

Морской георадар

(Из книги: В. Копейкин. Рассказы про георадар, и не только)

В пятом веке до н.э. греки бежали от персидских войн. Снимались целыми городами, грузились на корабли и плыли, спасаясь от рабства. Часть из них высадилась в Крыму и на Таманском полуострове, образовав сначала Боспорское, а затем Понтийское царство. Таманский полуостров в русских летописях назывался Тмутараканью.

Он был известен в древнем мире как место добычи нефти для «Греческого огня» - первого варианта напалма. Ее брали из нефтяных луж прямо с поверхности. В конце-концов эта нефть и погубила древние города Таманского полуострова. Если быть более точным, то не сама нефть, а процессы в нефтеносных и газоносных слоях, приводящие к возникновению грязевых вулканов.

Грязевые вулканы, в отличие от обычных, в которых извергается раскаленная магма, работают как насосы: они откуда-то берут грязь и куда-то ее выбрасывают. Окрестные вулканы брали грязь из-под городов, а потом ею же частично их и накрывали. Образовался Таманский залив. Сейчас основные древние города или их значительная часть находятся на дне этого залива.

Об этом нам рассказал Андрей Васильев, руководитель и организатор подводной экспедиции, исследовавшей Таманский залив. Он искал технические средства для подводного поиска греческих городов-полисов и заинтересовался нашим радаром, зная, что мы успешно работаем на пресных водоемах с поверхности воды.

Когда поняли, что вода в заливе морская и соленость ее составляет 16 промиллей, - уверенно заявили, что это невозможно, и об этом написано в учебниках: радиоволны метрового диапазона в таких средах не распространяются — слишком высока проводимость. Потом задумались, поскольку вспомнили, что то же самое написано и про глину, хотя на практике знаем, что это не так. Решили попробовать.

Использовали схему измерений для пресных водоемов: поместили антенную систему в резиновые мешки и поставили на плот. К нашему удивлению, до глубины воды 30 — 40 см. радар неплохо работал! Для ярких объектов, расположенных ниже уровня дна, глубина воды

могла достигать одного метра! После проведенных экспериментов стало ясно, что морской радар возможен, но он должен располагаться не дальше метра от уровня дна.

Электромагнитные волны имеют две компоненты: электрическую и магнитную. Излучать их можно двумя способами: возбуждая электрическое поле (антенна — диполь) или магнитное (антенна — виток). Возможен и смешанный тип антенн, но он малоинтересен для георадара.

При обычной локации, когда почва зондируется с поверхности земли (или воды), применяются электрические антенны — диполи. По законам электродинамики, такие антенны, расположенные на границе двух сред, основную энергию излучают в более плотную среду, т.е. в почву или воду. Магнитная антенна в этом случае излучает энергию в противоположном направлении, в воздух, что противоречит задачам георадиолокации.

Дальнейшие эксперименты решили проводить с хорошо нам известными электрическими диполями, загерметизировав их в ящиках так, чтобы сверху них был воздух или среда менее плотная, чем вода. Напомним, что диэлектрическая проницаемость («электромагнитная плотность») воды максимальна среди обычных природных веществ и составляет 81.

Ящики были изготовлены из оргстекла. Их мы заполнили песком, насыпанным во множество матерчатых мешочков, для того, чтобы уменьшить плавучесть и электромагнитный резонанс. Когда на пляже детскими лопатками насыпали песок в мешочки, дети смотрели на нас с пониманием.

Но плавучесть прибора все равно была велика, и пришлось догружать его камнями. Камни брали на «Батарейке» (раскопе римской крепости), грузили на джип, везли до пляжа и сбрасывали в море, чем вызвали, как мы потом узнали, дискуссию среди местного населения об уровне наших умственных способностей и попытку понять, что же мы делаем.

Ящики утопить удалось. Сделали несколько профилей, прибор работал нормально. Но все заканчивалось тем, что из-за небольшого крена камни сползали с ящиков, и вся конструкция вместе с нами выпрыгивала из воды. Я никогда не видел аварийного всплытия подводной лодки, но, думаю, что у нас получалось что-то похожее.

