
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ ХЕРСОНЕСА ТАВРИЧЕСКОГО У КАРАНТИННОЙ БУХТЫ ПО ДАННЫМ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Владимир Васильевич Глазунов

*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
vzglazounov@mail.ru*

Андрей Алексеевич Букатов

*Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический»;
Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
bukat@list.ru*

Виктор Васильевич Вахонеев

*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
vvvakhoneyev@mail.sevsu.ru*

Наталья Николаевна Ефимова

*Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
natafima@mail.ru*

Вадим Владимирович Панченко

*Государственный историко-археологический музей-заповедник «Херсонес Таврический»;
Севастопольский государственный университет, Севастополь, Россия
vad_panchenko@mail.ru*

Аннотация. Обобщение и анализ комплексных геолого-геофизических и археологических материалов позволили уточнить и существенно дополнить представления о прибрежной территории Карантинной бухты Херсонеса Таврического в эпоху эллинизма. Полученная информация позволяет сформулировать выводы об источниках водоснабжения города, связи культурного слоя с геологическим строением делювиально-пролювиальных отложений балки, особенностях древнего ландшафта и береговой линии Карантинной бухты. На основании результатов инженерно-геологических, гидрогеологических, геофизических и археологических работ в Херсонесской балке и прибрежной территории Херсонеса, проведенных в период 2021–2023 гг., установлено, что одним из источников водоснабжения Херсонеса являлись водоносные горизонты этой балки. Основной горизонт относится к трещинно-карстовому типу, небольшая минерализация воды обуславливает ее пригодность для водоснабжения. Этот вывод подтверждают результаты археологических раскопок, обнаруживших «водозаборный узел» древнего Херсонеса, состоящий из большого количества колодцев, вырубленных в скальном массиве, в тальвеговой зоне балки. В пределах городища балка прослеживается в виде эрозионного вреза палеодолины, заполненной песками, которые являются основным водоносным горизонтом прибрежной территории. Горизонт имеет гидравлическую связь с морской водой Карантинной бухты. Степень солёности грунтовой воды в этом горизонте зависит от уровня моря. Расположение колодцев и терм в прибрежной территории городища указывает на то, что вода из этого горизонта была пригодна для водоснабжения, поскольку уровень моря в античный период находился существенно ниже современного. Наличие источников водоснабжения в Херсонесской балке и прибрежной территории Карантинной бухты можно рассматривать в качестве одного из важных градообразующих факторов в эллинистический период существования Херсонеса. Геологический разрез делювиальных и пролювиальных отложений Херсонесской балки представлен толщей суглинков и является культурным слоем, сформировавшимся в период с IV до н.э. по XIII в. н.э. Связь культурного слоя с геологическим строением свидетельствует о том, что аккумуляция делювиально-пролювиальных отложений в балке была обусловлена деятельностью жителей Херсонеса на прилегающих территориях Гераклеяского полуострова. Структура геолого-археологического разреза подтверждает наличие сезонного водотока в Херсонесской балке, который переносил пролювиальные отложения в течение всего времени существования города. Значительная мощность толщи суглинков за протейхизмой, по сравнению с наблюдаемой в периболле, может быть обусловлена тем, что протейхизма в античное время защищала периболл не только от врагов, но и от потока пролювиальных отложений, поступающих из Херсонесской балки. На основании заверенных скважинами значений абсолютных

отметок подошвы культурного слоя, детальной карты рельефа дна прибрежной зоны Карантинной бухты, данных метода донной электротомографии и установленного уровня моря на абсолютных отметках минус 3–4 м определены контуры береговой линии бухты в ранний период существования Херсонеса.

Ключевые слова: Херсонес Таврический, Карантинная бухта, геофизические методы, палеодолина, водоснабжение, аккумуляция делювиально-пролювиальных отложений, реконструкция береговой линии.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке программы Приоритет-2030 Севастопольского государственного университета (стратегический проект № 3). Авторы выражают благодарность С. В. Шакуро за помощь в проведении работ и предоставлении сейсмических материалов.

GEOMORPHOLOGY AND WATER SUPPLY SYSTEM OF THE COASTAL TERRITORY OF TAURIC CHERSONESE AT KARANTINNAIA BAY ACCORDING TO INTERDISCIPLINARY RESEARCH DATA

Vladimir V. Glazunov

*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
vzglazounov@mail.ru*

Andrei A. Bukatov

*State Museum Preserve of Tauric Chersonese; Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
bukat@list.ru*

Viktor V. Vakhoneev

*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
vvvakhoneyev@mail.sevsu.ru*

Natalia N. Efimova

*Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
natafima@mail.ru*

Vadim V. Panchenko

*State Museum Preserve of Tauric Chersonese; Sevastopol State University, Sevastopol, Russia
vad_panchenko@mail.ru*

Abstract. The generalization and analysis of complex geological, geophysical, and archaeological materials has allowed us to clarify and significantly amend the notion concerning the coastal territory of Karantinaia Bay of Tauric Chersonese in the Hellenistic Period. The information obtained allowed the ones to draw the conclusions about the sources of the city's water supply, the relationship of the cultural layer with the geological structure of the deluvial and proluvial deposits of the ravine, and the features of the ancient landscape and the coastline of Karantinaia Bay. The results of engineering-geological, hydrogeological, geophysical, and archaeological works in Chersonesan Ravine and the coastal territory of Chersonese conducted from 2021 to 2023 show that the water-bearing strata of the ravine in question were one of the water supply sources of Chersonese. The main stratum belongs to the fracture-karst type. Owing to its slight mineralization, the water was good for supply. This conclusion is confirmed by the results of archaeological excavations that discovered the "water supply inlet" of ancient Chersonese, consisting of numerous wells cut in the bedrock in the thalweg zone of the ravine. In the ancient city area, the ravine can be seen as an erosional incision of a paleo-valley filled with sands, which comprise the main water-bearing stratum of the coastal territory. The stratum has a hydraulic connection with the seawater of Karantinaia Bay. The degree of the groundwater salinity in this stratum depends on the sea level. The location of the wells and public baths in the coastal area of the town indicates that the stratum (horizon) provided stock water, for the sea level in the ancient period was significantly lower than today. The sources of water supply in Chersonesan Ravine and the coastal territory of Karantinaia Bay could be interpreted as one of the important city-forming factors in the Hellenistic Period of Chersonese. The geological section of the deluvial and proluvial deposits of Chersonesan Ravine is represented by a layer of loams forming a cultural layer shaped from the fourth century BC to the thirteenth century AD. The relationship of the cultural layer with the geological structure points to the fact that the accumulation of deluvial and proluvial deposits in the ravine was caused

by the activities of Chersonesan inhabitants in the adjacent territories of the Gerakleiskii Peninsula. The structure of the geological and archaeological section confirms the presence of a seasonal water stream in Chersonesan Ravine, which carried proluvial deposits throughout the entire period when the city existed. The significant thickness of the loamy layer behind the proteichism, in contrast to the one observed in the peribolos, may appear in result of the ancient proteichism protecting the peribolos not only from enemies, but also from the flow of proluvial deposits going down from Chersonesan Ravine. Taking the absolute marks of the cultural layer bottom certified by the wells, a detailed map of the bottom relief of Karantinaia Bay coastal zone, the data obtained by the method of bottom electrotomography, and the established sea level at absolute marks of minus 3–4 m into account, we have determined the contours of the coastline of the bay in the early period of Chersonese.

Keywords: Tauric Chersonese, Karantinaia Bay, geophysical methods, paleo-valley, water supply system, accumulation of deluvial and proluvial deposits, coastline reconstruction

Acknowledgements. The work was supported by the Priority-2030 program run by Sevastopol State University (strategic project no. 3). We would like to thank S. V. Shakuro for his invaluable help in our research work and providing seismic data.

Тесная связь античного общества с природными условиями определяла основные направления экономической деятельности. Эта зависимость ярко проявлялась и в выборе мест для основания городов, практически всегда расположенных в местности, обеспеченной хорошей питьевой водой [1, с. 5]. Вместе с тем, в результате хозяйственной деятельности, влияние человека на природу становилось все более и более заметным. Осваивались новые территории, пригодные для сельского хозяйства, вырубались леса. Рост морских перевозок неминуемо приводил к расширению портов и всего портового хозяйства, строительству новых гаваней, к увеличению размеров судов и росту их осадки. Возведение причальных сооружений часто приводит к неожиданным осложнениям в прилегающих к портам районах моря и на участках берега, связанных, прежде всего, с движением наносов вдоль берегов [8, с. 4, 8–9]. В процессе аккумуляции наносов меняется очертание береговой линии, уменьшается глубина в акватории порта.

С аналогичными проблемами столкнулись и жители Херсонеса, основавшие город на берегу Карантинной бухты, являющейся продолжением глубоковрезанных балок Карантинной и Херсонесской. Проблема реконструкции очертаний древнего берега Херсонеса имеет более чем столетнюю историю [5]. А. Л. Бертье-Делагард [3], опираясь на предположение К. К. Косцюшко-Валюжинича, учитывая анализ нивелировки местности и результаты раскопок 1896 года, выдвинул гипотезу о засыпке херсонеситами мелководного бокового рукава бухты, простиравшегося далеко к западу, для «образования площади портовой территории». Этот рукав являлся продолжением Херсонесской балки и, вполне вероятно, изначально «отделялся от бухты пересыпью, как то мы видим донныне во многих местах Гераклеиского полуострова и даже рядом с городом в Херсонесской бухте». Предположение об увеличении территории за счет засыпки «отвершка бухты» было впоследствии использовано другими исследователями [2; 1].

