

УДК 551.2/3

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-4-12-19

ПОСЛЕДСТВИЕ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РУИНАХ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА АФРАСИАБ (САМАРКАНД, УЗБЕКИСТАН)

Абдулхамид Анарбаевич Анарбаев^{1✉}, Муминхон Мунир оглы Саидов²,
Андрей Михайлович Корженков³, Акбар Абдукаримович Назаров⁴,
Любовь Андреевна Корженкова⁵, Алексей Андреевич Сенцов³,
Алексей Олегович Агibalов³

¹ Национальный Центр археологии АН РУз, Ташкент, Узбекистан; anarbaev-ahsi@mail.ru ✉

² Самаркандский институт археологии имени Я. Гуломова Агентства культурного наследия РУз, Самарканд, Узбекистан; Международный университет туризма и культурного наследия «Шелковый путь», Ташкент, Узбекистан; saidovmuminkhon@mail.ru

³ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; amkor61@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6424-4253>

⁴ Самаркандский Государственный университет, Самарканд, Узбекистан; akbarnazarov191@gmail.com

⁵ Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, Москва, Россия; korjenkova2404@mail.ru

⁶ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; alekssencov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6182-114X>

⁷ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия; agibalo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6742-3524>

Аннотация. На 6 объектах археологического памятника Афрасиаб нами обнаружены следы двух землетрясений X и XII вв., к которым относятся многочисленные разрывы и трещины, формирующие «цветковую» структуру, просадочный грабен, наклоны и развороты фрагментов крепостных стен. Судя по характеру деформаций, эпицентр землетрясения X в. располагался к западу-юго-западу от древнего города, а эпицентр землетрясения XII в. — к югу-юго-западу от него. Интенсивность обоих событий составляла VIII–IX баллов по шкале МСК-64.

Ключевые слова: Афрасиаб, Самарканд, последствия сильных землетрясений, Зеравшанский хребет

Для цитирования: Анарбаев А.А., Саидов М.М., Корженков А.М., Назаров А.А., Корженкова Л.А., Сенцов А.А., Агibalов А.О. Последствие сильных землетрясений в руинах археологического памятника Афрасиаб (Самарканд, Узбекистан) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 4. С. 12–19.

TRACES OF STRONG EARTHQUAKES IN THE RUINS OF THE ARCHAEOLOGICAL SITE OF AFRASIAB (SAMARKAND, UZBEKISTAN)

Abdulkhamid A. Anarbaev^{1✉}, Muminkhon M. Saidov²,
Andrey M. Korzhenkov³, Akbar A. Nazarov⁴, Lyubov A. Korzhenkova⁵,
Alexey A. Sentsov⁶, Alexey O. Agibalov⁷

¹ National Center of Archaeology, Academy of Sciences of Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan; anarbaev-ahsi@mail.ru ✉

² Gulomov Samarkand Institute of Archaeology, Cultural Heritage Agency of the Republic of Uzbekistan, Samarkand, Uzbekistan; “Silk Road” International University of Tourism and Cultural Heritage, Tashkent, Uzbekistan; saidovmuminkhon@mail.ru

³ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; amkor61@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6424-4253>

⁴ Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan; akbarnazarov191@gmail.com

⁵ E.M. Sergeev Institute of Geoecology RAS, Moscow, Russia; korjenkova2404@mail.ru

⁶ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; alekssencov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6182-114X>

⁷ Schmidt Earth Physics Institute RAS, Moscow, Russia; agibalo@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6742-3524>

Abstract. We found traces of 2 earthquakes of the 10th and 12th centuries at 6 objects of the Afrasiab archaeological site, which include numerous faults and fractures that form a “flower” structure, a subsidence graben, slopes and turns of fragments of fortress walls. Judging by the nature of the deformations, the epicenter of the earthquake of the 10th century was located to the west-southwest of the ancient city, and the epicenter of the earthquake of the 12th century. — to the south-southwest of it. The intensity of both events was VIII–IX points on the scale MSK-64.

Key words: Afrasiab, Samarkand, consequences of strong earthquakes, Zerafshan ridge

For citation: Anarbaev A.A., Saidov M.M., Korzhenkov A.M., Nazarov A.A., Korzhenkova L.A., Sentsov A.A., Agibolov A.O. Consequences of strong earthquakes in the ruins of the archaeological site of Afrasiab (Samarkand, Uzbekistan). *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 4: 12–19. (In Russ.).

