

## АРХЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОБЕРЕЖЬЯ КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА

Пушкарев П.Ю.<sup>1</sup>, Поротов А.В.<sup>2</sup>, Бурнина Т.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Геологический факультет МГУ;

<sup>2</sup> Географический факультет МГУ

Геофизические методы довольно широко и успешно применяются при решении различных археологических задач, связанных как с поисками отдельных погребенных объектов, так и с прослеживанием границ между слоями различного состава и возраста, различающимися по своим физическим свойствам.

Для приморской полосы побережья Керченского пролива самостоятельный интерес представляет реконструкция палеотопографии прилегающей к античным городищам территории. Актуальность палеогеоморфологических исследования обуславливается изменениями рельефа прибрежной полосы суши под влиянием повышения уровня моря за последние 1.5 тыс. лет. Подъем уровня моря сопровождался масштабными плановыми перестройками контура береговой линии, последствия которой особенно заметны в вершинах открытых бухт и заливов. Примеры античных поселений, располагавшихся на побережье и располагающихся в настоящее время на значительном удалении от моря в результате активного нарастания приморской полосы береговой линии широко известны на побережье Черного и Средиземного морей.

Участок побережья к северу от мыса Ак-Бурун представляет собой полосу низменной суши, шириной до 2,5 км, приуроченной к низовьям долины р. Черубашки. Проведенное в последние годы изучение развития этого участка побережья показало, что в античное время территория приморской низменности была занята глубоким морским заливом, в вершине которого располагался мелководный лиман. Древнебереговая линия античного времени залегает вблизи подножий уступов коренного берега, ограничивающих древний залив с севера и юга. На северном борту его находился боспорский город Тиритака, а на южном - Нимфей. Возможно, что вблизи северной окраины плато, на котором находится Нимфей, располагалась упоминаемая в античных источниках гавань Нимфея. Повышение уровня моря за последние 1,5 тыс. лет сопровождалось выполнением береговыми наносами вершины залива и формирование низкой морской террасы. Нараставшая к северу аккумулятивная терраса полностью отгородила палео-Чурубашский лиман от моря, превратив его в озеро, а также протянулась севернее, отгородив от моря восточную окраину возвышенного плато, на котором расположено Тиритакское городище. Общая ширина сформировавшейся аккумулятивной террасы в вершине Камыш-бурунского залива составляет 2-2,5 км (Зинько, Поротов, 2013). В настоящее время территория представляет собой сильно измененную антропогенным воздействием (комплекс судоремонтного завода, отвал шлама горно-обогатительного комбината и т.п.) аккумулятивную морскую террасу, образованную серией древних береговых валов, которые отчетливо прослеживаются как на топографических картах 50-х годов, так и по аэрофотосъемочным материалам начала 50-х годов.

Для детализации реконструкций эволюции за последние 3,0 тыс. лет рельефа приморской территории, непосредственно прилегающей к южной и восточной окраинам Тиритакского городища, были проведены геолого-геоморфологические исследования (Зинько и др., 2011). Однако высокая техногенная измененность территории затрудняет проведение

археологических и геологических обследований территории, что предопределило целесообразность дополнения их применением геофизических методов. Материалы ранее проведенной электроразведки методом электротомографии ЭТ (Зинько и др., 2018) позволили существенно детализировать представления о структуре верхней части осадочного чехла на изучаемой территории, однако малая глубина электроразведки не дает возможности детально охарактеризовать рельеф более глубоких слоев, отражающих рельеф территории на ранних этапах голоценовой трансгрессии. С этой целью комплекс проводимых исследований был дополнен методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

При проведении полевых работ методом ВЭЗ использовались электроразведочный генератор Astra и электроразведочный измеритель APL-02, а также питающие и приемные электроды и соединительные провода. При проведении работ методом ВЭЗ использовалась четырехэлектродная симметричная установка ВЭЗ. При этом латунные приемные электроды М и N, подключенные к измерителю, располагаются в центре установки, а стальные питающие электроды А и В, подключенные к генератору, в каждой точке ВЭЗ пошагово удаляются от центра установки в разные стороны. Расстояние от питающего электрода А или В до центра установки О (т.е. расстояние АВ/2) называется разносом.

Постепенно увеличивая в каждой точке ВЭЗ разнос, мы тем самым увеличиваем глубинность исследования, и оцениваем изменение удельного электрического сопротивления земли с глубиной. Нами использовались разносы 1, 1.39, 1.93, 2.68, 3.73, 5.18, 7.2, 10, 13.9, 19.3, 26.8, 37.3, 51.8 метров (на некоторых точках максимальный разнос составлял 37.3 или 26.8 метров). Глубинность исследования можно грубо оценить в 1/3 величины разноса, точнее она оценивается при количественной интерпретации.

