей стены. Так СВ стена (№ 33 на рис. 3, ее остаточная нижняя часть) в помещении 8 наклонилась в СВ направлении по азимуту 40° (рис. 9). При этом простирание стены 130° . Чтобы вызвать такую деформацию необходимо сейсмическое смещение грунта в направлении 220° .

Выдвижения частей стен по сопряженным сколам

Хрупкими являются деформации, приводящие к латеральному выдвиганию стен по сопряженным сколам. Они возникают при латеральном сжатии, направленном вдоль простирания линейной строительной конструкции. Теперь подобные деформации отмечаются нами повсеместно на древних памятниках Крыма. Однако впервые они были выявлены нами в христианской базилике городища Мангуп-Кале в 2015 г. (Корженков и др. 2020в).

Таковыми деформациями, зафиксированными нами в городище Казантип Восточный II являются латеральные выдвигания центральных частей длинных стен по паре сопряженных сколовых плоскостей. Так, например, ЮЗ стена (№ 30) в помещении 9 (рис. 4) в своей центральной части выдвинулась на ЮЗ — по азимуту 215° (перпендикулярно к направлению уклона местности) на 10 см (рис. 10). Азимут простирания деформированной стены 125° . Ширина стены — 50 см. Ширина выдвинутого пакета каменной кладки в верхней части 110 см, в нижней части 30 см.

Аналогичный случай имел место и для СВ стены (№ 28 на рис. 4) этого же помещения 9. Стена с азимутом простирания 115° выдвинулась по двум сопряженным плоскостям в СВ направлении (рис. 11) на расстояние в 5 см перпендикулярно уклону местности. При этом стена не только выдвинулась, но и наклонилась в том же направлении. Так, например, один из камней в верхней части выдвинувшейся стены наклонился в СВ направлении под углом 52° . К СВ от деформированной стены № 28 во второй строительный период (вторая половина II в. до н.э. — I в. до н.э.) была пристроена подпорная конструкция, здесь же открыт завал камней (Ковальчук 2013: 190).

ЮЗ стена (№ 19) в помещении 8 сильно деформирована (рис. 12). Пакет камней из центральной части ее восточного фаса по двум сопряженным сколам выдвинулся в СВ направлении на величину в 15 см по азимуту 25° . Общий азимут простирания стены — 115° .

Геолого-геофизические исследования

Несмотря на относительное однообразие в составе коренных пород, рельеф в районе городища отличается огромным разнообразием. Окружающие бухту холмы сложены известняками мшанковых рифов мэотического яруса, вытянутых цепочкой вдоль берега моря. В сочетании с долинами мелких балок и крупными обвально-оползневыми телами, ветвистые выступы мшанковых рифов образуют сильно изрезанную береговую линию. Она выступает в море скалистыми рифовыми мысами и вдаётся в сушу небольшими бухтами, выработанными абразией в межрифовых глинах или обвально-оползневых образованиях. Подошва мэотического яруса испытывает пологое ($5\text{—}10^\circ$) падение в ЮВ направлении. Мэотические рифы бронируют ЮВ крыло относительно крупной брахиантиклинальной складки, прямо выраженной в рельефе полуостровной возвышенностью мыса Казантип. В ядре складки выходят на поверхность более древние глинистые отложения сарматского яруса, выраженные в рельефе эрозионной котловиной, давшей повод к названию мыса — казан. Вдоль берега моря ЮВ крыло складки ограничено Казантипским разломом — ветвью Южно-Азовской разломной зоны (Клюкин 2006: 136).

В районе городища вдоль берега моря прослежена система уступов и рвов, укладываемых в эшелонированную систему общего субширотного (ВСВ) простирания (рис. 13). Разрывы СВ простирания имеют левосдвиговую кинематику смещений; СЗ ориентировки — правосдвиговую. Преобладает левосдвиговая компонента смещений.

Разрывы СЗ простирания представлены рвами вдоль крупноглыбовых зон дробления шириной до 1 м (рис. 14: а) или ступенчатыми уступами с опущенными СВ крыльями (рис. 14: б). Правый сдвиг уверенно восстанавливается в одном случае смещения скального гребня на 7—8 м в районе георадарного профиля.

К востоку от городища левый сдвиг наблюдается в случае смещения скального гребня по разрыву СВ простирания ($50\text{—}55^\circ$). Сдвиг прослеживается на всю высоту гребня, до уровня моря. Общая величина левого сдвига гребня около 3.5 м. На вершине гребня наблюдается самая молодая горизонтальная подвижка на 40—60 см (рис. 15). Такое же смещение наблюдается и на его восточном склоне. Плоскость самой молодой подвижки отличается свежим обликом — незначительным покрытием лишайниками и кавернозными неровностями относительно поверхности скального выхода на гребне.

Вдоль разрыва СВ простирания ($50\text{—}60^\circ$) наблюдается тектонический контакт массивных мшанковых известняков и глинистых отложений межрифового заполнения (рис. 16). Основной контакт имеет пологое падение ($40\text{—}55^\circ$) в СЗ направлении и образует ветвь цветкообразной разломной зоны. Такие структуры, сочетающие условия тектонического растяжения и сдвига, типичны для разломных зон с преобладающей горизонтальной компонентой смещений.

К западу от городища левый сдвиг наблюдается по разрыву ВСВ простирания, вдоль которого смещена глыба лопнувшего рифового массива (рис. 17). Массив расколот пополам приразломной расселиной. Самый молодой сдвиг образован эшелонированной системой разрывов и серией структур растяжения типа пулл-апарт. Величина левого сдвига — 20—40 см. Сдвиг образует борт крупного рва-расселины, заполненного культурным слоем (зольником) и перекрытого обвалом. Можно полагать, что после образования рва произошло не менее двух событий: первое привело к обвалу; второе к сеймотектоническому смещению обвальных глыб.

Следы сильных землетрясений представлены не только сеймотектоническими разрывами, но и вторичными нарушениями, представляющими собой результат сейсмических воздействий. Наиболее ярко они проявлены в скальных известняковых массивах в виде специфических оползней и обвалов, имеющих признаки аномального перемещения, встряхивания, выброса или отличающиеся колоссальными размерами и захватом в смещения значительных водораздельных пространств в скальных массивах (рис. 18). Надо сказать, что в рассматриваемом районе все скальные массивы оказались в той или иной степени поражены вторичными эффектами землетрясений. Отличительная особенность многочисленных мелких обвалов и отброшенных глыб у берега моря — общая односторонняя направленность перемещения в ЮЗ направлении (рис. 13). Такое необычное перемещение в горизонтальном направлении укладывается в кинематическую схему с левосдвиговой подвижкой по разлому вдоль побережья и соответствующим резким рывком массива в ЮВ крыле разлома на СВ.

Для изучения строения разрывов, выраженных в рельефе, были выполнены георадарные исследования по гребню к востоку от городища (положение см. на рис. 13). Длина профилей составила 98 м (рис. 19), шаг по профилю 0,4 м.

Для преобразования георадарных разрезов из временного масштаба в масштаб глубин и оценки глубины залегания отдельных элементов разреза, можно применить усредненную скорость распространения электромагнитной волны $V = 0,11$ м/нс, которая получена в результате анализа отражений зондирующего импульса от локальных объектов на георадарном профиле.

Анализ волновой картины профиля (рис. 19) показал отсутствие однородности текстуры волновой картины отражений вдоль профиля. На профиле штриховыми линиями приведены линии разрывных нарушений, которые отвечают следующим атрибутам: наличие разрывов осей синфазности; резкое изменение направления или смещения по вертикали осей синфазности; резкое изменение текстуры волновой картины отражений вдоль профиля по линии разлома.

Верхняя часть георадарного разреза (до уровня ~ 70 нс), за исключением участка 50—80 м, имеет довольно четкую субгоризонтальную стратификацию, при этом необходимо учитывать,

что все отражения от объектов и структур, располагающихся на небольшой глубине (уровень до 20—25 нс), маскируются зондирующим импульсом и воздушными сигналами.

Вдоль профиля наблюдается изменение текстуры волнового рисунка отражений, следовательно, и электромагнитных параметров среды (рис. 20). На профиле можно выделить три зоны с характерными текстурами отражений. На отметках 55—75 м профиля наблюдается зона (1) с нарушением субгоризонтальной структуры отражений, множественными отражениями от локальных неоднородностей или объектов, которая ограничена справа и слева линиями разлома (штриховая линия). Предположительно, это — зона повышенной трещиноватости и/или заполненная крупнообломочным материалом. Проведенный анализ амплитуды принимаемых сигналов показал, что в данной зоне наблюдается повышенное затухание принимаемых сигналов, одной из возможных причин которого может быть рассеивание сигнала в условиях повышенной трещиноватости.

Значимые нарушения строения приповерхностного георадарного разреза практически не наблюдаются в зоне (2), за исключением линий разломов на отметках 20, 30 и 40 м, на которых фиксируется смещение осей синфазности и изменение углов наклона осей по линиям разломов. Часть георадарного профиля (3) на отметках 80—98 м проложена вдоль моря, в непосредственной близости и параллельно предполагаемому разлому. Интерпретация георадарного разреза на данном участке затруднена без проведения дополнительных изысканий.

Таким образом, разрывы, выраженные в рельефе и неоген-четвертичных отложениях, прослеживаются и в более глубокие горизонты разреза. Они имеют облик ступенчатых сбросов в зоне (2) и микрограбена в зоне (1), выполненного грубообломочными накоплениями и тектонической брекчийей. Это позволило составить четкое представление о строении Южно-Азовской разломной зоны в районе городища Казантип Восточный II (рис. 13).

Обсуждение полученных результатов и заключение

Вся совокупность собранных данных свидетельствует о расположении городища Казантип Восточный II в очаговой зоне сильного землетрясения. В строительных остатках выявлены как сейсмически наведенные, так и сейсмотектонические деформации. Такие же деформации наблюдаются и в естественном окружении городища. Сейсмотектонические разрывы имеют устойчивую кинематику смещений — левый сдвиг при СВ простирании, выявленную как в природных объектах, так и в смещении стены городища. Очаг землетрясения вышел на поверхность в пределах городища в виде сейсмотектонического разрыва и сместил одну из его стен.

Судя по степени повреждений и разрушений, величина интенсивности сейсмических воздействий была не менее $I_0 = 9$ баллов по шкале MSK-64. Для большинства изученных деформаций (6 случаев из 8: 3 выдвигания верхних частей стен и 3 скола стен) направление смещения грунта было направлено вдоль оси СЗ—ЮВ. Напряжения сжатия, ориентированные вдоль этой оси, вызвали образования сопряженных сколов в стенах. В двух остальных случаях смещения грунта были ориентированы вдоль оси СВ—ЮЗ и вызвали наклоны стен 33 и 14.

Обратимся к имеющимся археологическим материалам. Выявленный раскопками облик (планировку и характер домостроения) городище в основном получает во второй строительный период (вторая половина II в. до н.э. — I в. до н.э.) (Ковальчук 2013: 190). Показательно, что раннее помещение 8 иначе ориентировано в пространстве, чем остальные постройки на памятнике. Помещение 9 находится на 1,5 м выше близлежащих построек этого же времени (стены 6, 29, 10 и др.). С внешней стороны помещения 9, северо-восточнее деформированной стены 28, была открыта подпорная конструкция и завал камней, призванные укрепить край верхней террасы. Во второй период возводятся помещения 1, 2, 3, 9, часть из которых продолжает существовать и в более позднее время.