Введение. На территории Самарканда находятся развалины городища Афрасиаб — столицы Согда (Согдианы). Этот древний город, расположенный в Зарафшанской долине, возник не позднее VIII в. до н. э. и являлся центром промышленности, торговли, науки и культуры. Арабский географ Ибн Хаукал, посетивший Самарканд в 70-х годах X в., с восхищением описывал его площади, дома, улицы, пруды, парки и сады. К сожалению, вместе с тем Ибн Хаукал увидел разрушенные дома и дворец правителя в цитадели [Бетгер, 1957]. Поскольку во второй половине X в. в Самарканде не происходило серьезных политических событий и вражеских нападений, разрушение города могло быть связано с каким-то природным катаклизмом, по-видимому, с сильным землетрясением. Для того чтобы проверить это предположение, нами в цитадели и внутри второй стены Афрасиаба на 6-ти объектах произведены расчистки, в которых археосейсмологическими методами удалось зафиксировать следы двух землетрясений X и XII вв.

Материалы и методы исследований. В основу работы положены традиционные методы архе-

осейсмологических исследований, наиболее полно рассмотренные в монографии [Archaeoseismology, 1996], а также в работах, опубликованных за последнее десятилетие зарубежными специалистами, например, [Martín-González, 2018, 2021; Liritzis et al., 2019]. В разработку методологии полевых исследований внесла вклад и наша группа, особенно в сфере использования кинематических индикаторов деформаций применительно к повреждениям и разрушениям древних строительных конструкций [Korzhenkov, Mazor, 1999; Корженков и др., 2020]. В ходе полевых археосейсмологических наблюдений, выполненных на 6-ти объектах в развалины городища Афрасиаб (рис. 1), нами были описаны деформации строительных конструкций, оценен их возраст, по характеру разрушений определены кинематические характеристики сейсмических событий и их интенсивность. Особое внимание было уделено сквозным трещинам, пробивающим несколько блоков / кирпичей подряд, а также ветвящимся трещинам, выходящим из одного разрыва, по-



Рис. 1. Аэрофотоснимок Афрасиаба: **объекты 1–2** — цитадель (донжон), остатки стены IX–X вв., где видны следы землетрясения X в.; **объект 3** — южная стена цитадели, где видны следы землетрясения первой половины XII в.; **объект 4** — пахсовая стена к востоку от цитадели, где проявлены следы землетрясения первой половины XII в.; **объект 5** — остатки четвертой крепостной стены, где видны следы землетрясения XII в.; **объект 6** — остатки второй крепостной стены, следы землетрясения X в.