И. А. Антонова предположила, что заполнение грунтом участка бухты происходило вследствие естественных причин [1]. В процессе использования излучины бухты в качестве внутренней гавани города, натеки земли и намываемый в результате действия аккумулятивных процессов морской песок уменьшали акваторию и глубину, делая нецелесообразным её эксплуатацию. Таким образом, согласно ее гипотезе, в период, начиная с третьей четверти IV в. до н.э. до IX–X вв., прибрежный участок оборонительной линии Херсонеса сместился, вслед за отступающим морем, на 50–100 м. Вне рассмотрения оставались затопленные строительные сооружения, на основе изучения которых, уже в 2022 г., стала возможной новая реконструкция примерных очертаний берега IX–X вв. [6; 7].

По мнению И. А. Антоновой, строительство укреплений т.н. цитадели Херсонеса, в частности, куртины № 19, и протейхизмы перед ней, перегораживающих тальвег балки от «борта до борта», имели целью не только усилить оборонительную систему города, но и выступали в качестве «дамбы – барража», призванного предотвратить дальнейшее

поступление наносов в акваторию Карантинной бухты, используемую в качестве порта [1, с. 103, 118–119, 123, 124, 125]. Перегороженный стенами овраг превратился в ловушку для наносов, между концом IV в. до н.э. – IX–X вв. достигших перед городскими стенами мощности в 5–6 м [1, с. 119] и продолжавших накапливаться в новое время, перекрывая культурные отложения, связанные с хозяйственной деятельностью античного и средневекового города. Общий объем наносов, накопившихся в тальвеге оврага, оценивается в 1,2 млн. м³. Согласно данным бурения, в составе буровых колонок на территории Портового района городища фрагменты керамики и остеологический материал, связанный с наземной фауной, зафиксирован на глубинах до 9–14 м от современной дневной поверхности [1, с. 103].

М. И. Золотарёв определял древнюю береговую линию бухты на глубинах 3,5–4 м, по его мнению, соответствовавшей уровню моря периода Великой греческой колонизации [9].

Таким образом, существуют противоречивые представления о влиянии факторов повышения уровня моря и процессов аккумуляции донных наносов у западного берега Карантинной бухты, что напрямую связано с проблемой реконструкции берега периода существования Херсонеса. Интересна также роль балки в снабжении города питьевой водой в разные периоды его существования.

В настоящее время стали доступны новые результаты археологических и инженерно-геологических исследований, появилась возможность использовать современные геофизические методы, которые, в совокупности с точными спутниковыми системами определения координат, позволяют дополнить, уточнить и обобщить уже имеющиеся данные. В 2022–2023 гг. в Херсонесе Таврическом работала комплексная группа по геофизическим исследованиям. Были проанализированы и обобщены результаты этих работ, материалы 1970–1980-х гг., современные данные бурения и результаты раскопок на участке пригорода Херсонеса (рис. 1).

Херсонесская балка расположена на западной стороне Карантинной бухты и сформировалась в массиве неогеновых известняков и мергелей вдоль ослабленной линейной зоны, имеющей тектоническое происхождение. В рамках геоморфологического районирования балка расположена в пределах пологой наклонной поверхности Гераклеийского полуострова, рельеф которого расчленен хорошо развитой овражно-балочной сетью.

Название балки Херсонесская появилось в научных публикациях только в последнее время. Ранее она называлась юго-восточным оврагом, а в публикациях И. А. Антоновой – безымянной балкой-оврагом [1, с. 103]. Исток балки расположен примерно в 3 км на юго-запад на уровне 69,5 м по БС.

Результаты проведенных в 2022 г. инженерно-геологических изысканий показали, что в пределах Херсонесской балки распространены два водоносных горизонта. Основной относится к трещинно-карстовому типу, имеет площадный характер распространения в пределах тальвега балки и является безнапорным. Вторичный водоносный горизонт приурочен к левому склону балочного понижения, имеет потоково-пластовый тип распространения. Выявленные горизонты имеют гидравлическую связь. Водовмещающими породами выступают скальные известняки слоистой текстуры. Оба водоносных горизонта зависят от количества выпавших атмосферных осадков, поэтому являются временными водными потоками. Разгрузка основного водоносного горизонта осуществляется в акватории Карантинной бухты, в то время как второго – в основной горизонт и в виде малодобитных источников, локализующихся в тальвеге балки [11, с. 40].

Массив известняков в тальвеге и склонах балки перекрыт делювиально-пролювиальными отложениями, представленными глиной и суглинками различной консистенции, с дресвой и щебнем известняка и археологическим материалом.

Грунтовая вода имеет преимущественно гидрокарбонатный состав, который изменяется на хлоридный с приближением к морю. Это говорит о подпитке водоносного горизонта морской водой там, где уровень подземных вод удерживается на отрицательных высотных отметках. Минерализация воды варьирует в пределах 0,9–1,4 г/л, то есть

изменяется от пресной до слабосоленоватой. Подток морской воды проявляется увеличением хлоридов и повышением минерализации воды от 2,0 до 3,2 г/л с приближением к северной границе участка, ближе к бухте [11, с. 44–45].

По имеющимся промерам уровней воды в скважинах, расположенных по дну балки, просматривается наклон зеркала подземных вод до 1-го градуса в северном направлении.

Расчет динамических запасов подземных вод показал, что постоянный приток из основного горизонта составляет 172 м³/сут., что позволяет расценивать его в качестве ценного ресурса для водоснабжения Херсонеса в период его основания.

Этот вывод подтверждают результаты археологических раскопок, обнаруживших «водозаборный узел» древнего Херсонеса, состоящий из большого количества колодцев, вырубленных в скальном массиве в тальвеговой зоне и бортах балки (рис. 2).

Различия в строении колодцев указывают, что они могут относиться к разным эпохам существования. Преобладают колодцы, вырубленные в скале (рис. 3,а) [11, с. 38–39, рис. 7,3.2–3.7]. Реже встречаются колодцы с крепью стенок тесаным камнем, обычно в их верхней части, или же полностью обложенные каменным обкладом (рис 3,б). Они относятся в основном к раннесредневековому периоду. Наиболее интересны двухкамерные, трехкамерные колодцы (рис 3,в), с регулируемым перетоком в виде конусного каменного затвора.

К примеру, был обнаружен нимфей, состоящий из трех камер. Такие камеры-отстойники являются прототипом более современных каптажных систем, встречающихся и поныне в Крыму. Примечательным у всех колодцев является наличие ниши в пределах выхода подземных вод – карстовые полости (рис 3,г), образованные в зоне основного движения подземных вод, преимущественно пресных по составу.

Заполнение колодцев водой неравномерное. Преимущественно вода фиксируется в пределах ниш и ниже. Но высачивание воды со стенок выше полостей фиксируется и в настоящий момент. Установившийся уровень воды в колодцах не превышает высоту карстовых полостей [11, с. 33–34].

Следует отметить, что осмотр колодцев производился в период интенсивного водопонижения, что определило отрицательные значения абсолютных отметок уровня подземных вод. При прекращении водопонижения прогнозный уровень подземных вод не поднимается выше зафиксированных ниш карстовых полостей, так как приток и отток подземных вод в море сбалансирован. Подъем уровня подземных вод возможен до высотных отметок +0,5 м [11, с. 33–34].

Глубина колодцев лежит в пределах от 5 до 0,8 м и коррелирует с превышениями рельефа местности. Так, при абсолютной отметке устья колодца 4 м глубина его заложения близка к 5 м, а при уменьшении отметки до -0,1 м глубина близка к 1 м. Это указывает на то, что водоносный горизонт, являющийся источником водоснабжения, приурочен к субгоризонтальному слою водопроницаемых известняков в скальном массиве. Необходимо отметить, что по этой причине наибольшее количество колодцев приурочено к низовьям балки, а выше по балке они обнаружены до абсолютной отметки 5 м.

Особенность локализации колодцев сводится к тому, что они не располагаются вдоль оси тальвега, а расположены вдоль склонов балки на более высоких высотных отметках (рис. 2). Расстояние между линиями колодцев изменяется от 50 до 70 м в низовьях балки. Такое размещение колодцев позволяет предположить, что в ранний период их эксплуатации в тальвеге находился водоем или пролегало русло древнего водотока, возможно, реки, вдоль берегов которых закладывались колодцы. Ширина реки могла быть близка к 20 м.

Существование реки косвенно подтверждают данные археологических раскопок тальвега балки. Раскопы вскрыли толщу илистых накоплений мощностью более 2–3 метров. Это указывает на то, что существовавший древний водоток постепенно заболачивался и высыхал в более поздние времена.

Поверхностный водоток носил сезонный характер и пересыхал летом, а колодцы питала пластовая вода. В настоящее время выходы на поверхность пластовых и склоновых

вод привели к образованию открытых водоемов (рис. 2). Возможно, подобный водоем существовал и в период ранней истории Херсонеса, когда массив известняков был перекрыт частично пролювиальными отложениями небольшой мощности. Это предположение подтверждает открытый водоем, образовавшийся в низовьях Херсонесской балки после раскопок 2021–2023 гг. (рис. 4). Возможно, именно так в эпоху эллинизма выглядел ландшафт балки.

