

ПЕРВЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ОПЫТЫ В ХЕРСОНЕСЕ: ИЗЫСКАНИЯ КАФЕДРЫ ГЕОФИЗИКИ МГУ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО НЕКРОПОЛЯ В 1972–1975 гг.

Первые опыты по применению геофизических методов при археологических исследованиях относятся к середине XX в. В 1946 г. известный археолог Р. Дж. Аткинсон успешно опробовал методы электроразведки для обнаружения стоянок неолита в Англии. Использование геофизической аппаратуры при поисках древних объектов на территории СССР началось несколько позже: в 1950-х — 1960-х гг. [Франтов, Пинкевич 1966, с. 4–5]. Уже тогда было высказано мнение о возможности применения геофизических методов разведки при поисках самых разнообразных памятников, включая стоянки, селища, городища и курганы, а также другие объекты (святилища, руины отдельных зданий, заброшенные горные выработки и древние месторождения, оросительные системы, дороги, канавы, рвы и в отдельных случаях клады) [Франтов, Пинкевич 1966, с. 5].

Херсонесский историко-археологический музей инициировал масштабное применение геофизических методов в начале 1970-х гг.

1972 год. Осенью 1971 г. на кафедру геофизики МГУ обратились сотрудники Государственного Херсонесского историко-археологического музея с просьбой помочь в определении границ могильника. Зимой 1972 г. был организован геофизический отряд в составе восьми студентов под руководством инженера Т. Б. Соколовой и аспиранта В. А. Шевнина. Цель работ состояла в обнаружении склепов и определении границ могильника в районе бухты Песочной, относящегося к первым векам нашей эры (рис. 1). Склепы для погребения умерших жителей Херсонеса вырезались в массивных известняках по уступам морских абразионных террас за пределами крепостных стен города. Они имели вид камер квадратного или прямоугольного сечения со сторонами 2,5–3,0 м и вы-

сотой 1,5–2,0 м (рис. 2). Прочные известняки обеспечили их сохранность до настоящего времени. В склеп вел узкий горизонтальный дромос длиной 3–5 м, который после погребения засыпался обломками породы и землей [Бабаева и др. 1973, с. 87–88].

При проведении работ учитывались следующие особенности геофизических исследований при решении археологических задач: 1) малая глубинность разведки, составляющая в среднем десятки сантиметров и редко достигающая 3–5 метров; 2) масштаб съемки, при котором густота сети, определяемая размерами объекта, измеряется долями метра и редко первыми метрами; 3) необычность (с точки зрения геофизики) материалов, из которых состоят объекты поиска: дерево, обожженная глина, гумусированное заполнение, различные искусственные пустоты, каменная кладка стен и т. д. На момент исследований электрические и магнитные свойства этих материалов были мало изучены.

Необычность объектов исследования приводила к непривычным их проявлениям в геофизических полях. Поэтому для повышения эффективности работ большое значение имело изучение физических свойств археологических объектов, моделирование и опытные работы на хорошо обследованных участках с применением различных геофизических методов для выбора наиболее рациональных из них [Бабаева и др. 1973, с. 87].

Геофизические работы на некрополе начали с опробования различных методов и методик наблюдения, сначала вблизи вскрытых склепов, а потом и на неизученной площади. Были опробованы методы электроразведки в модификациях электропрофилирования, срединного градиента и вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) с аппаратурой низкой ча-

стоты ИКС-50; магниторазведка с оптико-механическим магнитометром М-27 и вариометрия с S-20 (рис. 3). Предпосылкой для применения электроразведки являлось различие в электрических свойствах известняков и внутреннего пространства склепа, обладающего бесконечно высоким сопротивлением. Для гравитационной разведки благоприятным фактором являлся высокий перепад плотностей склепа и вмещающих пород, достигающий $2,5 \text{ г/см}^3$. Применение магниторазведки было менее обоснованно, так как известняки Херсонеса практически немагнитны, а пустота склепа также не производит магнитного действия. При достигнутой точности съемки только большие магнитные массы в склепах дали бы заметный эффект, однако внутри могли находиться только мелкие керамические и металлические предметы — посуда, украшения, инструменты и т.д. [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 5].

Проведенные исследования показали, что вариометр с длительностью измерения на каждой точке до 1,5 часа мало пригоден для археологической разведки. Профильная магниторазведка также не дала позитивных результатов, однако для получения окончательных выводов было высказано пожелание продолжить измерения, повысив их точность и детальность. Электрические наблюдения вблизи вскрытых склепов показали, что возможные аномалии от склепов полностью затушевываются сильным влиянием поверхностных неоднородностей: раскопанного входа в склеп и отвалов вблизи раскопа. Поэтому поиски скрытых пустот могут проводиться лишь на достаточно ровных участках [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 5–7].

Основные работы производились на двух детальных участках: Северном и Южном. С целью достижения наибольшей производительности наблюдения проводились в средней трети установки срединного градиента (СГ) с расстоянием между питающими электродами $AB=90 \text{ м}$ (рис. 4). Соответственно длина профиля составляла 30 м, обследованная площадь без перестановки питающих заземлений — 900 м^2 . На Северном участке работы производились по сети $2 \times 2 \text{ м}$ и здесь интересных аномалий обнаружить не удалось, возможно, из-за редкой сети наблюдения [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 7]. Было установлено, что наиболее эффективной для решения поставленных задач является площадная съемка по квадратной сети $1 \times 1 \text{ м}$. Та-

кая съемка была проведена на Южном участке на площади $26 \times 29 \text{ м}$ (рис. 5). Ток в питающей линии поддерживался постоянным. Измеренные величины тока и напряжения пересчитывались в значения кажущихся сопротивлений. Точность съемки составила 3 Ом. м. По результатам наблюдений был построен план изолиний кажущегося сопротивления с сечением 5 Ом. м [Бабаева и др. 1973] (рис. 6).

Исходя из геофизических и археологических предпосылок были сформулированы критерии, позволяющие по электроразведочным аномалиям предполагать наличие склепов: 1) локальность и повышенное сопротивление; 2) их расположение на приблизительно равных расстояниях по линиям, параллельным краям террас. По этим признакам на плане изолиний ркаж на Южном участке выделено 5 аномалий (А, Б, В, Г, Д), рекомендованных для проверки. Наиболее надежными являются аномалии А, Б и Д [Бабаева и др. 1973].

Измеренные значения ркаж изменяются в пределах от 15 до 50 Ом. м, что не характерно для известняков. Чтобы разобраться в возможной природе низких значений ркаж и получить представления о геоэлектрическом разрезе участка работ, были проведены вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). По данным исследований были выделены три слоя (рис. 7). Первый от поверхности горизонт образован почвой и рыхлыми известковистыми глинами с обломками известняков, его мощность около 1,5 м, сопротивление — от 80 до 100 Ом. м. Второй слой сложен известняками, его мощность от 4 до 10 м, сопротивление от 200 до 500 Ом. м. Нижняя толща, сложенная из известняков, имеет сопротивление около 14 Ом. м. Столь низкое сопротивление основания может быть объяснено влиянием соленой морской воды, заполняющей поры в известняках, так как участок находится в непосредственной близости от берега моря. Склепы располагаются во втором слое, обладающем наиболее высоким сопротивлением, но наличие проводящих слоев в верхней части и в основании препятствует концентрации тока в искомом слое. Низкие значения ркаж установки СГ таким образом вызваны концентрацией тока в проводящем основании [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2017. Л. 2; НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 9]. В связи с этим возник вопрос об оптимальных расстояниях питающих электродов, чтобы при съемке ток концентрировался преимущественно в искомом

слое, при этом аномалии от склепов будут максимальны. По данным ВЭЗ влияние нижнего горизонта начинается с разностей АВ от 20 до 30 м, которые, по-видимому, и являются оптимальными. Однако такие разности неудобны для метода СГ из-за малой площади охвата. В связи с этим возникло предположение о целесообразности применения симметричного профилирования вместо СГ [Бабаева и др. 1973, с. 89].

Итоги работ были доложены Т. М. Бабаевой и В. Е. Романовским на научной студенческой конференции в апреле 1972 г. и опубликованы в сборнике Геологического факультета МГУ «Региональная геология некоторых районов СССР» за 1973 г. [Бабаева и др. 1973].