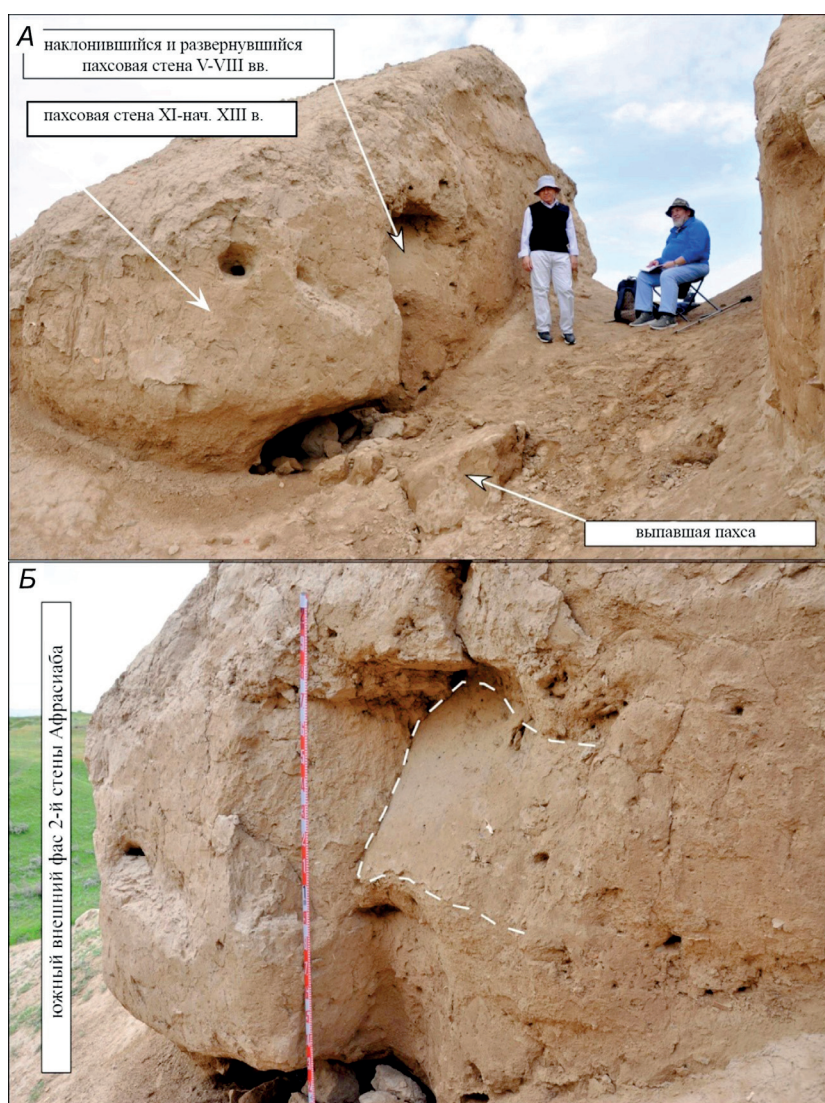


Рис. 2. Наклон и поворот пахсы во 2-й стене Афрасиаба (объект 6 на рис. 1). А — общий вид на северо-запад, Б — близкий вид на юго-запад. Длина измерительной ленты 2 м. Фотография 2023 г.

скольку такие трещины в большинстве случаев связаны с землетрясениями.

Результаты и их обсуждение. Трудно ожидать возможность обнаружения в археологическом раскопе, пройденном через пахсовые строительные конструкции, какие-либо сейсмоинерционные деформации. Тем не менее в стенке субмеридиональной траншеи, пройденной через 2-ую пахсовую стену Афрасиаба (рис. 2), нами обнаружен фрагмент, который наклонился под значительным углом и развернулся по часовой стрелке вокруг вертикальной оси. Подобные деформации возникают при сильных сейсмических подвижках, когда нижняя часть строительной конструкции движется вместе с грунтом, а верхняя часть сооружения остается на месте вследствие сил инерции. Видимые размеры деформированного фрагмента стены: ширина — 85 см, высота — 80–85 см, толщина (судя по соседним пахсовым блокам) — 92–100 см. Отметим, что изученная нами плоскость была обнаружена случайно в старом раскопе из-за выпадения соседнего, также деформированного блока пахсы. Азимут простираения повернутого блока 8–10°, азимут простираения внешнего (южного) фасада 2-ой южной стены города

~90°. Таким образом, поворот деформированного фрагмента строительной конструкции составил около 9° по часовой стрелке. Впечатляет весьма значительный наклон фрагмента под углом 60–61°. Он наклонился по азимуту 278–280° (на запад); отсюда, по-видимому, приходили сильнейшие сейсмические подвижки, приведшие к такой значительной и комплексной деформации. Деформированная стена имеет возраст V–VIII вв.; таким образом, возраст сейсмического события, ответственного за возникновение сейсмодислокации, более поздний. Важно упомянуть, что аналогичные наклон и поворот значительного пахсового блока был выявлен в привходовой башне в городище Кыркхуджа в Ферганской долине и описан нами ранее [Корженков и др., 2020].

Известно, что во время сильных землетрясений верхние части высотных зданий имеют амплитуду колебаний большую, чем нижние. Соответственно, степень повреждений и разрушений увеличивается вверх с каждым этажом. Это так называемый «эффект небоскреба». Однако не только верхние части небоскребов демонстрируют максимальные повреждения. Природные объекты — протяженные хребты — в своей верхней части также испытывают