Археологические исследования 2023 г. позволили изучить и стратифицировать разрез толщи делювиальных и пролювиальных отложений Херсонесской балки, который является культурным слоем, сформировавшимся в период с IV до н.э. по XIII в. н.э. (рис. 5). По данным раскопок в разрезе толщи выделяются следующие слои глинистых отложений:

1. Глина мягкопластичная, серовато-зеленого цвета с примесью песка, с включениями ракушек, содержит гнезда суглинка синевато-черного цвета, залегает на сарматских известняках и относится к четвертичным морским отложениям (mQ III-IV). Абсолютная отметка кровли слоя от -1,64 до -2,00 м.

2. Культурный слой (1, а): суглинок темно-серый дресвяный легкий полутвердый коричневый с прослоями супесей и гравелистых песков. Слой датируется IV в. до н.э. – IV в. н.э. Мощность слоя составляет 2 м, абсолютные отметки варьируют от -1,6 до 0,5 м.

3. Культурный слой (1): суглинок тугопластичный коричневый, светло-серый со щебнем и дресвой от 25%. Слой датируется IV–XIII вв. н.э. Мощность слоя составляет 2,7 м, абсолютные отметки варьируют от 0,5 до 2,2 м.

4. Современный техногенный слой: суглинок светло-серый, светло-коричневый. Мощность слоя составляет 2,8 м, абсолютные отметки варьируют от 1,2 до 4,0 м

Связь культурного слоя с геологическим строением свидетельствует о том, что аккумуляция делювиально-пролювиальных отложений была обусловлена деятельностью жителей Херсонеса на прилегающих территориях Гераклеийского полуострова. Строительные работы и возделывание земельных наделов приводили к разрушению почв, представленных песчано-глинистыми отложениями, с последующим их размывом и сносом временными водными потоками в балки и вдоль тальвегов балок.

В ходе раскопок Южного пригорода Херсонеса в 2022 г. экспедицией ИИМК РАН по руководством С. Л. Соловьева была открыта мощная стена с контрфорсами, протянутая поперек балки примерно в 250 м к юго-западу от городских ворот (рис. 4). Сохранившаяся длина стены составила 90 м. Датой ее сооружения является вторая половина II в. до н.э., она просуществовала до конца античного периода. Не исключено, что данная стена также должна была предотвратить накопление наносов в низину с участка, расположенного выше по балке.

Структура геолого-археологического разреза подтверждает наличие сезонного водотока в Херсонесской балке, который переносил пролювиальные отложения в течение всего времени существования Херсонеса. Долина древней реки, признаки которой выявлены в балке в результате проведенных инженерно-геологических изысканий и археологических раскопок, погребена под более молодыми отложениями, потому, следуя геологической терминологии, ее следует рассматривать в качестве палеодолины. Палеодолина, расширяясь, впадает в Карантинную бухту, пересекая линии оборонительных сооружений и территорию городища Херсонеса Таврического [1, с. 104, рис. 3]. На основании проведенной батиметрии дна бухты можно заключить, что бухта в древности имела ответвление, к которому примыкала Херсонесская балка. Наблюдаемый эрозионный врез в виде лагуны свидетельствует о наличии постоянного водотока вдоль балки [11, с. 28].

Для уточнения и дополнения имеющихся данных о расположении и строении палеодолины, в пределах исследуемой территории выполнены геофизические исследования. Решение этой геологической задачи осуществлялось с помощью комплекса современных геофизических методов и данных бурения скважин. Комплекс геофизических методов исследований включал электротомографию (ЭТ) и сейсморазведку.

Электротомографические исследования выполнялись с многоэлектродной электро-разведочной аппаратурой «Скала 48K12», разработанной в ООО «Конструкторское бюро электротометрии». Методика наблюдений ЭТ базировалась на стандартной и принятой для проведения наземной электротомографии технологии наблюдений. Шаг наблюдений по линии профиля составлял 2 м.

Сейсмические наблюдения проводились с помощью 48-ми канальной сейсмостанции «Эллисс». Сейсмоприемники по линии профиля размещались с шагом 2 м, а пункты возбуждения сейсмических волн через 4 м, с выносами 4 м и 8 м. Неглубокое залегание уровня грунтовых вод обусловило выбор поперечных S-волн для изучения палеодолины.

Положение профилей геофизических съемок выбиралось в пределах нераскопанных площадей прибрежной части городища и Карантинной бухты (рис. 6). Линии профилей обозначены индексами I, II, III, IV и V.

Для оценки возможностей геофизических методов для решения геоморфологических и геологических задач, выбора оптимальной методики съемки, на первом этапе геофизических исследований были проведены опытно-методические работы на двух эталонных участках.

Первый участок находился в пределах частично раскопанной, к началу проведения геофизических работ, территории балки (рис. 1). Съемка выполнена по профилю ПР0, проложенному поперек балки, по поверхности насыпного слоя. Геофизические наблюдения выполнены методом электротомографии с использованием измерительной установки Веннера. Линия профиля наблюдений пересекала балку и проходила вдоль северной бровки раскопа 2021 г. На полученном геоэлектрическом разрезе отчетливо проявилась геоэлектрическая структура разреза, отражающая рельеф и изменения состояния массива известняков, подстилающих насыпные грунты (рис. 7).

Области известняков низкой прочности выделены на разрезе косой штриховкой. Обводненные зоны проявляются на разрезе наиболее низкими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС). Особенно ярко выделяется локальная субвертикальная зона, выделенная на разрезе горизонтальной штриховкой в правом нижнем углу разреза, которая явно имеет тектоническое происхождение. После завершения раскопок было установлено, что эта зона приурочена к наиболее глубокому положению тальвега долины и соответствует основному водоносному горизонту трещинно-карстового типа.

Полученные результаты продемонстрировали эффективность метода электротомографии для картирования рельефа эрозионного вреза палеодолины и выявления наиболее обводнённых тектонически ослабленных зон скального массива.

Второй эталонный участок расположен в периболе между куртиной и протейхизмой. Профиль ПР1 проложен вдоль линии заложения скважин, пробуренных в 1979–1987 гг. вдоль перибола (рис. 6) [1, с. 103].

Сопоставление полученного геоэлектрического разреза с геологическим разрезом, построенным по данным бурения, позволяет сделать вывод о применимости метода ЭТ для обнаружения эрозионного вреза палеодолины в пределах городища (рис. 8).

Результаты бурения скважин 2022 г. уточнили геологическое строение перибола и прибрежной части городища [12, с. 16]. В геологическом строении принимают участие известняки сарматского яруса среднего горизонта ($N_{1s_{II}}$), которые слагают восточный борт и днище погребённой балки. В тальвеге балки известняки перекрыты четвертичными морскими (m II-IV) песками и культурным слоем (t IV) (рис. 9).

Культурный слой (t QIV), так же как и в Херсонесской балке, представлен суглинками двух видов I и 1a. Мощность слоя I – 0,5–3,0 м, а абсолютные отметки подошвы – в интервале от -2,3 до -4,4 м, а слоя 1a – 0,3–5,6 м, абсолютные отметки подошвы по архивным данным – от -3,0 до -4,85 м [12, с. 18]. Граница, разделяющая разновидности суглинков в периболе, не горизонтальна.

Особый интерес представляет литологическая колонка по скважине 3, на ПР 2-2, которая пробурена за внешней стороной протейхизмы (рис. 6). Скважина 3 вскрыла суглинки культурного слоя мощностью 5,6 м, что согласуется с геологическим разрезом

в низовьях Херсонесской балки (рис. 5). В периферии мощность слоя, вскрытого в скважине 8, уменьшается до 2–4 м (рис. 9,б). Под культурным слоем залегают пески двух разновидностей 2 и 2а. Столь значительное увеличение мощности толщи суглинков за протейхизмой может быть связано тем, что стена защищала периферий в античное время не только от врагов, но и от пролювиальных отложений, выносимых из Херсонесской балки.

Песок с индексом 2 – средней крупности, неоднородный, в отдельных интервалах слабо связный, водонасыщенный. Мощность слоя этого песка варьирует в пределах 0,5–3,6 м, абсолютные отметки подошвы – от -13,2 до -2,2 м [12, с. 18].

Песок с индексом 2а – гравелистый, средней плотности, в отдельных интервалах слабо связный, неоднородный, водонасыщенный, с включением гальки, полуокатанного щебня оолитового известняка, ракушкой. Мощность слоя песка 2а составляет 0,4–10,5 м, абсолютные отметки подошвы изменяются от -14,9 до -2,2 м [12, с. 18].

В гидрогеологическом отношении прибрежная территория городища характеризуется наличием выдержанного горизонта подземных вод на отметках, близких к уровню моря (от 0,3 до -0,8 м) [12, с. 22].

Водоносный горизонт безнапорный. Общее направление движения подземных вод на северо-восток. Разгрузка подземных вод осуществляется ниже уровня моря в Карантинной бухте. Водовмещающими породами служат культурный слой, представленный суглинками с включением щебня и дресвы известняка, обломков керамики, а также подстилающие их пески, грунтовые воды также вскрыты в известняках. Водупором служат слабо трещиноватые известняки. Источником питания водоносного горизонта являются атмосферные осадки, в связи с чем колебания уровня зависят от сезонных климатических факторов [12, с. 22]. По химическому составу грунтовые воды гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, слабосоленые, щелочные, минерализация составляет 2,19–2,46 г/л.

