

УДК 550.34.063;550.344.56;550.347.29;550.347.62

СЛЕДЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЭНЕОЛИТА И СРЕДНЕВЕКОВЬЯ В АРХЕОЛОГИЧЕСКОМ ПАМЯТНИКЕ ДУРАНКУЛАК, СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ БОЛГАРИЯ

© 2020 г. А. М. Корженков^{a, *}, А. Н. Овсяченко^a, О. В. Димитров^{b, **}, Т. Димов^{c, ***},
А. С. Ларьков^a, Б. Рангелов^{d, ****}, Е. А. Рогожин^a, С. Н. Родина^a

^aИнститут физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ул. Большая Грузинская, 10, Москва, 123242 Россия

^bИнститут океанологии “Фритьоф Хансен” БАН, ул. Първимай, 40, Варна, 9003 Болгария

^cДобричский региональный исторический музей, ул. Доктора Константина Стоилова, 18, Добрич, 9300 Болгария

^dГорно-геологический университет, ул. Проф. Б. Каменов, 1, София, 1700 Болгария

*e-mail: korzhenkov@ifz.ru

**e-mail: ovdimitrov@io-bas.bg

***e-mail: tkonstantin@mail.bg

****e-mail: branguelov@gmail.com

Поступила в редакцию 04.01.2020 г.

После доработки 21.03.2020 г.

Принята к публикации 31.03.2020 г.

Нами были проведены палео- и археосейсмологические исследования на энеолитическом археологическом памятнике Дуранкулак в Северо-Восточной Болгарии, на котором было выявлено значительное количество разновозрастных деформаций сейсмогенного происхождения. Повсеместное распространение стен-контрфорсов, пристроенных с востока к поврежденным первичным субмеридиональным стенам, говорит о первом значительном землетрясении на Дуранкулаке, произошедшем, по всей видимости, в среднем–позднем энеолите (4650–4100 г. до н. э.). Во время этого сейсмического события субмеридиональные стены наклонились на запад, для чего древним жителям пришлось возводить стены-контрфорсы для предотвращения обрушения первичных стен. Однако, в верхних раскопках археологического памятника видно, что следующая, более поздняя сейсмическая деформация привела к наклону и обрушению остатков первичных стен на восток и расхождению на первые десятки сантиметров первичных стен и стен-контрфорсов друг от друга. После этого поселение было заброшено. Можно предположить, что второе землетрясение было более сильное, чем первое, после которого еще можно было провести восстановительные работы. Местная сейсмическая интенсивность первого землетрясения, по всей видимости, была не менее $I_1 \geq VIII$ баллов, а второго $I_1 \geq IX$ баллов по шкале MSK-64. Так как каменная кладка обеих стен: первичных и контрфорсных приблизительно одного возраста, временной интервал между сейсмическими событиями небольшой – сотня–другая лет. Тем не менее, эпицентры обоих землетрясений находились в различных направлениях от Дуранкулака. Сейсмические колебания – волны сжатия, удары – шли с запада при первом землетрясении, при втором землетрясении направление прихода разрушительных сейсмических подвижек было с востока. Очаг первого сейсмического события очевидно связан 1) с сейсмогенерирующей зоной в континентальной Болгарии, расположенной к западу от исследованного археологического памятника, или 2) с Интрамизийским активным разломом, ответственным за возникновение сильного землетрясения 1444 г. Очаг второго сейсмического события находился неподалеку – в прибрежной части Черного моря; вероятно за его возникновение ответственна Шабла-Калиакренская сейсмогенерирующая зона. Сильные сейсмические деформации были выявлены нами также в постройках на южном склоне острова в помещениях, относящихся по времени к Первому болгарскому царству (IX век н. э.). Во время этого сейсмического события в прямоугольных постройках появились дисторсии (в плане) стен, их сигмоидальность, а также разрывы и повороты стен. Местная сейсмическая интенсивность при этом землетрясении, предположительно, была не менее $I_1 \geq VIII$ баллов. Очаг третьего сейсмического события, скорее всего, находился неподалеку – в прибрежной части Черного моря; за его возникновение, по всей видимости, ответственна Шабла-Калиакренская сейсмогенерирующая зона.

Ключевые слова: археосейсмология, историческая сейсмичность, Дуранкулак, энеолит, средневековье, кинематические индикаторы, сейсмические деформации, руины, Болгария, оценка сейсмической опасности

DOI: 10.31857/S0203030620040021

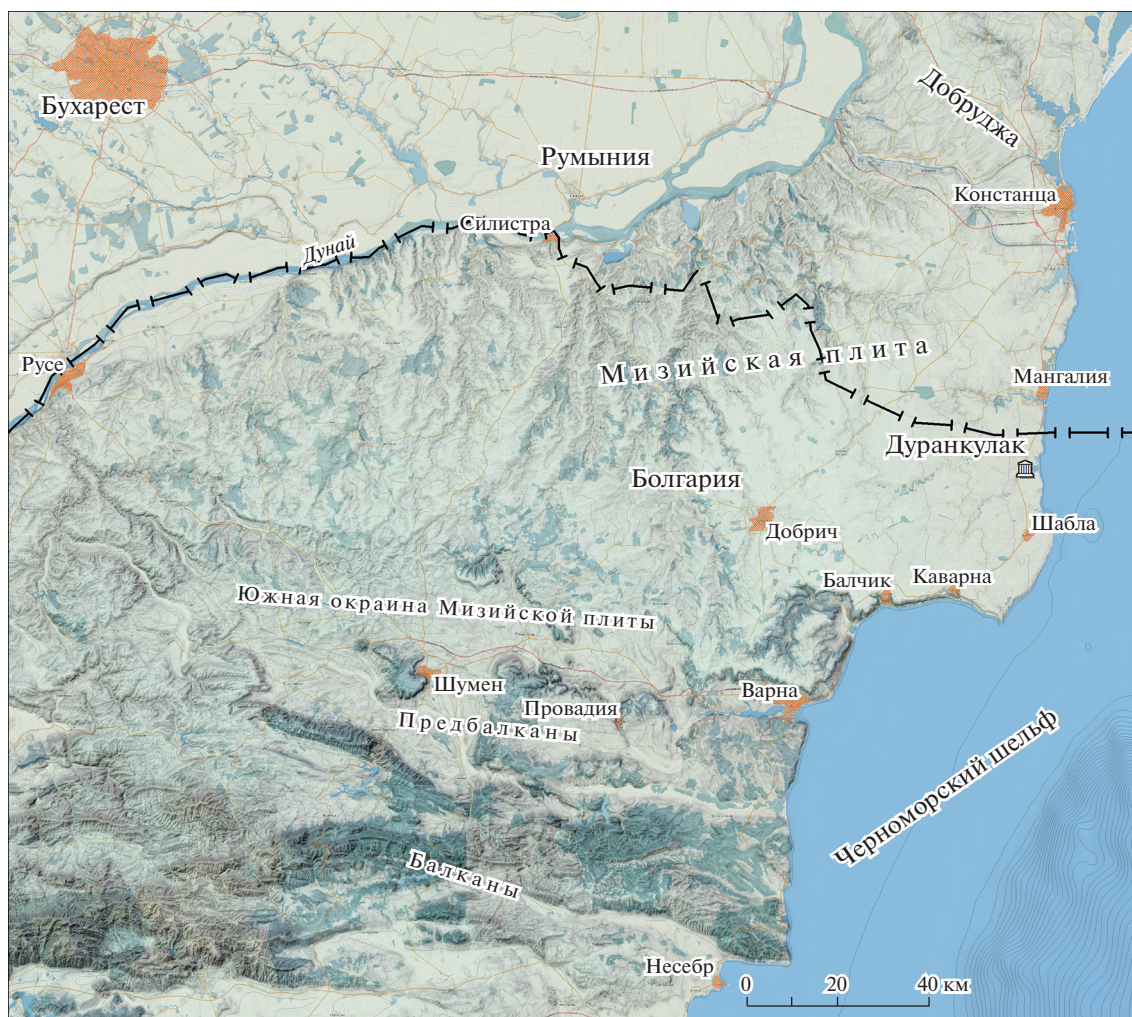


Рис. 1. Положение памятника Дуранкулак. Подписаны крупнейшие морфоструктуры.

ВВЕДЕНИЕ

В 2019 г. нами были выполнены исследования следов сильных землетрясений в северо-восточной Болгарии, на одном из древнейших архитектурных памятников Европы – Дуранкулак. Район отличается высокой тектонической активностью, проявления которой в виде сильных землетрясений, цунами, разнообразных молодых тектонических деформаций, приразломных газовыделений и др. обнаруживают себя в пределах всех основных морфоструктур [Voncev et al., 1982; Карта ..., 1994; Dimitrov, Genov, 2004; Рогожин и др., 2009; Dimitrov, Vassilev, 2016; и др.]. К последним относятся крупнейшие тектонические единицы, прямо выраженные в рельефе глубиной эрозионного вреза и степенью деформированности осадочного чехла (рис. 1). Границы между морфоструктурами изучены недостаточно и во многом дискуссионные [Dabovski et al., 2002; Zagorchev, 2009].

Северная часть Болгарии располагается на Мизийской плите. В рассматриваемом районе

она представлена низким, слабохолмистым плато, сложенным плейстоценовыми лёссами и неогеновыми известняками. Исходная позднемиоценовая поверхность выравнивания, маркирующая новейшие тектонические деформации [Zagorchev, 1992], в пределах плато незначительно приподнята и перекошена в сторону Балкан на 200–300 м. На востоке плато срезано берегом Черного моря. Здесь расположен высокий абразионный уступ с многочисленными оползнями, переходящий в пологий черноморский шельф.

Мизийская плита выполнена относительно слабо деформированным мезо-кайнозойским чехлом и складчатым палеозойским фундаментом. Она представляет собой самый западный фрагмент Скифской молодой платформы, отделенный от нее складчатым сооружением Добруджи и зажатый между горными сооружениями Карпат и Балкан. Чехол и фундамент Мизийской плиты нарушены редкими разломами, которые смещают неоген-плейстоценовые слои и формируют системы

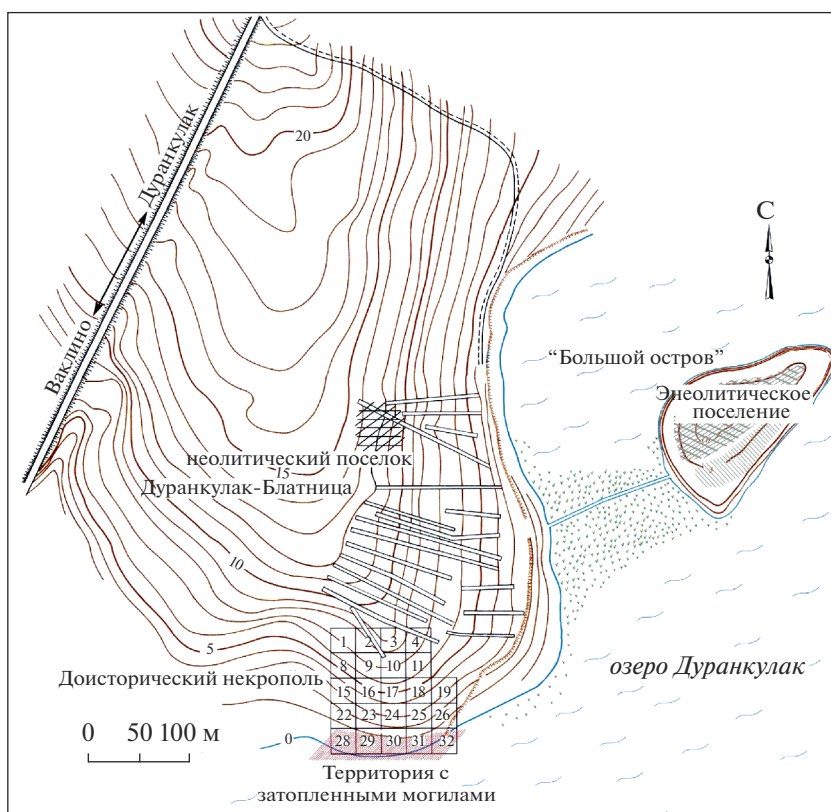


Рис. 2. Топографический план Большого острова в Дуранкулацком озере и обнаруженных археологических памятников.