В это же время поселение, по всей видимости, переживает природный катаклизм (Ковальчук 2013: 190). Отмечено искривление средней части стены 28 и её укрепление с востока, а также

прогибы в центре стен 6 и 9 и горелые прослойки под полами помещения 1. Вероятно, всё это могло быть следствием землетрясения I в. до н.э. (Масленников, Литвинюк 2014: 42). В этой связи представляет интерес также факт возведения построек четвертого строительного периода (I—II вв. н.э.), — помещений 6 и 7 на упоминавшихся выше зольно-мусорных субструкциях, что, по-видимому, должно было снизить опасность сейсмического воздействия.

Сейсмогенные деформации памятников древности и одноактные сейсмотектонические разрывы нескольких генераций возрастом в несколько сотен — тысяч лет были изучены нами на разных участках Южно-Азовского разлома (Корженков и др. 2019, 2020б; Масленников и др. 2017; Овсяченко и др. 2015; 2017; 2019а). В результате, относительно уверенно датированы следы пяти сильных землетрясений: первой половины — середины III в. до н.э.; конца II в. до н.э.; середины I в. до н.э. (63 г. до н.э.?); рубежа третьей—четвертой четвертей VI в. н.э. и XVIII в. (1751 г. (Никонов 1996)), с положением очага в зоне Южно-Азовского разлома. Менее определённо восстанавливаются землетрясения: рубежа VI—V вв. до н.э., начала последней четверти IV в. до н.э. — начала III в. до н.э. а также «события» рубежа I в. до н.э. — I в. до н.э. и около середины III и VI вв. н.э.

За неимением более детальной хронологии строительных этапов, в настоящее время можно предположить, что на памятнике Казантип Восточный II нами зафиксированы признаки выхода очага землетрясения середины I в. до н.э. (63 г. до н.э.?)). Не исключено, что на поселении есть следы и других землетрясений. Это может быть выяснено при проведении более детальных исследований. Проведенные исследования дополняют картину сейсмотектонического устройства Крымского Приазовья и позволяют уверенно протрассировать западный фланг Южно-Азовского активного разлома (рис. 1).

Литература

- Блаватский В.Д. 1977. Землетрясение 63 г. до н.э. на Керченском полуострове. *Природа* 8, 56—57.
- Борисенко и др. 1999: Борисенко Л.С., Пустовитенко Б.Г., Дублянский В.Н., Вахрушев Б.А., Клюкин А.А., Ена А.В., Китин М.А. 1999. Сейсмодислокации и палеосейсмичность Крыма. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1997 г.*, 101—132.
- Веселов В.В. 2005. Сводная ведомость результатов археологических разведок на Керченском и Таманском полуостровах в 1949—1964 гг. *ДБ. Suppl.* 2.
- Винокуров и др. 2015: Винокуров Н.И., Корженков А.М., Родкин М.В. 2015. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии. *Вопросы инженерной сейсмологии* 2 (42), 51—66.
- Геология 1992: Гавриленко Н.М., Чекунов А.В. (отв. ред.). *Геология и геодинамика района Крымской АЭС*. Киев: Наукова думка.
- Едемский и др. 2018: Едемский Д.Е., Попов А.В., Прокопович И.В., Дегтерев А.В., Рыбин А.В. 2018. Опыт георадиолокационного зондирования почвенно-пирокластического чехла юго-восточной части о. Матуа (Курильские острова). *Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле* 4 (40), 69—81.
- Едемский и др. 2021: Едемский Д.Е., Тумской В.Е., Овсяченко А.Н. 2021. Георадиолокационное зондирование отложений в пределах деградирующего полигонального микрорельефа в Арктике. *Криосфера Земли* 5 (XXV), 55—69.
- Зубарев и др. 2022: Зубарев В.Г., Ярцев С.В., Едемский Д.Е., Корженков А.М., Ларьков А.С., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., Сысолин А.И. 2022. Сейсмический фактор в истории городища «Белинское» (Керченский полуостров, Крым). *Геофизические процессы и биосфера* 2 (21), 44—70.
- Клюкин А.А. 1995. Сейсмодислокации Керченского полуострова. *Сейсмологический бюллетень Украины за 1992 г.*, 112—117.
- Клюкин А.А. 2006. Факторы, определяющие биоразнообразие Казантипского природного заповедника. *Труды Никитского ботанического сада — Национального научного центра* 126, 133—148.
- Ковальчук А.В. 2013. Поселение Казантип-восточный II. Общая характеристика и датировка. *ДБ* 17, 186—201.
- Корженков и др. 2016: Корженков А.М., Моисеев Д.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.Н., Рогожин Е.А., Эмруллаев Ш.А. 2016. Археосейсмологические исследования в древней столице крымских ханов Салачик. *Вопросы инженерной сейсмологии* 3 (43), 30—47.

- Корженков и др. 2019: Корженков А.М., Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Супренков А.А. 2019. Сейсмические деформации в урочище Сююрташ в Крымском Приазовье. *ДБ* 24, 370—397.
- Корженков и др. 2020а: Корженков А.М., Минчев А., Тенекеджиев В., Овсяченко А.Н., Димитров О., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Рангелов Б., Стрельников А.А. 2020а. Сейсмические деформации в раннехристианском монастыре в местности Джанавара (Варна, Болгария). Часть 1: Методы исследований. *Вопросы инженерной сейсмологии* 4 (47), 72—91.
- Корженков и др. 2020б: Корженков А.М., Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Родина С.Н. 2020б. Следы сейсмических катастроф в руинах усадебных комплексов IV—III вв. до н.э. в Крымском Приазовье. *ПИФК* 3, 49—76.
- Корженков и др. 2020в: Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. 2020в. Археосейсмологические исследования в пещерном городе Мангуп-Кале. В: Дегтярев К.Е. (отв. ред.). *Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики*. Т. 1. *Материалы ЛII тектонического совещания*. Москва: ГЕОС, 326—331.
- Корженков и др. 2021: Корженков А.М., Мордвинцева В.И., Овсяченко А.Н., Стрельников А.А., Ларьков А.С. 2021. Сейсмические деформации на археологических памятниках, в отложениях и рельефе горы Опук, Крым. *Вопросы инженерной сейсмологии* 2 (48), 62—103.
- Кругликова И.Т. 1975. *Сельское хозяйство Боспора*. Москва: Наука.
- Масленников А.А., Литвинюк Н.А. 2014. Археологические памятники на мысе Казантип. *Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян»* 5, 35—44.
- Масленников и др. 2017: Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В. 2017. Следы сильных землетрясений на городище Полянка и Южно-Азовский активный разлом. *ДБ* 21, 265—294.
- Масленников А.А. 2020. Страбон, М.И. Ростовцев и Крымское Приазовье. *РА* 4, 40—52.
- Никонов А.А. 1994. Признаки молодой тектонической активности в зонах Южно-Азовского и Керченского разломов. *Геотектоника* 5, 16—28.
- Никонов А.А. 1996. Разрушительное землетрясение 1751 г. в Крыму. *Физика Земли* 1, 62—74.
- Никонов А.А. 2001. О местонахождении и исчезновении античных городов Пирра и Антисса на Боспоре. В: Зуев В.Ю. (отв. ред.). *Боспорский феномен: колонизация региона, формирование полисов, образование государства*. Ч. 2. Санкт-Петербург: Государственный Эрмитаж, 241—246.
- Овсяченко и др. 2015: Овсяченко А.Н., Шварев С.В., Ларьков А.С., Мараханов А.В. 2015. Следы сильных землетрясений Керченско-Таманского региона по геологическим данным. *Вопросы инженерной сейсмологии* 3 (42), 33—54.
- Овсяченко и др. 2017: Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. 2017. Новые сведения об очагах сильных землетрясений в районе Керченского полуострова. *Доклады Академии наук* 1 (472), 89—92.
- Овсяченко и др. 2019а: Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Масленников А.А., Вакарчук Р.Н., Ларьков А.С., Сысолин А.И. 2019а. Следы и хронология сильных исторических землетрясений на мысе Зюк в Восточном Крыму. *Физика Земли* 4, 133—152.
- Овсяченко и др. 2019б: Овсяченко А.Н., Вакарчук Р.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Сысолин А.И., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. 2019б. Активные разломы Керченского полуострова: новые результаты. *Доклады Академии наук* 4 (488), 408—412.
- Овсяченко и др. 2020: Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Гаджиев М.С., Ларьков А.С., Рогожин Е.А. 2020. О сейсмотектонической деформации раннесредневековой крепостной стены г. Дербент (Дагестан). *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле* 1 (493), 63—67.
- Овсяченко и др. 2021: Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Бутанаев Ю.В., Мараханов А.В., Рогожин Е.А. 2021. Следы и хронология сильных землетрясений в стенах древнего города Мирмекий, Восточный Крым. *Вопросы инженерной сейсмологии* 1 (48), 37—74.
- Овсяченко и др. 2022: Овсяченко А.Н., Едемский Д.Е., Жостков Р.А. 2022. Активная тектоника Восточной Арктики: новые данные геолого-геофизических исследований на мысе Фомы (запад острова Врангеля). *Геотектоника* 3, 3—19.
- Пустовитенко и др. 2014: Пустовитенко Б.Г., Лущик 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. 2014. *Мониторинг сейсмических процессов в Крымско-Черноморском регионе*. Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ—Гидрофизика».
- Солоненко В.П. 1973. Палеосейсмогеология. *Известия АН ССР. Физика Земли* 9, 3—16.
- Трифонов В.Г., Караханян А.С. 2008. Динамика Земли и развитие общества. Москва: ОГИ.