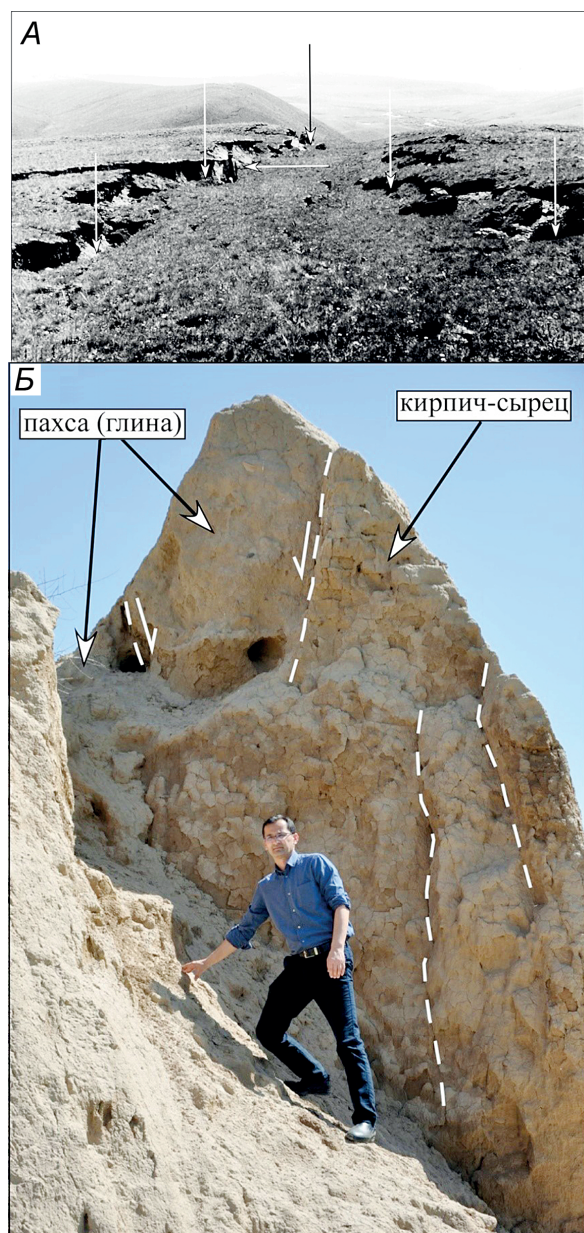
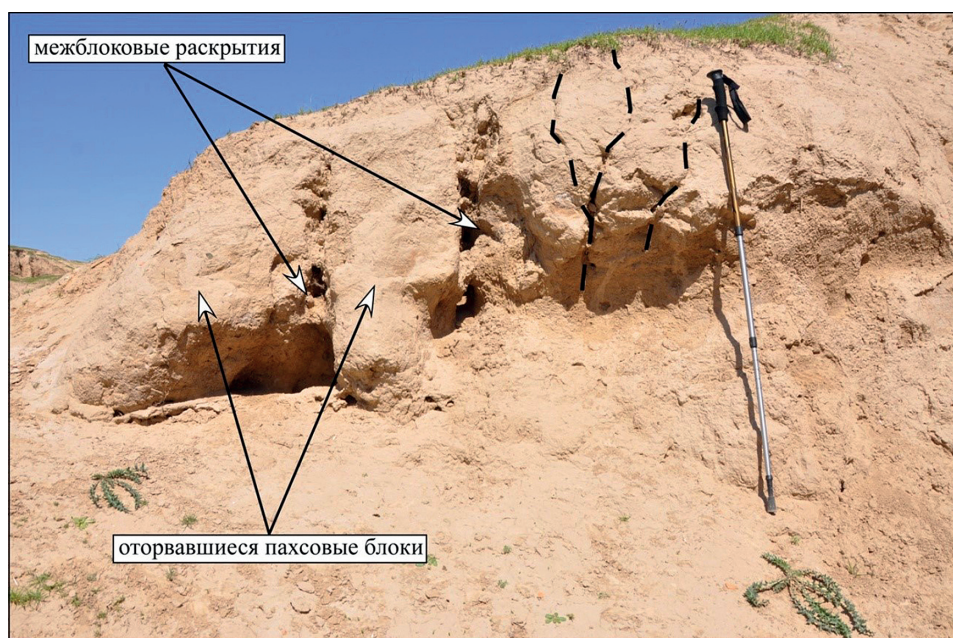


Рис. 3. Образование двухсторонних грабен во время сейсмических событий. А — грабен в водораздельной части хребта Чет-Корумды, образовавшийся при IX–X-балльном Суусамырском землетрясении 1992 г. в Северной Киргизии, по [Korjenkov et al., 2004], с дополнениями. Фотография 1993 г. Вид на восток. Вертикальные стрелки показывают выход сбросовых плоскостей на поверхность, горизонтальная — фигуру человека в открытой трещине. Б — грабен в южной стене цитадели в Афрасиабе, где видны следы землетрясения первой половины XII в. (объект 3 на рис. 1). Вид на север. Штриховые линии показывают разрывы, односторонние стрелки — направление смещения по ним. Фотография 2022 г.