Геозлектрический разрез методом электротомографии по профилю ПР1 адекватно отражает геологическое строение разреза периферии (рис. 8). Палеодолина четко выделяется областью наиболее низких значений удельного электрического сопротивления (УЭС), благодаря насыщению песков морской водой, поступающей из Карантинной бухты. В массиве известняков пониженные значения УЭС указывают на наличие ослабленных, обводненных зон, имеющих тектоническую природу.

Особенностью геозлектрического разреза является слой повышенных значений УЭС, проявившийся в верхней части обводненных песков (рис. 8,б). Формирование слоя можно связать с галоклином, формирующимся в результате поступления пресной воды в морскую. Обладающая меньшей плотностью пресная вода образует слой над более плотной соленой водой. Поскольку уменьшение солености приводит к увеличению УЭС, то наличие слоя пресной воды проявляется в виде особенности, наблюдаемой на геозлектрическом разрезе периферии (рис. 8,б). Качество воды в верхней части слоя песков улучшается за счет уменьшения солености, что делает ее более пригодной для водоснабжения. Наличие в пределах прибрежной части городища колодцев и терм косвенно подтверждает это вывод.

Результаты, полученные на эталонных участках, на которых наличие и геометрические параметры палеодолины известны, показали, что метод электротомографии эффективен для картирования палеодолины на территории городища. Для определения глубины эрозионного вреза долины в комплекс геофизических методов исследований была включена сейсморазведка. Сейсмические исследования выполнялись в два этапа. Опытный-методический этап включал опробование различных методик сейсморазведки, включающие МОВ-ОГТ и HVSR. Низкий уровень сейсмических помех, наблюдаемый на участке работ летом 2022 г., обеспечил получение информации о строении палеодолины методами МОВ-ОГТ и HVSR (рис. 10) [15–18].

Во время полевых сейсмических работ в июне 2023 г. выявление на сейсмограммах полезных сейсмических волн было осложнено интенсивными помехами, обусловлен-

ными проведением круглосуточных строительных работ на прилегающей территории Херсонесской балки. В связи с влиянием этого негативного фактора технология МОВ была выбрана в качестве основного метода для определения глубины кровли массива известняков. На сейсмограммах годографы отраженных волн, в отличие от преломленных волн, прослеживались достаточно четко. Обработка данных МОВ выполнялась с помощью программы ООО «Декогеофизика» (Москва).

В результате комплексных геофизических исследований получены обобщенные сейсмогеоэлектрические разрезы территории городища и берега Карантинной бухты. Геофизические исследования на этой территории выполнены по профилям ПРІІ, ПРІІІ и ПРІV, которые расположены в пределах городища и прибрежной зоны, вкрест предполагаемого простираания палеодолины (рис. 6). На геоэлектрических разрезах положение палеодолины проявляется в виде локальных аномалий пониженных значений УЭС (5–10 Ом×м) (рис. 11). Рельеф эрозионного вреза палеодолины определен по данным сейсморазведки и прорисован на сводных разрезах (рис. 12). Геологический разрез палеодолины, построенный по данным литологических колонок скважин, пробуренных в 1979–1987 гг. вдоль берега Карантинной бухты, по профилю VI–VI хорошо согласуется с геофизическими данными (рис. 11) [1, с. 104, рис. 3].

В результате комплексных геофизических исследований получены обобщенные сейсмогеоэлектрические разрезы территории городища и берега Карантинной бухты. Для прослеживания палеодолины в пределах обследованной территории комплексные геофизические разрезы вынесены на спутниковую фотографию в виде сводной карты (рис. 12).

Донная томография осуществлялась в пределах западной прибрежной полосы бухты по профилям ПРІV, ПРV и ПРVI, расположенным на дне бухты на расстоянии 1 м, 6 м и 10 м от уреза воды соответственно (рис. 6). На геоэлектрических разрезах локальное углубление в песках прослеживается в виде низкоомных областей, приуроченных к тальвегу палеодолины. Прогнозные контуры предполагаемого углубления показаны пунктиром (рис. 12).

Особенностью подводных аномалий пониженных значений УЭС является их небольшая ширина, по сравнению размерами палеодолины, и приуроченность к оси палеодолины. Эти аномалии прослеживаются на всех подводных профилях, практически без существенных изменений (рис. 13).

По геологическим данным, ширина вреза палеодолины составляет не менее 200 м, а ширина геоэлектрической аномалии не превышает 20–30 м (рис. 13). Причину небольшой ширины аномальной зоны можно объяснить тем, что она отражает наличие локального углубления в мелкозернистом песке.

Углубление заполнено, по геологическим данным, гравелистым песком (рис. 11,а). На геологическом разрезе оно расположено под культурным слоем в интервале глубин 2,5–7,2 м. Можно предположить, что это углубление связано с локальным врезом бухты в песчаные отложения, который мог образоваться в результате фильтрации пресной воды по палеодолине. Связанное с этим гидродинамическим процессом углубление могло использоваться для стоянки судов в античное время, тем более, что именно эта часть бухты хорошо защищена от ветро-волнового воздействия. Для проверки этой гипотезы необходимо провести подводные раскопки в пределах оси аномальной зоны.

Полученные геологические и геофизические материалы о палеодолине и результаты комплексных подводных исследований 2022 г. в прибрежной зоне Карантинной бухты позволяют решить одну из наиболее интересных задач о геоморфологии прибрежной территории Карантинной бухты, которая связана с определением контуров береговой линии, существовавшей в период эллинизма.

Основанием для получения представлений о древней береговой линии является полученная геолого-геофизическая и археологическая информация [11; 12; 7]. К ней, в первую очередь, относятся следующие сведения:

1. Абсолютные отметки подошвы культурного слоя, полученные по данным бурения в период с 1979–1987 гг. и 2022 г.

2. Детальная карта рельефа дна прибрежной зоны Карантинной бухты, построенная по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования.

3. Результаты изучения поддонных отложений с помощью метода донной электро-томографии.

4. Представления о трансгрессии и регрессии Черного моря в исторические периоды.

Следует отметить, что геологическое строение прибрежной зоны Карантинной бухты обеспечивает получение надежной информации об уровне моря. Это связано с тем, что культурный слой сложен суглинками, залегающими на морских песках, уровень грунтовых вод в которых совпадает с уровнем моря.

Минимальные абсолютные отметки подошвы культурного слоя 1 равны от -2,3 и -4,4 м, а слоя 1а – -3,0 и -4,85 м. Минимальные значения -4,4 и -4,85 м, как указано в отчете о результатах об инженерно-геологических исследований 2022 г., относятся к архивным скважинам, источник информации о которых найти в архиве не удалось [12, с. 18]. Поэтому в качестве достоверных сведений о культурном слое были приняты абсолютные отметки, определенные в скважинах 2022 г. [12]. Наибольшая глубина подошвы слоя наблюдается в скважине 10, пробуренной в районе цитадели (рис. 6). Абсолютная отметка границы между культурным слоем и подстилающими песками составляет -3 м в Балтийской системе высот [12].

Учитывая, что при городской застройке фундаменты должны были находиться выше уровня грунтовых вод не менее чем на 1 м, можно предположить, что уровень моря на ранней стадии застройки Карантинной бухты соответствовал абсолютной отметке близкой к -4 м.

Детальная карта рельефа дна, на основании которой можно определить контуры прогнозной береговой линии, была получена по данным детальной батиметрической съемки (рис. 14,а) [7]. Линия берега прорисована по изобате 4 м. Сопоставление линии берега с геоэлектрической картой-срезом на глубине 5 м показывает, что аномалия, выявленная по данным площадной съемки методом донной электро-томографии, находится в прибрежной зоне суши древнего побережья (рис. 14,б).

Этот факт является дополнительным аргументом в пользу предположения о том, что геоэлектрическая аномалия повышенных значений УЭС, выявленная по данным донной электро-томографии в 2022 г., отражает наличие древней портовой постройки, возможно, оборонительного характера [7]. Для проверки этого предположения целесообразно провести подводные археологические раскопки в пределах аномальной зоны.

Таким образом, обобщение и анализ комплексных геолого-геофизических и археологических материалов позволили уточнить и существенно дополнить представления о прибрежной территории Карантинной бухты Херсонеса Таврического в эпоху эллинизма.

Полученная информация позволяет сформулировать выводы об источниках водоснабжения города, связи культурного слоя с геологическим строением делювиально-пролювиальных отложений балки, особенностях древнего ландшафта и береговой линии Карантинной бухты.

1. На основании результатов инженерно-геологических, гидрогеологических, геофизических и археологических работ в Херсонесской балке и прибрежной территории Херсонеса, проведенных в период 2021–2023 гг., установлено, что одним из источников водоснабжения Херсонеса являлись водоносные горизонты этой балки. Основной горизонт относится к трещинно-карстовому типу, небольшая минерализация воды обуславливает ее пригодность для водоснабжения. Этот вывод подтверждают результаты археологических раскопок, обнаруживших «водозаборный узел» древнего Херсонеса, состоящий из большого количества колодцев, вырубленных в скальном массиве, в тальвеговой зоне балки.