небольших нефтегазоносных грабенов [Tari et al., 1997]. С сейсмологической точки зрения Мизийская плита обычно фигурирует как низко активный островок стабильности. Тем не менее, на протяжении последних 150 лет здесь происходили сильные землетрясения с $M \geq 7.0$, $I_0 \geq 9$ баллов. Имеются сведения и о некоторых землетрясениях средневековья и античности, однако знания о положении очагов для этих событий остаются очень неопределенными. По этой причине нами были инициированы специальные исследования, расширяющие рамки известной сейсмической истории.

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС “ДУРАНКУЛАКСКОЕ ОЗЕРО” – ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В 1974 г. по инициативе известного болгарского профессора-историка Генриеты Тодоровой была организована и проведена международная полевая экспедиция для обнаружения доисторических археологических памятников в Северо-Восточной Болгарии. На Большом острове в озере Дуранкулак на поверхности земли исследователи обнаружили большое количество доисторических, фракийских, эллинистических и средневековых артефактов (рис. 2, 3).

В следующем, 1975 г., Генриета Тодорова провела контрольное стратиграфическое бурение на острове и установила толщину и археологическую характеристику культурного слоя. Это также был первый год раскопок, которые проводились и позже в течение почти полувека. Бурение показало, что толщина культурного слоя – 4.5 м. Весь слой был разделен исследователями на восемь разновозрастных археологических уровней. Эти материалы определили местность как городище, населенное человеком с небольшими перерывами от начала каменно-медного века (конец VI тысячелетия до н. э.) до конца средневекового Первого Болгарского царства (начало XI в. н. э.) с его падением под византийское владычество, когда жизнь на Большом острове обрывается и уже никогда больше не возобновляется. В общей сложности это более шести тысячелетий.

Это открытие вызвало проведение археологических раскопок на всей площади острова в 1976 г. С 1979 г. Т. Димов был назначен заместителем научного руководителя исследовательской группы [Тодорова и др., 1989]. Для исследования верхнего архитектурного горизонта средневекового поселения эпохи Первого Болгарского царства в 1976–1978 гг. медиовист Кирил Ботов из тогдашнего Средневекового исторического музея в городе Толбухине (нынешний Добрич) был назначен



Рис. 3. Аэрофотография селищного кургана на Большом острове в Дуранкулакском озере.

в качестве заместителя научного руководителя. С 1979 г. научным руководителем группы был назначен Т. Димов, потому что исследование средневекового поселения на Большом острове было завершено, и предстояли раскопки селищного кургана на доисторических уровнях. Средневековая, когда-то обитаемая территория была обнаружена на острове в 1978 г. на западном берегу озера. Поэтому в состав группы были приглашены специалисты по средневековой археологии – К. Генчева-Меламед, А. Меламед и другие коллеги [Меламед, Димов, 1989].

Точно так же управление раскопками продолжалось и в последующие годы. В зависимости от потребностей полевых работ были приглашены специалисты по различным дисциплинам истории, археологии и других смежных наук, в том числе А.Г. Бонев, А. Орачев, С. Торбатов, И. Вайсов, С. Сахно, Я. Бояджиев, М. Аврамова, П. Георгиев, В. Драганов, В. Радева, Р. Раденков, Г. Ганецовский, К. Димитров [Todorova et al., 2016]; Д. Чепмен, Б. Гайдарска, Р. Прайс, Г. Нобис, Н. Спасов, Х. Беккер и др. Периодически принимали участие в раскопках или в качестве консультантов Ж. Иванов, Х. Пимпирев, Р. Баллард, Ду-

айт Коулман, Й. Йорданов и их коллеги [Йорданов, Димитров, 2002]. Мы также благодарны Е. Божиловой, М. Филиповой, Ц. Поповой, И. Панайотову, С. Димитрову, Н. Скакун и другим коллегам разных специальностей и различных профессиональных интересов [Скакун, 2003; Скакун и др., 2016].

В течение 36 рабочих сезонов была проведена обширная исследовательская работа, которая дала впечатляющие результаты. В целом, необходимо подчеркнуть следующее: была обнаружена самая древняя (первая) фаза эволюции культуры Хаманджия, которая была названа “Блатница” – старое название сегодняшней деревни Дуранкулак; были исследованы три фазы развития позднеэнеолитической культуры Варны; на Большом острове была обнаружена самая старая каменная архитектура в континентальной Европе; было исследовано большое раннее фракийское селище с конца бронзового века и первой половины раннего железного века – культуры Кослоджени и Бабадага I (XIII–XII в. до н. э.) – со времени Троянской войны. Здесь можно упомянуть фракийского царя Реза с его белыми как снег лошадьми, перед стенами Илиона, участвовавшего в войне

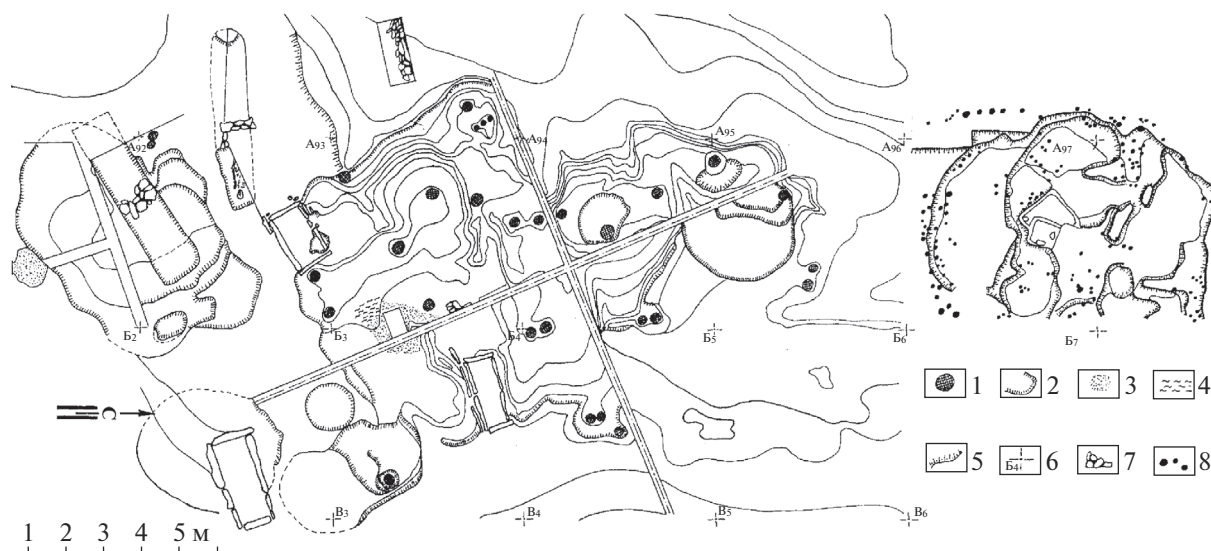


Рис. 4. Топографический план позднеэолитического селища Дуранкулак-Блатница на западном берегу озера.

1 – отверстия от толстых вертикальных деревянных столбов внутри большой землянки № 2; 2 – границы контуров землянки и внутренних вкопанных в них объектов; 3 – остатки пепла в найденных очагах в землянках; 4 – опаленное до красного цвета глиняное напольное покрытие очага в землянке № 2; 5 – внешние границы открытых вкопанных в лессе землянок в поселке Дуранкулак-Блатница; 6 – маркировка плановой квадратной сети объекта – квадраты 5 × 5 м; 7 – каменные структуры в катакомбах и других могильниках в пределах населенного пункта; 8 – наклоненные деревянные столбы и стержни, несущие конструкцию крыши землянки № 1.

на стороне троянцев из Гомеровской “Илиады”; на всей территории Большого острова было обнаружено и исследовано старое болгарское селище со времен царей Бориса I, Симеона I Великого и царя Петра; были исследованы большой доисторический, небольшой античный и также древнеболгарский некрополи и некоторые другие небольшие объекты.

Раскопки на комплексе “Дуранкулакское озеро” показали, что было совершено открытие, в котором, благодаря счастливому стечению многих обстоятельств, объединена информация не только о самой древней истории Западного Причерноморья и Нижнего Дуная, но и об эволюции Северо-Восточных Балкан и Юго-Восточной Европы в конце нового каменного века, весь энеолитический период, бронзовый и ранний железный век, начало классической фракийской античности, эллинистические времена и древнеболгарские археологические памятники со времен Первого Болгарского царства. В общем, археологическая характеристика этого открытия может быть охарактеризована нижеследующим образом:

Неолитическое селище Дуранкулак – фаза “Блатница” культуры Хаманджия – вторая половина VI-го тысячелетия до нашей эры. Были исследованы три землянки на западном берегу озера Дуранкулак. Их обитатели принадлежали к самым древним жителям Добруджи, занимавшимся земледелием и животноводством. Это самое старое поселение в регионе, в котором началось раз-

витие экономики в древности (рис. 4) [Димов, 1982, 1988, 1992а, б; Бояджиев и др., 1993]. Характер археологических находок позволил впервые типологически выделить первую фазу развития культуры Хаманджия, давно востребованную специалистами по доисторическому периоду. Согласно традиции, сложившейся в археологической практике, Т. Димов назвал ее “Блатница”. Это старое название современной деревни Дуранкулак после 1942 г.

Доисторический некрополь – функционировал непрерывно в течение почти полутора тысячелетий. Найденные в нем 1204 могилы каменного и медного века делают его крупнейшим доисторическим явлением такого рода в мире. Было получено много новых данных о появлении металлургии меди, о коммерческих контактах человеческих общин, населяющих Западное Причерноморье с общинами на современных территориях Украины, Молдавии, Среднего Дуная и в других более отдаленных земель, а также о погребальных практиках и культовых представлениях доисторического человека. В могилах были найдены богатые погребальные дары: глиняная посуда, каменные, кремневые, костяные и медные орудия, украшения из золота, меди, малахита, халцедона и некоторые другие [Димов и др., 1984; Тодорова, 1984а; Аврамова, 1986; Вейсов, 1987, 1992; Тодорова, Димов, 1989; Тодорова и др., 2002; Костов, Димов, 2003; Костов и др., 2004].