1973 год. Работы были продолжены. По сложившейся практике они осуществлялись по линии НСО в период зимних каникул. В работах приняли участие м. н. с. В. А. Шевнин, инженер Т. Б. Соколова и восемь студентов кафедры геофизики МГУ. В процессе подготовки для выбора оптимальных разностей питающих электродов АВ (чтобы аномалии от склепов были максимальны, а влияние проводящего основания — минимально) было проведено моделирование на электропроводящей бумаге, воспроизводящей геоэлектрические условия Херсонеса (рис. 8). Из опыта следует, что максимум аномалии наблюдается при $AB/h=3-3,5$, где h — глубина залегания центра погребенного объекта. Это значение AB/h является оптимальным как по уровню сигнала, так и по величине аномалии [Шевнин и др. 1974].

С учетом моделирования в 1973 г. вместо установки СГ было применено симметричное электропрофилирование (СЭП) с $AB=15$ м (рис. 9). Шаг наблюдения и величина MN (расстояние между приемными электродами) как и прежде равнялись 1 м. Уменьшение АВ позволило значительно увеличить уровень измеряемых сигналов и выразительность полученной карты ркаж, так как теперь значения ркаж находились в пределах 100–700 Ом. м, что лучше соответствует истинным сопротивлениям известняков. При съемке применялась электро-разведочная аппаратура низкой частоты: генератор ИКС-1 и измеритель АНЧ-1 [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 13].

В ходе работ было отснято 5 планшетов размером 30×20 м общей площадью 3000 м², что позволило кроме поисков склепов установить некоторые региональные закономерности

строения участка (рис. 10). В частности, по общему повышению значений ркаж до 300 и более Ом. м выявлено положение погребенной террасы в районе профилей 17–22. Знание точного положения и ориентации террасы помогает при выделении цепочек аномалий от склепов. Благоприятным фактором явилось наличие на этой террасе двух вскрытых склепов, один из них находился на отснятой площади под аномалией В. Поэтому с большой степенью вероятности можно полагать, что находящиеся с ними в одном ряду аномалии А, Б, Г, Д, Е также вызваны склепами. При выделении аномалий в других частях карты возникли затруднения, связанные с наличием регионального фона субмеридионального простирания вследствие террасного строения склона, это ставило аномалии ркаж в разных частях склона в относительно неравноправное положение. Возникло предположение, что на таком фоне склепы могут вызывать не только замкнутые концентрические аномалии, но и искривления изолиний («языки»), вытянутые в сторону уменьшения регионального фона. Это аномалии Ж, З, И, К, Л в районе профиля 11. Вскоре после отъезда группы, при производстве строительных работ в Песочной бухте, достоверность аномалии Ж была стихийно проверена, когда в результате проезда автомашины произошло частичное обрушение поверхностного слоя земли и обнажен вход в склеп [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 14–16].

Результаты геофизических работ были доложены на научной студенческой конференции Геологического факультета и опубликованы в сборнике Геологического факультета МГУ за 1974 г. [Шевнин и др. 1974].

1974 год. Перед началом полевых работ, одной из задач которых был поиск склепов, с помощью моделирования были рассмотрены два вопроса, связанные с выбором оптимальной величины приемной линии MN и шага наблюдения. Необходимость моделирования была (?) связана с тем, что применяемая методика площадного электроразведочного картирования является весьма трудоемкой. Всякое разрежение сети наблюдения, если бы это оказалось возможным сделать без потери качества съемки, могло бы существенно поднять эффективность электроразведочных исследований.

Первый опыт проводился для обоснования выбора оптимального разности приемных электродов (рис. 11). Результаты опыта представле-

ны в виде зависимости аномального эффекта A , вызванного наличием склепа, от разнosa MN , выраженного в единицах линейного размера склепа. При малых MN (до $D/2$) величина аномалии максимальна и не зависит от разнosa MN , а при больших начинается существенное уменьшение величины аномалии. Так как линейные размеры склепов составляют 2–3 м, величина MN должна быть около 1 м. Именно такой разнос MN и использовался на практике [Шевнин и др. 1975].

Второй опыт проводился для обоснования выбора оптимального шага наблюдения h на основе рассмотрения изменения ошибки представительства δ ркаж, возникающей при увеличении шага наблюдения (рис. 12). Первая кривая построена по данным моделирования на бумаге для условий одиночного склепа в однородной среде (шаг наблюдений 0,2 м), вторая — по данным полевых измерений в Херсонесе (шаг съемки 1,0 м). Результаты моделирования и полевых наблюдений удовлетворительно сопрягаются. Важными элементами полученных кривых являются две горизонтальные площадки в интервале 0,75–1,25 м и 4,00–10,00 м. При выборе шага наблюдения в таких пределах точность и надежность выделения аномалий мало зависит от случайных изменений размеров тел. Первая площадка 0,75–1,25 м очевидно связана со склепами, вторая — с региональными особенностями строения участка. Так как практически наиболее удобно выбирать шаг наблюдения равным величине MN , по результатам обоих опытов следует считать оптимальным разнос MN и шаг наблюдения равным 1 м. Таким образом, проведенные опыты показали, что разрежение сети наблюдений и увеличение разнosa MN нецелесообразно, так как может привести к ухудшению качества съемки и уменьшению надежности выделения аномалий от склепов [Шевнин 1975, л. 18–20], [Шевнин и др. 1975].

В электроразведочных исследованиях зимой 1974 г. приняли участие 11 человек под руководством В. А. Шевнина [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 16]. Для поисков склепов применялось площадное электроразведочное картирование с симметричной четырехэлектродной установкой по сети 1 × 1 м. Использовался самый высокопроизводительный на то время комплект полевой электроразведочной аппаратуры: генератор ИКС-1, измеритель АНЧ-1 [Агеев и др. 1975, с. 86]. Наблюдения производились двумя изме-

рителями АНЧ, передвигающимися по соседним профилям, что позволило увеличить производительность съемки. Была отработана площадь в 9000 м² (в 1972 г. — 750 м², в 1973 г. — 3000 м²) [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 20].

По результатам работ 1973–1974 гг. был составлен единый план изолиний ркаж и на его основе — предварительная интерпретационная схема строения изученного участка. На плане изолиний ркаж отразилось террасное строение склона Песочной бухты. Это привело к появлению региональных аномалий — широких полос повышенных и пониженных значений ркаж, ориентированных параллельно склону. Уровень ркаж изменяется от 90 до 500 и более Ом. м. В основу выделения аномалий от склепов было положено предположение археологов об ориентации линий склепов параллельно террасам. Используя в качестве опорных известные склепы в северной части участка, были прослежены цепочки склепов и на остальной площади. Также были выделены дополнительные цепочки аномалий в тех местах, где вскрытые склепы отсутствуют. Всего было выявлено более 100 аномалий, предположительно вызываемых склепами (рис. 13).

Некоторые особенности плана изолиний ркаж, показанные на схеме, пока не нашли объяснения. К ним прежде всего относится резкий поворот в районе ПР 15–25 ПК 160 региональной полосы повышенных значений ркаж. В северной части эта полоса интерпретировалась как уступ террасы, близко подходящий к поверхности. Но судя по поверхностным данным, терраса не делает в этом месте такого резкого поворота. По всей исследованной площади прослеживается система линеаментов, ориентированных в северо-восточном направлении под углом около 45°. Было выдвинуто предположение, что эти направления могут быть вызваны следами античной сельскохозяйственной размежевки. В южной части площади (ПК 150–210) расположение локальных аномалий оказалось значительно более сложным, часто цепочки аномалий имеют различную ориентировку, некоторые из них расположены хаотично. Одной из возможных причин этого может быть наличие в южной части площади более древних захоронений, имеющих другую ориентировку [Агеев и др. 1975, с. 86–88].

При интерпретации плана изолиний ркаж стало очевидно, что выделение локальных ано-

малый затруднено в связи с наличием разнообразных геологических помех (наличие регионального фона ркаж, влияние поверхностных неоднородностей, подземного рельефа и т.п.) [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 22–23]. Для более контрастного выделения локальных аномалий было осуществлено снятие регионального фона по профилям и построен план изолиний остаточных аномалий ркаж для некоторой части отснятой площади. После снятия фона направления изолиний, ориентированные под углом к линии профилей, стали более выразительными. По плану остаточных аномалий была составлена новая интерпретационная схема строения участка (рис. 14). Многие локальные аномалии, выделенные на рис. 14, сохранились на рис. 15. Одновременно появилось значительное число аномалий, которых на прежней схеме не было. Основное различие обеих схем состояло в другом. На первой схеме объединение склепов в цепочки проводилось вдоль склона бухты, в соответствии с гипотезой археологов. На новой схеме более четко прослеживается естественное объединение локальных аномалий в цепочки северо-восточного и субширотного простирания. Сами цепочки оказались более короткими и содержат по 3–4 аномалии. Не исключено, что субширотная ориентация этих цепочек может быть связана с геологическими факторами и, прежде всего, — со следами размыва склона бухты поверхностными потоками. Северо-восточное направление аномалий вероятнее всего связано с деятельностью человека [Агеев и др. 1975, с. 87–88].