максимальные колебания, что зачастую приводит к образованию сопряженных грабен. Так, например, во время Суусамырского землетрясения в Северном Тянь-Шане 1992 г. с магнитудой 7,3 и интенсивностью IX–X баллов в приводораздельной части внутривпадинного поднятия Чет-Корумды образовался ступенчатый двухсторонний грабен [Korjenkov et al., 2004]. Подобный механизм, по-видимому, действовал при образовании небольшого двухстороннего грабена в центральной части южной стены цитадели Афрасиаба. Восточная плоскость сечет пахсовые слои, а западная отделяет пахсовую кладку и «рубашку» — внешний панцирь стены, сложенный из сырцовых кирпичей. Расстояние между смежными разрывами 70 см, смещение по западному из них составляет 1,5 см. Остаточная высота стены цитадели, возвышающейся над смежным к западу шахристаном — 15 м (рис. 3). Подобные односторонние сбросовые разрывы приводят к смещению вниз и обрушению значительных фрагментов стен. Такой механизм мы наблюдали в одной из стен к востоку от площади перед цитаделью. Здесь пахсовая стена с простиранием 13° имеет значительные повреждения в своей внешней (западной) части. Ее внешние части отошли по трещинам к западу, а верхняя часть обрушилась в том же направлении (рис. 4).

Рис. 4. Отслаивание и отхождение внешних пахсовых частей одной из стен к востоку от площади перед цитаделью по сбросовым разрывам / трещинам (показаны штриховыми линиями) (объект 4 на рис. 1). Следы землетрясения первой половины XII в. Длина трековой палки 1,1 м. Вид на север. Фотография 2022 г.