Фракийское селище с XIII—XII вв. до нашей эры — поздняя бронза и ранний железный век культуры Koslodzheni и Babadag I. До сих пор это единственный полностью исследованный объект такого рода на Балканском полуострове, существующий со времен Троянской войны [Тодорова, Димов, 1985; Тодорова, 1984б; Тодорова и др., 2016].

Святилище Фракийской Великой богини-матери Кибелы (конец IV—I в. до н. э.). Оно было построено в карстовой пещере на Большом острове в начале эллинистического периода. Во время раскопок были найдены обетная плита богини и другие артефакты этого периода: две греческие чернолаковые чаши-кantarосы, амфорная тара и ручки с печатями [Йорданова, Димов, 2003; Буров и др., 2016; Джорданова, Димов, 2003].

Древний некрополь на западном берегу озера Дуранкулак (III в. до н. э.—IV в. н. э.). Открыто 41 погребальное сооружение с разной типологией, архитектурой и культурной принадлежностью. Среди них особый интерес представляют объекты катакомбного типа, что является обычной практикой похорон северо-восточного скифо-сарматского племенного сообщества, а также и могилы римского времени [Димов, 2000, 2016]. Широкая датировка некрополя и различных сооружений была результатом мобильного присутствия племен в этой части тогдашнего мира.

Протоболгарское селище IX—X в. н. э. Селище было исследовано по всей его территории. Оно представляет собой верхний горизонт строительства селищного кургана на Большом острове. Обнаружено было более 240 круглых, похожих на юрту жилищ. Часть построек в настоящее время укреплены, сохранены и выставлены на открытом воздухе [Тодорова и др., 1989].

Протоболгарский некрополь на западном берегу озера (вторая половина IX—начало XI в. н. э.). Он принадлежит жителям селища на Большом острове и находится на западном берегу озера. Были исследованы 282 могилы, а на острове (около христианской церкви в центральной части селища и в южном его склоне) — остальные 27. Мертвые были положены в прямоугольных камерах из известняковых плит. Существуют также редкие языческие реликты — ямы с нестабильной ориентацией и некоторые различия в кладке мертвых в них [Тодорова и др., 1989].

Селищный курган на Большом острове в Дуранкулаке — постоянно обитаемый во время каменно-медной эпохи (все V тысячелетие до н. э.) и в более позднее время. Семь строительных уровней кургана показывают одну из самых высокоразвитых культур в доисторическом мире, достигшей своего апогея в эволюции Варненского некрополя. Этот курган до сих пор является единственным полностью раскопанным многослойным археологическим памятником энеолитической эпохи на

западном побережье Черного моря [Тодорова, 1984а]. На этом месте были обнаружены остатки древнейшей каменной архитектуры в континентальной Европе во всех археологических горизонтах (рис. 5).

Три года спустя на западном берегу озера Дуранкулак было обнаружено селище позднего неолита из выкопанных в желтом лёссе землянок. Археологические материалы позволили выделить, используя методы археологии, долгожданную фазу культуры Хаманджия, старейшую из известных в Западном Причерноморье и на Нижнем Дунае. К югу от этого селища в 1979 г. были найдены первые праисторические курганы. Начались раскопки в крупнейшем праисторическом некрополе в мире, который непрерывно функционировал от начала позднего неолита (первая фаза “Благница” культуры Хаманджия) до конца энеолита (последняя, третья фаза культуры Варненского некрополя) и в других поздних находках и сооружениях. Оформившийся таким образом комплекс “Дуранкулакское озеро” теперь имеет значение как хронологический и культурный источник в Добруджанском районе, в Западном Причерноморье и в области Нижнего Дуная. Исследователи справедливо назвали его “Добруджанская Троя”.

АРХЕОСЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методология

Для палео- и археосейсмологов считается необыкновенной удачей найти выход сейсмического очага на поверхность. Сразу же решается главный вопрос палеосейсмологии: “Где?”. Становится известным положение эпицентральной зоны древнего сейсмического события.

По выявленному сейсмогенному разрыву смещается либо земная поверхность, либо артефакт (древняя стена, дорога, акведук). В обоих случаях по эмпирическим формулам параметры смещения можно использовать для определения величины высвобожденной сейсмической энергии — магнитуды древнего землетрясения. Решается второй вопрос палеосейсмологии: “Какой силы?”.

Учитывая возраст разорванных объектов, можно определить максимальный возраст древней геокатастрофы: возраст землетрясения всегда меньше возраста смещенного геологического тела или артефакта. С определенной точностью возникает ответ на самый трудный вопрос палеосейсмологии: “Когда?”.

Следует заметить, что найти разорванный осадочный слой или почву все же легче, чем археологический объект. Последние находки весьма редки и опубликованы лишь в десятке известных специалистам статей. Авторам данной работы из-



Рис. 5. Самая древняя каменная архитектура в Континентальной Европе, обнаруженная на Большом острове — культуры Хаманджия IV и Варна.

редка везло: удавалось найти подобные сейсмогенные разрывы в археологических памятниках в Киргизии [Kotjenkov et al., 2006], в Дагестане [Овсюченко и др., 20196], в Крыму [Корженков и др., 2019а, б] и на Тамани [Овсюченко и др., 2017].

Гораздо чаще археосейсмолог имеет дело с деформациями, вызванными силами инерции. Эти силы препятствуют верхним частям строительных конструкций следовать нижним, вовлеченным в движение сейсмическими подвижками [Korzhenkov, Mazor, 1999]. Именно поэтому при раскопках археологических памятников в геодинамических зонах взгляду опытного археосейсмолога открываются так называемые кинематические индикаторы: выдвигения, наклоны и обрушения верхних частей зданий, а также их развороты и другие деформации. Важно отметить, что определенные деформации приурочены к древним стенам определенных ориентировок. Перпендикулярные же стены имеют систематические проявления деформаций других типов [Корженков, Мазор, 2001].

Именно инерционные типы деформаций были выявлены нами при полевых работах на неолитическом памятнике Дуранкулак в ЮЗ Болгарии. Их изучению и параметризации древних сильных землетрясений и посвящена данная работа.

Разрывы в стене

Этот тип разрывов — сколов в древних стенах — не связан напрямую с сеймотектоническими разломами. Подобные нарушения возникают при сильных сейсмических колебаниях, действующих параллельно простиранию стены. Упомянутый скол был встречен нами в одной из субмеридиональных стен в Дуранкулаке (рис. 6). Сколовая плоскость имеет азимут простирания 30° . Северный отрезок стены до разрыва имеет простирание 160° , южный — 170° . Таким образом, имел место еще и разворот отрезков стен относительно друг друга вокруг вертикальной оси по часовой стрелке. Возведена эта стена была на границе эпох камня и меди и относится к культуре Варна III на Большом острове в Дуранкулакском озере (абсолютный возраст — 4 450–4 100 до н. э.). Таким образом, разрыв строительной конструкции имел место после указанного времени.

Выдвижение наружу угла здания

При сильных сейсмических колебаниях перпендикулярные стены одного и того же помещения колеблются в различных направлениях. Поэтому углы зданий являются самыми уязвимыми частями строительной конструкции. Угловые ча-



Рис. 6. Боковая каменная стена жилища, построенная на границе каменной и медной эпох. Строительная конструкция относится к культуре Варна III на Большом острове в Дуранкулакском озере (4450–4100 до н. э.). Эта стена суб-меридионального простирания претерпела разрыв — скол из-за сильных сейсмических подвижек, действовавших суб-параллельно простиранию древней стены.

сти зданий могут отделиться от смежных длинных стен и выдвинуться наружу (в единственном возможном для них направлении). Если землетрясение не очень сильное, а его длительность — короткая, выдвинутый угол может и сохраниться. При сильных и длительных землетрясениях углы зданий разрушаются одними из первых.

Один такой деформированный — выдвинутый наружу стык каменных стен времени позднего энеолита (4450–4100 г. до н. э.) — был изучен нами в СВ углу одного из помещений в археологическом памятнике Дуранкулак (рис. 7). Простирание восточной стены 170° , северной — 80° . Угол выдвинулся на СВ по азимуту 40° . Смещение на восток северного участка восточной стены составило 10–15 см. При этом вся стена имеет наклон на восток под углом до 75° . Смещение на север восточного участка северной стены — до 10 см. Эта стена также немного наклонена на север.

Эта постройка была обнаружена одним из авторов этой статьи — Т. Димовым в 1978 г. Им была обнаружена в этой части здания сохранившаяся неповрежденная глиняная замазка полов жилища толщиной в 40 см. Этот факт говорит о последующем ремонте помещения после имевшейся деформации угла здания.

Интересно отметить, что при выдвигении некоторые угловые камни, налегавшие друг на друга, сцепились и, при сейсмогенном движении, развернулись: либо по часовой стрелке (в северной стене), либо против часовой (в восточной, как это показано на рис. 8).

Наклон и выдвигение стен во время второго землетрясения. Двойные стены — контрфорсы, разошедшиеся во время второго землетрясения

Систематический наклон и выдвигения стен одной ориентировки в одном направлении являются важным доказательством сейсмогенной природы деформации. В Дуранкулаке многие субмеридиональные стены (их остатки) наклонены к востоку. Так, например, нижняя часть одной из таких стен с простиранием 175° наклонилась к востоку под углом до 70° (рис. 9), а также выдвинулась в том же направлении до 25 см. Необходимо отметить, что к западу от этой стены на расстоянии первых десятков сантиметров (до 50 см) находится еще одна — параллельная ей стена. Кажется странным ее строительством, так как проход между двумя стенами слишком узок для прохода человека или складирования чего-либо. По всей видимости, западная стена была когда-то стеной-контрфорсом, возведенной для предот-

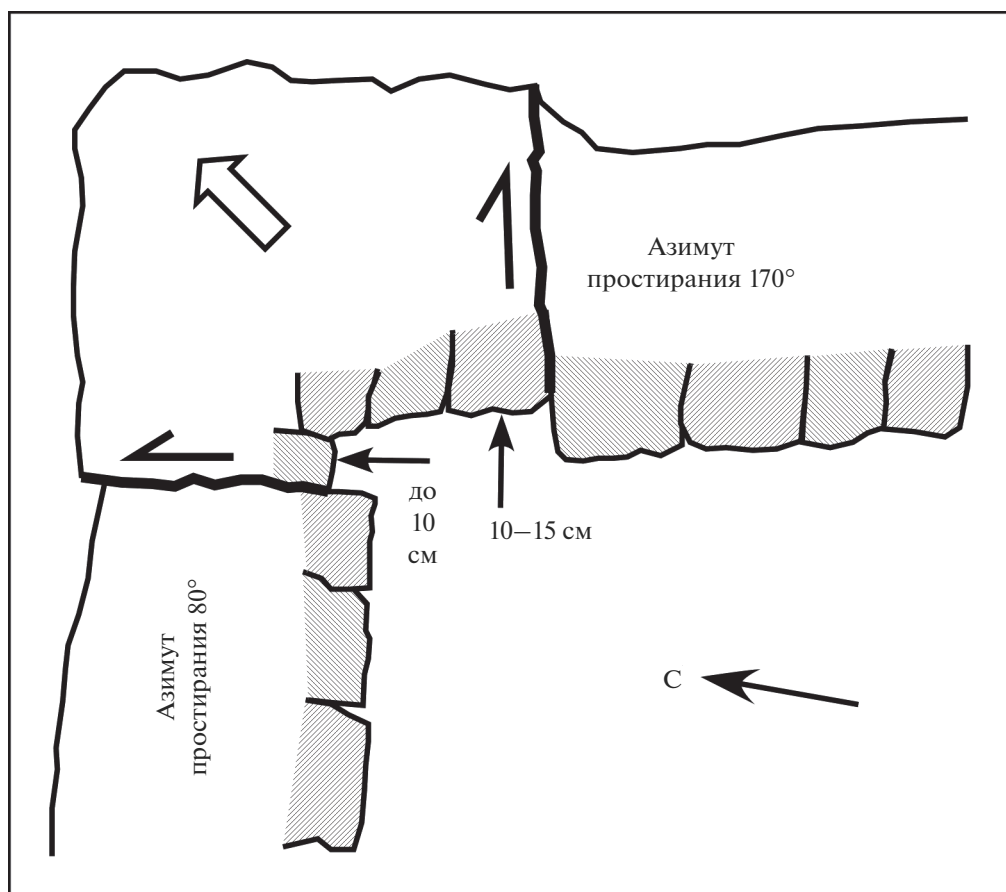


Рис. 7. Северо-восточный угол каменных стен времени позднего энеолита (4450–4100 г. до н. э.). Выдвижение наружу угла здания. Схематическая зарисовка деформации, план.