Кроме локальных аномалий на новой схеме выделяется несколько более крупных структур (до 10–15 м в диаметре). К ним относятся кольцевые или полукруглые структуры и вытянутые прямолинейные структуры типа стен, иногда замкнутые в виде прямоугольных фигур (например, в северо-западном углу, рис. 15). Кольцевые структуры могут быть вызваны следами карстовых проявлений или взрывными воронками от авиабомб и снарядов, не исключено их археологическое происхождение. Прямоугольные структуры также могут быть остатками древних сооружений. Период существования Херсонеса в качестве функционировавшего города охватывает около двух тысячелетий, в связи с чем многие археологические памятники на его территории являются многослойными, причем слои в структурном плане

часто не совпадают между собой. Похожая ситуация скорее всего характерна для некрополя, что может являться одной из причин сложного его проявления в геофизических полях.

Методы геофизики дают не прямые, а косвенные признаки возможного наличия в земле археологических объектов. В силу существования большого количества причин, вызывающих геофизические аномалии, интерпретация получаемых материалов часто оказывается неоднозначной. Эта неоднозначность может быть уменьшена в результате дальнейшего накопления опыта исполнителей, своевременной проверки раскопками выявленных аномалий, применения специальных приемов обработки карт сопротивлений. Без археологической проверки аномалий интерпретационные схемы не выходят за рамки спекуляций и не могут приобрести требуемой надежности и однозначности. К специальным приемам были отнесены: осреднение, фильтрация, выделение остаточных аномалий различных радиусов, анизотропные преобразования. Они способны повысить выразительность получаемых карт, но вряд ли помогут достичь однозначности интерпретации [Агеев и др. 1975, с. 88–89].

Результаты работ 1974 г. докладывались на научной студенческой конференции Геологического факультета МГУ, на конференции Геологического факультета Киевского государственного университета, на XII Всесоюзной научной конференции в г. Новосибирске (при НГУ). Наиболее важные результаты оформлены в виде статей [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 26–27].

1975 год. В состав геофизической группы вошли 16 человек, руководитель — В. А. Шевнин. В работах приняли участие двое сотрудников Казахского филиала Всесоюзного института разведочной геофизики (КазВИРГ). Большая численность отряда позволила организовать одновременную работу 4–5 полевых бригад. Опытные геофизические работы продолжались по двум основным направлениям: дальнейшее совершенствование методики площадного электроразведочного картирования и изучение применимости других геофизических методов для решения археологических задач. Были опробованы методы сейсморазведки с ударным возбуждением (аппаратура ОСУ-2), магнито-разведки с квантовым пешеходным магнитометром ПСМ-1 и магнитовариационной станцией, разработанными в КазВИРГ, и электроразведки

в трех модификациях: СЭП с $AB=3$ м, дифференциального профилирования нулевой установкой MAN с $MA=AN=3$ м и метода естественного электрического поля (ЕП). Сейсморазведка и квантовый магнитометр в археологии в нашей стране применялись впервые, а методы ЕП и дифференциального профилирования — впервые в мировой археологической практике [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 27].

Предпосылками применения сейсморазведки являлось резкое различие в акустической жесткости склепов и вмещающей среды. Кроме того, склепы, резко нарушая однородность среды, оказываются областями диффракции и аномального затухания сейсмических волн. Одноканальная сейсмическая установка ОСУ-2 позволяет определять, как кинематические, так и динамические параметры этих волн [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 30]. Магнитные измерения проводились с целью поиска погребенных археологических объектов, обладающих повышенной магнитностью (остатки керамики, гончарные печи, очаги, металлические предметы и т.п.). Кроме того, изучались картировочные возможности метода в условиях слабомагнитных пород материка и культурного слоя, в том числе и возможности склепов. Магниторазведкой изучался некрополь в Карантинной бухте (рис. 15). Выявился ряд преимуществ квантового магнитометра по сравнению с оптико-механическими приборами (типа М-27): высокая точность измерений, высокая производительность, автоматическая цифровая регистрация измерений на узкую бумажную ленту. Использование ПСМ-1 обеспечило производительность до 2000 физических точек в день при шаге наблюдения 1 м [НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 30–33].

Электроразведка проводилась по сети 1×1 м. Все методы ставились на одном участке площадью 30×50 м для того, чтобы иметь возможность сопоставить получаемые результаты. В процессе работ учитывалось, что склепы могут проявлять себя при СЭП как объекты высокого сопротивления, в поле дифференциальной установки — как локальные горизонтальные неоднородности, а в методе ЕП — предположительно как искусственные дрены или участки повышенной фильтрации грунтовых вод [Шевнин и др. 1977, с. 156].

СЭП в отличие от 1974 г. производилось с двумя разносами AB — 3 и 15 м (для отбраковки аномалий, вызываемых поверхностными

неоднородностями) (рис. 16). В процессе обработки данных был предпринят поиск объединяющего результаты профилирования на обоих разносах параметра, который в наименьшей степени зависел бы от поверхностных неоднородностей. В качестве такого параметра было выведено кажущееся сопротивление, рассчитываемое по формуле метода вычитания полей:

$$\rho_t = (L_2 - L_1) / (L_2/P_2 - L_1/P_1),$$

где $L = AB/2$, индекс 1 соответствует $AB = 3$ м, индекс 2 — $AB = 15$ м.

Карта параметра ρ_t оказалась значительно лучше исходной карты ркаж для $AB = 15$ м и опробованной в процессе поиска карты отношений ркаж ($AB = 15$)/ркаж ($AB = 3$). Поверхностные аномалии от многочисленных известных скальных выходов и уступа террасы оказались ослабленными, а благодаря этому локальные аномалии, предположительно вызываемые склепами, выделились более контрастно. Вместе с тем на карте ρ_t появилось большое количество точечных аномалий, связанных с нарастанием ошибок при дифференциальном преобразовании метода вычитания полей [Шевнин и др. 1977, с. 156–157].

При дифференциальном профилировании с установкой MAN один питающий электрод (А) располагается между измерительными электродами М и N, а второй питающий электрод (В) относится в «бесконечность». В однородной среде электроды М и N оказываются на одной эквипотенциальной линии, и разность потенциалов между ними равна нулю. При нарушении горизонтальными неоднородностями симметрии среды в пределах объема, охватываемого эквипотенциальной поверхностью, проходящей через MN, фиксируется искажение силовых линий поля и появление разности потенциалов ΔU_{MN} . Так как установка MAN редко использовалась в геофизической практике, а решение прямой задачи¹ для нее не было известно, вопросы глубинности установки, чувствительности к поверхностным и глубинным неоднородностям и ошибкам в расстановке электродов оказались практически не изученными. Для определения типичной формы аномалии над склепом было выполнено моделирование

¹ Прямая задача в геофизике состоит в том, чтобы по известному объекту с заданными физическими свойствами найти параметры поля (в данном случае электромагнитного), которое создает данный объект. Прямая задача имеет однозначное решение.

в электролитической ванне. Поле над моделью склепа характеризуется двумя максимумами, разделенными узким минимумом, соответствующим симметричному положению установки MAN над центром склепа (рис. 17). В целом поле установки MAN над склепом характеризуется повышенными значениями ΔU_{mn} и симметрично относительно центра склепа. Точка записи установки относится к электроду А.

Полевые наблюдения с установкой MAN выполнялись по сети 1×1 м. Из общих соображений о глубинности были выбраны разносы $MA = AN = 3$ м. По результатам съемки была построена карта изолиний ΔU_{mn} . На ней выделены локальные аномалии повышенного значения ΔU , предположительно вызываемые склепами. Преимуществом съемки MAN по сравнению с СЭП является большая резкость и выразительность локальных аномалий, практически полное отсутствие регионального фона. Недостатком установки MAN является высокая чувствительность к ошибкам в расстановке электродов, а также к поверхностным неоднородностям [Шевнин и др. 1977, с. 157–158].