- Трифонов В.Г., Кожурин А.И. 2010. Проблемы изучения активных разломов. *Геотектоника* 6, 79—98.
- Хапаев В.В. 2008. Письменные источники по истории Крымских землетрясений античного и средневекового периодов. *Ученые записки Таврического национального университета. Серия История* 1 (21), 3—15.
- Edemsky D., Popov A., Prokopovich I. 2021. Geophysical survey of Tunnug mound periphery, Tuva, Russia. *Journal of Applied Geophysics* 189, 104326.
- Forlin P., Valente R., Kázmér M. 2018. Assessing earthquake effects on archaeological sites using photogrammetry and 3D model analysis. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 9, e00073.
- Galli et al. 2010: Galli P.A.C., Giocoli A., Naso J.A., Piscitelli S., Rizzo E., Capini S., Scaroina L. 2010. Faulting of the Roman aqueduct of Venafrum (southern Italy): methods of investigation, results, and seismotectonic implications. *Geological Society of America Special Paper* 471, 233—242.
- Galadini F., Hinzen K.G., Stiros S. 2006. Archaeoseismology: methodological issues and procedure. *Journal of Seismology* 10, 395—414.
- Giner-Robles et al. 2013: Giner-Robles J.L., Pérez-López R., Rodríguez-Pascua M.A., Silva P.G., Martín-González F., Rodríguez-Escudero E. 2013. A review on oriented fall structures (Earthquake Archaeological Effect, EAE) induced by instrumental earthquakes. *Cuaternario y Geomorfología* 3—4 (27), 5—32.
- Hinzen et al. 2011: Hinzen K.G., Fleischer C., Reamer S.K., Schreiber S., Schütte S., Yerli B. 2011. Quantitative methods in archaeoseismology. *Quaternary International* 1 (242), 31—41.
- Kázmér M. 2015. Damage to ancient buildings from earthquakes. In: Beer M., Patelli E., Kougioumtzoglou I., Au I.S.-K. (eds). *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Berlin: Springer, 500—506.
- Klinger et al. 2000: Klinger Y., Avouac J.P., Dorbath L., Abou Karaki N., Tisnerat N. 2000. Seismic behaviour of the Dead Sea fault along Araba valley, Jordan. *Geophysical Journal International* 3 (142), 769—782.
- Kopeikin et al. 2012: Kopeikin V.V., Morozov P.A., Edemskiy F.D., Edemskiy D.E., Pavlovskii B.R., Sungurov Yu.A. 2012. Experience of GPR application in oil-and-gas industry. *2012 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), Shanghai, China* 3, 817—819.
- Korzhenkov A.M., Mazor E. 1999. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs. *Science and New Technologies* 1, 62—74.
- Martín-González F. 2021. Review and proposed method to study the damage orientation of earthquake effects in pre-instrumental earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 57, 980—993.
- Mazor E., Korjenkov A.M. 2001. Applied archaeoseismology: Decoding earthquake parameters recorded in archaeological ruins. In: Krasnov B, Mazor E (eds.). *The Makhteshim Country: laboratory of nature*. Sofia, Moscow: Pensoft, 123—153.
- McCalpin J.P. (Ed.). 2009. *Paleoseismology*. Amsterdam: Elsevier.
- Molev et al. 2019: Molev E.A., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S. 2019. Potential traces of earthquakes in the ancient city of Kytaiia, Kerch Peninsula, Crimea. *Geodesy and Geodynamics* 4 (10), 331—338.
- Nikonov A.A. 1988. On the methodology of archaeoseismic research into historical monuments. In: Marinou P.G., Koukis G.C. (eds.). *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection*. Rotterdam: Balkema, 1315—1320.
- Reches Z., Hoexter D.F. 1981. Holocene seismic and tectonic activity in the Dead Sea area. *Tectonophysics* 1-4 (80), 235—254.
- Rodríguez-Pascua et al. 2011: Rodríguez-Pascua M.A., Pérez-López R., Giner-Robles J.L., Silva P.G., Garduño-Monroy V.H., Reicherter K. A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. *Quaternary International* 1 (242) 20—30.
- Schweppe et al. 2021: Schweppe G., Hinzen K.G., Reamer S.K., Marco S. 2021. Reconstructing the slip velocities of the 1202 and 1759 CE earthquakes based on faulted archaeological structures at Tell Ateret, Dead Sea Fault. *Journal of Seismology* 4 (25), 1021—1042.
- Silva et al. 2020: Silva P.G., Elez J., Giner-Robles J.L., Pérez-López R., Roquero E., Rodríguez-Pascua M.Á. 2020. Reappraisal of the 1863 Huércal-Overa earthquake (Betic Cordillera, SE Spain) by the analysis of ESI-07 environmental effects and building oriented damage. *Geosciences* 10 (8), 303.
- Similox-Tohon et al. 2006: Similox-Tohon D., Sintubin M., Muchez P., Verhaert G., Vanneste K., Fernandez M., Vandycke S., Vanhaverbeke H., Waelkens M. 2006. Identification of an active fault by a multidisciplinary study at the archaeological site of Sagalassos (SW Turkey). *Tectonophysics* 3—4 (420), 371—387.
- Stiros S., Jones R.E. (ed.). 1996. *Archaeoseismology. Fitch Laboratory occasional paper* 7. Athens: British School of Athens.

- Stiros S.C. 2020. Monumental articulated ancient Greek and Roman columns and temples and earthquakes: archaeological, historical, and engineering approaches. *Journal of Seismology* 4 (24), 853—881.
- Wells D.L., Coppersmith K.J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 4 (84), 974—1002.
- Zhang et al. 1986: Zhang B.C., Liao Y.H., Guo S.M., Wallace R.E., Bucknam R.C., Hanks T.C. 1986. Fault Scarps Related to the 1739 Earthquake and Seismicity of the Yinchuan Graben, Ningxia Huizu Zizhiqu, China. *Bulletin of the Seismological Society of America* 5 (76), 1253—1287.

References

- Blavatskiy, V.D. 1977. In *Priroda (Nature)* 8, 56—57 (in Russian).
- Borisenko et al. 1999: Borisenko, L.S., Pustovitenko, B.G., Dublyanskiy, V.N., Vakhrushev, B.A., Klyukin, A.A., Ena, A.V., Kitin, M.A. 1999. In *Seysmologicheskii byulleten' Ukrainy za 1997 g. (Seismological Bulletin of Ukraine for 1997)*, 101—132 (in Russian).
- Veselov, V.V. 2005. In *Drevnosti Bospora (Antiquities of the Bosporus)*. Suppl. 2 (In Russian).
- Vinokurov et al. 2015: Vinokurov, N.I., Korzhenkov, A.M., Rodkin, M.V. 2015. In *Voprosy inzhenernoy seysmologii (Questions of Engineering Seismology)* 2 (42), 51—66 (in Russian).
- Geologiya 1992: Gavrilenko, N.M., Chekunov, A.V. (eds.). *Geologiya i geodinamika rayona Krymskoy AES (Geology and geodynamics of the area of the Crimean nuclear power plant)*. Kyiv: Naukova dumka (in Russian).
- Edemsky et al. 2018: Edemsky, D.E., Popov, A.V., Prokopovich, I.V., Degterev, A.V., Rybin, A.V. 2018. In *Vestnik KRAUNTS. Seriya: Nauki o Zemle (Bulletin of Kamchatka Regional Association "Educational-Scientific Center"). Earth Sciences* 4 (40), 69—81 (in Russian).
- Edemsky et al. 2021: Edemsky, D.E., Tumskey, V.E., Ovsyuchenko, A.N. 2021. In *Kriosfera Zemli (Cryosphere of the Earth)* 5 (XXV), 55—69 (in Russian).
- Zubarev et al. 2022: Zubarev, V.G., Yartsev, S.V., Edemsky, D.E., Korzhenkov, A.M., Lar'kov, A.S., Moiseyev, D.A., Ovsyuchenko, A.N., Sysolin, A.I. 2022. In *Geofizicheskiye protsessy i biosfera (Geophysical processes and biosphere)* 2 (21), 44—70 (in Russian).
- Klyukin, A.A. 1995. In *Seysmologicheskii byulleten' Ukrainy za 1992 g. (Seismological Bulletin of Ukraine for 1992)*, 112—117 (in Russian).
- Klyukin, A.A. 2006. In *Trudy Nikitskogo botanicheskogo sada — Natsional'nogo nauchnogo tsentra (Proceedings of the Nikitsky Botanical Garden — National Science Center)* 126, 133—148 (in Russian).
- Kovalchuk, A.V. 2013. In *Drevnosti Bospora (Antiquities of the Bosporus)* 17, 186—201 (in Russian).
- Korzhenkov et al. 2016: Korzhenkov, A.M., Moiseev, D.A., Ovsyuchenko, A.N., Lar'kov, A.S., Marakhanov, A.N., Rogozhin, E.A., Emrullaev, Sh.A. 2016. In *Voprosy inzhenernoy seysmologii (Questions of Engineering Seismology)* 3 (43), 30—47 (in Russian).
- Korzhenkov et al. 2019: Korzhenkov, A.M., Maslennikov, A.A., Ovsyuchenko, A.N., Lar'kov, A.S., Suprenkov, A.A. 2019. In *Drevnosti Bospora (Antiquities of the Bosporus)* 24, 370—397 (in Russian).
- Korzhenkov et al. 2020a: Korzhenkov, A.M., Minchev, A., Tenekedzhiev, V., Ovsyuchenko, A.N., Dimitrov, O., Lar'kov, A.S., Rogozhin, E.A., Rangelov, B., Strel'nikov, A.A. 2020a. In *Voprosy inzhenernoy seysmologii (Questions of Engineering Seismology)* 4 (47), 72—91 (in Russian).
- Korzhenkov et al. 2020b: Korzhenkov, A.M., Maslennikov, A.A., Ovsyuchenko, A.N., Lar'kov, A.S., Rodina, S.N. 2020b. In *Problemy istorii, filologii, kul'tury (Problems of history, philology, culture)* 3, 49—76 (in Russian).
- Korzhenkov i dr. 2020c: Korzhenkov, A.M., Ovsyuchenko, A.N., Lar'kov, A.S., Marakhanov, A.V., Rogozhin, E.A. 2020c. In: Degtyarev, K.E. (ed.). *Fundamental'nye problemy tektoniki i geodinamiki (Fundamental problems of tectonics and geodynamics)*. Vol. 1. *Materialy LII tektonicheskogo soveshchaniya (Materials of the 52nd tectonic conference)*. Moscow: GEOS, 326—331 (in Russian).
- Korzhenkov et al. 2021: Korzhenkov, A.M., Mordvintseva, V.I., Ovsyuchenko, A.N., Strel'nikov, A.A., Lar'kov, A.S. 2021. In *Voprosy inzhenernoy seysmologii (Questions of Engineering Seismology)* 2 (48), 62—103 (in Russian).
- Kruglikova, I.T. 1975. *Sel'skoe khozyaystvo Bospora (Agriculture of the Bosporus)*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Maslennikov, A.A., Litvinyuk, N.A. 2014. In *Nauchnye zapiski prirodnogo zapovednika "Mys Mart'yan" (Scientific notes of the nature reserve "Cape Mart'yan")* 5, 35—44 (in Russian).
- Maslennikov et al. 2017: Maslennikov, A.A., Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Lar'kov, A.S., Marakhanov, A.V. 2017. In *Drevnosti Bospora (Antiquities of the Bosporus)* 21, 265—294 (in Russian).