вращения обрушения наклоненной восточной стены на запад. Стена-крепида была построена после первого сейсмического события. Во время второго сейсмического события, произошедшего через сотню лет после первого (каменная кладка в обеих стенах одного и того же возраста), во время сильных колебаний восточная стена наклонилась теперь на восток, а стена-контрфорс “отошла” от первичной стены на запад.

Датировка восточной стены здесь более древняя. Эта стена была построена в эпоху среднего энеолита (4650–4450 г. до н. э.). Датировка сделана на базе обнаруженного сопутствующего стенового материала, стратиграфия и типология которого надежно представлены. Таким образом, датировка первого землетрясения, поразившего Дуранкулак, находится в интервале: средний–поздний энеолит (4650–4100 г. до н. э.).

Подобные деформации были выявлены и описаны нами в стенах бронзолитейной фабрики Худжайрат аль-Гузлан в долине вадии Араба (Иордания) и греческом поселении Полянка на Керченском полуострове – в Южном Приазовье [Korjenkov, Schmidt, 2009; Масленников и др., 2017].

Обрушение центральной части стены во время второго землетрясения

Если сейсмические колебания имеют достаточную длительность, то стены могут не только наклониться, но и обрушиться. Понятно, что и наклон, и обрушение стен будут наблюдаться в одну и ту же сторону. Так, например, стена субмеридионального простирания (азимут 170°) в постройке № 5 в селище на Большом острове обрушилась в восточном направлении (рис. 10). Остаточная высота стены в археологическом раскопе 50 см, ее ширина 85 см, однако камни, слагавшие стену, найдены на расстоянии 180 см от ее восточного фаса.

Здесь также с западной стороны от первоначальной стены наблюдается стена-контрфорс. Ее азимут простирания 170°, высота до 100 см, ширина 80 см. Стена-крепида была возведена для предотвращения обрушения восточной стены на запад. Во время первого сейсмического события первичная стена, по-видимому, получила сильный наклон к западу. Однако во время второго сейсмического события первичная стена обрушилась на восток, а стена-контрфорс “отошла” на за-

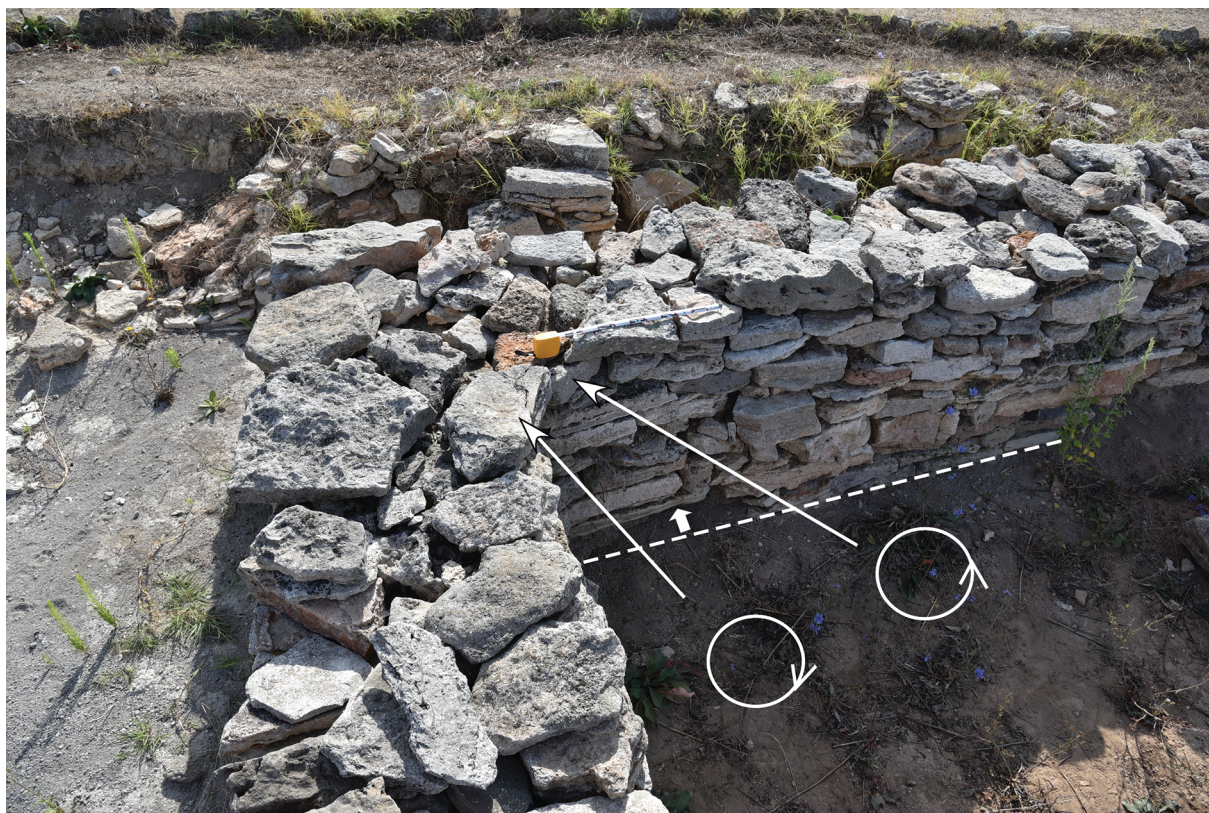


Рис. 8. Деформация волочения при выдвигении угла помещения наружу. Зацепившиеся друг за друга камни повернулись: один – по часовой стрелке, другой – против.

пад на расстояние в 10–50 см. Обе описываемые стены при землетрясении “расселились” и имеют сигмоидальную в плане форму своих фасов.

Расположение упавших камней в виде сложившихся костяшек домино

При работе в эпицентральных зонах сильных землетрясений иногда удается увидеть интересный пример сейсмогенной деформации: расположение камней кладки в виде сложившихся костяшек домино. Этот тип деформации наблюдался нами в руинах бедуинской деревни Хальса в пустыне Негев (Израиль) и в медеплавильной фабрике Худжайрат аль-Гузлан близ современного города Акаба (Иордания) [Корженков, Мазор, 2013; Korjenkov, Schmidt, 2009]. Подобные деформации возникают при сильном ударе стены, упавшей на грунт целиком. От сильного удара уже на земле происходит дезинтеграция каменных блоков и расположение их друг на друге в виде сложившихся костяшек домино. Так небольшая тонкая стена субмеридионального простирания (азимут – 175°) упала в восточном направлении и разрушилась при ударе о грунт. Камни, слагающие стену, расположились в виде сложившихся костяшек домино (рис. 11).

Повороты стен

Вращения отдельных строительных блоков, кирпичей, камней или постаментов колонн, а также значительных фрагментов стен или всей стены целиком часто наблюдаются в области сейсмического поражения. Вращение вызывается сдвиговой парой сил, приложенной к плоскому элементу конструкции. Максимальное суммарное сейсмическое воздействие, направленное параллельно к простиранию стен или перпендикулярно к его стенам, приведет к обрушению, смещению или наклону без вращения. Вращение будет иметь место в случаях, где главные напряжения приложены под углом к элементу конструкции и результирующие сдвиговые напряжения высоки. Таким образом, развернутые элементы, находящиеся в перпендикулярно ориентированных стенах, должны иметь противоположное направление вращения, если сейсмический толчок прошел вдоль биссектрисы между двумя стенами.

Так, например, восточная стена одного из помещений в южном квартале Дуранкулака во время землетрясения была разорвана, и оба оторванных фрагмента развернулись на первые градусы вокруг вертикальной оси против часовой стрелки. Таким образом, направление оси максималь-



Рис. 9. Наклон и выдвигание длинной стены субмеридионального простирания к востоку в нижней своей части (показан толстой горизонтальной белой стрелкой). Важно отметить стену-контрфорс к западу от наклонной стены. Вертикальные белые стрелки показывают зазоры между стенами. Длина треновой палки 1.10 м. Вид на Ю—ЮЗ.

ных сейсмических колебаний было направлено под некоторым углом к этой стене. Азимут простирания северного фрагмента стены 22° , южного — 18° . Смещение по разрыву фрагментов стен относительно друг друга составило 15 см. Высота сохранившихся стен до 120 см, ширина 80 см. Это постройка времени Первого Болгарского царства (IX в. н. э.). Таким образом, здесь мы видим следы третьего — средневекового землетрясения на Дуранкулаке. Направление сейсмических колебаний во время землетрясения было приблизительно вдоль оси С-СЗ—Ю-ЮВ.

Острые и тупые углы в стенах (в плане)

Очевидно, что за исключением каких-то особых случаев строители, как современные, так и древние, стараются строить помещения строго прямоугольной формы. Поэтому выявление в комнатах острых или тупых углов (в плане) свидетельствует, по-видимому, о деформации строительной конструкции. Трапезиевидная форма в плане стен изначально прямоугольного сооружения (в простейшем случае — одной комнаты) может быть следствием сейсмических деформаций. Трапезиевидная форма появится вследствие: ли-

бо систематических однонаправленных разворотов параллельных стен, либо при перемещении грунта, увеличивающемся в одном направлении, часто — по направлению к плоскости сейсмогенерирующего разлома [Karakhanian et al., 2008; Корженков и др., 2019а, б].

В случае с восточной частью одного из помещений (рис. 12), по-видимому, имеет место первый случай, т.к. аналогичный поворот разорванных стен против часовой стрелки в другом помещении уже наблюдался нами к западу от описываемой точки наблюдения. ЮВ угол помещения составляет 80° , а СВ — 100° . Эта постройка в прямоугольном-трапезиевидном плане относится ко времени Первого Болгарского царства (IX в. н. э.). Таким образом землетрясение, приведшее к подобной деформации, имело место позже. Сейсмические колебания также распространялись вдоль оси С-СЗ—Ю-ЮВ.