Съемка по методу ЕП проводилась по способу потенциала. Использовался измеритель ЭСК-1 и неполяризующиеся электроды системы КазВИРГ. Предполагалось, что над склепами могут возникнуть аномалии ЕП фильтрационного происхождения, так как склепы могут оказаться естественными дренами грунтовых вод. Однако на полученной карте ЕП присутствовали лишь региональные аномалии, отражающие террасное строение территории, а выявленные локальные аномалии практически не коррелируются с аномалиями других методов. Причина неудачи, видимо, связана с низким положением уровня грунтовых вод (по данным ВЭЗ — на глубине 6–8 м от поверхности, то есть значительно ниже уровня склепов) [Шевнин и др. 1977, с. 158].

По результатам электроразведочных работ была составлена единая интерпретационная схема расположения локальных аномалий, выявленных различными методами съемки и обработки: СЭП, MAN, отношений ркаж (15)/ркаж

(3), остаточных аномалий ркаж, метода вычитания полей. Все аномалии (более 70) были разделены на несколько типов в зависимости от их подтверждения одним или несколькими методами (рис. 18). Примерно 30 аномалий подтверждены тремя и более методами, 20 аномалий — двумя методами, остальные выделены по данным какого-либо одного метода. В большинстве случаев эти аномалии плохо увязываются в цепочки, параллельные склонам террас, как должны быть, по предположениям археологов, расположены склепы. Это может быть обусловлено тем, что большинство аномалий вызвано не склепами, а геологическими причинами, либо тем, что гипотеза археологов ошибочна [Шевнин и др. 1977, с. 159].

Летом 1975 г. были произведены контрольные раскопки, в результате которых обнаружены три склепа под электроразведочными аномалиями, а три другие аномалии оказались ложными. Стало ясно, что возможности электроразведки в условиях Херсонеса ограничены. К факторам, затрудняющим использование электроразведки, относятся: а) наличие слоя плотных известняков высокого сопротивления над склепами, оказывающего экранирующее действие на электрический ток; б) неровности кровли коренных пород, неоднородности в толще рыхлых отложений, создающие аномалии-помехи, значительно превышающие по величине аномалии от склепов; в) сами склепы даже в идеальной однородной среде с учетом соотношения их размеров и глубины залегания могут дать аномальный эффект, не превышающий 25% от фоновых значений. Были сделаны выводы о том, что наиболее эффективной для поисков склепов модификацией электроразведки является двухразносное симметричное профилирование с обработкой результатов по методике вычитания полей, при условии очень аккуратного выбора разносов АВ. При этом электроразведку необходимо применять в комплексе с другими методами для уменьшения неоднозначности истолкования получаемых аномалий [Антонова и др. 1979, с. 12, 15].

АРХИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Статьи студентов МГУ о применении электроразведки на некрополе в Песочной балке в 1973–1974 гг. 1973–1974 // НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2017. Л. 1–25.

Шевнин В. А. Отчет о дополнительной зимней студенческой геофизической практике на территории Херсонесского историко-археологического музея в г. Севастополе в 1972–1975 гг. М., 1975 // НАО ГМЗ ХТ. Ф. 1. Д. 2015. Л. 1–47.

ЛИТЕРАТУРА

- Агеев В. В., Банников Г. А., Блехман Д. А., Мусатов А. А., Талтыкин Ю. В., Шевнин В. А., Шипунов С. В. Результаты применения электроразведки для поисков археологических объектов в Херсонесе // Региональная геология некоторых районов СССР. М., 1975. С. 86–89.
- Антонова И. А., Глазунов В. В., Гоц И. А., Шевнин В. А., Модин И. Н., Беликов В. В., Уразаев Н. И., Тарнопольская Н. Б., Рыжов С. Г. Геолого-геофизические исследования на некрополе Херсонеса // Новое в применении физико-математических методов в археологии / под ред. Б. А. Колчина. М., 1979. С. 10–19.
- Бабаева Т. М., Романовский В. Е., Шевнин В. А. Поиски археологических объектов в Херсонесе геофизическими методами // Региональная геология некоторых районов СССР. М., 1973. С. 87–93.
- Ступко М. В., Туровский Е. Я., Филиппенко А. А. Участок христианского некрополя IV–V вв. вблизи храма Богородицы Влакхернской в Карантинной балке (исследования 2006–2007 гг.) // ХСб. 2020. Вып. XXI. С. 47–107.
- Франтов Г. С., Пинкевич А. А. Геофизика в археологии. Л., 1966. 212 с.
- Шевнин В. А., Дубинин Е. П., Мазурова И. С., Свешников А. А. Применение электроразведки для поисков археологических объектов в Херсонесе // Региональная геология некоторых районов СССР. М., 1974. С. 76–79.
- Шевнин В. А., Агеев В. В., Талтыкин Ю. В., Шипунов С. В. Применение моделирования на электропроводящей бумаге для выбора оптимальной методики электроразведочных исследований в Херсонесе // Региональная геология некоторых районов СССР. М., 1975.
- Шевнин В. А., Перекалин С. Д., Сватикова О. В., Зайцева Н. М., Тарнопольская Н. Б., Агеев В. В., Банников А. Г., Талтыкин Ю. В. Возможности электроразведки при поисках склепов в Херсонесе // Региональная геология некоторых районов СССР. М., 1977. С. 156–162.

REFERENCES

- Ageev V. V., Bannikov G. A., Blekhman D. A., Musatov A. A., Taltykin Iu. V., Shevnin V. A., Shipunov S. V. Rezul'taty primeneniia elektrorazvedki dlia poiskov arkheologicheskikh ob"ektov v Khersonese. *Regional'naia geologiya nekotorykh raionov SSSR*. Moscow, 1975, pp. 86–89.
- Antonova I. A., Glazunov V. V., Gots I. A., Shevnin V. A., Modin I. N., Belikov V. V., Urazaev N. I., Tarnopol'skaia N. B., Ryzhov S. G. Geologo-geofizicheskie issledovaniia na nekropole Khersonesa. In: Kolchin B. A. (ed.). *Novoe v primeneniі fiziko-matematicheskikh metodov v arkheologii*. Moscow, 1979, pp. 10–19.
- Babaeva T. M., Romanovskii V. E., Shevnin V. A. Poiski arkheologicheskikh ob"ektov v Khersonese geofizicheskimi metodami. *Regional'naia geologiya nekotorykh raionov SSSR*. Moscow, 1973, pp. 87–93.
- Frantov G. S., Pinkevich A. A. *Geofizika v arkheologii*. Leningrad, 1966, 212 p.
- Shevnin V. A., Dubinin E. P., Mazurova I. S., Sveshnikov A. A. Primenenie elektrorazvedki dlia poiskov arkheologicheskikh ob"ektov v Khersonese. *Regional'naia geologiya nekotorykh raionov SSSR*. Moscow, 1974, pp. 76–79.
- Shevnin V. A., Ageev V. V., Taltykin Iu. V., Shipunov S. V. Primenenie modelirovaniia na elektroprovodiashchei bumage dlia vybora optimal'noi metodiki elektrorazvedochnykh issledovaniі v Khersonese. *Regional'naia geologiya nekotorykh raionov SSSR*. Moscow, 1975.
- Shevnin V. A., Perekalin S. D., Svatikova O. V., Zaitseva N. M., Tarnopol'skaia N. B., Ageev V. V., Bannikov A. G., Taltykin Iu. V. Vozmozhnosti elektrorazvedki pri poiskakh skleпов v Khersonese. *Regional'naia geologiya nekotorykh raionov SSSR*. Moscow, 1977, pp. 156–162.
- Stupko M. V., Turovskii E. Ia, Filippenko A. A. Uchastok khristianskogo nekropolia IV–V vv. vblizi khrama Bogoroditsy Vlakhernskoi v Karantinnoi balke (issledovaniia 2006–2007 gg.). *Khersonesskii sbornik*, 2020, iss. XXI, pp. 47–107.

РЕЗЮМЕ

Херсонесский историко-археологический музей одним из первых в Советском Союзе выступил в качестве инициатора по применению геофизических методов. На протяжении 1972–1975 гг. сотрудники и студенты кафедры геофизики МГУ производили геофизические разведки в районе бухты Песочной. Цель изысканий состояла в обнаружении склепов и определении границ Западного некрополя. В процессе работ были опробованы различные методы: электроразведка, магниторазведка, гравиразведка, сейсморазведка. Среди модификаций электроразведки следует выделить метод среднего градиента, симметричное электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование. По результатам электроразведочных работ была составлена единая интерпретационная схема расположения локальных аномалий, выявленных различными методами съемки и обработки. По итогам контрольных раскопок возможности электроразведки в условиях Херсонеса в силу ряда причин были признаны ограниченными.