В пределах городища балка прослеживается в виде эрозионного вреза палеодолины, заполненной песками, которые являются основным водоносным горизонтом прибрежной территории. Горизонт имеет гидравлическую связь с морской водой Карантинной

бухты. Степень солености грунтовой воды в этом горизонте зависит от уровня моря. Расположение колодцев и терм в прибрежной территории городища указывает на то, что вода из этого горизонта была пригодна для водоснабжения, поскольку уровень моря в античный период находился существенно ниже современного.

Наличие источников водоснабжения в Херсонесской балке и прибрежной территории Карантинной бухты можно рассматривать в качестве одного из важных градообразующих факторов в эллинистический период существования Херсонеса.

2. Геологический разрез делювиальных и пролювиальных отложений Херсонесской балки представлен толщей суглинков и является культурным слоем, сформировавшимся в период с IV в. до н.э. по XIII в. н.э. Связь культурного слоя с геологическим строением свидетельствует о том, что аккумуляция делювиально-пролювиальных отложений в балке была обусловлена деятельностью жителей Херсонеса на прилегающих территориях Гераклеяского полуострова. Структура геолого-археологического разреза подтверждает наличие сезонного водотока в Херсонесской балке, который переносил пролювиальные отложения в течение всего времени существования города. Значительная мощность толщи суглинков за протейхизмой, по сравнению с наблюдаемой в периболле, может быть обусловлена тем, что протейхизма в античное время защищала периболл не только от врагов, но и от потока пролювиальных отложений, поступающих из Херсонесской балки.

3. На основании заверенных скважинами значений абсолютных отметок подошвы культурного слоя, детальной карты рельефа дна прибрежной зоны Карантинной бухты, данных метода донной электротомографии и установленного уровня моря на абсолютных отметках минус 3–4 м определены контуры береговой линии бухты в ранний период существования Херсонеса.



Рис. 1. Участки междисциплинарных исследований в Херсонесской балке (1), на территории периболла (2) и прибрежной территории Херсонеса (3)

Fig. 1. The sites of interdisciplinary research in Chersonesan Ravine (1), on the territory of the *peribolos* (2), and in the coastal territory of Chersonese (3)

Рис. 2. Карта колодцев в тальвеге Херсонесской балки с указанием гидроизогипис и направления фильтрации подземных вод [по: 11, с. 122]

Fig. 2. A map of the wells in the thalweg of Chersones Ravine with indication of hydroisobaths and the direction of groundwater filtration [after: 11, с. 122]

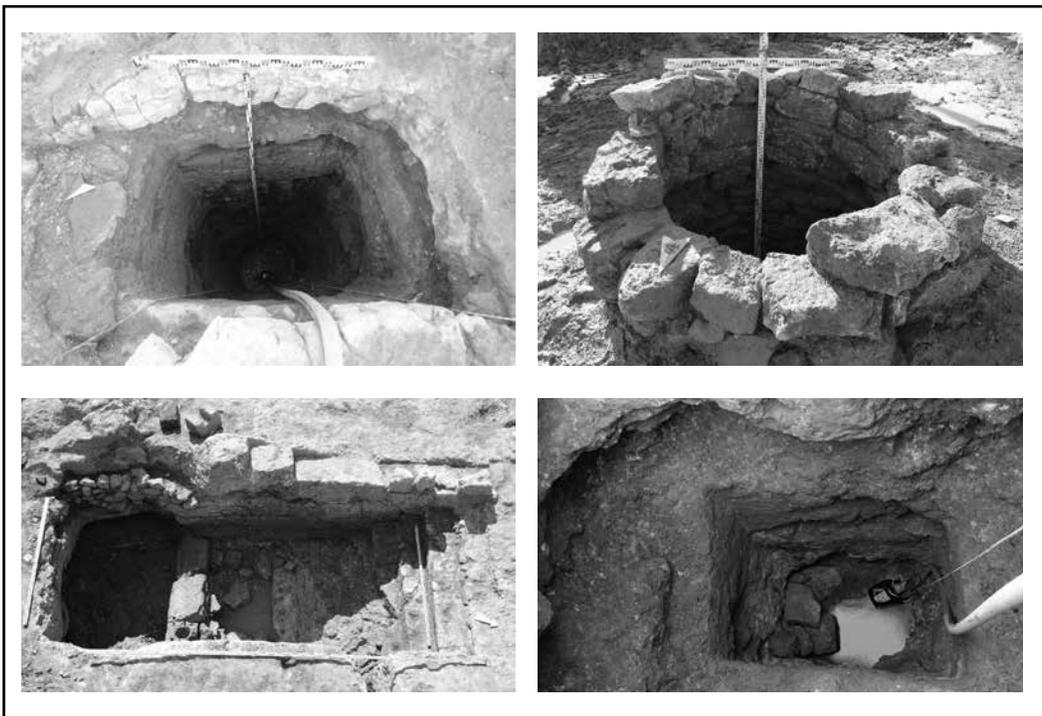
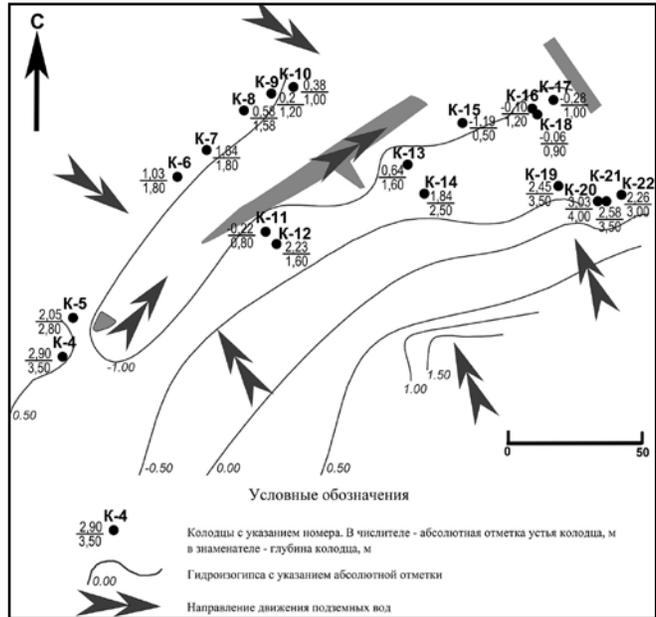


Рис. 3. Колодцы Южного пригорода Херсонеса: *а* – вырубленный в скале, *б* – с каменным обкладом, *в* – трехкамерный «нимфей», *г* – карстовые полости в колодце

Fig. 3. The wells of the Southern Suburb of Chersonese: *a* – cut into the bedrock, *b* – with stone facing, *c* – three-chamber “nymphaeum”, *d* – karst cavities in the well



Рис. 4. Вид на Херсонесскую балку после раскопок 2021–2023 гг. На переднем плане позднеэллинистическая стена с контрфорсами

Fig. 4. A view of Chersonesus Ravine after 2021–2023 excavations. In the foreground is the Late Hellenistic buttressed wall

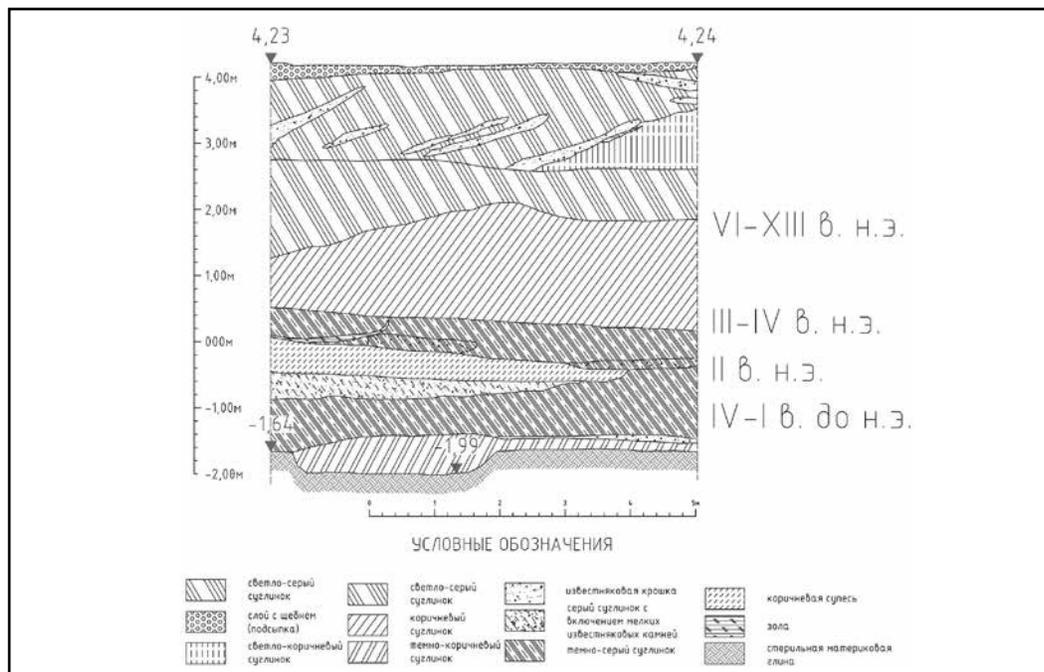


Рис. 5. Стратифицированный разрез культурного слоя Херсонесской балки

Fig. 5. Stratified cross-section of the cultural layer in Chersonesus Ravine

Рис. 6. Положение профилей геофизической съемки и скважин 2022 г.