У детей мы окончательно завоевали авторитет - наше неожиданное появление на поверхности вместе с ящиками приводило их в полный восторг!

Зиму посвятили разработке и изготовлению морских антенн. Это была конструкция подводной безэховой камеры. За разработку ее с огромным энтузиазмом взялись два старейших сотрудника одного из предприятий, еще помнивших эру военных заказов. Особенно их удивила наша просьба сделать антенну как можно тяжелее:

- Ваши требования диаметрально противоположны тому, что мы слышали на протяжении всей нашей трудовой деятельности!

В качестве поглотителя радиоволн были использованы бетонные блоки специальной формы с различными проводящими присадками, собственноручно изготовленные разработчиками:

- А мы уже и надежду потеряли, что наши знания кому-то потребуются!

Антенная система показала великолепные результаты, подтвердившие возможность морской радиолокации для археологических исследований, но была малотранспортабельна: ее вес составил более пятисот килограммов. Использование такой антенны на мелкой воде и среди водорослей было очень проблематично.

После первых же измерений стало понятным, что надо отказываться от привычных электрических антенн и переходить к магнитным. Дело в том, что на границе раздела вода-дно излучение магнитной антенны направлено в сторону дна, как в менее плотную по отношению к воде среду. При такой антенне безэховая камера, имитирующая воздушное пространство, уже не нужна.

Но мы пошли еще дальше — стали использовать саму воду в качестве проводника, по которому течет ток. Бокс, теперь предназначенный только для герметизации приемника и передатчика, стал маленьким и легким. По бокам его установлены электроды, подводящие сигналы от магнитной антенны, в качестве которой выступает морская вода.

Характеристики такой антенны оказались уникальными.

Во-первых, отсутствует «звон», определяемый ограниченными размерами антенны.

Во-вторых, «антенна» очень плотно прилегает ко дну, формируя хорошую диаграмму направленности.

Морской георадар новой конструкции легко буксируется моторной лодкой.

Среди задач, решенных морским радаром, можно выделить съемку на протяжении 12 км части Киммерийского вала, погрузившегося на дно залива.

Вероятно, мы были первыми, кто использовал георадар в морской воде. На конференции в Голландии после доклада за мной вышел почти весь зал — такой он вызвал интерес.

В аэропорту американец, участник конференции, не запомнивший моей фамилии, обратился ко мне как «Mister Underwater GPR» (Мистер Подводный Георадар).

При отработке методики подводных съемок периодически возникала необходимость наблюдать поведение радара на дне. Хотя с нами работали опытные дайверы, хотелось все видеть самому. По этому поводу прошел курс обучения в клубе «Акванавт». Занятия проходили в шестиметровом (это глубина) бассейне спорткомплекса «Олимпийский». Экзамены на «открытой воде» проходили в Египте, в Шарм-ал-Шейхе.

Сегодня у инструктора по дайвингу день рождения и он пригласил всех распить бутылку шампанского на дне Красного моря.

Корабль отошел от кораллового рифа в сторону берега и остановился там, где песчаное дно и глубина пятнадцать метров.

Все попрыгали за борт и собрались вокруг юбиляра. Тот на поверхности открыл бутылку, и, прикрыв ее пробкой, показал всем знак: большой палец вниз — погружение.

На дне все сдули свои жилеты-BCD, чтобы чувствовать под ногами твердую почву, и встали на коленях в кружок. Под водой эта поза — самая устойчивая.

Бутылка идет по кругу. Она горлышком вниз. Очередной участник торжества ее берет, вынимает изо рта загубник, открывает пробку и, в позе горниста на коленях, делает небольшой выдох. В ответ получает порцию шампанского, иногда, правда, смешанную с морской водой. Но все равно весело!