Сигмоидный в плане изгиб стен

При работе на археологических памятниках Керченского полуострова Крыма античного возраста нам неоднократно пришлось сталкиваться с



Рис. 10. Стена субмеридионального простирания обрушилась в восточном направлении (показано толстой горизонтальной стрелкой). Зияние между первоначальной стеной и “отошедшей” стеной-контрфорсом показано вертикальными белыми стрелками. Археологический материал датирует стены временем среднего и началом позднего энеолита. Датировки указаны выше в тексте. Даты прокалиброванные. Вид на юг.

трапециевидными в плане стенами. Трудно себе представить, что древние зодчие строили столь неаккуратно. После анализа этого типа деформации мы пришли к заключению, что такое искривление возможно при сильном сейсмическом воз-

действии, направленном субпараллельно простиранию стены [Корженков и др., 2016, 2019а, б; Масленников и др., 2017; Овсяченко и др., 2019а]. Аналогичный тип деформации встречен нами в археологическом памятнике Дуранкулак. Здесь



Рис. 11. Упавшая целиком на восток западная стена постройки субширотного простирания. Каменные плиты упали в виде “библиотеки” или в виде сложившихся костяшек домино в стене субширотного простирания. Середина и начало позднего энеолита (4650–4400 г. до н. э.).



Рис. 12. Трапециевидная в плане деформация помещения в южном квартале Дуранкулака. Вид на юг.

стена с простиранием 160° – 175° имеет сигмоидную в плане деформацию (рис. 13).

СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА ДУРАНКУЛАК

Район археологического памятника Дуранкулак в целом сложен позднеплейстоценовыми лёссами, которые появляются в разрезе клифа к северу от г. Шабла, т.е. примерно в 15 км к югу от памятника Дуранкулак. Однако, в районе памятника, в обрывистых берегах озера Дуранкулашко-Блато (болото) обнажены прибрежно-морские известняки-ракушечники и мергели сарматского яруса миоцена, а лёссы оказались почти полностью уничтожены площадной денудацией. Городище Дуранкулак расположено в западной части озера на Большом острове, соединенном с сушей узкой насыпью.

Озеро Дуранкулашко-Блато — пресноводное, заполняет древнюю речную долину с мелкими рукавами-притоками и отделено от моря песчаной косой. В восточной, причерноморской, части озера его берега в целом пологи и заболочены. В западном направлении плавно нарастает высота

прибрежного уступа, а заболачивание наблюдается в рукавах-притоках древней речной долины.

На фоне плавных очертаний побережья, типичных для эрозионно-озерных форм рельефа, в северо-западной части озера выделяется необычный участок берега, спрямленный в субмеридиональном направлении (рис. 14). Здесь появляются обрывистые берега, острова и узкие мысы, сложенные миоценовыми известняками без лёссового покрова с отвесными скальными клифами высотой до 3 м. Можно предположить, что, на фоне общего опускания тут трассируется полоса молодых тектонических деформаций с небольшими подрастающими валами. Лёссовый покров на валах оказался размыт, а на поверхность выведены деформированные неогеновые известняки.

Разрез неогеновых слоев можно наблюдать к Ю–ЮЗ от Большого острова с городищем (рис. 15). Они представлены белыми, мелоподобными, органично-обломочными и кирпично-красными, сильно ожелезненными известняками. В белых известняках наблюдаются редкие, тонкие прослои зеленоватых глин и рыхлых, светло-серых мергелей. Слои образуют антиклинальную структуру. Складка асимметрична — СЗ крыло круче и нарушено системой разрывов, которые ограничивают узкий приподнятый блок известняков,



Рис. 13. Остатки стены построек со времени Первого Болгарского царства на Южном склоне острова. Они находятся к западу от святилища Великой богومатери Кибелы. Святилище находится в карстовой пещере на этом месте. Потолок в пещере провалился еще в древности. В середине фотографии к западу от стены видны природные скальные основы Острова, на которых виден сидящий человек. Видна сигмоидная деформация в плане стены субмеридионального простирания в южном квартале Дуранкулака (показана черной штриховой линией). Длина рулетки – 0.5 м. Вид на юг.

резко контактирующий с грубообломочными накоплениями. Последние представлены щебнем и глыбами известняков без следов окатанности и сортировки с суглинистым заполнителем, т.е. имеют все признаки коллювия. Накопления образуют отдельные слои и линзы (видимых – 3). По всей видимости, отложение грубообломочных накоплений происходило резко, в результате перемещения с новообразованного уступа с обнаженными известняками. Возраст одного из смещений маркируется керамикой, захороненной в грубообломочном коллювии. Наблюдаемое смещение свидетельствует о том, что разлом проявлял активность в позднеголоценовое время в виде резких смещений. Следует отметить, что разрез требует более тщательного изучения.

В приосевой части складки наблюдается ветвистая разломная зона, с глубиной приобретающая субвертикальное падение, а в приповерхностной части разреза представленная несколькими расходящимися в стороны сместителями. Краевые разрывы представлены надвигами, по которым (в западной части) наблюдается сдвиг

вание разреза известняков. В центральной части структуры разрывы приобретают субвертикальное падение, в целом образуя “структуру цветка”. Зона разлома выражена положительной формой рельефа, конформной цветкообразной структуре, характерной для транспрессионного режима смещений (горизонтальный сдвиг со сжатием).

Грубообломочные накопления слагают и более пологое, ЮВ крыло складки. Здесь наблюдается несколько горизонтов, последовательно налегающих друг на друга с выполаживанием контактов вверх по разрезу. Более молодые, грубообломочные горизонты последовательно смещаются по направлению падения крыла складки. В совокупности с увеличением угла падения вниз по разрезу, это указывает на последовательное, прерывистое подрастание складки, что приводило к активизациям сноса грубообломочного материала в опущенное крыло.

В рельефе эта антиклинальная структура образует вал на поверхности узкого скального мыса. Южнее, в днище заболоченного рукава-притока на простирании складки наблюдается осушен-

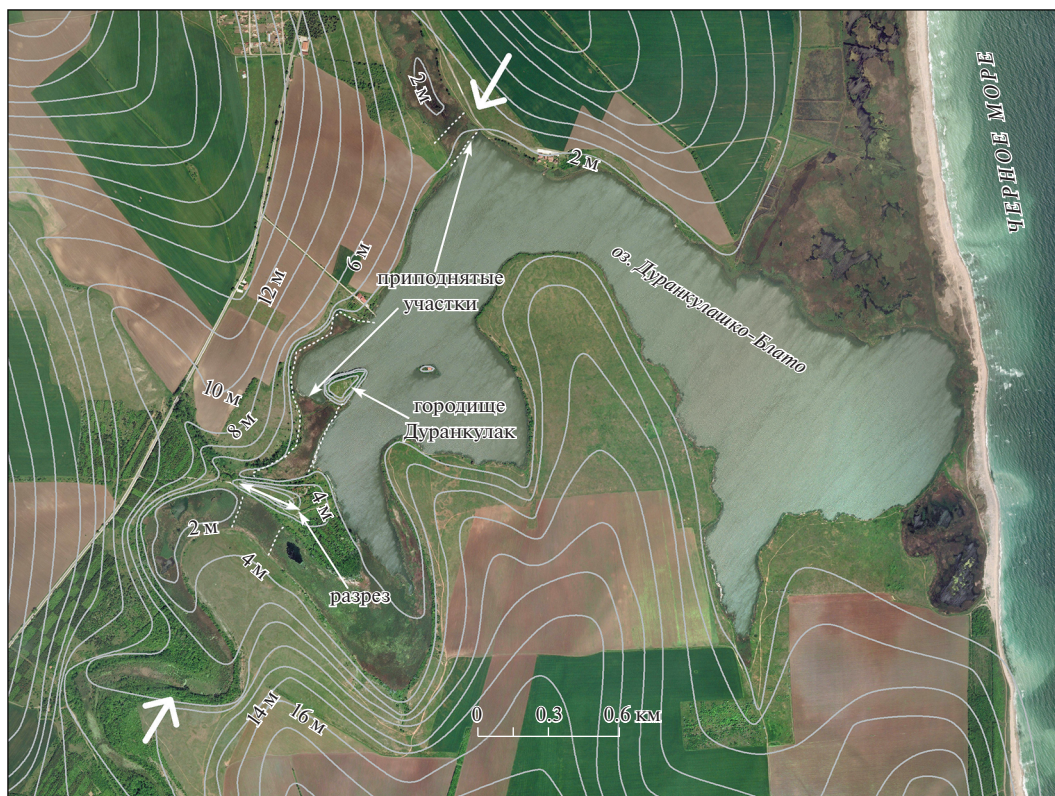


Рис. 14. Схема расположения городища Дуранкулак на основе космоснимка (<http://ecn.t0.tiles.virtualearth.net/tiles/a>). Белые линии – горизонтали рельефа в метрах. Между большими стрелками – полоса молодых тектонических деформаций.

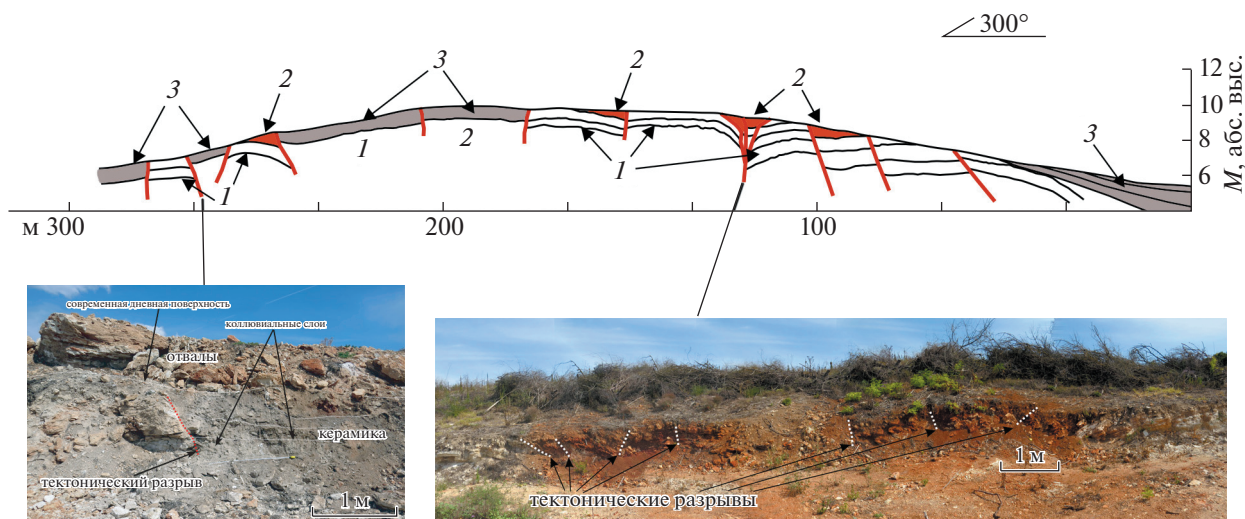


Рис. 15. Разрез неогеновых слоев к Ю–ЮЗ от городища Дуранкулак (положение см. на рис. 11).