- Maslennikov, A.A. 2020. In *Rossiyskaya arkheologiya (Russian Archaeology)* 4, 40—52 (in Russian).
- Nikonov, A.A. 1994. In *Geotektonika (Geotectonics)* 5, 16—28 (in Russian).
- Nikonov, A.A. 1996. In *Fizika Zemli (Physics of the Earth)* 1, 62—74 (in Russian).
- Nikonov, A.A. 2001. In: Zuev, V.Yu. (ed.). *Bosporskiy fenomen: kolonizatsiya regiona, formirovanie polisov, obrazovanie gosudarstva (Bosporan phenomenon: colonization of the region, the formation of policies, the formation of the state)*. Pt. 2. Saint Petersburg: Gosudarstvennyy Ermitazh, 241—246 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2015: Ovsyuchenko, A.N., Shvarev, S.V., Lar'kov, A.S., Marakhanov, A.V. 2015. In *Voprosy inzhenernoy seismologii (Questions of Engineering Seismology)* 3 (42), 33—54 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2017: Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Lar'kov, A.S., Marakhanov, A.V., Rogozhin, E.A. 2017. In *Doklady Akademii nauk (Reports of the Academy of Sciences)* 1 (472), 89—92 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2019a: Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Maslennikov, A.A., Vakarchuk, R.N., Lar'kov, A.S., Sysolin, A.I. 2019a. In *Fizika Zemli (Physics of the Earth)* 4, 133—152 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2019b: Ovsyuchenko, A.N., Vakarchuk, R.N., Korzhenkov, A.M., Lar'kov, A.S., Sysolin, A.I., Rogozhin, E.A., Marakhanov, A.V. 2019b. In *Doklady Akademii nauk (Reports of the Academy of Sciences)* 4 (488), 408—412 (in Russian).
- Ovsyuchenko i dr. 2020: Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Gadjiev, M.S., Lar'kov, A.S., Rogozhin, E.A. 2020. In *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o Zemle (Reports of the Russian Academy of Sciences. Earth Sciences)* 1 (493), 63—67 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2021: Ovsyuchenko, A.N., Korzhenkov, A.M., Lar'kov, A.S., Butanaev, Yu.V., Marakhanov, A.V., Rogozhin, E.A. 2021. In *Voprosy inzhenernoy seismologii (Questions of Engineering Seismology)* 1 (48), 37—74 (in Russian).
- Ovsyuchenko et al. 2022: Ovsyuchenko, A.N., Edemsky, D.E., Zhostkov, R.A. 2022. In *Geotektonika (Geotectonics)* 3, 3—19 (in Russian).
- Pustovitenko et al. 2014: Pustovitenko, B.G., Lushchik, A.V., Boborykina, O.A., Kul'chitskiy, V.E., Mozherina, A.V., Nasonkin, V.A., Pankov, F.N., Porechnova, E.I., Pustovitenko, A.A., Tikhonenkov, E.P., Shvyrlu, N.I. 2014. *Monitoring seismicheskikh protsessov v Krymsko-Chernomorskom regione (Monitoring of seismic processes in the Crimean-Black Sea region)*. Sevastopol: NPTS "EKOSI—Gidrofizika" (in Russian).
- Solonenko, V.P. 1973. In *Fizika Zemli (Physics of the Earth)* 9, 3—16 (in Russian).
- Trifonov, V.G., Karakhanyan, A.S. 2008. *Dinamika Zemli i razvitiye obshchestva (Earth Dynamics and Society Development)*. Moscow: OGI (in Russian).
- Trifonov, V.G., Kozhurin, A.I. 2010. In *Geotektonika (Geotectonics)* 6, 79—98 (in Russian).
- Khapaev, V.V. 2008. In *Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta. Seriya Istoriya (Scientific notes of the Taurida National University. Series History)* 1 (21), 3—15 (in Russian).
- Edemsky, D., Popov, A., Prokopovich, I. 2021. Geophysical survey of Tunnug mound periphery, Tuva, Russia. *Journal of Applied Geophysics* 189, 104326.
- Forlin, P., Valente, R., Kázmér, M. 2018. Assessing earthquake effects on archaeological sites using photogrammetry and 3D model analysis. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 9, e00073.
- Galli et al. 2010: Galli, P.A.C., Giocoli, A., Naso, J.A., Piscitelli, S., Rizzo, E., Capini, S., Scaroina, L. 2010. Faulting of the Roman aqueduct of Venafrum (southern Italy): methods of investigation, results, and seismotectonic implications. *Geological Society of America Special Paper* 471, 233—242.
- Galadini, F., Hinzen, K.G., Stiros, S. 2006. Archaeoseismology: methodological issues and procedure. *Journal of Seismology* 10, 395—414.
- Giner-Robles et al. 2013: Giner-Robles, J.L., Pérez-López, R., Rodríguez-Pascua, M.A., Silva, P.G., Martín-González, F., Rodríguez-Escudero, E. 2013. A review on oriented fall structures (Earthquake Archaeological Effect, EAE) induced by instrumental earthquakes. *Cuaternario y Geomorfología* 3—4 (27), 5—32.
- Hinzen et al. 2011: Hinzen, K.G., Fleischer, C., Reamer, S.K., Schreiber, S., Schütte, S., Yerli, B. 2011. Quantitative methods in archaeoseismology. *Quaternary International* 1 (242), 31—41.
- Kázmér, M. 2015. Damage to ancient buildings from earthquakes. In: Beer, M., Patelli, E., Kougioumtzoglou, I., Au, I.S.-K. (eds). *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Berlin: Springer, 500—506.
- Klinger et al. 2000: Klinger, Y., Avouac, J.P., Dorbath, L., Abou Karaki, N., Tisnerat, N. 2000. Seismic behaviour of the Dead Sea fault along Araba valley, Jordan. *Geophysical Journal International* 3 (142), 769—782.
- Kopeikin et al. 2012: Kopeikin, V.V., Morozov, P.A., Edemskiy, F.D., Edemskiy, D.E., Pavlovskii, B.R., Sungurov, Yu.A. 2012. Experience of GPR application in oil-and-gas industry. *2012 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), Shanghai, China* 3, 817—819.

- Korzhenkov, A.M., Mazor, E. 1999. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs. *Science and New Technologies* 1, 62—74.
- Martín-González, F. 2021. Review and proposed method to study the damage orientation of earthquake effects in pre-instrumental earthquakes. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 57, 980—993.
- Mazor, E., Korzenkov, A.M. 2001. Applied archaeoseismology: Decoding earthquake parameters recorded in archaeological ruins. In: Krasnov, B., Mazor, E (eds.). *The Makhteshim Country: laboratory of nature*. Sofia, Moscow: Pensoft, 123—153.
- McCalpin, J.P. (Ed.). 2009. *Paleoseismology*. Amsterdam: Elsevier.
- Molev et al. 2019: Molev, E.A., Korzhenkov, A.M., Ovsyuchenko, A.N., Larkov, A.S. 2019. Potential traces of earthquakes in the ancient city of Kytaiia, Kerch Peninsula, Crimea. *Geodesy and Geodynamics* 4 (10), 331—338.
- Nikonov, A.A. 1988. On the methodology of archaeoseismic research into historical monuments. In: Marinou, P.G., Koukiss, G.C. (eds.). *Engineering Geology of Ancient Works, Monuments and Historical Sites, Preservation and Protection*. Rotterdam: Balkema, 1315—1320.
- Reches, Z., Hoexter, D.F. 1981. Holocene seismic and tectonic activity in the Dead Sea area. *Tectonophysics* 1-4 (80), 235—254.
- Rodríguez-Pascua et al. 2011: Rodríguez-Pascua, M.A., Pérez-López, R., Giner-Robles, J.L., Silva, P.G., Garduño-Monroy, V.H., Reicherter, K.A comprehensive classification of Earthquake Archaeological Effects (EAE) in archaeoseismology: Application to ancient remains of Roman and Mesoamerican cultures. *Quaternary International* 1 (242) 20—30.
- Schwepe et al. 2021: Schwepe, G., Hinzen, K.G., Reamer, S.K., Marco, S. 2021. Reconstructing the slip velocities of the 1202 and 1759 CE earthquakes based on faulted archaeological structures at Tell Ateret, Dead Sea Fault. *Journal of Seismology* 4 (25), 1021—1042.
- Silva et al. 2020: Silva, P.G., Elez, J., Giner-Robles, J.L., Pérez-López, R., Roquero, E., Rodríguez-Pascua, M.Á. 2020. Reappraisal of the 1863 Huércal-Overa earthquake (Betic Cordillera, SE Spain) by the analysis of ESI-07 environmental effects and building oriented damage. *Geosciences* 10 (8), 303.
- Similox-Tohon et al. 2006: Similox-Tohon, D., Sintubin, M., Muchez, P., Verhaert, G., Vanneste, K., Fernandez, M., Vanduycke, S., Vanhaverbeke, H., Waelkens, M. 2006. Identification of an active fault by a multidisciplinary study at the archaeological site of Sagalassos (SW Turkey). *Tectonophysics* 3—4 (420), 371—387.
- Stiros, S., Jones, R.E. (ed.). 1996. *Archaeoseismology. Fitch Laboratory occasional paper 7*. Athens: British School of Athens.
- Stiros, S.C. 2020. Monumental articulated ancient Greek and Roman columns and temples and earthquakes: archaeological, historical, and engineering approaches. *Journal of Seismology* 4 (24), 853—881.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 4 (84), 974—1002.
- Zhang et al. 1986: Zhang, B.C., Liao, Y.H., Guo, S.M., Wallace, R.E., Bucknam, R.C., Hanks, T.C. 1986. Fault Scarps Related to the 1739 Earthquake and Seismicity of the Yinchuan Graben, Ningxia Huizu Zizhiqu, China. *Bulletin of the Seismological Society of America* 5 (76), 1253—1287.

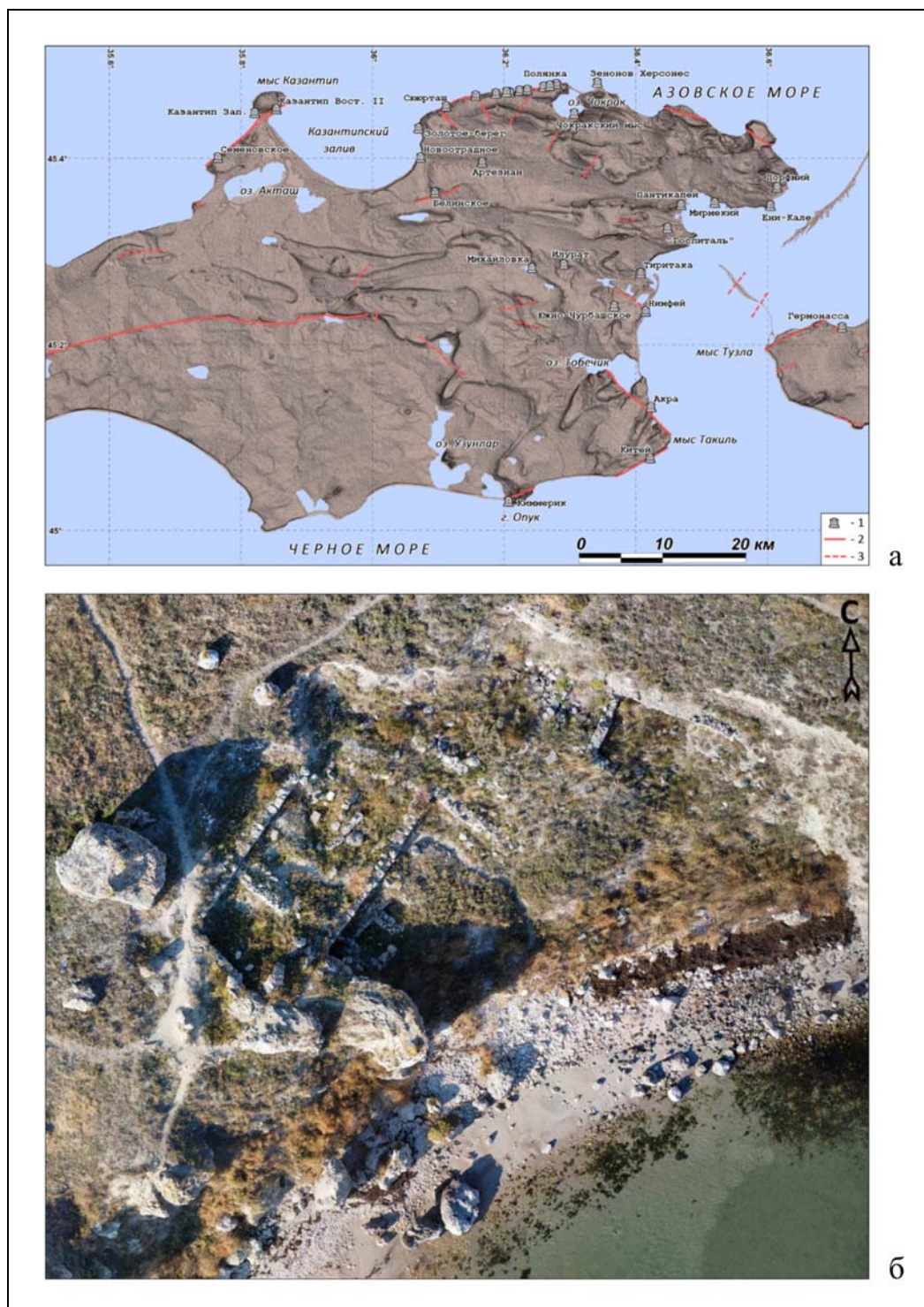


Рис. 1. Местоположение городища Казантип Восточный II. а) Обзорная схема Керченского п-ова: 1 — археологические памятники с изученными следами землетрясений; 2 — активные разломы с изученными следами сейсмотектонических смещений; 3 — предполагаемые активные разломы по структурно-геоморфологическим и дистанционным данным. б) Снимок раскопов городища Казантип Восточный II с БПЛА 2021 г.