Ключевые слова: Херсонес, геофизика, электроразведка, склеп, аномалия.

V. V. Panchenko

**THE FIRST GEOPHYSICAL EXPERIMENTS IN CHERSONESOS
(RESEARCH OF THE DEPARTMENT OF GEOPHYSICS OF MOSCOW STATE UNIVERSITY
ON THE TERRITORY OF THE WESTERN NECROPOLIS IN 1972–1975)**

SUMMARY

The Chersonesos State Historical and Archaeological Museum was one of the first in the Soviet Union to initiate the application of geophysical methods. During 1972–1975 employees and students of the Department of Geophysics of Moscow State University carried out geophysical exploration in the area of Pesochnaya Bay. The purpose of the survey was to discover the crypts and define the boundaries of the Western Necropolis. In the course of the work, various methods were tested: electrical exploration, magnetic survey, gravity survey, seismic exploration. Among the modifications of electrical exploration, the method of the median gradient, symmetric electrical profiling, and vertical electrical sounding should be distinguished. Based on the results of electrical exploration, a unified interpretation scheme for the location of local anomalies identified by various survey and processing methods was drawn up. Based on the results of the control excavations, the possibilities of electrical exploration in the conditions of Chersonesos were recognized as limited for a number of reasons.

Keywords: Chersonesos, geophysics, electrical exploration, crypt, anomaly.



**Рис. 1. Некрополь у Песочной бухты [Яндекс. Карты].
Пунктиром обозначена территория геофизических работ.**

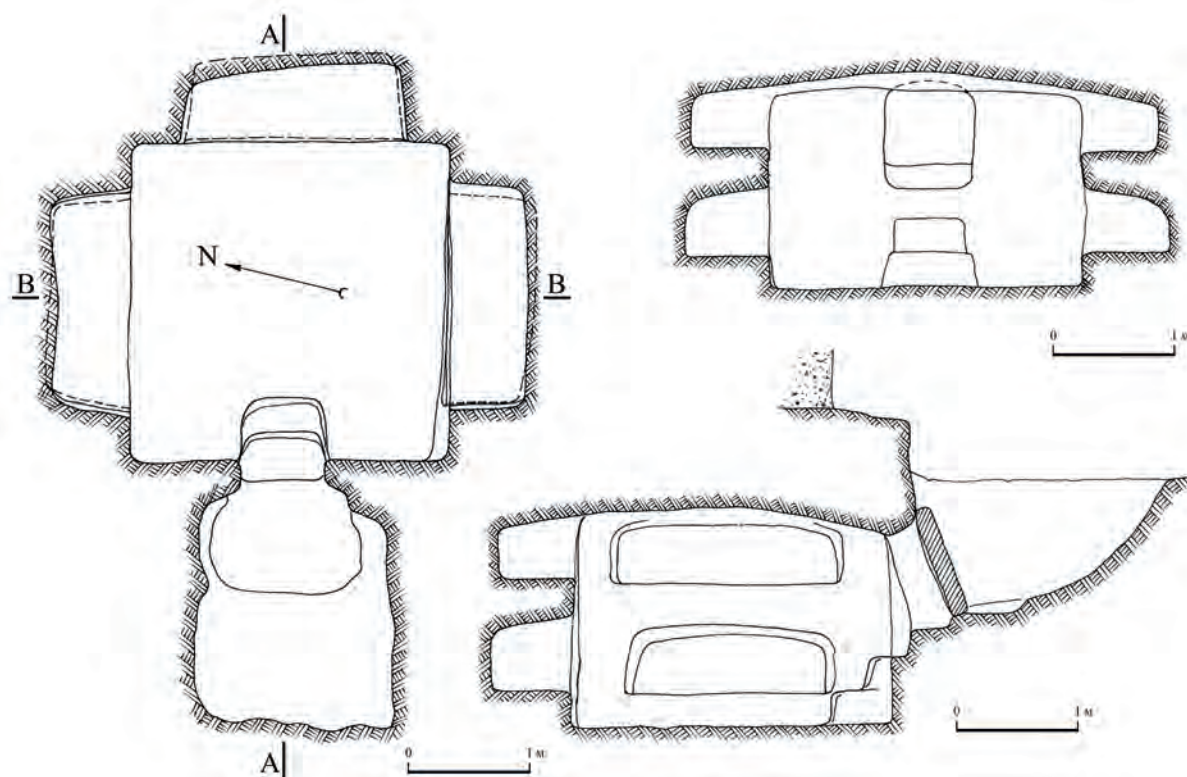


Рис. 2. План херсонесского склепа [по: Ступко и др. 2020, рис. 16.2].



Рис. 3. Магнитная съемка в Песочной бухте. 1972 г. [по: Шевнин 1975, рис. 1].

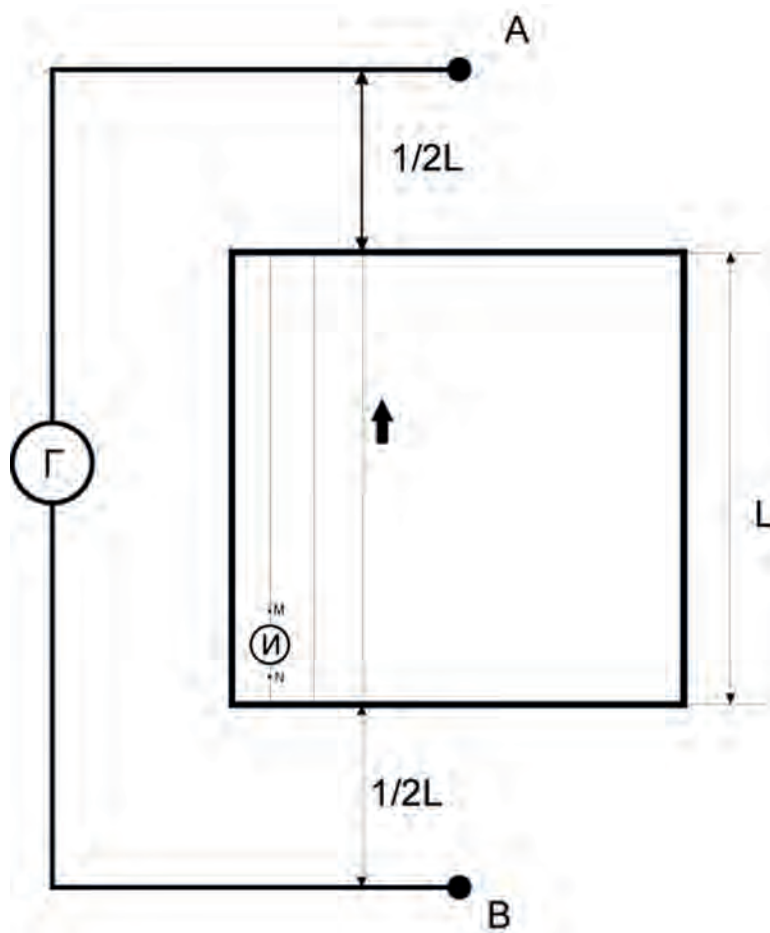


Рис. 4. Схема установки срединного градиента.



Рис. 5. Первые электроразведочные исследования в Херсонесе.
Песочная бухта. 1972 г. [по Шевнин 1975, рис. 3].