1 – белые органогенно-обломочные известняки с редкими, тонкими прослоями зеленоватых глин и рыхлых, светлых мергелей; 2 – кирпично-красные, сильно ожелезненные известняки; 3 – грубообломочные коллювиальные накопления. Красные линии – тектонические разрывы.

ный вал высотой не более 1 м, отсекающий от приустьевых участка небольшое остаточное (или зачаточное) озеро (рис. 16). Мелкое озеро расположено и к востоку от вала. Севернее мыса осу-

шенный, заросший камышом, участок наблюдается в районе Большого острова. На нем был насыпан вал, соединивший Большой остров с берегом. Осушенный вал прослеживается и се-



Рис. 16. Осушенный вал в днище заболоченного рукава-притока на простирании антиклинальной складки. Вид на запад.

вернее, в устье заболоченного рукава-притока в СЗ углу озера. Здесь вал также отгораживает заболоченный участок днища с остаточным (или зачаточным) небольшим озером.

Можно полагать, что здесь протягивается узкая зона молодого подрастания, выраженная как в рельефе, так и в залегании неоген—четвертичных слоев. Здесь же, на Большом острове, соединенном современной насыпью с сушей, расположены раскопки древнего городища Дуранкулак. Остров представляет собой один из таких тектонических валов и сложен деформированными известняками миоцена. Длина спрямленного участка западного берега озера — 2.8 км.

Чрезвычайно интересным оказывается пристальное рассмотрение топонима Дуранкулак в трактовке Т. Трифонова [2003]. Топоним — относительно древний, происходит от слова *Taurus* (Taurus, Lat.), *Taurian*, — вымерший предок одомашненной коровы. Произношение второй части названия — *koлак* или *кулак* — зависит от диалекта. Слово довольно древнее и сохранилось от староболгарского, по-русски так и означает “кулак”, хотя в современном болгарском языке употребляется слово “юмрук”. При рассмотрении во всей полноте, значение топонима Дуранкулак заключается в том, что некогда крупный, агрессивный бык (тур) ударил землю копытом и образовал озеро, в середине которого, в копыте, образовался небольшой остров [Трифонов, 2003]. Такая трактовка может быть отголоском катастрофических событий, связанных с образованием, или резким изменением облика озера. О том, что такие события здесь происходили, с высокой вероятностью свидетельствуют приведенные выше результаты палеосейсмогеологических наблюдений.

СТРУКТУРНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ОЧАГОВ ВЫЯВЛЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Для локализации очагов древних землетрясений необходима сеймотектоническая основа. В последние десятилетия регион характеризуется невысоким уровнем сейсмичности. Однако, в самом начале XX в. разные районы Болгарии, включая и северо-восток, потрясла серия сильных землетрясений с $I = 9$ баллов. Имеющиеся сводные каталоги землетрясений показывают сильные разночтения в локализации эпицентров и определении магнитуды землетрясений, очевидно, характеризующие погрешность соответствующих параметров. Похоже, что большую неопределенность имеют и данные о положении сейсмогенерирующих зон.

Хорошо известно, что за последние примерно 150 лет документированной сейсмической истории здесь происходили сильные землетрясения с $M \geq 7.0$, $I \geq 9$ баллов. Сильнейшее из них случилось в 1901 г., а его очаг привязан на шельф Черного моря [Рангелов, Господинов, 1994]. Поэтому регион всегда был объектом пристального внимания с точки зрения оценки сейсмической опасности. Крупнейшие обобщения были выполнены в рамках Балканского сейсмологического проекта ЮНЕСКО [Catalogue ..., 1974; Boncev et al., 1982 и др.] и проекта SHARE “Seismic Hazard Harmonization in Europe” [Solakov et al., 2009; Grünthal et al., 2010; Woessner et al., 2015 и др.].

Детальные исследования активных разломов проведены геофизическими методами на шельфе Черного моря [Dimitrov, Genov, 2004]. Была создана сеймотектоническая модель болгарского сектора Черного моря [Dimitrov et al., 2005]. В 5—

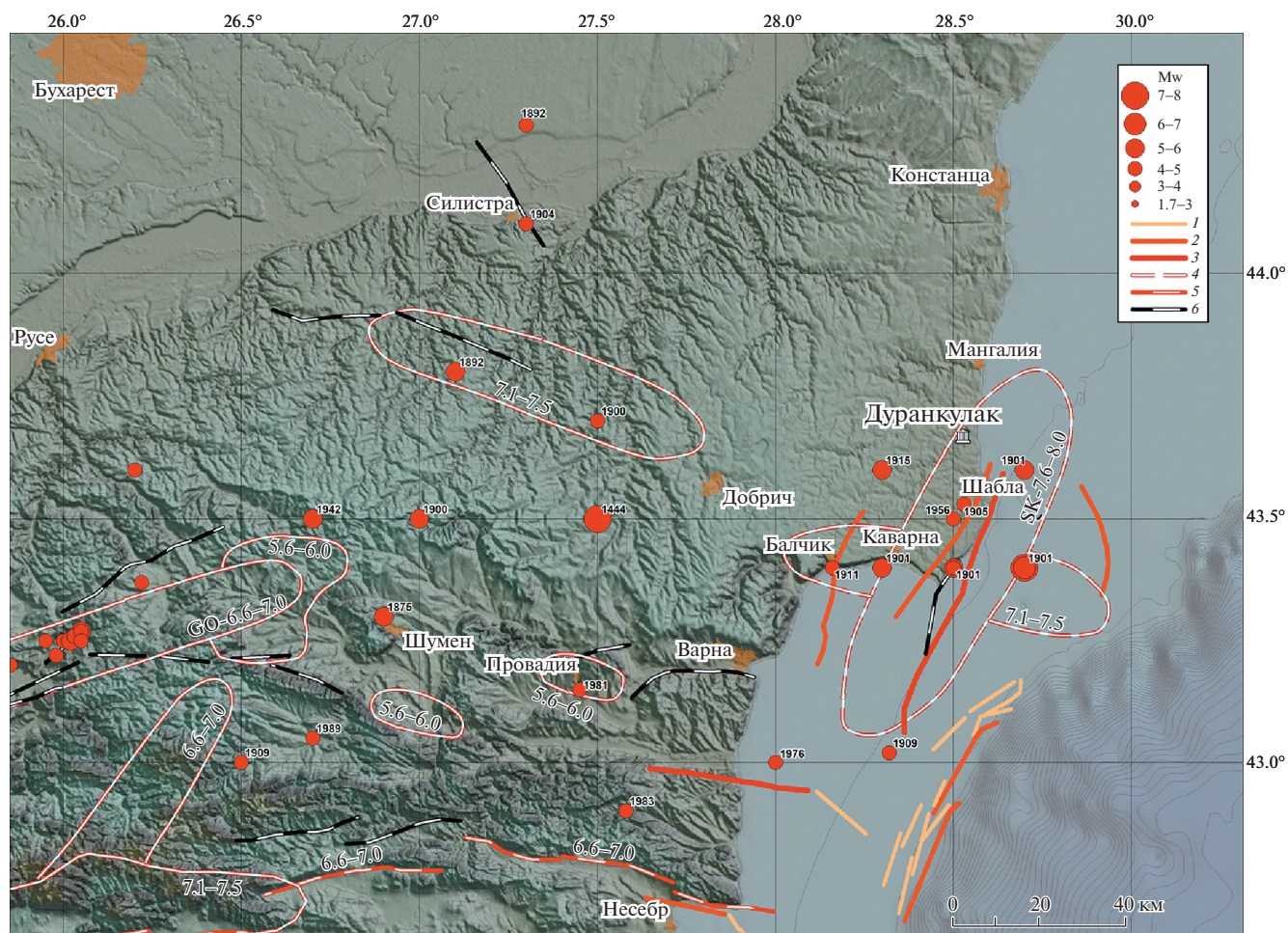


Рис. 17. Сейсмогенерирующие зоны СВ Болгарии по разным данным с эпицентрами землетрясений по данным каталогов [Grünthal, Wahlström, 2012; Stucchi et al., 2012].

1–3 – активные разломы Черноморского шельфа по данным [Dimitrov et al., 2005] (M_{\max} : 1 – 6.0–6.5; 2 – 6.6–7.0; 3 – 7.05–7.15); 4 – границы сейсмогенерирующих зон по данным [Boncev et al., 1982] с указанием M_{\max} (SK – Шабла-Калиакренская; GO – Горнооряховская); 5 – активные разломы по данным обобщения карт активной тектоники, выполненного [Solakov et al., 2009]; 6 – потенциально и предположительно активные разломы по данным [Matova et al., 1996; Kotzev et al., 2006; Solakov et al., 2009].

6 км к ЮВ от мыса Шабла находится зона Калиакренского глубинного разлома. Она состоит из снопа субпаралельных разломов субмеридионального (С–СВ) простирания. С ней увязывается очаг сильного землетрясения 1901 г. с $M = 7.2$, однако эпицентр события лоцирован в 13 км к востоку от побережья (рис. 17).

Таким образом, Мизийская плита, в границах которой расположен рассматриваемый район, крайне неоднородна. Рассматриваемая структура – молодая платформа, которая сформировалась в нынешнем виде на новейшем этапе развития. Плита расположена в центральной части Карпато-Балканской орогенной системы, между горными сооружениями Карпат и Балкан. По современным данным инструментальной сейсмологии континентальная плита – слабоактивный регион, в котором происходят редкие, слабые землетрясе-

ния. Однако, наши археосейсмологические исследования привели к выявлению и определению некоторых параметров древних сильных землетрясений региона, очаги которых располагались вдоль активных разломов в акватории моря. [Rangelov et al., 2008; Rangelov, Nikolov, 2009].

Сейсмический потенциал плиты оценивается как $M_{\max} = 6.4$ [Grünthal et al., 2010]. Привлекает внимание потенциально активная зона Интрамизийского разлома, пересекающая всю плиту в СЗ направлении. Вдоль нее был выделен потенциальный сейсмический очаг с $M_{\max} = 7.5$ [Grünthal et al., 2010]. Геолого-геофизические исследования показали, что в районе побережья Черного моря Интрамизийский разлом в настоящее время демонстрирует в основном криповые смещения [Рогожин и др., 2009]. Судя по яркой выраженно-

сти в разрезе и на поверхности, он пересекается системой более активных в настоящее время разломов субмеридионального простирания.

Кроме того, весь рассматриваемый район попадает в сферу воздействия сейсмической зоны Вранча на территории Румынии (210–230 км к северо-западу от памятника Дуранкулак), а также в сферу Горнооряховского сейсмического очага (примерно 150 км).