Fig. 6. The position of the profiles of the geophysical survey and wells in 2022

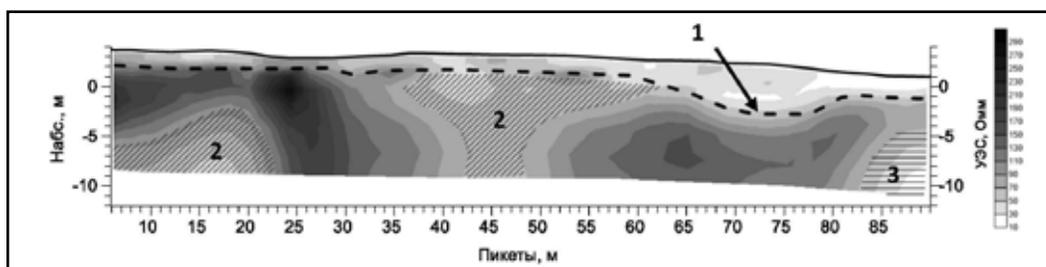
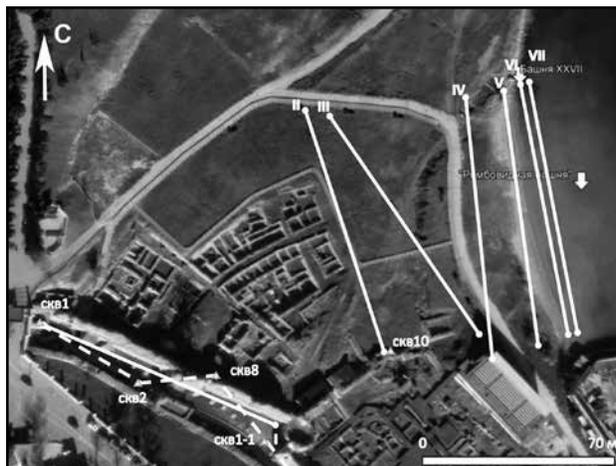


Рис. 7. Геоэлектрический разрез тальвега Херсонесской балки по профилю ПР0 с указанием границы грунт – известняк и ослабленных и водонасыщенных зон. Условные обозначения: 1 – кровля массива известняков; 2 – ослабленные зоны; 3 – водонасыщенная тектоническая зона

Fig. 7. Geoelectric section of the thalweg of Chersonesan Ravine along the profile ПР0 indicating the boundary of the soil – limestone and weakened and water-saturated zones. Symbols: 1 – limestone massif covering; 2 – weakened zones; 3 – water-saturated tectonic zone

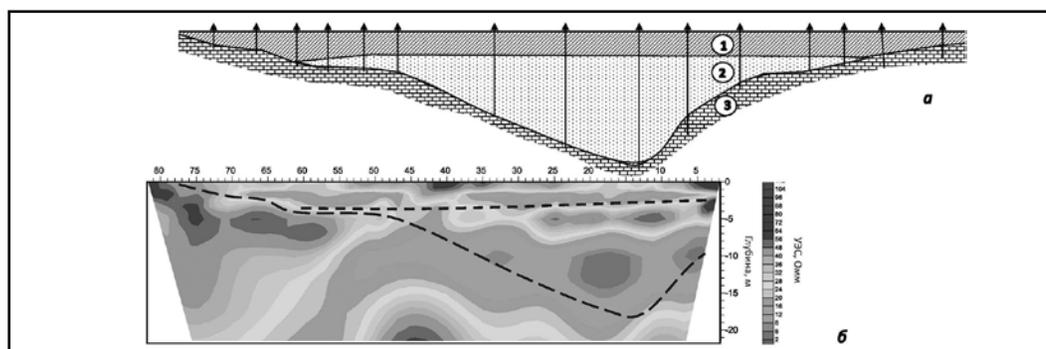


Рис. 8. Геологический разрез периболола (а) [по: 1, рис. 4] и геоэлектрический разрез по профилю ПР1 (б) с указанием эрозионного вреза палеодолины. Условные обозначения: 1 – культурный слой, суглинок; 2 – песок средней крупности; 3 – известняк

Fig. 8. Geological section of the *peribolos* (a) [after: 1, рис. 4] and geoelectric section along the profile of ПР1 (b) indicating the erosive incision of the paleo-valley. Symbols: 1 – cultural layer, loam; 2 – medium-sized sand; 3 – limestone

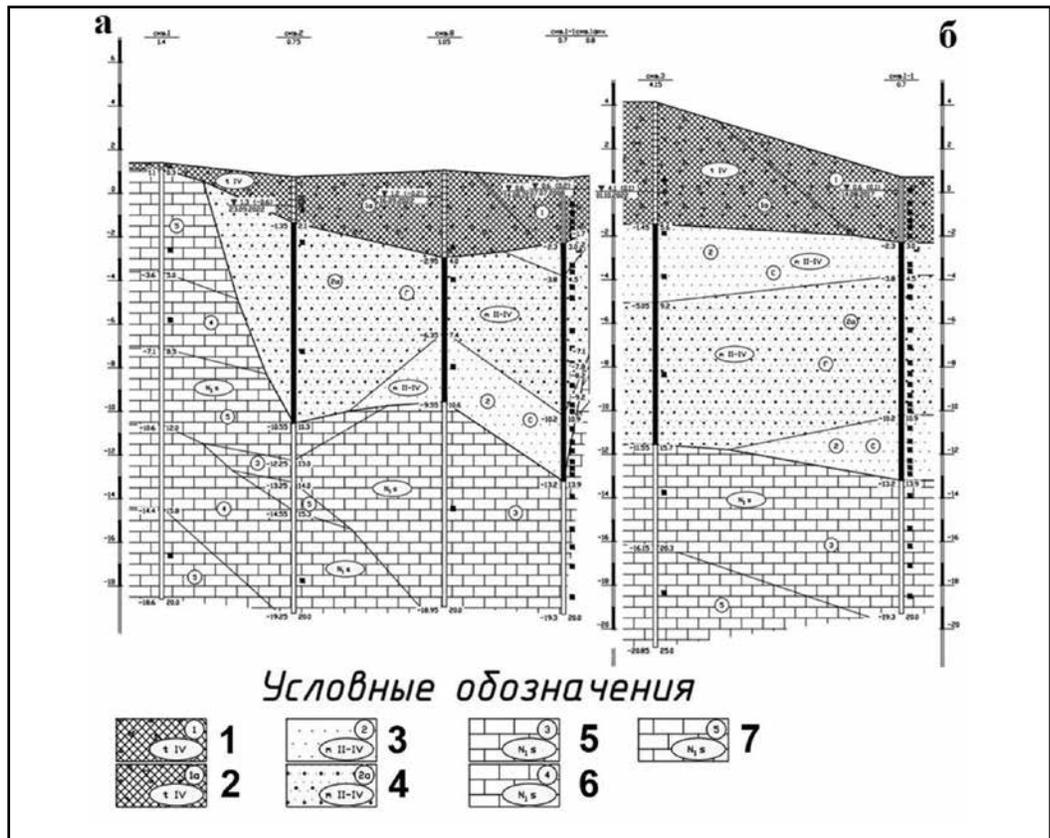


Рис. 9. Геологические разрезы периболоа по линиям скважин 1-3арх (а) и за внешней стороной протейхизмы по скважине 3 (б) [по: 11, Графическое приложение 3, с. 161].

Условные обозначения: 1 – культурный слой, суглинок тугопластичный коричневый со щебнем и дрсвой до 25%; 2 – культурный слой, суглинок дресвяный легкий полутвердый коричневый с прослоями супесей и гравелистых песков; 3 – песок средней крупности серый неоднородный водонасыщенный; 4 – песок гравелистый средней плотности серый неоднородный водонасыщенный; 5 – известняк серый, светло-серый и желтовато-серый очень низкой прочности, средней плотности, среднепористый, сильновыветрелый, размягчаемый, органогенно-хемогенной и оолитовой структуры; 6 – известняк серый, светло-серый и желтовато-серый малопрочный, плотный, среднепористый, средневыветрелый, размягчаемый, органогенно-хемогенной и оолитовой структуры; 7 – известняк серый, светло-серый и желтовато-серый средней прочности, плотный, среднепористый, средневыветрелый, размягчаемый, органогенно-хемогенной и оолитовой структуры

Fig. 9. Geological sections of the *peribolos* along the lines of wells 1-3арх (а) and beyond the outer side of the *proteichism* along well 3 (б) [11, Графическое приложение 3, с. 161]. Symbols:

1 – cultural layer, hard brown loam with crushed stone and gravel up to 25%; 2 – cultural layer, light semi-solid brown loam with sub-layers of sandy loam and gravelly sands; 3 – medium-sized gray heterogeneous water-saturated sand; 4 – medium-density gravelly gray heterogeneous water-saturated sand; 5 – gray, light gray and yellowish-gray limestone of very low strength, medium density, medium porous, highly mature, softened, of organogenic-chemogenic and oolite structure; 6 – limestone gray, light gray and yellowish-gray of low strength, dense, medium porous, medium mature, softened, organogenic-chemogenic and oolite structure; 7 – gray, light gray, and yellowish gray limestone of medium strength, dense, medium porous, medium mature, softened, of organogenic-chemogenic and oolite structure