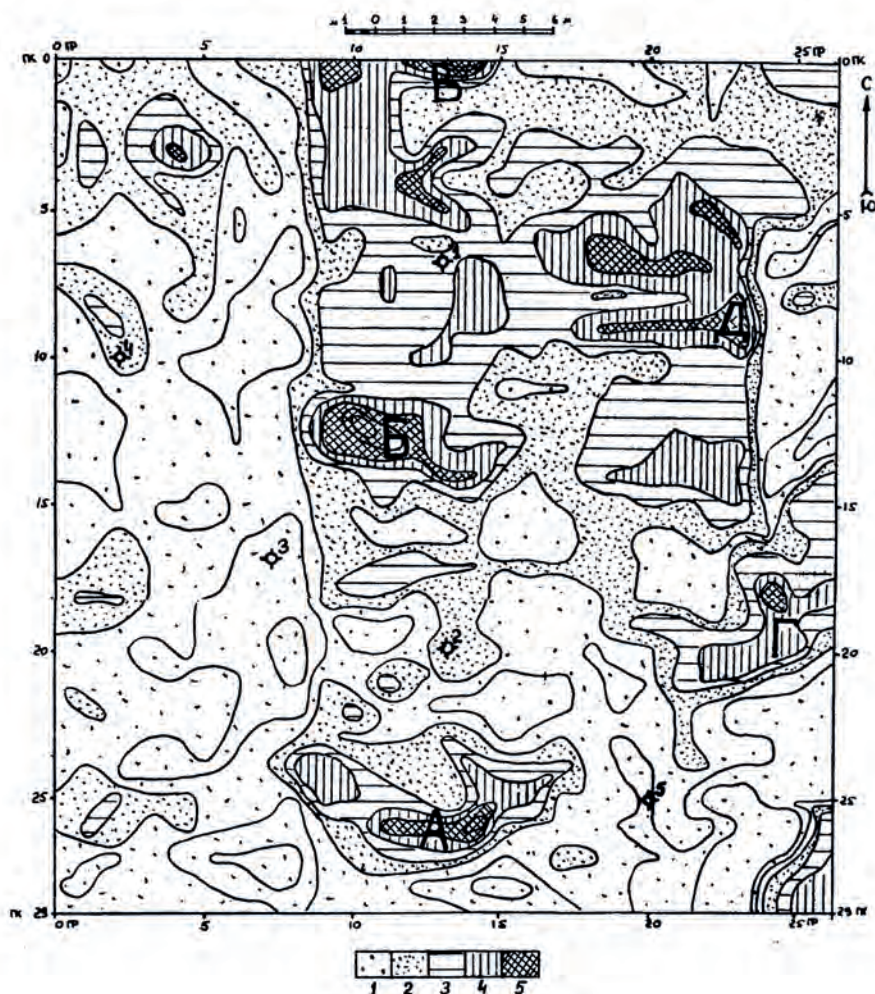


Рис. 6. План изолиний кажущегося сопротивления. Участок «Южный». Метод СГ [по: Доклады о применении геофизических методов в исследовании Херсонеса, рис. 1]. Условные обозначения: 1-5 — интервалы значений кажущегося сопротивления, Ом. м (1 — меньше 25; 2-25-30; 3-30-35; 4-35-40; 5 — больше 40). ☆1 — точка ВЗЗ.

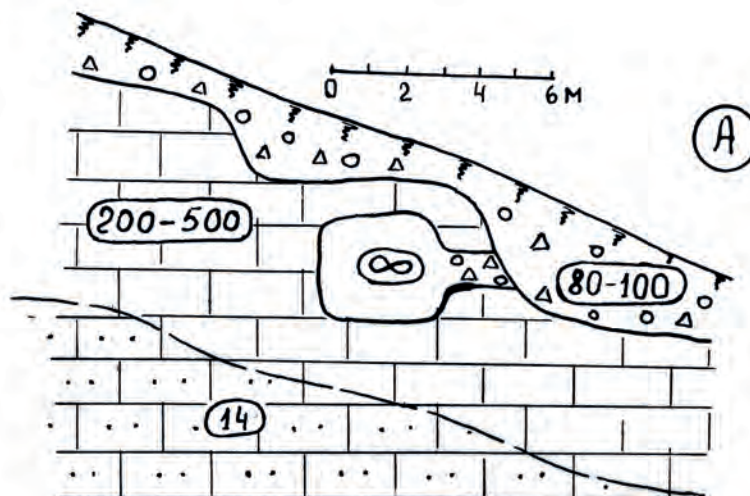


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по данным ВЗЗ [по: Статьи студентов МГУ о применении электроразведки на некрополе в Песочной бухте в 1973-1974 гг., л. 7. А].

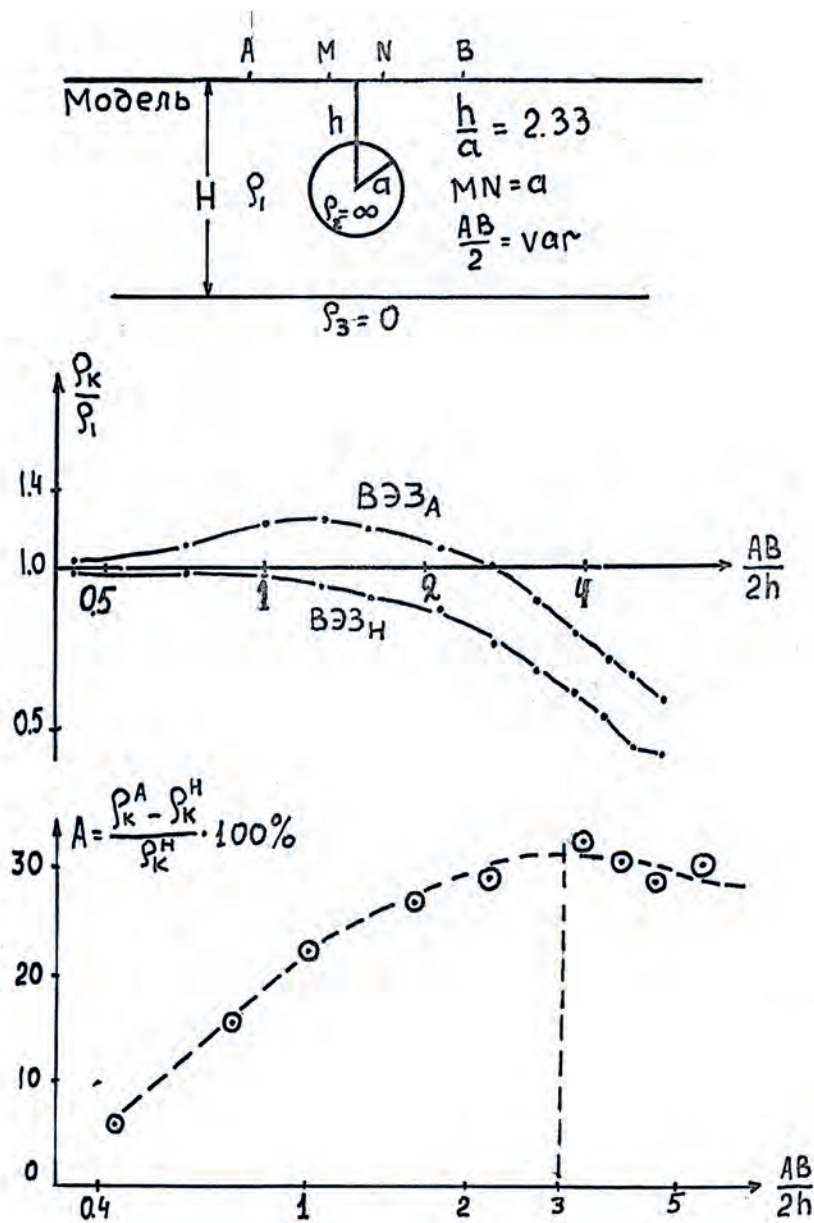


Рис. 8. Влияние разностей АВ на величину аномалии от склепа для геоэлектрических условий Херсонеса по результатам моделирования [по: Шевнин 1975, рис. 6].

Условные обозначения: 1 — схема модели, 2 — аномальная и нормальная кривые ВЗЗ, 3 — зависимость аномалии от разности.

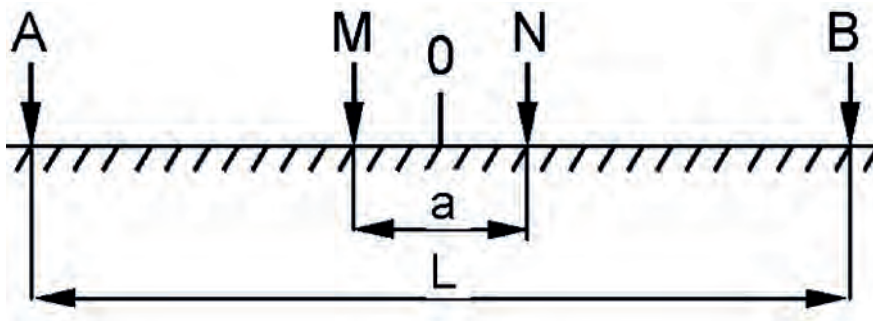


Рис. 9. Схема установки симметричного электропрофилирования.