Fig. 1. Location of the settlement of Kazantip Vostochny II. а) Overview scheme of the Kerch Peninsula: 1 — archaeological sites with studied traces of earthquakes; 2 — active faults with studied traces of seismotectonic displacements; 3 — suspected active faults according to structural-geomorphological and remote data. б) A snapshot of the excavations of the Kazantip Vostochny II settlement from a UAV in 2021.



Рис. 2. Левостороннее горизонтальное смещение субширотной стены в СВ части раскопа на 35 см.: а) Вид разорванной стены с БПЛА 2021 г. Синяя линия — южный фас стены, красная линия — разрыв; б) Детальный вид разорванной стены сверху, снятый с высоты роста человека в 2021 г. Синие линии — южный фас деформированной стены, красная — линия разрыва.

Fig. 2. Left-sided horizontal displacement of the sublatitudinal wall in the upper part of the excavation by 35 cm.: а) View of the torn wall from the UAV 2021. The blue line is the southern face of the wall, the red line is the gap; б) A detailed view of the torn wall from above, taken from a height of human growth in 2021. blue lines — the southern face of the deformed wall, red — the line of rupture.



Рис. 3. Развороты пакетов блоков по часовой стрелке вокруг вертикальной оси в зоне разрыва. Фотография 2021 г. Вид на запад. Показаны азимуты простирания повернутых пакетов и недеформированной части стены.

Fig. 3. Clockwise turns of block packages around the vertical axis in the break zone. Photo 2021. View to the west. The azimuths of the stretch of the rotated packages and the undeformed part of the wall are shown.

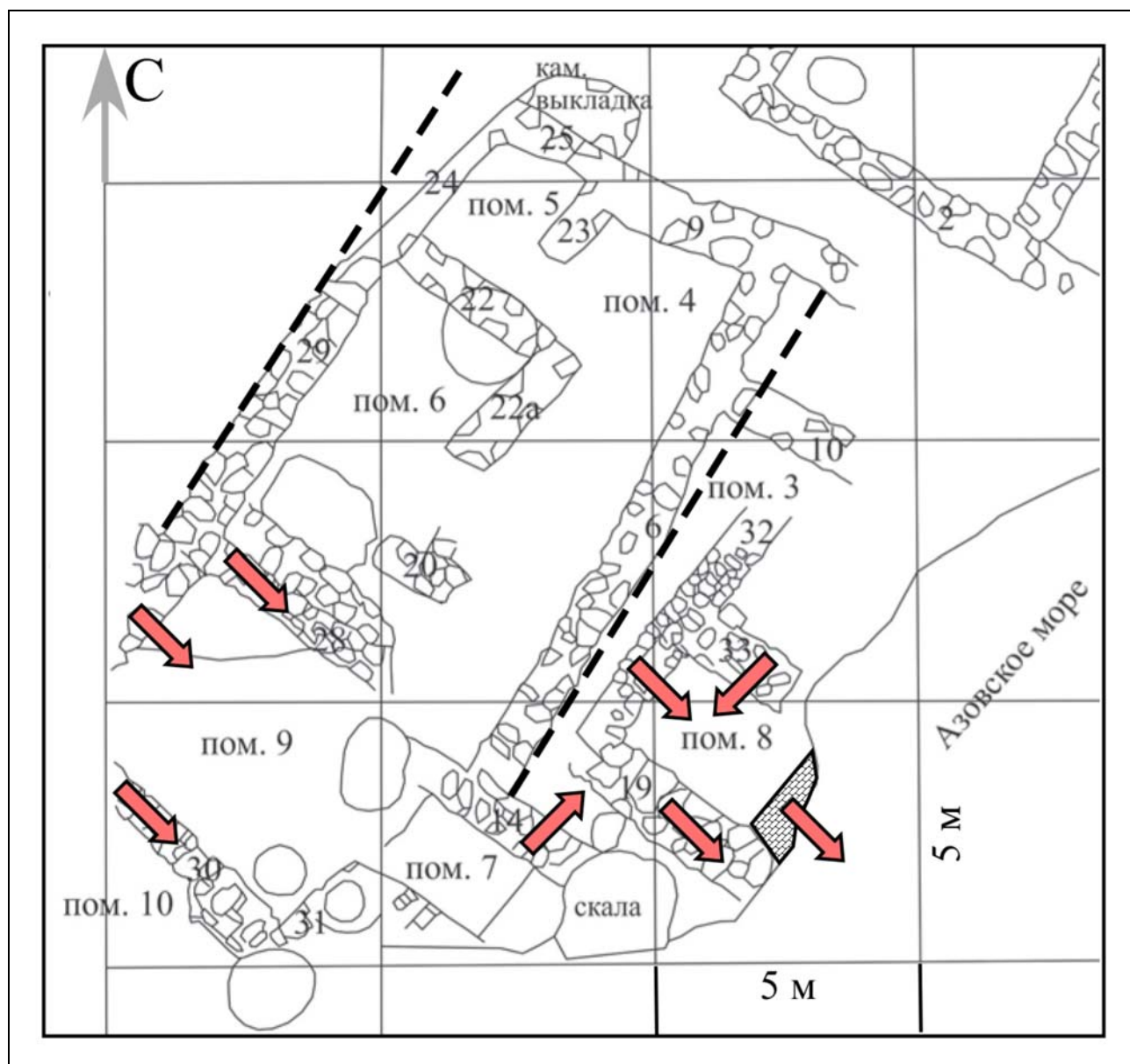


Рис. 4. Поселение Казантип Восточный II. План строительных остатков. Изменения по (Ковальчук 2013). Красные стрелки — направление смещения грунта во время сейсмического воздействия. Штриховые линии показывают первоначальное простираение стен ССВ простираения.

Fig. 4. The settlement of Kazantip Vostochny II. The plan of construction remains. With changes to (Kovalchuk 2013). The red arrows indicate the direction of displacement of the soil during seismic action. The dashed lines show the initial stretch of the CER walls of the stretch.

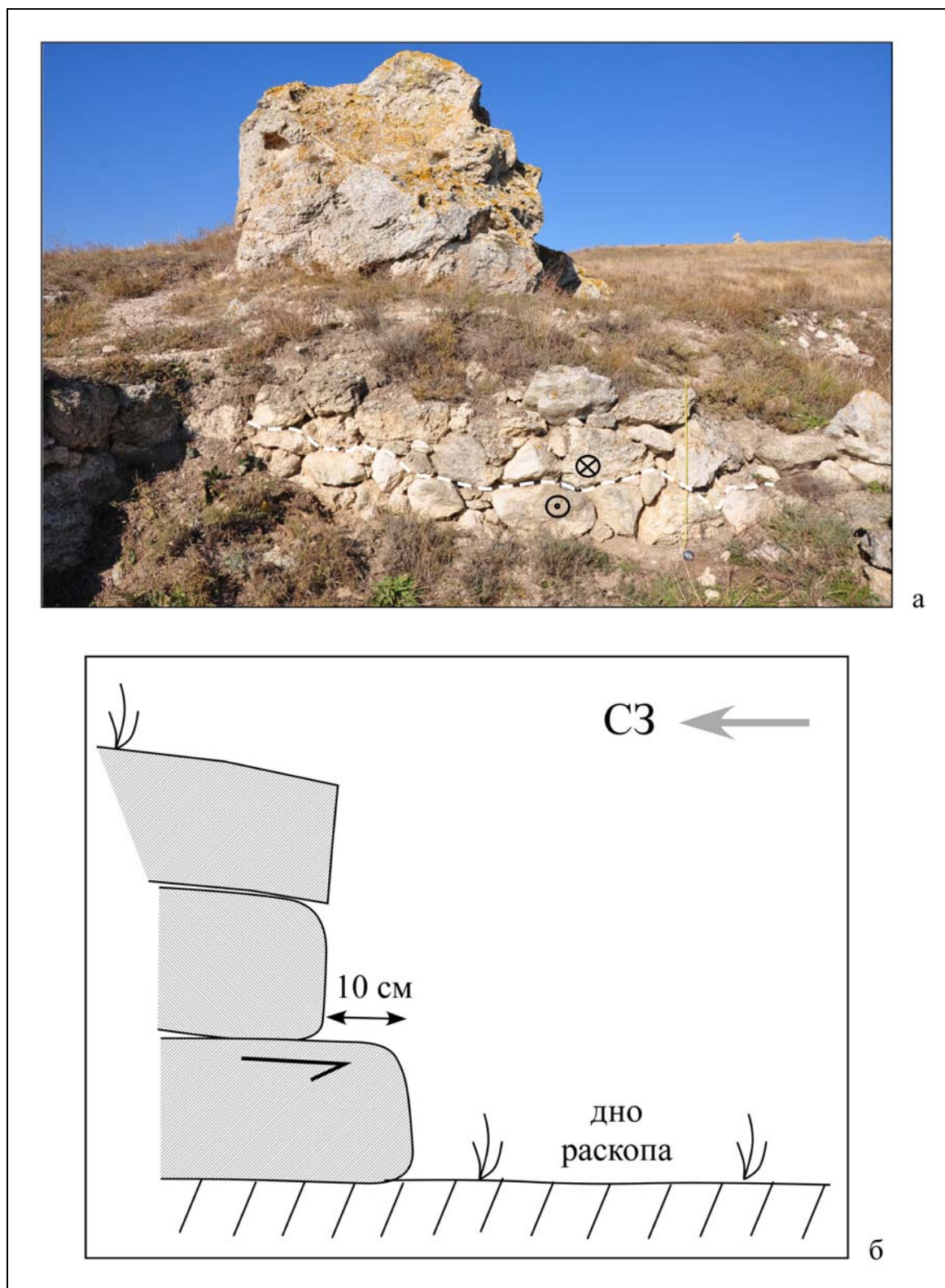


Рис. 5. Выдвижение в СЗ направлении всей верхней части СЗ стены помещения 9: а) Фотография, вид на СЗ; б) Схематическая внесштабная зарисовка. План. Односторонняя стрелка показывает направление движение грунта с нижним рядом камней.