Южнее расположена выразительная система активных разломов вдоль южного обрамления Центрального Балкана. Она представлена комбинацией разломных структур, некоторые из которых наследуют поверхности доорогенных надвигов [Shanov et al., 2007]. Современная сейсмическая активность здесь слабая, а голоценовые смещения по разломам практически не изучены. Предполагается, что подвижки могут осуществляться вдоль листрических разломов, что приводит к тектоническим перекосам слоев осадков, заполняющих примыкающие молодые впадины. Такая система субпараллельных сбросо-сдвигов образовалась на поверхности при сильных Чирпанских землетрясениях 1928 г. с $M = 6.8$ и $M = 7.1$ [Vanneste et al., 2006]. Сейсмический потенциал активных разломов южного обрамления Центрального Балкана оценивается как $M_{\max} = 6.6–7.0$ [Solakov et al., 2009].

Таким образом, рассматриваемый район расположен в высокоактивной сейсмической зоне. Здесь возможны как возникновение местных сильных землетрясений, так и эффекты от удаленных очагов.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повсеместное распространение стен-контрфорсов пристроенных с востока к первичным субмеридиональным стенам говорит о первом значительном землетрясении на Дуранкулаке, произошедшем, по всей видимости в среднем–позднем энеолите (4650–4100 г. до н. э.). Во время этого сейсмического события субмеридиональные стены наклонились на запад, для чего древним жителям пришлось возводить стены-контрфорсы для предотвращения обрушения первичных стен.

Однако, в верхних раскопах археологического памятника видно, что следующая, более поздняя, сейсмическая деформация привела к наклону и обрушению остатков первичных стен на восток и расхождению на первые десятки сантиметров первичных стен и стен-контрфорсов друг от друга. После этого поселение было заброшено. По всей видимости, второе землетрясение было более сильное, чем первое, после которого еще можно было провести восстановительные работы. Местная сейсмическая интенсивность перво-

го землетрясения, по всей видимости, была не менее $I_1 \geq VIII$ баллов, а второго $I_1 \geq IX$ баллов по шкале МСК-64.

Так как каменная кладка обеих стен – первичных и крепид – одного возраста, временной интервал между сейсмическими событиями небольшой – сотня–другая лет. Тем не менее, эпицентры обоих землетрясений находились в различных направлениях от Дуранкулака. Сейсмические колебания – волны сжатия, удары шли с запада при первом землетрясении, при втором землетрясении направление прихода разрушительных сейсмических подвижек было с востока.

Высвобождение значительного количества сейсмической энергии за столь короткое время (около 100–200 лет) в одном регионе не должно удивлять исследователя. В мировой сейсмологии есть подобные случаи. Так, например, всего за 26 лет в Северном Тянь-Шане с 1885 по 1911 гг. произошли четыре сильнейших сейсмических события: два с $M \geq 7$ и два с $M \geq 8$ [Корженков, 2006].

Очаг первого сейсмического события, по всей видимости, связан с сейсмогенерирующей зоной в континентальной Болгарии, расположенной к западу от исследованного археологического памятника (см. рис. 17), или активным разломом, ответственный за возникновение сильного землетрясения 1444 г. Очаг второго сейсмического события находился неподалеку – в прибрежной части Черного моря; за его возникновение, по всей видимости, ответственна Шабла-Калиакренская сейсмогенерирующая зона.

Сильные сейсмические деформации были выявлены нами также в постройках на южном склоне острова в помещениях, относящихся по времени к Первому Болгарскому царству (IX век н. э.). Во время этого сейсмического события в прямоугольных постройках появились дисторсии (в плане) стен, их сигмоидальность, а также разрывы и повороты стен. Местная сейсмическая интенсивность при этом землетрясении, по всей видимости, была не менее $I_1 \geq VIII$ баллов. Очаг третьего сейсмического события, скорее всего, находился неподалеку – в прибрежной части Черного моря; за его возникновение, по всей видимости, ответственна Шабла-Калиакренская сейсмогенерирующая зона.

Дальнейшие исследования на других археологических памятниках СВ Болгарии позволят более точно определить число сильных землетрясений в голоцене, а также точнее определить их возраст.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Изложенные в статье результаты получены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-55-18014 Болг_а “Изучение последствий сильных землетрясений в прибрежных зонах Болгарии и Таманского полу-

острова Западного Кавказа (по историческим, археологическим и палеосейсмогеологическим данным) с целью новой оценки сейсмической опасности в этих регионах” (научные руководители: с болгарской стороны – проф. О.В. Димитров, с российской стороны – проф. Е.А. Рогожин). Камеральная обработка полученных материалов проходила при финансовой поддержке ИФЗ РАН в рамках проводимой институтом программы фундаментальных научных исследований. Также эта работа была поддержана контрактами: I. (a) DNTS/Russia02/20 (27.06.2018) – (b) 18-55-18014 Bulgaria и II. The National Science Program “Environmental Protection and Reduction of Risks of Adverse Events and Natural Disasters”, approved by the Resolution of the Council of Ministers № 577/17.08.2018 and supported by the Ministry of Education and Science (MES) of Bulgaria (Agreement № D01-230/06.12.2018).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аврамова М.* Ювелирные изделия из доисторического некрополя близ села Дуранкулак Толбухинского района // Добруджа. 1986. Кн. 3. С. 75–84.
- Бояджиев К., Димов Т., Тодорова Г.* Les Balkans Orientaux. Основы хронологии // Европейский атлас неолита. L'Europe Oriental. ЭРАУЛ. Вып. 1. 1993. С. 61–110.
- Буров Дж., Тодорова Х., Димов Т., Йорданова Д.* Die Amphorenstempel aus Durankulak // Дуранкулак, группа III. Die Hellenistischen befunde. Берлин, 2016. С. 77–92.
- Вейсов И.* Похороны с идолами из доисторического некрополя в селе Дуранкулак Толбухинского района // Добруджа. 1987. Кн. 4. С. 77–82.
- Вейсов И.* Антропоморфная пластика культуры хаманджи // Добруджа. 1992. Кн. 9. С. 35–70.
- Димов Т.* Землянка из неолитического поселения близ села Дуранкулак Толбухинского района // Археология. Т. XXIV. 1982. Кн. 1. С. 33–48.
- Димов Т.* Вклад в исследование Нового каменного века в Южном Добрудже // Terra Antiqua Balcanica. Acta III. София. 1988. С. 20–25.
- Димов Т.* Культура Хаманджи в Добрудже // Добруджа. 1992а. Кн. 9. С. 20–34.
- Димов Т.* Культура Хаманджи в Южной Добрудже // Studia Praehistorica. София. Кн. 1112. 1992б. С. 122–130.
- Димов Т.* Древний некрополь на западном берегу озера Дуранкулак // Добруджа. 2000. Кн. 17–18. С. 11–31. Приложения – С. 349–363.
- Димов Т.* Эллинистические и позднеантичные могилы с Западного берега озера Дуранкулак // Дуранкулак, группа III. Берлин. 2016. С. 143–155.
- Димов Т., Бояджиев Я., Тодорова Г.* Доисторический некрополь у села Дуранкулак Толбухинского района // Добруджа. 1984. Кн. 1. С. 74–88.
- Джорданова Д., Димов Т.* Комментарий zu den Amphorenstempel aus Durankulak // Дуранкулак, группа III. 2003. С. 99–104.
- Йорданов Й., Димитров Б.* Результаты антропологического исследования останков человека доисторического некрополя в окрестностях деревни Дуранкулак // Дуранкулак, группа II. Teil 1 – Die prahistorischen Grabfelder. София. 2002. С. 325–347.
- Йорданова Д., Димов Т.* Амфорные тюлени с Большого острова и западного берега озера Дуранкулак // Научные сообщения, USB-Добрич, Добрич. 2003. Т. 5. № 1. С. 137–154.
- Карта на геоложката опасност на България (Карта геологической опасности Болгарии) / Под ред. И. Бручев. София: Изд-во БАН, 1994.
- Корженков А.М.* Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим, 2006. 290 с.
- Корженков А.М., Мазор Э.* Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. 2001. № 1. С. 108–125.
- Корженков А.М., Мазор Э.* Признаки сейсмических повреждений в руинах древних городов в пустыне Негев // Геотектоника. 2013. № 1. С. 59–73.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С.* Сейсмические деформации в древнем городе Илурате // Природа. 2016. № 10. С. 30–38.
- Корженков А.М., Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Супренков А.А.* Сейсмические деформации в урочище Сююрташ в Крымском Приазовье // Древности Боспора. 2019а. Т. 24. С. 1–28.
- Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Федосеев Н.Ф., Ларьков А.С.* Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике “Госпиталь”, г. Керчь, Крым // Геология и геофизика Юга России. 2019б. Т. 9. № 1. С. 135–149.
- Костов Р.И., Димов Т.* Минералого-геомологическая характеристика неметаллических орнаментов из доисторического некрополя на западном берегу озера Дуранкулак // Геология и минеральные ресурсы. 2003. Вып. 10. С. 23–29.
- Костов Р.И., Димов Т., Пелевина О.* Геомологические характеристики карнеоловых и агатовых бусин из хальколитовых некрополей Дуранкулак и Варна // Геология и минеральные ресурсы. 2004. Вып. 10. С. 15–24.
- Масленников А.А., Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Мараханов А.В.* Следы сильных древних землетрясений на городище Полянка и Южно-Азовский активный разлом // Древности Боспора (Москва). 2017. Т. 21. С. 265–294.
- Меламед К., Димов Т.* Средневековые некрополи // Дуранкулак. 1989. Т. 1. С. 113–147.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Вакарчук Р.Н., Горбатики А.В., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Сысолин А.И.* Следы сильного землетрясения в средневековом городе Фанагория на Таманском полуострове // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 3. С. 78–94.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Масленников А.А., Вакарчук Р.Н., Ларьков А.С., Сысолин А.И.* Следы и хронология сильных исторических землетрясений на мысе Зюк в Восточном Крыму // Физика Земли. 2019а. № 4. С. 133–152.
- Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Рогожин Е.А.* Предварительные результаты исследований активных разломов и следов сильных палеоземлетрясений в районе г. Дербент // Проблемы тектоники