При увеличении АВ/2 (т.е. при удалении питающих электродов) поле в центре установки ослабевает. Чтобы уверенно измерять сигнал, нужно увеличивать длину приемной линии MN, что приводит к пропорциональному увеличению сигнала. Нами использовались приемные линии длиной 0.5 м при разносах от 1 до 10 м и длиной 2.5 м при разносах от 7.2 до 51.8 м. Таким образом, на разносах 7.2 и 10 м измерения проводились с обеими приемными линиями, все они учитывались при дальнейшей обработке сигнала.

На этапе обработки данных ВЭЗ осуществляется переход от измеренных значений разности потенциалов  $\Delta U$ , с учетом силы тока I и геометрического коэффициента установки k, к кажущемуся удельному электрическому сопротивлению:  $\rho_k = k \cdot \Delta U / I$ .

Кажущееся сопротивление является трансформацией измеренного сигнала, и переход от него к истинному сопротивлению грунтов осуществляется далее при интерпретации (решении обратной задачи). Однако, кажущееся сопротивление дает качественное представление об изменениях истинного сопротивления с глубиной и вдоль профиля. На рисунках с результатами вдоль профилей вначале представлены псевдорезрезы  $\rho_k$ , на которых по горизонтали отложено расстояние вдоль профиля, а по вертикали – разнос АВ/2.

Под интерпретацией данных мы понимаем решение обратной задачи, которое дает геоэлектрическую модель, т.е. зависимость сопротивления от глубины, согласующуюся с наблюдаемыми данными (т.е. с  $\Delta U$  или с  $\rho_k$ ). При большом расстоянии между точками ВЭЗ мы пренебрегаем влиянием неоднородностей между ними, и считаем среду слоистой под каждой точкой. Объединяя колонки с зависимостью сопротивления от глубины вдоль профиля, мы получаем геоэлектрические разрезы, которые представлены для всех профилей.

Вследствие некорректности решения обратной задачи геофизики по одним и тем же данным можно построить множество эквивалентных моделей. Чтобы выбрать из этого

множества наиболее реалистичную модель, используется априорная информация об изучаемой среде, например, о положении тех или иных границ или вероятном сопротивлении тех или иных грунтов.

Обработка и интерпретация данных ВЭЗ по рассмотренной методике осуществлялась с помощью программы IPI2Win. Она обладает развитым пользовательским графическим интерфейсом. Обратная задача в этой программе решается методом подбора, т.е. решение получается путем перебора большого числа моделей и выбора из них тех, которые обеспечивают минимальную невязку наблюдаемых и модельных данных, и в то же время являются достаточно реалистичными.

Проведенное электротомографирование методом ВЭЗ рассматривало в качестве основной задачи получение профилей, полностью охватывающих поверхностный слой рыхлых отложений и позволяющих охарактеризовать рельеф поверхности коренных пород на участке, прилегающем с юга к Тиритакскому городищу. Проведенные в 2017 году геофизические исследования методом электротомографии (Зинько и др., 2018), несмотря на детальность полученных профилей, характеризовали поверхностный слой сравнительно небольшой глубины и не позволяли связать отмечаемые неоднородности в пространственной картине распределения проводимости с топографией пред-голоценовой поверхности.

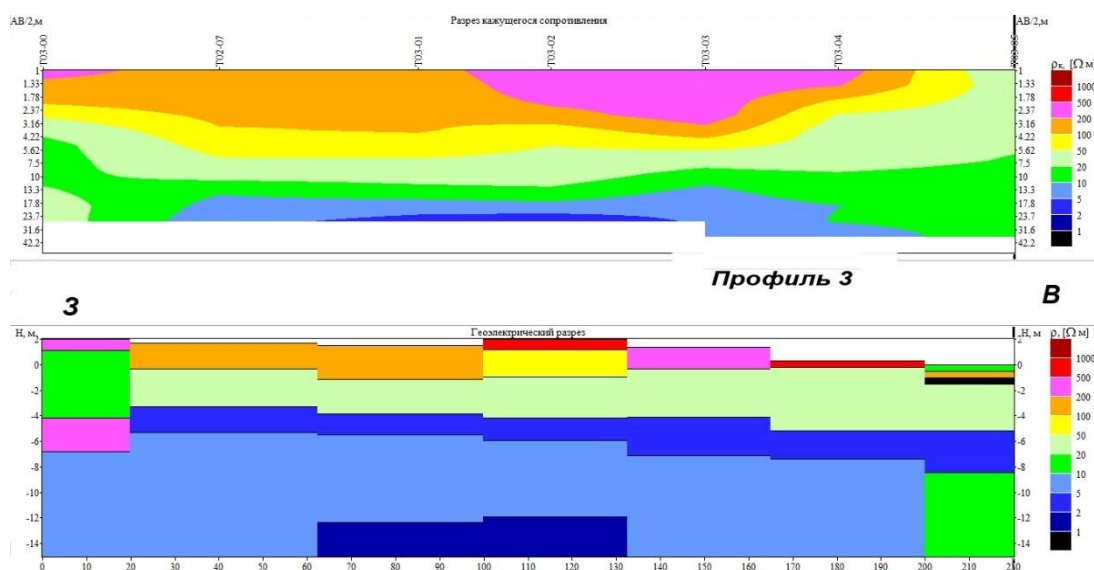


Рис. Псевдоразрез кажущегося сопротивления и геоэлектрический разрез по профилю 3