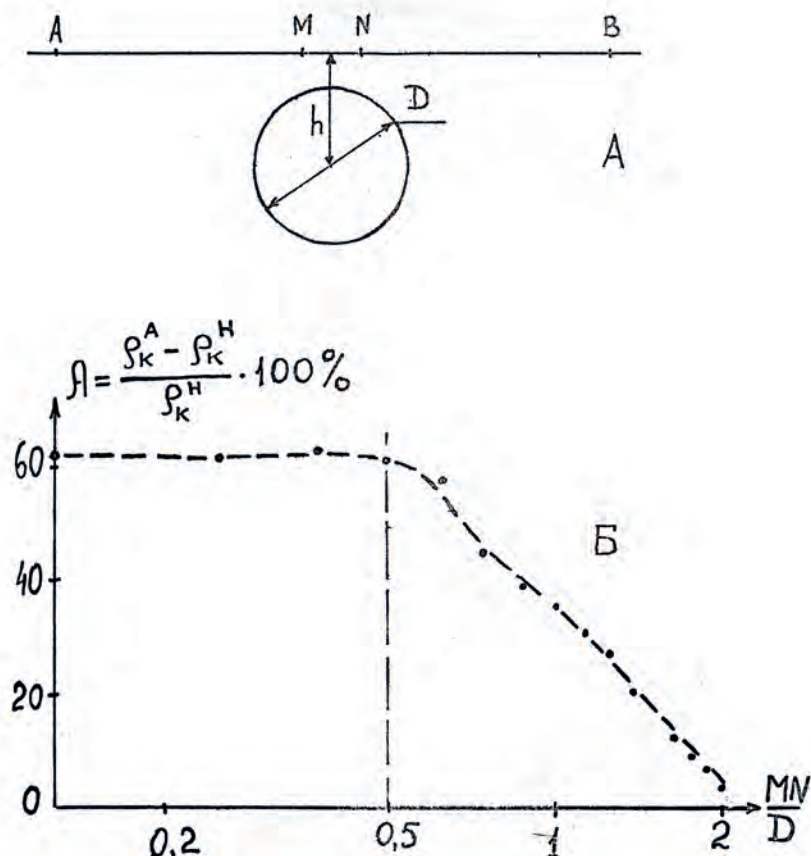


Рис. 10. Схема расположения аномалий ркаж по данным площадного электроразведочного картирования в 1973 г. [по: Шевнин 1975, рис. 7].

Условные обозначения: 1 — аномалии повышенных значений ркаж, предположительно вызываемые склепами, 2 — вскрытый склеп, 3 — склеп, обнаруженный после съемки 1973 г. на месте аномалии ркаж, 4 — трасса подземного кабеля, 5 — зона повышенных значений ркаж, связываемая с уступом террасы.

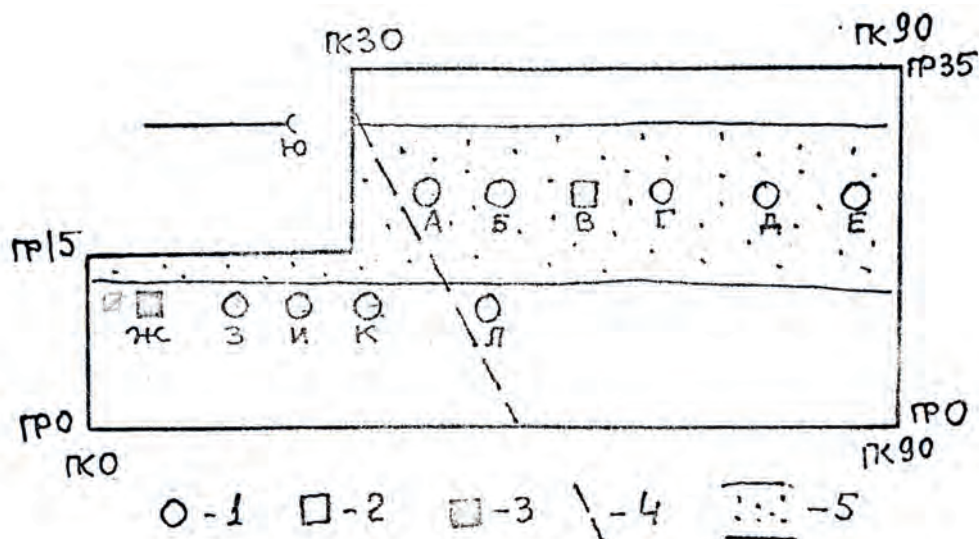


Рис. 11. Влияние разноса приемных электродов MN на величину аномалий от склепов по результатам моделирования [по: Шевнин 1975, рис. 8].

Условные обозначения: А — модель склепа ($h = 5,7$ м, $D = 8$ м), $AB = 48$ м, MN — величина переменная. Б — график зависимости аномального эффекта от MN .

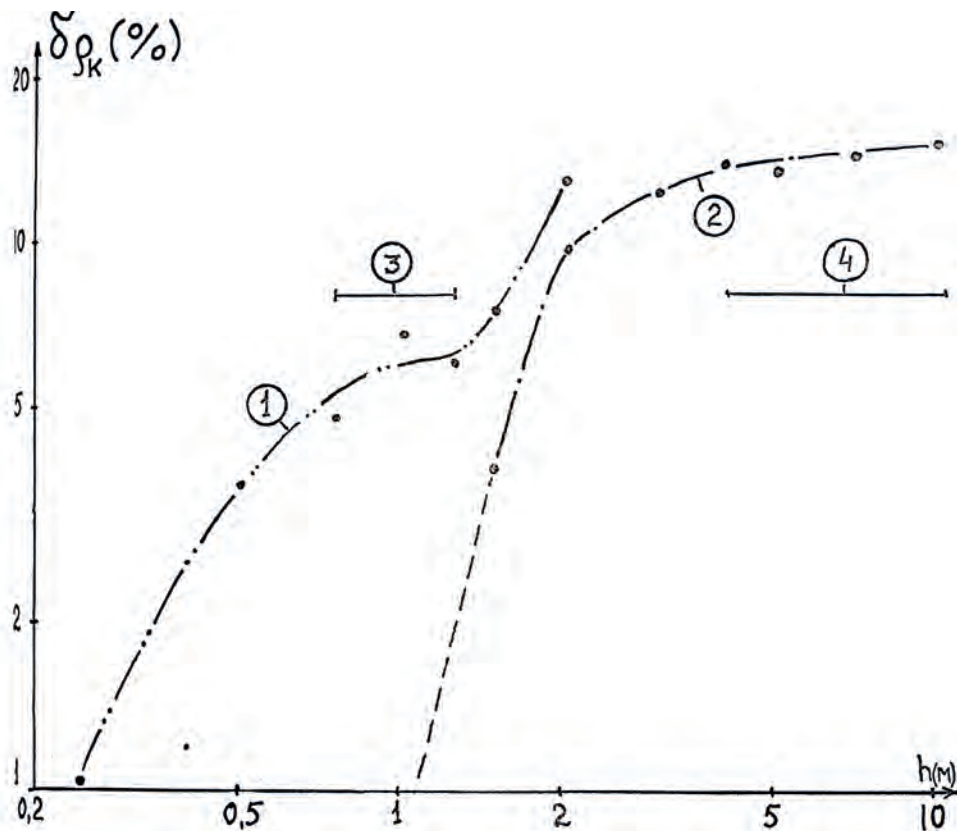


Рис. 12. Графики изменения ошибки представительства δ ркаж в зависимости от шага наблюдения при электропрофилировании над склепами [по: Шевнин 1975, рис. 9].
1 — график по результатам моделирования на ЭПБ, 2 — график по экспериментальным данным, 3 — рекомендуемый интервал выбора шага наблюдения, 4 — интервал выбора радиуса осреднения.