Fig. 5. Extension in the NW direction of the entire upper part of the NW wall of the room 9: а) Photo, view of the NW; б) Schematic extra-scale sketch. Plan. The one-way arrow shows the direction of movement of the ground with the lower row of stones.

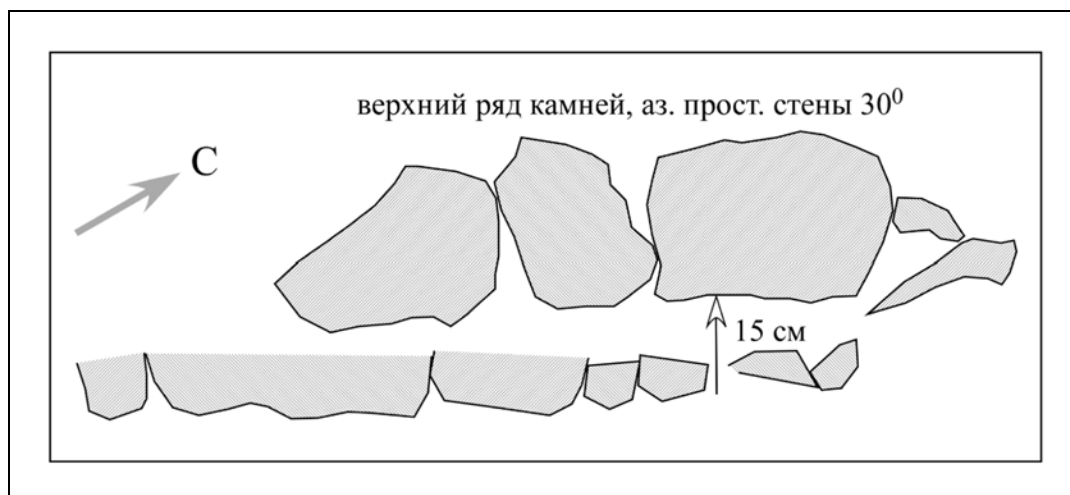


Рис. 6. Смещение верхнего ряда камней СЗ стены помещения 8 при сильном древнем землетрясении. Схематическая внесштабная зарисовка. План.

Fig. 6. Displacement of the upper row of stones near the wall of room 8 during a strong ancient earthquake. Schematic extra-scale sketch. Plan.

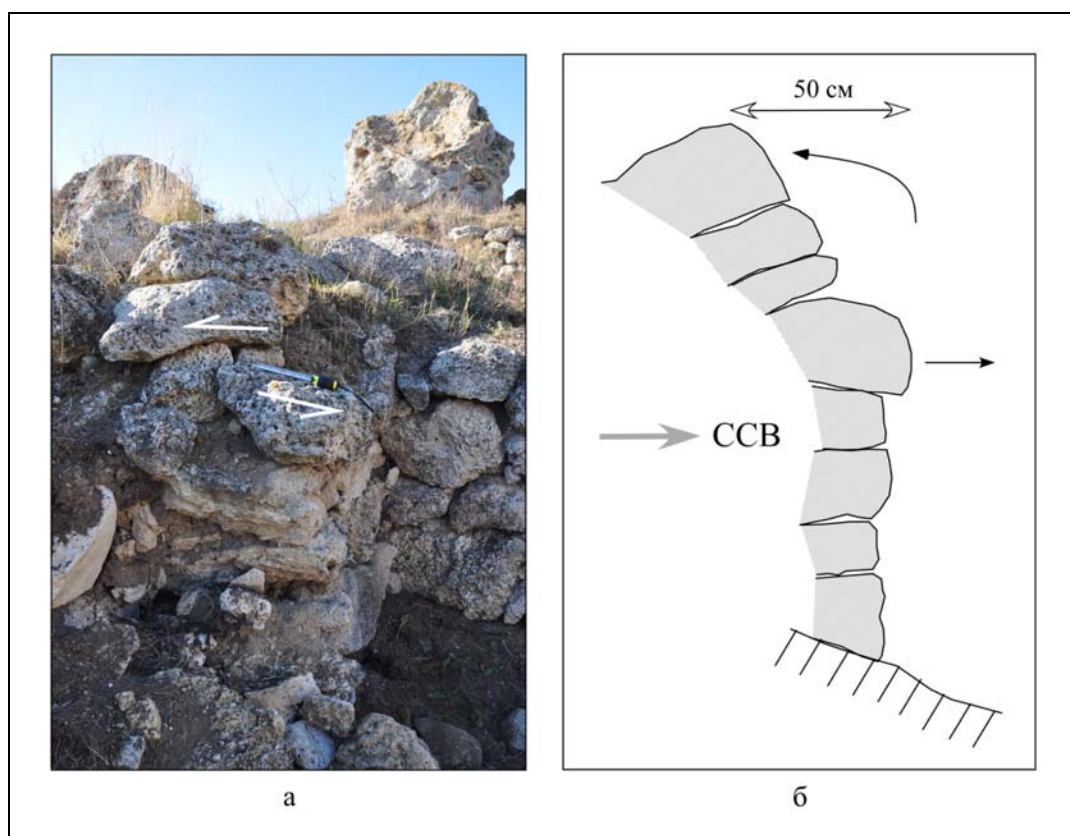


Рис. 7. Срыв и наклон верхних рядов каменной кладки внутрь помещения 7: а) Фотография, вид на запад. Односторонние стрелки показывают плоскость субгоризонтального разрыва; б) Схематическая внесштабная зарисовка, разрез.

Fig. 7. The breakdown and slope of the upper rows of masonry into the room 7: а) Photo, view to the west. The one-sided arrows show the plane of the subhorizontal gap; б) Schematic extra-scale sketch, section.



Рис. 8. Смещение нижнего ряда камней — остатков ЮВ стены помещения 8 в СЗ направлении. Смещение от подтесанного участка скалы составило 10 см. Один из камней при движении развернулся по часовой стрелке.

Fig. 8. Displacement of the lower row of stones — remnants of the SE wall of room 8 in the NW direction. The displacement from the trimmed section of the rock was 10 cm. One of the stones turned clockwise when moving.

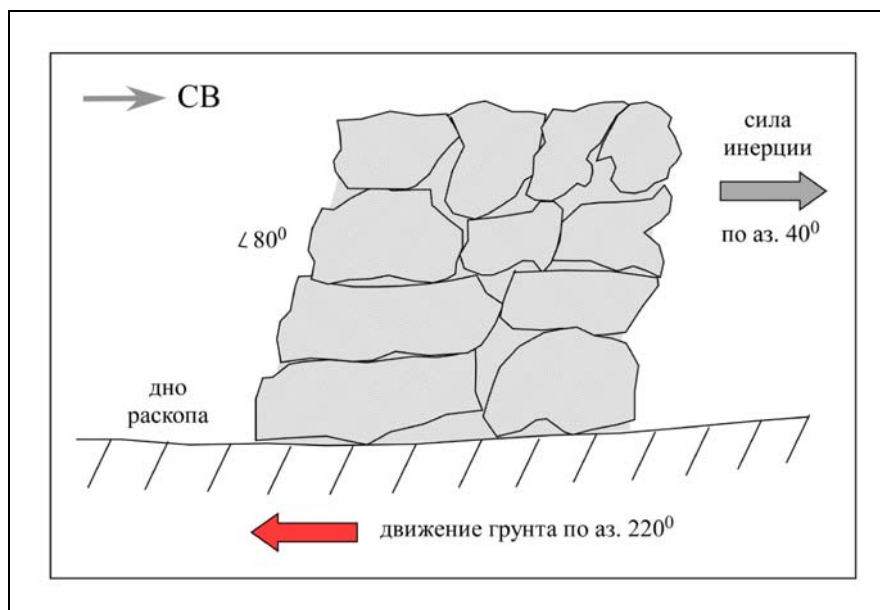


Рис. 9. Наклон оставшейся части стены 33 в помещении 8 в СВ направлении. Схематическая внемасштабная зарисовка, разрез.

Fig. 9. The slope of the remaining part of the wall 33 in room 8 in the right direction. Schematic extra-scale sketch, section.

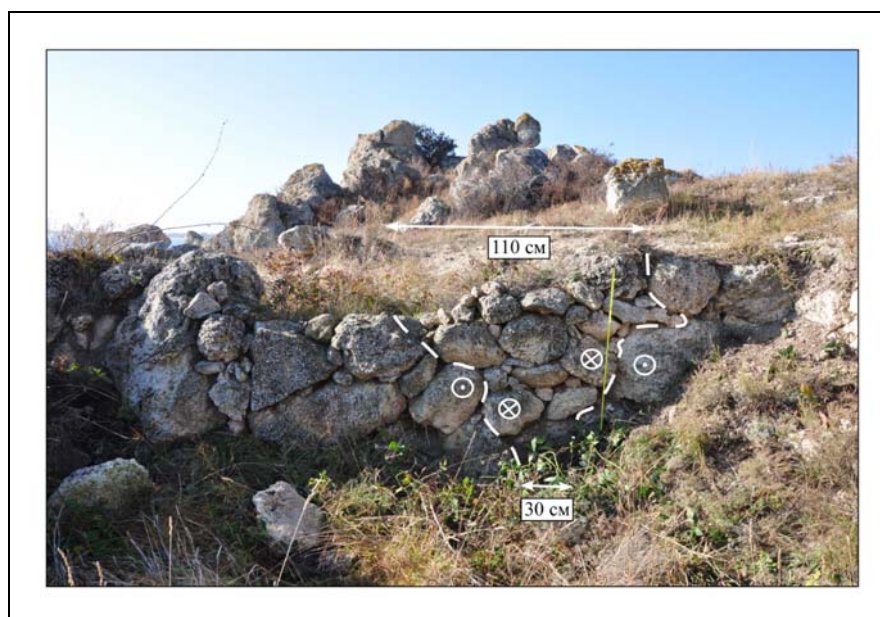


Рис. 10. ЮЗ стена помещения 9 в своей центральной части выдвинулась на ЮЗ. Фотография ее СВ фаса 2021 г. Штриховые линии — поверхности сопряженных разрывов, по которым произошло выдвигание. Кружочек с перекрестием (хвост стрелы) — выдвинувшаяся от зрителя часть каменной кладки. Кружочек с точкой (острие копья) — движение в сторону зрителя.

Fig. 10. SW the wall of room 9 in its central part moved to the SW. A photo of her face in 2021. Dashed lines are the surfaces of conjugate discontinuities along which the extension occurred. A circle with a crosshair (arrow tail) is a part of the masonry that has moved out from the viewer. A circle with a dot (the tip of a spear) — movement towards the viewer.