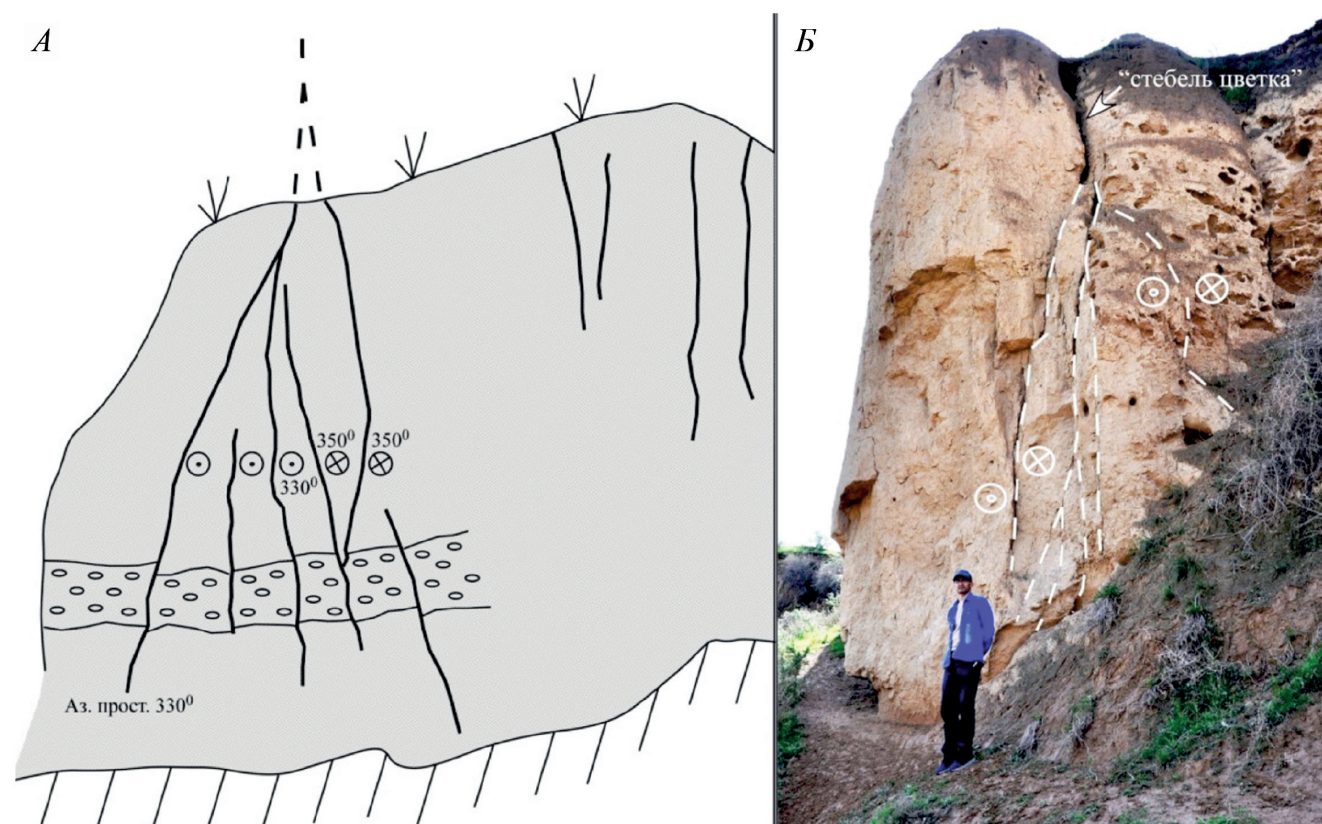


Рис. 5. «Цветковая» структура трещин, раскрывающаяся книзу и свидетельствующая о сдвиговых смещениях по ним. Окружности с точкой показывают движение блока к зрителю. Окружности с перекрестием — удаление блока. А — юго-восточный угол сооружения первого шахристана городища Кыркхуджра. Схематическая внесштабная зарисовка [Корженков и др., 2020]. Б — Северо-западный угол в северо-восточной части четвертой городской стене Афрасиаба (объект 5 на рис. 1). Остатки четвертой крепостной стены, где видны следы землетрясения первой половины XII в. Фотография 2023 г. Вид на восток

Большой интерес у специалистов в области археосейсмологии вызывают ветвящиеся трещины, выходящие из одного разрыва. Это так называемые «цветочные» структуры. Своим происхождением они обязаны сдвиговыми напряжениями по обе стороны от трещинного ансамбля. Чаще всего это трещины, ветвящиеся кверху. Однако встречаются и ветвления книзу. Так, например, в юго-восточном углу шахристана поселения Кыркхуджра на холме III значительная часть угла строительной конструкции вывалилась наружу при сильном землетрясении [Корженков и др., 2020]. В образовавшемся обнажении мы обнаружили структурный ансамбль, составленный из нескольких небольших трещин-разрывов — «цветочную» структуру. Подобную структуру мы изучили также в углу, образовавшемся на стыке северо-западной городской стены Афрасиаба и восточного склона сухого сая, режущего вышеупомянутую стену. Северо-западная стена города ограничивается рвом, по которому протекают воды реки Сиеб. Азимут простираения ее и канала 110° . Простираение сая почти перпендикулярное — около 35° . По разрывам, образующим «цветочную» структуру, имеется латеральное ступенчатое выдвигание каждой пластины на первые десятки сантиметров по правилу левого сдвига (рис. 5).

Наряду с «аномальными» (перевернутыми) цветочными структурами имеется множество «нормальных» цветочных структур, расположенных зачастую рядом друг с другом. Они являются свидетельством значительных латеральных сдвиговых напряжений, направленных параллельно простираению массивных пахсовых стен. Так, например, в траншее, пройденной через западную стену донжона (рис. 6), виден ряд цветочных структур. Азимут простираения западного фаса этой стены 170° . Азимут простираения траншеи — 80° . Азимуты простираения трещин, слагающих упомянутые «цветочные» структуры имеют субмеридиональный тренд, укладываясь в ранг $10\text{--}16^\circ$.

В протяженных археологических траншеях довольно часто встречается комплекс как хрупких деформаций, так и пластичных субвертикальных зон (рис. 7). В перпендикулярной стене, пристроенной к южной стене донжона Афрасиаба, наблюдаются подобные трещины-разрывы, которые составляют грабеноподобные и «цветковые» структуры. Эти хрупкие разрывы перемежаются с зонами смятия толщиной в первые десятки сантиметров. Не вполне понятно, почему в одних случаях при значительных напряжениях возникает хрупкая деформация, а в других — пластическая. Возможно, это объяснимо особенностями строительной конструкции



Рис. 6. «Нормальные» цветочные структуры (показаны штриховыми линиями) в северной стенке траншеи, пройденной через западную стену донжона (объект 1 на рис. 1). Остатки стены IX–X вв. Следы землетрясения X в. Цифры указывают места замеров простираения трещин. Длина измерительной ленты 2 м. Фотография 2023 г. Вид на северо-запад