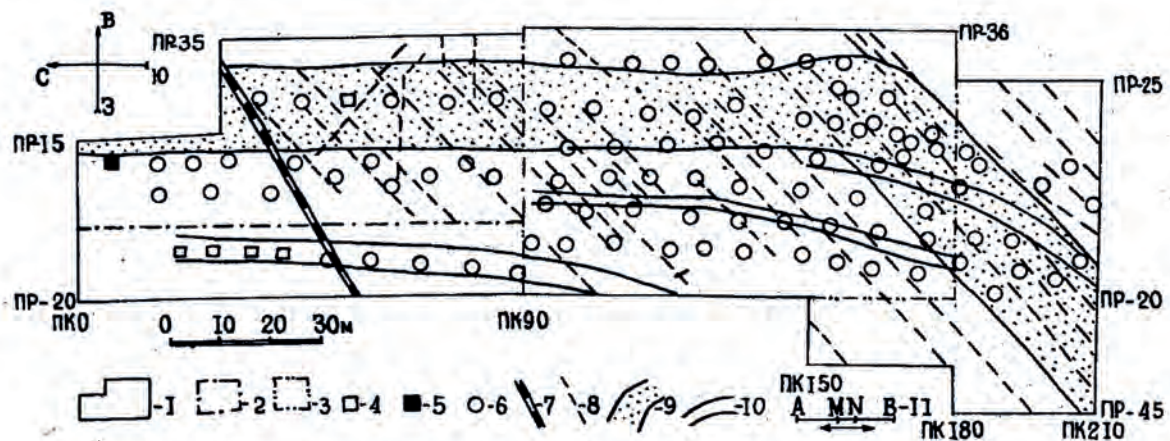


Рис. 13. Интерпретационная схема строения изученного участка некрополя в Песочной бухте, построенная на основе анализа плана изолиний ркаж [по: Статьи студентов МГУ о применении электроразведки на некрополе в Песочной бухте в 1973-1974 гг., л. 19].
Условные обозначения: 1 — границы участка работ 1973-1974 гг., 2 — границы участка работ 1973 г., 3 — границы участка, для которого построен план изолиний остаточных аномалий, 4 — вскрытые склепы, 5 — склеп, вскрытый после проведения работ 1973 г., 6 — местоположения локальных аномалий, предположительно вызываемых склепами, 7 — трасса подземного кабеля, 8 — линии градиентов и утыкания изолиний ркаж, 9 — региональная зона высоких значений ркаж, 10 — выходы уступов террас, прослеженные визуально, 11 — ориентация установки профилирования и направления профилей.

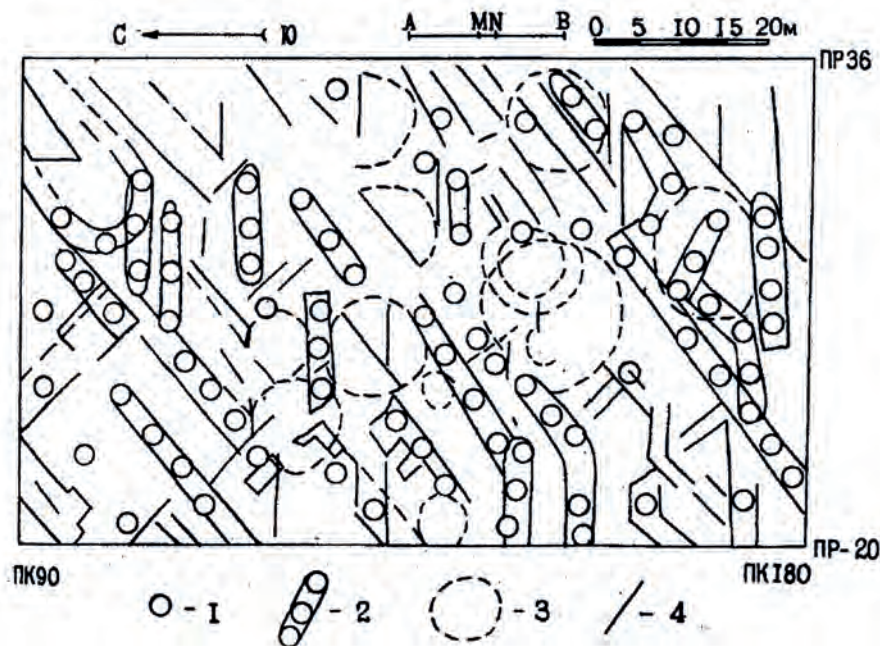


Рис. 14. Интерпретационная схема, построенная по плану изолиний остаточных аномалий ркаж [по: Статьи студентов МГУ о применении электроразведки на некрополе в Песочной бухте в 1973–1974 гг., л. 21].
Условные обозначения: 1 — местоположения локальных аномалий ркаж, предположительно вызываемых склепами, 2 — цепочки локальных аномалий ркаж, 3 — кольцевые структуры, 4 — линии градиентов и утыкания изолиний ркаж.



Рис. 15. Рабочий момент съемки с пешеходным квантовым магнитометром ПСМ-1 конструкции КазВИРГа [по: Шевнин 1975, рис. 14].



Рис. 16. Электропрофилирование симметричной установкой с генератором ИКС-1 и измерителем АНЧ-1 [по: Шевнин 1975, рис. 17].

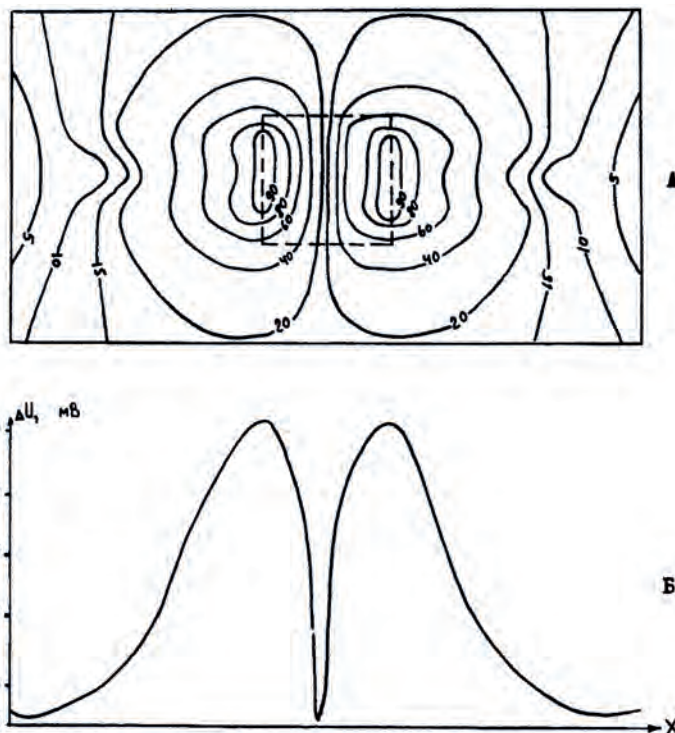


Рис. 17. Результаты профилирования с дифференциальной установкой MAN над моделью склепа в электролитической ванне. $MA = AN = 6$ см, ширина склепа 8 см, глубина до верхней кромки 2 см [по: Шевнин и др. 1977, рис. 1]. Условные обозначения: А — план изолиний ΔU_{man} , Б — графики профилирования ΔU_{man} .

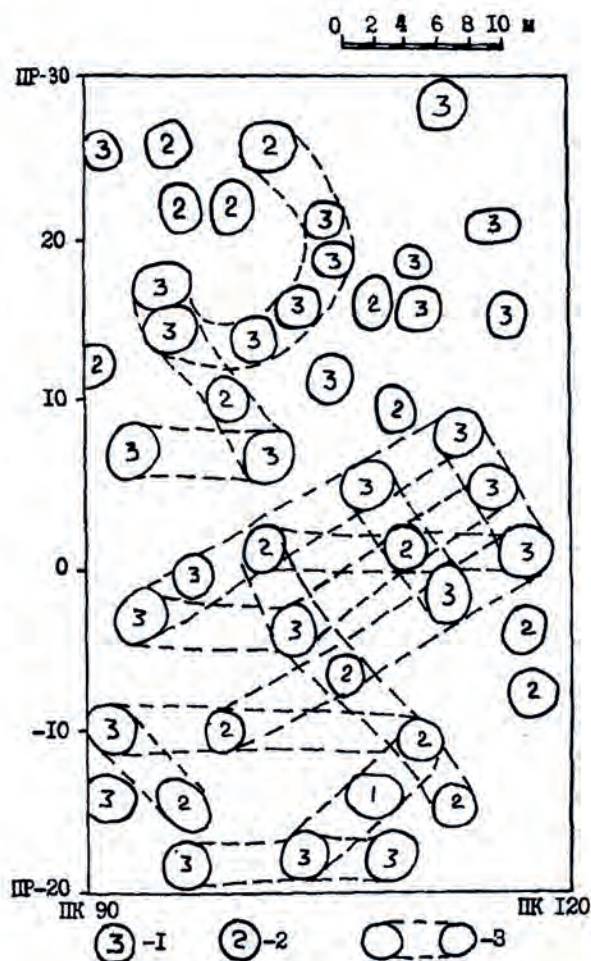


Рис. 18. Интерпретационная схема расположения локальных аномалий, предположительно вызываемых склепами, по данным комплекса электроразведочных методов [по: Шевнин и др. 1977, рис. 2].

Условные обозначения: 1 — аномалии, подтвержденные тремя или более методами, 2 — аномалии, подтвержденные двумя методами, 3 — объединения локальных аномалий в цепочки.