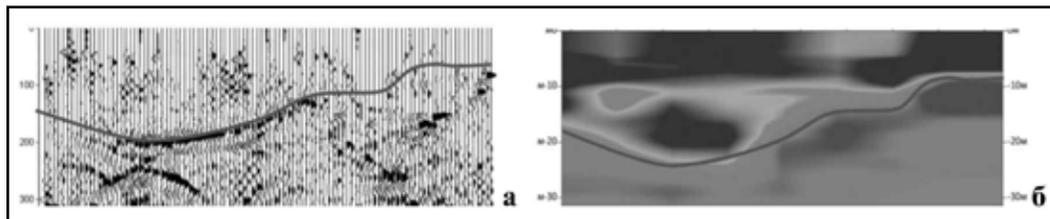


Рис. 10. Сейсмогеологические разрезы, полученные методами МОВ-ОГТ (а) и HVSR (б) с указанием поверхности скального массива известняков по профилю ПРІІІ (по данным С. В. Шакуро)

Fig. 10. Seismic geological sections obtained by the CDP seismic reflection method (a) and HVSR method (b) indicating the surface of the limestone rock massif according to profile III (according to S. V. Shakuro)

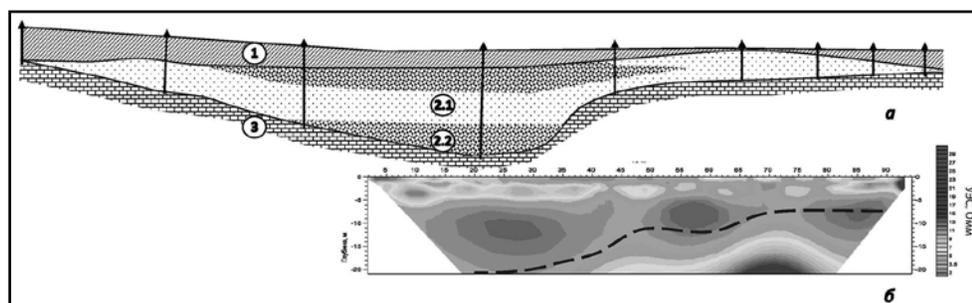


Рис. 11. Геологический разрез по профилям VI–VI (а) [по: 1, рис. 3] и геоэлектрический разрез по профилю IV (б) с указанием эрозийного вреза палеодолины по данным сейсморазведки (пунктирная линия). Условные обозначения: 1 – культурный слой, суглинок; 2.1 – песок средней крупности; 2.2 – песок гравелистый; 3 – известняк

Fig. 11. Geological section by profiles VI–VI (a) [1, рис. 3] and geoelectric section according to profile IV (b) indicating the erosion incision of the paleo-valley according to seismic data (dotted line). Symbols: 1 – cultural layer, loam; 2.1 – medium-sized sand; 2.2 – gravelly sand; 3 – limestone

Рис. 12. Сводная карта комплексных сейсмо-электротомографических разрезов в пределах городища и прибрежной территории Херсонеса с указанием линии тальвега палеодолины

Fig. 12. Summary map of complex seismic and electrotomographic sections within the settlement limits and the coastal territory of Chersonese with indication of the talweg line of the paleo-valley



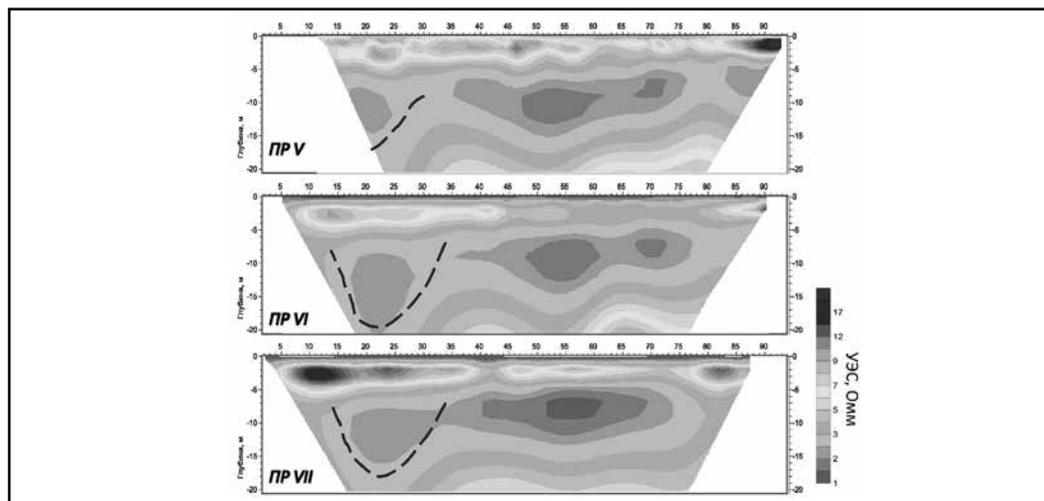


Рис. 13. Геоэлектрические разрезы по данным донной электротомографии вдоль подводных профилей ПР V, ПР VI и ПР VII с указанием контуров локального углубления в прибрежной зоне Карантинной бухты

Fig. 13. Geoelectric sections according to bottom electrotomography data along the underwater profiles ПР V, ПР VI and ПР VII with indication of the contours of the local depression in the coastal zone of Karantinaia Bay

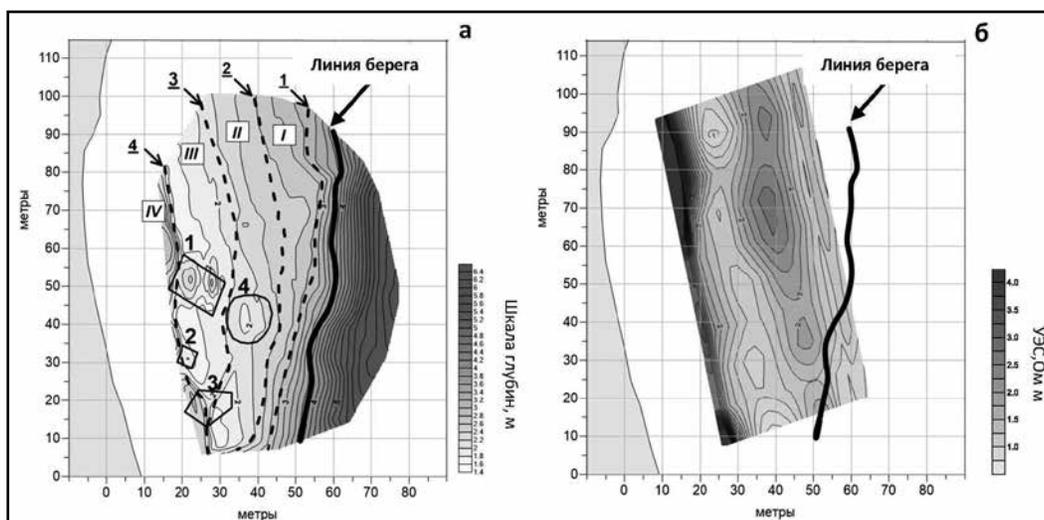


Рис. 14. Положение древней линии берега Карантинной бухты на карте изобат с указанием линий бровок морских террас I, II, III, IV (а) и на геоэлектрической карте-срезе на глубине 5 м (б). Археологические подводные объекты: 1 – ромбовидная башня; 2 – шурф 2019 г.; 3 – строительные остатки 2019 г.; 4 – развалы каменного материала и обработанных блоков [по: 7]