- континентов и океанов. Материалы LI-го тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2019б. С. 92–95.
- Рогожин Е.А., Харазова Ю.В., Горбатиков А.В., Степанова М.Ю., Шанов С., Митев А.* Строение и современная активность Интрамизийского разлома в северо-восточной Болгарии по комплексу новых геолого-геофизических методов // *Физика Земли*. 2009. № 9. С. 15–23.
- Рангелов Б., Господинов Д.* Сейсмическая активность следов землетрясения от 31.03.1901 г. в районе Шабла–Калиакра // *Българско геофизично списание*. 1994. Т. XX. № 2. С. 44–49.
- Скаун Н.Н.* Молотьба санок на Кавказе от предыстории до современности // *Actes des rencontres*. 17–19 октября 2002 г. // Издания APДСА, Антиб. 2003. С. 389–299.
- Скаун Н.Н., Матева Б., Димов Т.* Результаты исследования производственной инвентаризации позднеолитического поселения Дуранкулак–Блатница (Болгария) // *Волжская археология*. 2016. № 3(17). С. 114–131.
- Тодорова Г.* Добруджа в доисторическую эпоху // *История Добруджи*. Т. I. 1984а. С. 23–55.
- Тодорова Г.* Добруджа в переходный период и в эпоху бронзы (конец 5 тысячелетия до н. э.—начало XII в. до н. э.) // *История Добруджи*. Т. I. 1984б. С. 56–71.
- Тодорова Г., Димов Т.* Поселок позднего бронзового века на Большом острове близ села Дуранкулак Толбухинского района // Северо-Восточная Болгария – Античность и современность. 1985. С. 21–26.
- Тодорова Г., Димов Т.* Аусграбунген и Дуранкулак 1974–1987 гг. // *Неолит Юго-Восточной Европы и его ближневосточных связей* // *Varia Archaeologica Hungarica*, Будапешт. 1989. Т. II. С. 291–310.
- Тодорова Г., Димов Т.* Durankulak. Band 2. Teil 1 и Teil 2. София. 2002.
- Тодорова Г., Димов Т.* Дуранкулак, группа III. Die Hellenistischen befunde. Берлин, 2016. 218 с. 52 табл.
- Тодорова Г. и др.* Дуранкулак. Том 1. 1989. 311 с.
- Тодорова Г., Димов Т. и др.* Durankulak. Band 2. Teil 1 и Teil 2. София. 2002. *Тодорова Г., Димов Т. и др.* Дуранкулак, группа III. Die Hellenistischen befunde. Берлин. 2016. 218 с. 52 табл.
- Трифонов Т.* Семьсот наименований болгарского Черноморья. Варна: Принт АД, 2003. 165 с.
- Boncev E., Bune L., Christoskov J., Karagjuleva J., Kostadinov V., Reisner G.I., Riznikova S., Shebalin N.V., Sholpo V.N., Sokerova D.* A method for compilation of seismic zoning prognostic maps for the territory of Bulgaria // *Geologica Balcanica*. 1982. № 12(2). P. 3–48.
- Catalogue of earthquakes of the Balkan region. I, UNDP-UNESCO Survey of the seismicity of the Balkan region / Eds N.V. Shebalin, V. Karnik, D. Hadzievski. Skopje, 1974.
- Dabovski C., Boyanov I., Khrishev K., Nikolov T., Sapunov I., Yanev Y., Zagorchev I.* Structure and Alpine evolution of Bulgaria // *Geol. Balcanica*. 2002. V. 32. № 2–4. P. 9–15.
- Dimitrov O., Genov I.* Active Faults in the South-Eastern Part of the Moesian Plate and the Lower-Kamchia Drop // *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*. 2004. V. 57. № 6. P. 83–88.
- Dimitrov O., Shanov S., Genov I., Boykova A.* Earthquake Risk for the Town of Varna, International Symposium on Latest Natural Disasters // *New Challenges for Engineering Geology, Geotechnics and Civil Protection*. www.naturdisasters-sofia.com. 2005. 5–8 September. Sofia, Bulgaria. Topic VI. Case Studies (CD).
- Dimitrov O., Vassilev A.* Comprehensive Analysis of Data From Geophysical Studies in the Western Black Sea // *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*. 2016. V. 69. № 10. P. 1333–1340.
- Grünthal G., Arvidsson R., Bosse C.* Earthquake model for the European-Mediterranean Region for the purpose of GEM1. Scientific Technical Report 10/04. Deutsches Geo-ForschungsZentrum GFZ. 2010. 35 p.
- Grünthal G., Wahlström R.* The European-Mediterranean Earthquake Catalogue (EMEC) for the last millennium // *J. Seismol.* 2012. V. 16. P. 535–570.
- Karakhanian A.S., Trifinov V.G., Ivanova T.P., Avagyan A., Rukieh M., Mimini H., Dodonov A.E., Bachmanov D.M.* Seismic deformation in the St. Simeon Monasteries (Qal'at Sim'an), Northwestern Syria // *Tectonophysics*. 2008. V. 453. P. 122–147.
- Korjenkov A.M., Arrowsmith J.R., Crosby C., Mamyrov E., Orlova L.A., Povolotskaya I.E., Tabaldiev K.* Seismogenic destruction of the Kamenka medieval fortress, northern Issyk-Kul region, Tien Shan (Kyrgyzstan) // *Journal of Seismology*. № 10. 2006. P. 431–442.
- Korjenkov A.M., Schmidt K.* An Archaeoseismological Study at Tall Hujayrāt al-Ghuzlān: Seismic Destruction of Chalcolithic and Early Bronze Age Structures // *Prehistoric Aqaba I. Deutsches Archäologisches Institut. Orient-Abteilung. Orient-Archäologie. Band 23. Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH, 2009. P. 79–97.*
- Korzhonkov A.M., Mazor E.* Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // *Science and New Technologies*. 1999. № 1. P. 62–74.
- Kotzev V., Nakov R., Georgiev Tz., Burchfiel B.C., King R.W.* Crustal motion and strain accumulation in western Bulgaria // *Tectonophysics*. 2006. № 413. P. 127–145.
- Matova M., Spiridonov H., Rangelov B., Petrov P.* Major active faults in Bulgaria // *J. Earthq. Pred. Res.* 1996. № 5. P. 436–439.
- Ranguelov B., Mircheva E., Lazarenko I., Encheva R.* The archaeological site – possible evidence about multihazard ancient events // *Proc. Conf. Geoarchaeology and Archaeomineralogy*. 2008. P. 347–352.
- Ranguelov B.K., Nikolov V.* The most ancient salt production factory in Europe and the oldest seismic event documented to the region of Provadia, pap. 6491 // *Proc. 5th Congress of Balkan Geophysical Society. Belgrade. Serbia. 10–16 May 2009. P. 1–6.*
- Shanov S., Sans de Galdeano C., Galindo-Zaldivar J., Radulov A., Nikolov G., Azacon J.M., Yaneva M.* Late Alpine deformations, Neotectonic evolution and Active tectonics of the southern border of Central Balkan Mountain: a new contribution // *Geologica Balcanica*. 2007. V. 36. № 3–4. P. 41–50.
- Solakov D., Simeonova S., Christoskov L.* Seismic Hazard Maps for the New National Building Code of Bulgaria // *Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences*. 2009. V. 62. P. 1431–1438.
- Stucchi M., Rovida A., Gomez Capera A.A., Alexandre P., Camelbeeck T., Demircioglu M.B., Gasperini P., Kouskouna V.W., Musson R.M., Radulian M., Sesetyan K., Vilanova S., Baumont D., Bungum H., Fäh D., Lenhardt W., Mak-*

ropoulos K., Martinez Solares J.M., Scotti O., Živčić M., Al-bini P., Batllo J., Papaioannou C., Tatevossian R., Locati M., Meletti C. Viganò D., Giardini D. The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000–1899 // J. Seismol. 2012. V. 17. P. 523–544.

Tari G., Dicea O., Faulkerson J., Georgiev G., Popov S., Stefanescu M., Weir G. Cimmerian and Alpine Stratigraphy and Structural Evolution of the Moesian Platform (Romania/Bulgaria) / Ed. A.G. Robinson. Regional and Petroleum geology of the Black Sea and surrounded region: AAPG Memoir 68. 1997. P. 63–90.

Todorova H. Durankulak, Band III Die Hellenistischen be-funde. Berlin. 2016. 272 c.

Vanneste K., Radulov A., De Martini P., Nikolov G., Peter-mans T., Verbeeck K., Camelbeeck T., Pantosti D., Dimitrov D., Shanov S. Paleoseismologic investigation of the fault rup-

ture of the 14 April 1928 Chirpan earthquake (M 6.8), southern Bulgaria. // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. B01303.

Woessner J., Laurentiu D., Giardini D., Crowley H., Cotton F., Grünthal G., Valensise G., Arvidsson R., Basili R., Demircio-glu M.B., Hiemer S., Meletti C., Musson R.W., Rovida A.N., Se-setyan K. Stucchi M. The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results // Bull. Earthquake Eng. 2015. V. 13. P. 3553–3596.

Zagorchev I. Neotectonics of the central parts of the Balkan Peninsula: basic features and concepts. // Geologische Rundschau. 1992. № 81. P. 635–654.

Zagorchev I. Geomorphological zonation of Bulgaria // Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences. 2009. V. 62. № 8. P. 981–992.

Traces of the Strong Earthquakes in Eneolithic and Medieval Times in Durankulak Archeological Monument, North-Eastern Bulgaria

A. M. Korzhenkov^{1,*}, A. N. Ovsyuchenko¹, O. V. Dimitrov^{2,**}, T. Dimov^{3,***}, A. S. Lar'kov¹, B. Ranguelov^{4,****}, E. A. Rogozhin¹, and S. N. Rodina¹

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Bol'shaya Gruzinskaya str., 10, Moscow, 123242 Russia

²Nansen Institute of Oceanology BAS, Pervimay str., 40, PK 152, Varna, 9003 Bulgaria

³Dobrich Regional Historical Museum, Doctor K. Stoilov str., 18, Dobrich, 9300 Bulgaria

⁴Mining and Geological University, Prof. Kamenov str., 1, Sofia, 1700 Bulgaria

*e-mail: korzhenkov@ifz.ru

**e-mail: ovdimitrov@io-bas.bg

***e-mail: tkonstantin@mail.bg

****e-mail: branguelov@gmail.com

We have conducted paleo- and archeoseismological study in Durankulak eneolithic archeological monument in NE Bulgaria. There we have revealed a significant number of seismogenic deformations of different ages. Numerous counterforce walls built to the east to damaged original submeridional walls testify on the first significant earthquake occurred in Durankulak apparently in mid-late Eneolithic (4650–4100 years BC). During this seismic event the submeridional walls tilted westward, this is why ancient people had to build counterforce walls in order to protect original walls from their collapse. However in upper trenches of the archeological monument one can observe that the next – later seismic deformation led to a tilt and collapse or remnants of original walls eastward and to deviation on first tens centimeters of original and counterforce walls from each other. After this the settlement was abandoned. Apparently the second earthquake was stronger than the first one, after which it was possible to conduct the repair works. A local seismic intensity of the first earthquake apparently was not less than $I_1 \geq VIII$, and the second one – $I_1 \geq IX$ according to MSK-64 Scale. Because a masonry of both: original and counterforce walls are approximately of the same age, then the time interval between two seismic events is not long – one or two hundred years. Nevertheless epicenters of both earthquakes were located in different directions from Durankulak. Seismic oscillations – compression waves went from the west during the first earthquake, during second earthquake the direction of arrival of destructive seismic motions were from the east. A source of the first seismic event apparently tied either with the seismogenic zone in continental Bulgaria located east of studied archeological monument or with an active fault responsible for occurrence of the strong earthquake of 1444. A source of the second earthquake located nearby – in coastal part of the Black Sea. Shabla-Kaliakra seismogenic zone is apparently responsible for the second seismic event. Strong seismic deformations were revealed in the southern slope of the island in buildings of the First Bulgarian Kingdom (IX century AD). During this seismic event in rectangular buildings there were formed distortions wall (in vertical view), their sigmoidality, as well as ruptures and rotations of the walls. Local seismic intensity during this earthquake was apparently not less that $I_1 \geq VIII$. A source of the third seismic event located apparently nearby – in coastal part of the Black Sea. Shabla-Kaliakra seismogenic zone is apparently responsible for its occurrence.

Keywords: archeoseismology, historical seismicity, Durankulak, Eneolithic, medieval, kinematic indicators, seismic deformations, ruins, Bulgaria, seismic hazard assessment