В связи с этим исследования методом ВЭЗ в какой-то части могут рассматриваться как дополняющие ранее проведенные ЭТ-зондирования, и, несмотря на свою ограниченную детальность, позволяющие получить более глубокий разрез, который в данной геологической ситуации полностью характеризует как распределение мощностей и общие черты строения голоценовых (рыхлых) отложений, так и рельеф поверхности подстилающих их более древних отложений, которые на данном участке представлены покровными суглинками, перекрывающими толщу глин позднего миоцена.

При этом важно отметить, что проводимый комплекс геолого-геофизических исследований направлен на реконструкцию палеотопографии южной окрестности Тиритаки, которая может рассматриваться в некотором роде «припортовым районом» в связи с расположенным вблизи юго-восточной окраины городища комплекса рыбозасолочных ванн (Зинько и др., 2011).

Представленные результаты электроразведочных работ, рассмотренные в контексте с проведенными ранее геологическими исследованиями этого района, позволяют внести следующие уточнения в существующие представления о топографии южной окраины Тиритакского городища в античное время.

Материалы метода ВЭЗ показали, что в пределах территории, прилегающей к южной окраине Тиритакского городища, наблюдается сравнительно выровненный и пологонаклонный в сторону моря рельеф поверхности коренных пород. По-видимому, устьевая часть эрозионной долины, в настоящее время значительно сnivelированной, располагалась вблизи юго-западной окраины городища, или протягивалась южнее в пределах полосы, занятой в настоящее время автодорожной магистралью и прилегающей к ней с запада полосе. В связи с плотной застройкой этой части территории, провести полноценные обследования на ней не представляется возможным. В ходе морской трансгрессии во 2 тыс. до н.э. море вплотную приблизилось к коренным бортам палео-Черубашского залива, что сопровождалось размывом восточного борта плато, на котором находится городище, а так же формирование узкой наносной полосы в вершине небольшой бухточки, образованной изгибом коренного берега к югу от городища. Возможно, что ее возникновение предопределилось общим понижением коренного рельефа в устьевой части долины ручья.

Данные электротомографии показывают наличие узких зон повышенной проводимости в полосе, непосредственно прилегающей к южной окраине городища, которые в настоящее время почти совпадают с линией теплотрассы. Эти полосы не имеют отражения в коренном рельефе и, возможно, связаны с временными протоками в устьевой зоне древнего ручья, дренировавшего овраг и впоследствии погребенными под толщей более молодых наносов.

Выполнение наблюдений осложнялось тем, что в некоторых местах приходилось преодолевать заросшие густым кустарником участки, а где-то наблюдения оказались невозможно выполнить из-за закрытости, застройки, заасфальтирования части территории.

Помимо этого, на участке весьма интенсивен уровень техногенных помех. Это проявляется как в неоднородном верхнем слое, содержащем самые разные включения, от проводящих шпал до высокоомных пустот, замутняющих образ более глубоко залегающих структур. Так и в уровне электромагнитного поля, создаваемого ЛЭП и другими объектами, и ограничивающего возможности измерения слабых сигналов на больших разносах, отвечающих большим глубинам исследования.

Тем не менее, в районе работ удалось получить данные ВЭЗ достаточно хорошего качества, и оценить особенности геоэлектрического строения до глубин в первые десятки метров. Были, в частности, выделены коренные глины южнее городища, вскрытые ранее бурением. Проведена предварительная, наверное, довольно грубая стратификация вышележащего разреза.

Работа выполнена по программе «Палеоклиматы, развитие природной среды и долгосрочный прогноз ее развития» и при поддержке грантов РГО-РФФИ № 17-05-41041 и РФФИ 18-05-00296.

#### **Список литературы:**

1. *Зинько В.Н., Поротов А.В., Мысливец В.И.* Развитие рельефа западного побережья Керченского полуострова в позднем голоцене. Сб. «Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа». Севастополь, 2011. Вып. 25, т.1.; с. 83-95 с.

2. *Зинько В.Н., Сергеев К.С., Поротов А.В.* Опыт применения электроразведки (ЭТ) при изучении Тиритакского городища // Боспорские чтения XIX, Керчь, 2018. С.162-169.