Fig. 14. The position of the ancient shore line of Karantinaia Bay on an isobath map with the indication of the border lines of sea terraces I, II, III, IV (a) and on the geoelectric cut-off map at a depth of 5 m (b). Archaeological underwater objects: 1 – diamond-shaped tower; 2 – 2019 prospect hole; 3 – 2019 construction remains; 4 – collapses of stones and ashlars [after: 7]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова И.А. Юго-восточный участок оборонительных стен Херсонеса. Проблемы датировки // ХСб. 1996. Вып. VII. С. 101–131.
2. Белов Г.Д. Херсонес Таврический. Л.: Государственный Эрмитаж, 1948. 147 с.
3. Бертъе-Делагард А.Л. О Херсонесе // ИАК. 1907. Вып. 21. 208 с.
4. Блаватский В.Д. Природа и античное общество. М.: Наука, 1976. 79 с.
5. Букатов А.А., Бондарев И.П., Дюженко Т.В. Порт Херсонеса Таврического в Карантинной бухте и природные процессы // ХСб. 2019. Вып. XX. С. 7–20.
6. Букатов А.А., Глазунов В.В., Панченко В.В. Реконструкция береговой линии IX–X века в Портовом районе Херсонеса Таврического по археологическим данным // Моря России: вызовы отечественной науки. Тезисы докладов научной конференции, Севастополь, 26–30 сентября 2022 г. Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2022. С. 281–282.
7. Букатов А.А., Глазунов В.В., Панченко В.В. Комплексные археологические и геофизические исследования в Портовой части Херсонеса Таврического // МАИЭТ. 2022. Вып. XXVII. С. 26–45.
8. Виноградов А.К., Богатова Ю.И., Синегуб И.А. Экосистемы акваторий морских портов Черноморско-Азовского бассейна (Введение в экологию морских портов). Одесса: Астропринт, 2012. 528 с.
9. Золотарев М.И. Портовые сооружения Херсонеса Таврического в Карантинной бухте // ХСб. 2004. Вып. XIII. С. 55–67.
10. Вигдорович Л.А., Шумова Т.М., Щербанёв В.М. Отчёт об инженерно-геологических изысканиях на участке деформации куртины № 19 на территории Национального заповедника «Херсонес Таврический» в г. Севастополь. Т. I. Инженерно-геологические условия / Институт Геокоминтиз. Севастополь, 2008.
11. Историко-археологический парк «Херсонес Таврический», расположенный по адресу: г. Севастополь, ул. Ерошенко, 19 (шифр объекта 21/673-Х). Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации. Том I / ООО «Крымспецгеология». Севастополь, 2022.
12. Объект культурного наследия федерального значения «Башни XV-XV¹», «Башня XIV», «Башня XIX с 18-й куртиной», «Башня XVI», «Башня XVII (Зенона)», «Куртина 17-я», «Куртина 20-я и башни XVIII и XVIII», «Куртина 16-я, городские ворота, калитка и протейхизма», «Приставные склепы №1013, 1014», входящие в состав объекта культурного наследия федерального значения «Древний город Херсонес Таврический», V в. до н.э. – XV в. н.э., расположенные по адресу: г. Севастополь, ул. Древняя». Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации / ООО «Первая Геотехническая Компания». СПб., 2022.
13. Шакуро С.В. Пассивная сейсмика в комплексе инженерно-геофизических исследований // 15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201901738> (дата обращения: 16.08.2023).
14. Шакуро С.В. Пассивная сейсмика при карстологических исследованиях в исторической части г. Казани // 17th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2021. URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202152026> (дата обращения: 16.08.2023).
15. Park C.B., Miller R.D., Miura H. Optimum Field Parameters of an MASW Survey // Proceedings of the 6th Japanese Society of Exploration Geophysics (SEG-J) International Symposium. Tokyo, May 22–23, 2002. URL: <https://www.parkseismic.com/files/ParkEtAl2002.pdf> (дата обращения: 16.08.2023).
16. Park C.B., Miller R.D. Roadside Passive Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) // Journal of Engineering and Environmental Geophysics. 2008. Vol. 13. Issue 1. P. 1–11. DOI: 10.2113/JEEG13.1.1

REFERENCES

1. Antonova I.A. The Southeastern Section of the Defensive Walls of Chersonesos. Dating Issues. *Khersonesskii sbornik* [Chersonesos Collection], 1996, vol. 7, pp. 101–131.
2. Belov G.D. *Khersones Tavricheskii* [Tauric Chersonesos]. Leningrad, State Hermitage Publ., 1948, 147 p.
3. Bert'e-Delagard A.L. About Chersonesos. *Izvestiia Imperatorskoi Arkheologicheskoi Komissii* [News of the Imperial Archaeological Commission], 1907, vol. 21, 208 p.

4. Blavatskii V.D. *Priroda i antichnoe obshchestvo* [Nature and Ancient Society]. Moscow, Nauka Publ., 1976, 79 p.
5. Bukatov A.A., Bondarev I.P., Diuzhenko T.V. Port of Tauric Chersonesos in Karantinnaya Bay and Natural Processes. *Khersonesskii sbornik* [Chersonesos Collection], 2019, vol. 20, pp. 7–20.
6. Bukatov A.A., Glazunov V.V., Panchenko V.V. Reconstruction of the Coastline of the 9th–10th Centuries in the Port Region of Tauric Chersonesos According to Archaeological Data. *Moria Rossii: vyzovy otechestvennoi nauki. Tezisy dokladov nauchnoi konferentsii, Sevastopol', 26–30 sentiabria 2022 g.* [Seas of Russia: Challenges of Russian Science. Abstracts of the Scientific Conference, Sevastopol, September 26–30, 2022], Sevastopol, Marine Hydrophysical Institute Publ., 2022, pp. 281–282.
7. Bukatov A.A., Glazunov V.V., Panchenko V.V. Comprehensive Archaeological and Geophysical Researches in the Port of Tauric Chersonesos. *Materialy po arkhologii, istorii i etnografii Tavrii* [Materials in Archaeology, History and Ethnography of Tauria], 2022, vol. 27, pp. 26–45.
8. Vinogradov A.K., Bogatova Iu.I., Sinegub I.A. *Ekosistemy akvatorii morskikh portov Chernomorsko-Azovskogo basseina (Vvedenie v ekologiiu morskikh portov)* [Ecosystems of Water areas of Sea Ports Black Sea-Azov Basin (Introduction to Ecology of Sea Ports)]. Odessa, Astroprint Publ., 2012, 528 p.
9. Zolotarev M.I. Port facilities of Tauric Chersonesos in Karantinnaya Bay. *Khersonesskii sbornik* [Chersonesos Collection], 2004, vol. 13, pp. 55–67.
10. Vigdorovich L.A., Shumova T.M., Shcherbanev V.M. *Report on engineering and geological surveys at the site of deformation of curtain wall No. 19 on the territory of the National Reserve «Tauric Chersonesos» in the city of Sevastopol. Vol. I. Engineering-geological conditions.* Sevastopol, 2008.
11. *Historical and archaeological park «Tauric Chersonesos», located at the address: Sevastopol, st. Eroshenko, 19 (object code 21/673-X). Technical report on the results of engineering and geological surveys for the preparation of project documentation.* Vol. I. Sevastopol, 2022.
12. *Object of cultural heritage of federal significance «Towers XV-XV¹», «Tower XIV», «Tower XIX with the 18th Curtain», «Tower XVI», «Tower XVII (Zenona)», «Curtain 17th», «Curtain 20th and towers XVIII and XVIII», «Curtain 16, city gates, gate and proteichism», «Additional crypts No. 1013, 1014», which are part of the cultural heritage site of federal significance «Ancient city of Tauric Chersonesos», 5th c. BC – 15th c. AD, located at the address: Sevastopol, st. Drevniia. Technical report on the results of engineering and geological surveys for the preparation of project documentation.* Saint Petersburg, 2022.
13. Shakuro S.V. Passive Seismic Techniques in Near Surface Studies. *15th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2019.* URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201901738> (accessed: 16.08.2023).
14. Shakuro S.V. Application of Passive Seismics for Investigation of Karst Phenomena in the Historic Center of Kazan. *17th Conference and Exhibition Engineering and Mining Geophysics 2021.* URL: <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.202152026> (accessed: 16.08.2023).
15. Park C.B., Miller R.D. and Miura H. Optimum Field Parameters of an MASW Survey. *Proceedings of the 6th Japanese Society of Exploration Geophysics (SEG-J) International Symposium. Tokyo, May 22–23, 2002.* URL: <https://www.parkseismic.com/files/ParkEtAl2002.pdf> (accessed: 16.08.2023).
16. Park C.B. and Miller R.D. Roadside Passive Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). *Journal of Engineering and Environmental Geophysics*, 2008, vol. 13, issue 1, pp. 1–11. DOI: 10.2113/JEEG13.1.1

Сведения об авторах

Глазунов В. В. – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Междисциплинарные исследования прибрежной зоны» Севастопольского государственного университета.

Букатов А. А. – кандидат физико-математических наук, заведующий отделом подводной археологии Государственного историко-археологического музея-заповедника «Херсонес Таврический»; старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Междисциплинарные исследования прибрежной зоны» Севастопольского государственного университета.

Вахонеев В. В. – кандидат исторических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Междисциплинарные исследования прибрежной зоны» Севастопольского государственного университета.

Ефимова Н. Н. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Междисциплинарные исследования прибрежной зоны» Севастопольского государственного университета.

Панченко В. В. – научный сотрудник отдела междисциплинарных исследований Государственного историко-археологического музея-заповедника «Херсонес Таврический»; научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Междисциплинарные исследования прибрежной зоны» Севастопольского государственного университета.

Authors information

Glazunov V. V. – Doctor of Science (Technical), Professor, Leading Researcher at the Research Laboratory “Interdisciplinary Studies of the coastal Zone” of the Sevastopol State University.

Bukatov A. A. – Candidate of Sciences (Physics and Mathematics), Head of the Department of Underwater Archaeology of the State Historical and Archaeological Museum Preserve of Tauric Chersonese; Senior Researcher at the Research Laboratory “Interdisciplinary Studies of the coastal Zone” of the Sevastopol State University.

Vakhoneev V. V. – Candidate of Sciences (Historical Sciences), Head of the Research Laboratory “Interdisciplinary Studies of the coastal Zone” Sevastopol State University.

Efimova N. N. – Candidate of Sciences (Technical), Senior Researcher at the Research Laboratory “Interdisciplinary Studies of the coastal Zone” of the Sevastopol State University.

Panchenko V. V. – Researcher at the Department of Interdisciplinary Researches of the State Historical and Archaeological Museum Preserve of Tauric Chersonese; Researcher at the Research Laboratory “Interdisciplinary Studies of the coastal Zone” of the Sevastopol State University.