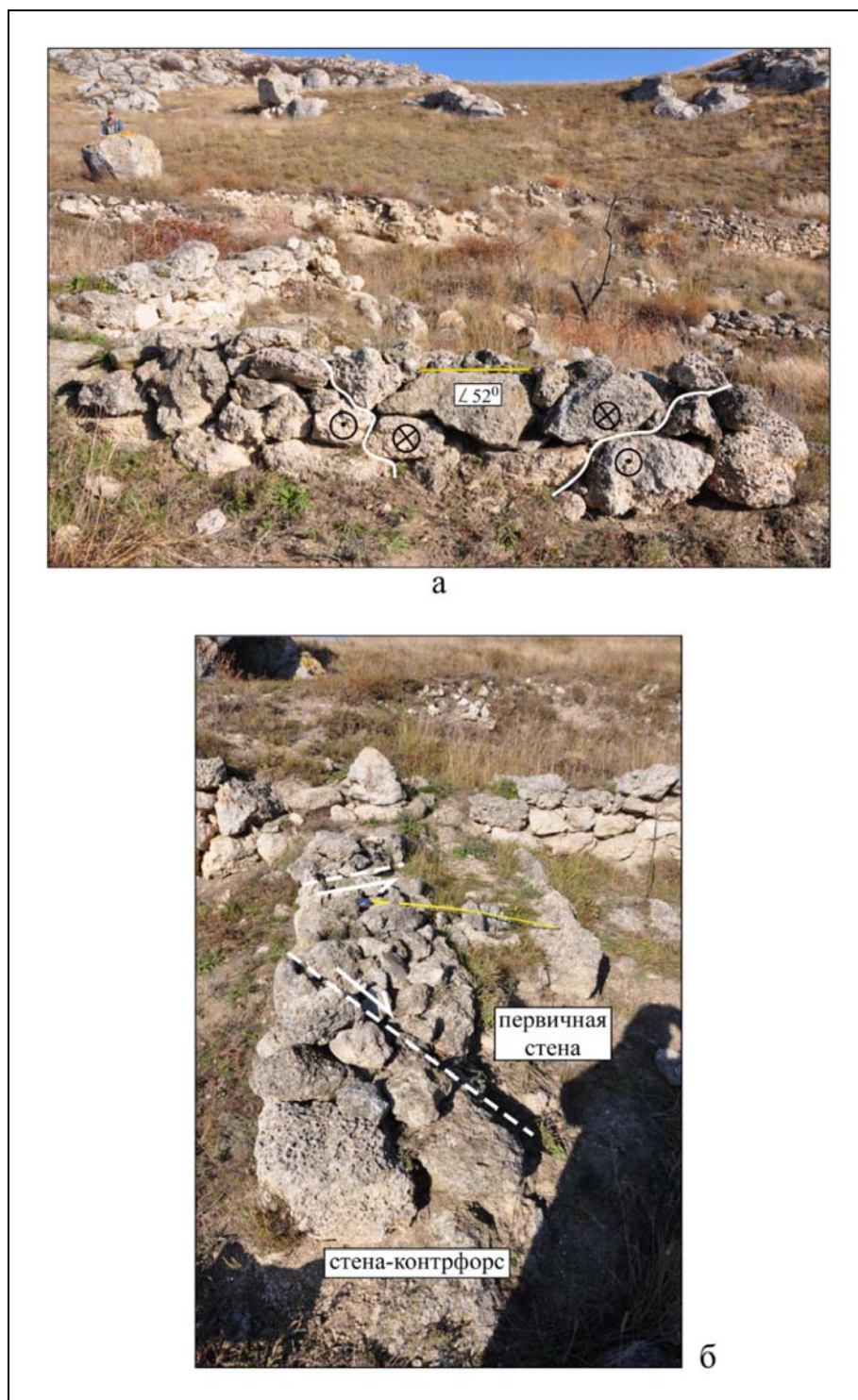


Рис. 11. Выдвижение и наклон СВ стены 28 в комнате 9 в СВ направлении по двум сопряженным плоскостям: а) Вид на СВ. Сплошные линии — разрывы. Кружочек с перекрестием (хвост стрелы) — выдвинувшаяся от зрителя часть каменной кладки. Кружочек с точкой (острие копья) — движение в сторону зрителя; б) Вид на СЗ. Справа видна первичная стена. Штриховые линии — разрывы. Односторонние стрелки — направление выдвижения.

Fig. 11. Extension and inclination of the SV wall 28 in room 9 in the SV direction along two conjugate planes: a) View of St. Solid lines are breaks. A circle with a crosshair (arrow tail) is a part of the masonry that has moved out from the viewer. A circle with a dot (the tip of a spear) is a movement towards the viewer; b) View of the NW. The primary wall is visible on the right. Dashed lines are breaks. One-way arrows extension direction.

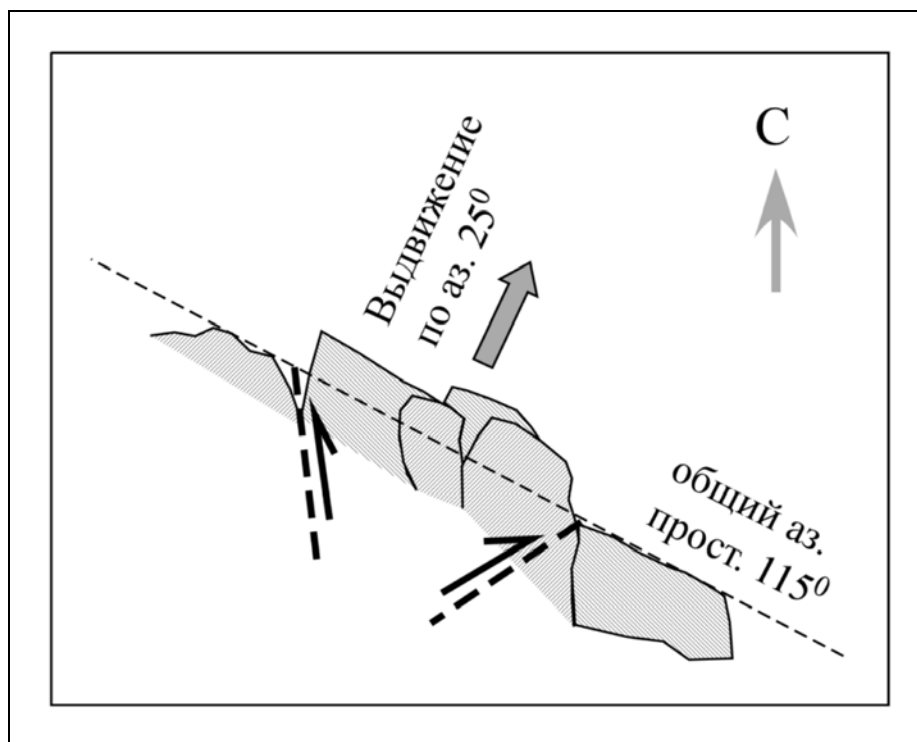


Рис. 12. Выдвижение на СЗ пакета камней в центральной части стены 19 в комнате 8. Схематическая внесштабная зарисовка, план.

Fig. 12. The extension of a package of stones in the central part of the wall 19 in room 8. Schematic extra-scale sketch, plan.



Рис. 13. Общий вид района городища с тектоническими разрывами (красные линии), точками георадарного профиля и положением выявленных сейсмотектонических смещений. Фотоплан 2021 г.

Fig. 13. General view of the area of the settlement with tectonic discontinuities (red lines), points of the georadar profile and the position of the detected seismotectonic displacements. Photoplane 2021.



Рис. 14. Разрывы СЗ простирания к востоку от городища: а) Строение тектонического рва СЗ простирания в разрезе мшанковых известняков. Вид на СЗ; б) Ступенчатые уступы вдоль разрывов СЗ простирания на восточном склоне мыса непосредственно к востоку от городища. Вид на ЮЗ.

Fig. 14. The gaps of the NW stretch to the east of the settlement: a) The structure of the tectonic moat of the NW strike in the section of mossy limestones. View of the NW; b) Stepped ledges along the breaks of the NW stretch on the eastern slope of the cape directly to the east of the settlement. View of the SW.



Рис. 15. Сдвиг гребня к востоку от городища (положение сдвига см. на рис. 13): а) Вид на ЮВ. Заштрихована плоскость наиболее молодой подвижки; б) Вид на запад. Сдвиг показан стрелкой.

Fig. 15. The shift of the ridge to the east of the settlement (see the position of the shift in Fig. 13): а) View of the SE. The plane of the youngest movement is shaded; б) View to the west. The shift is indicated by an arrow.

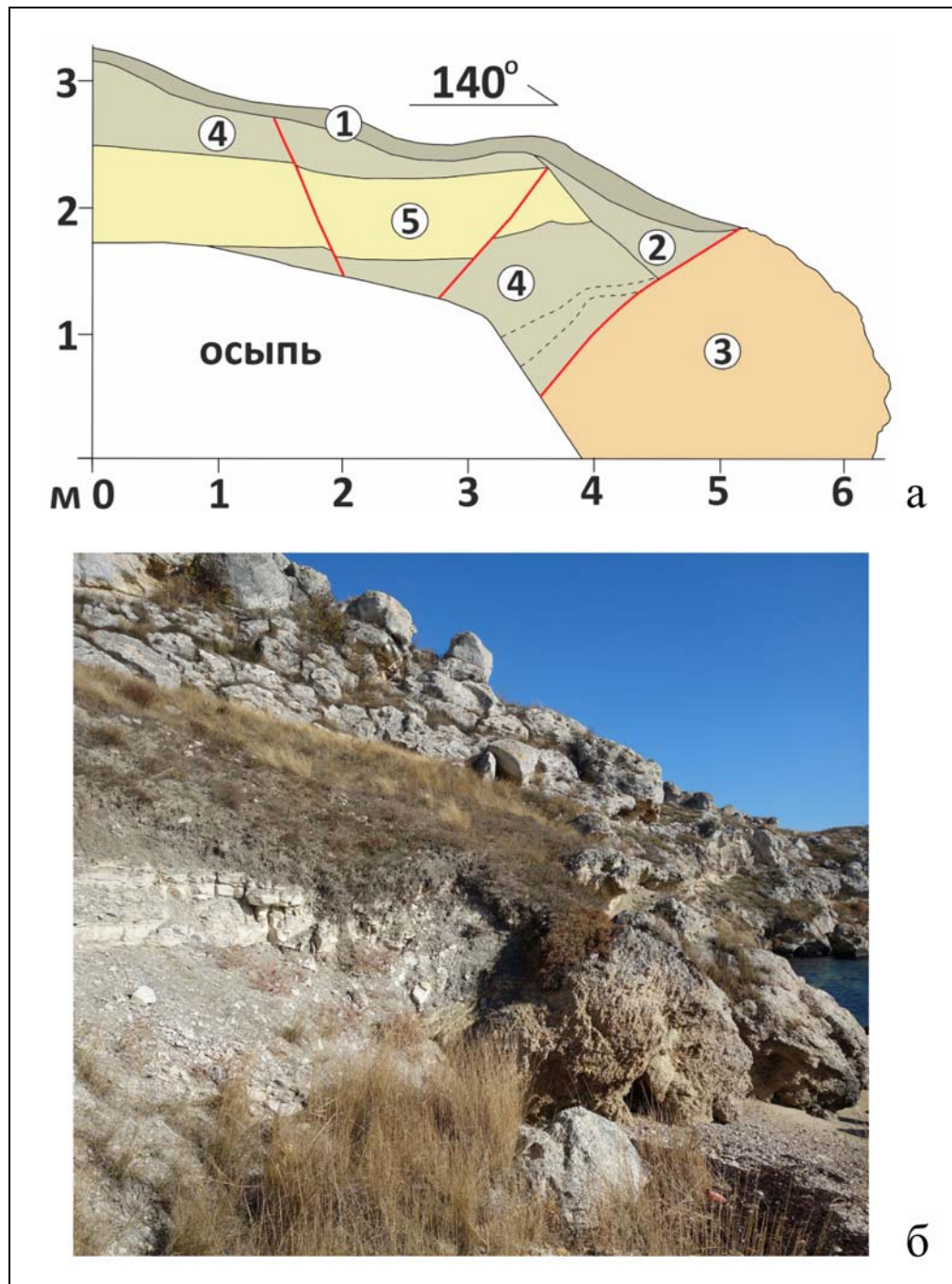


Рис. 16. Строение сдвигового разрыва СВ простирания к востоку от городища (положение разреза см. на рис. 13): а) Схематическая зарисовка обнажения. Красные линии – тектонические разрывы. 1 — современные склоновые отложения с тонким гумусовым горизонтом почвенного профиля; 2 — более древние склоновые накопления в тектонической ловушке; 3 — мшанковые известняки мэотического яруса неогена; 4, 5 — отложения межрифтового заполнения мэотического яруса неогена (4 — глины; 5 — тонкое переслаивание мергелей и глин); б) Общий вид обнажения и разрыва.