Рис. 7. Перпендикулярная стена (объект 2 на рис. 1). Остатки стены IX–X вв., пристроенной к южной стене донжона, имеют хрупкие (жирные сплошные линии) и пластичные (штриховые линии) деформации. Следы землетрясения X в. Возможно, что вся эта стена постепенно развернулась по часовой стрелке: круг показан штриховой линией. Длина измерительной ленты 2 м. Фотография 2023 г. Вид на юго-запад

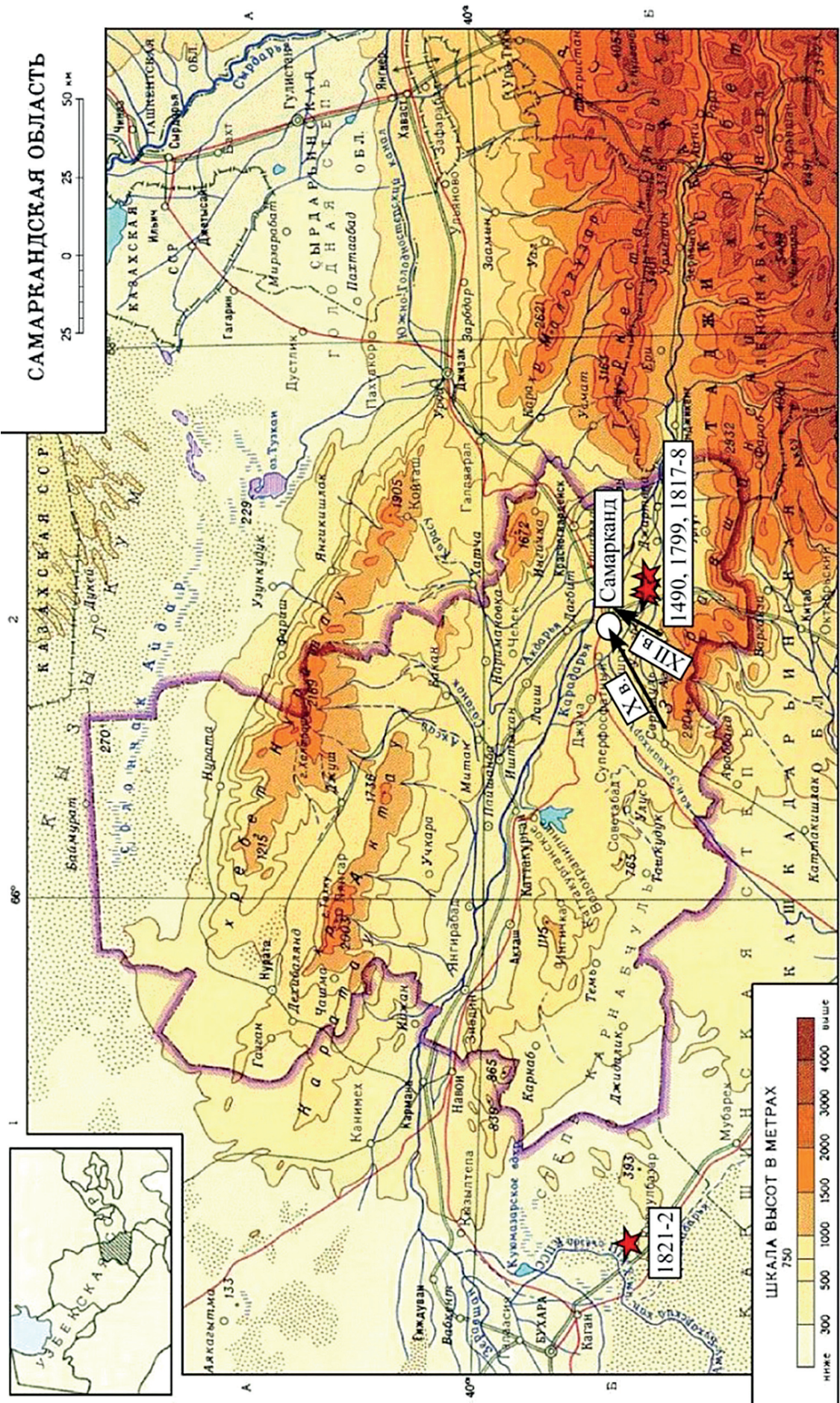


Рис. 8. Топографическая карта Самаркандской области Узбекистана. Звездочки — эпицентры сильных землетрясений, по [Новый..., 1977]; рядом подписаны годы произошедших сейсмических событий. Стрелки исходят из центральных частей эпицентральных зон сильных землетрясений X и XII вв.

и плотностью трамбовки пахсы. Интересная особенность отмечена на описываемом участке. Наши замечания простирались разрывов, секущих исследованную стену, показали постепенное увеличение величин от 90° до 120°. Этот факт может означать постепенный разворот всей стены по часовой стрелке вокруг вертикальной оси на 30°.

Заключение. Таким образом, в 6 объектах города зафиксированы следы двух землетрясений X и XII вв. Деформации объектов № 1, 2, 6 затронули стены, возведенные до X в. Поврежденные фрагменты стен имеют наклон на запад и при этом вращаются по часовой стрелке вокруг вертикальной оси (№ 2, 6), что означает приход сейсмических колебаний с запада-юго-запада, т.е. эпицентральная зона землетрясения X в. располагалась к западу-юго-западу от Афрасиаба, на месте западного латерального вспарывания периклинали Зеравшанского хребта. Данные по деформациям стен, возведенных до XII в., в пунктах № 3–5 указывают на колебания вдоль субмеридиональной оси (№ 3), а также отслоение и обрушение стены на запад (№ 4), что свидетельствует о расположении эпицентральной зоны древнего землетрясения к югу-юго-западу от

Афрасиаба. Интересна миграция очагов сильных землетрясений вдоль северного фронта Зеравшанского хребта (мегантуклинали) в восточном направлении: от его западного окончания в X в. до эпицентральной зоны землетрясений 1817–1818 гг. на расстояние в 50 км (рис. 8).

Судя по сильным деформациям важнейших и капитально построенных сооружений Афрасиаба, степень описанных разрушений может быть оценена в I=VIII–IX баллов по макросейсмической шкале МСК-64.

Полученные данные позволяют продлить каталог сильных землетрясений региона вглубь веков, перейти к более надежным оценкам повторяемости и миграции сильных сейсмических катастроф, а также новой региональной оценке сейсмической опасности с использованием данных археосейсмологии.

Финансирование. Работа выполнена за счет средств фундаментального гранта «Узбекистан Ф3-202011021» Национального центра археологии АН Республики Узбекистан, а также в рамках государственного задания Института физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетгер Е.К. Извлечение из книги «Пути и страны» Абул-Касыма Ибн Хаукаля // Труды Среднеазиатского государственного университета. Археология Средней Азии. Вып. IV. Ташкент, 1957. С. 13–40.

2. Корженков А.М., Анарбаев А.А., Усманова М.Т. и др. Сейсмические деформации в древнем поселении Кыркхужра, расположенном на Великом шелковом пути в Папском районе Узбекистана // Земля и Вселенная. 2020. № 6. С. 37–59.

3. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1974 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебакина. М.: Наука, 1977. 536 с.

4. Archaeoseismology / Eds S. Stiros, R.E. Jones. Athens: Brit. School at Athens, 1996. 268 p.

5. Korjenkov A.M., Mamyrov E., Omuraliev M. et al. Rock avalanches and Landslides formed in result of strong Suusamyr (1992, M=7.4) earthquake in the northern Tien Shan — test

structures for mapping of paleoseismic deformations by satellite images // Proceedings of the 7th International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography. Dresden: Kartographische Bausteine, 2004. P. 117–135.

6. Korzhenkov A.M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient cities as fossil seismographs // Sci. New Technol. 1999. No. 1. P. 62–74.

7. Liritzis I., Westra A., Miao C. Disaster geoarchaeology and natural cataclysms in world cultural evolution: An overview // J. Coastal Res. 2019. Vol. 35, No. 6. P. 1307–1330.

8. Martín-González F. Earthquake damage orientation to infer seismic parameters in archaeological sites and historical earthquakes // Tectonophysics. 2018. Vol. 724/725. P. 137–145.

9. Martín-González F. Review and proposed method to study the damage orientation of earthquake effects in pre-instrumental earthquakes // Izv. Phys. Solid Earth. 2021. Vol. 57, No. 6. P. 980–993.

Статья поступила в редакцию 29.05.2023,
одобрена после рецензирования 05.06.2023,
принята к публикации 16.08.2023