Fig. 16. The structure of the shear rupture of the SV strike to the east of the settlement (see the position of the section in Fig. 13): a) Schematic sketch of the outcrop. Red lines are tectonic breaks. 1 — modern slope deposits with a thin humus horizon of the soil profile; 2 — older slope accumulations in a tectonic trap; 3 — mossy limestones of the Meotic stage of the Neogene; 4, 5 — deposits of inter-reef filling of the meotic stage of the Neogene (4 — clays; 5 — thin interlayer of marls and clays); b) General view of exposure and rupture.



Рис. 17. Левый сдвиг СВ простирания к западу от городища (положение см. на рис. 13): а) Наиболее молодой сдвиговый разрыв обвальной глыбы; б) Общий вид на ЮЗ, разрыв показан стрелкой.

Fig. 17. The left shift of the SV prostration to the west of the settlement (see the position in Fig. 13): а) The youngest strike-slip rupture of an landslide block; б) General view to the SW, the gap is shown by an arrow.

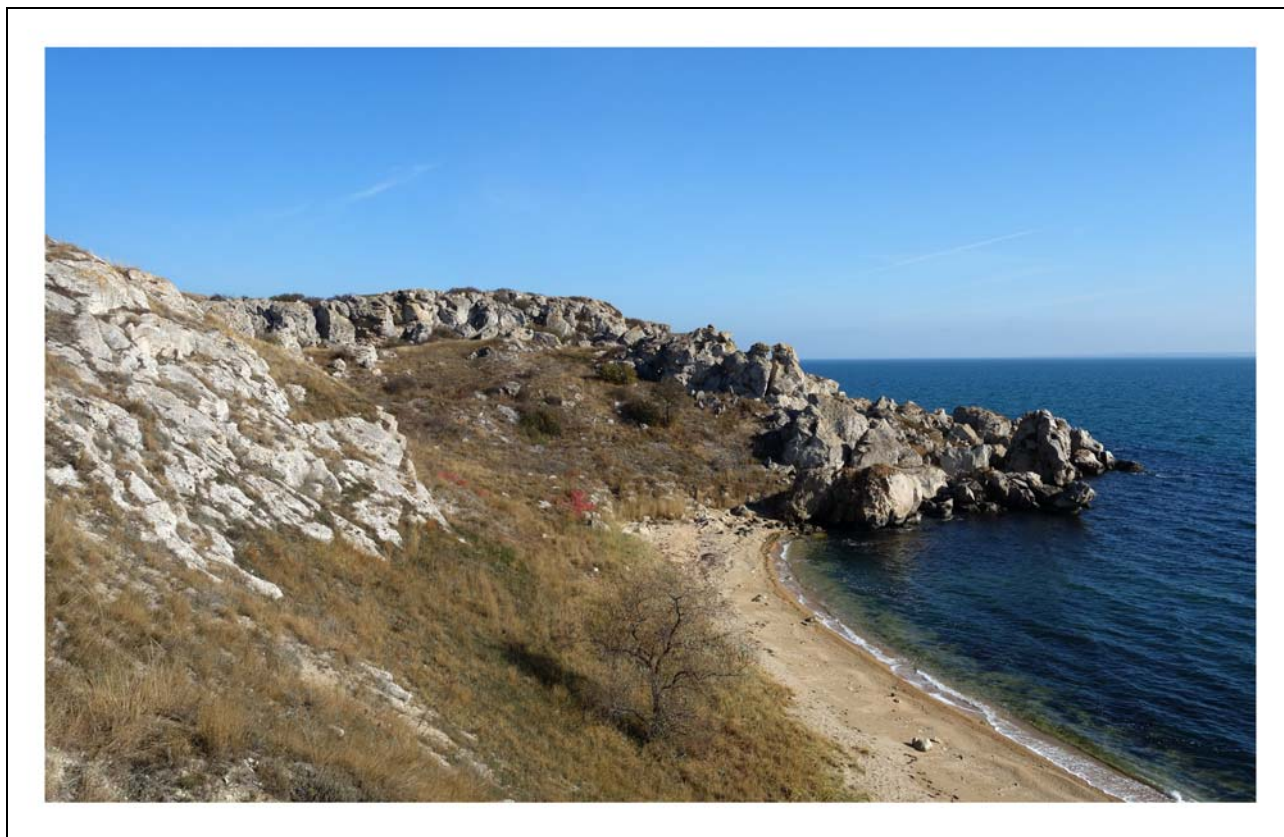


Рис. 18. Крупный скальный оползень в 300—400 м к востоку от городища.

Fig. 18. A large rock landslide 300—400 m to the east of the settlement.

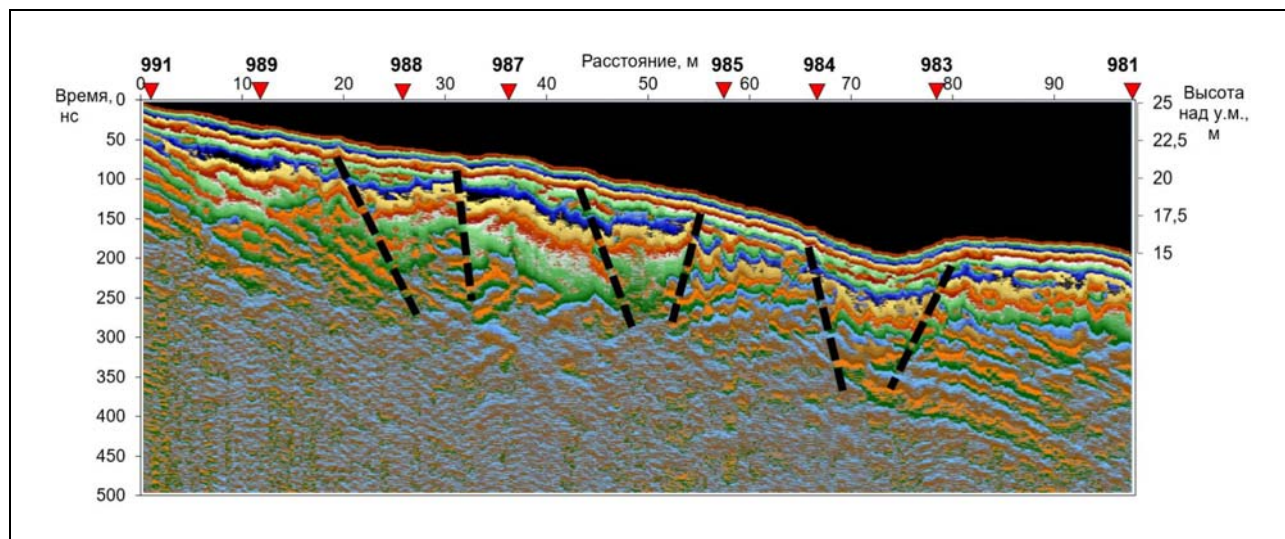


Рис. 19. Георадарный профиль: штриховая линия — предполагаемые линии разлома.

Fig. 19. Georadar profile: dashed line — assumed fault lines.

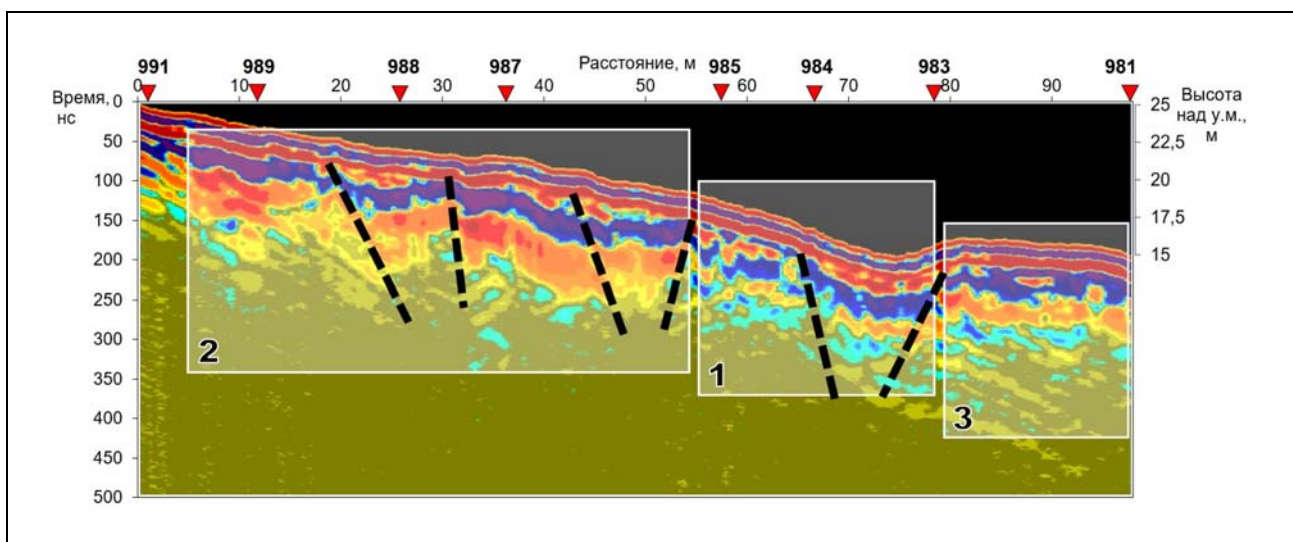


Рис. 20. Георадарный профиль: 1 — зона трещиноватости, нарушения осей синфазности и повышенного затухания сигнала; 2 — зона с регулярной структурой, без существенных нарушений; 3 — часть профиля, проходящая вдоль моря.

Fig. 20. Georadar profile: 1 — zone of fracturing, violation of the axes of in-phase and increased signal attenuation; 2 — zone with a regular structure, without significant violations; 3 — part of the profile passing along the sea.