Потом были соревнования по бегу на дне. Использовалась олимпийская система отбора. Снимали ласты, отдавали соседу и пытались бежать. Трудное это дело! Всех, кто вставал на четвереньки, снимали

с забега за неспортивное поведение. Победил молодой парнишка, родители которого тоже участвовали в банкете. Победил, наверное, потому, что на глазах у родителей не решился на употребление алкоголя. Общеизвестно, что алкоголь и спорт несовместимы! (Кроме отдельных, очень редких случаев, об одном из которых упоминалось.)

Когда всплыли, все продолжали дурачиться и хором запели:

«Шумел камыш, деревья гнулись,

И ночка темная была.»

Подводный георадар в археологических исследованиях ниже дна моря

(Десятая международная конференция по георадарам, 21-24 июня 2004, Дельфты, Голландия.)

А.П. Абрамов (Институт Археологии РАН, Москва), А.Г. Васильев (Фонд подводных археологических исследований им. Блаватского, Москва, www.uwgpr.ru),

В.В. Копейкин, П.А. Морозов (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН. Троицк Московской обл., Россия moroz5@t50.ru, kopeikin@izmiran.ru)

В работе рассматривается история развития морской версии георадара ЛОЗА. Обсуждаются технические проблемы конструирования антенн. Приводятся последние результаты подводных археологических исследований.

Ключевые слова: *подводная антенна, георадар, среда с большой проводимостью.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость разработки нового мощного георадара стала нам очевидной после испытания российских и западных приборов в условиях подмосковных почв с высокой проводимостью. Мы пришли к выводу, что традиционные георадары со стробоскопическим преобразованием и маломощным транзисторным передатчиком с напряжением импульса 50 Вольт практически бесполезны на глинистых почвах средней полосы России. Такие приборы могут использоваться только в средах с низкой проводимостью (сухой песок, вечная мерзлота и т.д.)

Серия георадаров ЛОЗА разрабатывалась специально для почв с высокой проводимостью (влажная глина, суглинок). Чтобы увеличить реальный потенциал прибора мы увеличили пиковую мощность передатчика в 10000 раз и заменили стробоскопическую реги-

страцию сигнала прямой регистрацией в диапазоне рабочих частот. Заметим, что несмотря на увеличение пиковой мощности передатчика, его средняя мощность упала в 10 раз из-за уменьшения частоты повторения импульсов.

2. МОРСКАЯ ВЕРСИЯ ГЕОРАДАРА ЛОЗА

История морской версии георадара ЛОЗА началась с наших экспериментов в археологической экспедиции летом 2000 г.

Многие археологические объекты районе Таманского залива — косы Чушка (Черное море) находятся неглубоко под водой (0.5 — 1 м) в слое илистого песка и ракушечника глубиной до двух метров. Такое расположение объектов делает невозможным их обнаружение ультразвуковыми радарами или визуальным осмотром.

Попытки георадарного обследования с поверхности воды, как мы это делаем на пресных водоемах, дали обнадеживающие результаты. С помощью расположенного на поверхности радара мы получили сигналы с глубин 1- 2 метра через слой соленой морской воды до 0.3 м.

Чтобы работать в морской воде глубиной более 0.3 м, необходимо использовать неметаллические водонепроницаемые контейнеры, позволяющие располагать георадар прямо на дне. Такие контейнеры были разработаны и проверены в сезоне 2001 г. В двух ящиках из органического стекла располагались антенны, передатчик, приемник и регистратор. Приемный и передающий резистивно-нагруженные диполи длиной 1 м. помещались на дне ящиков. Контейнеры этой второй версии подводного георадара были громоздкими, неудобными и тяжелыми, что не позволяло проводить регулярные работы. Но полученные результаты подтвердили принципиальную возможность работы георадара, расположенного на дне моря в боксах, окруженных морской водой, на глубины в единицы метров.

Для летнего сезона 2002 г. были разработаны новые подводные боксы, учитывающие результаты предыдущих испытаний. Передающая и приемная антенны были помещены на дне двух боксов, заполненных специальным радиопоглощающим бетоном.

Регистратор третьей версии подводного георадара располагался вне подводной части прибора и был связан с приемником кабелем длиной 5 м.

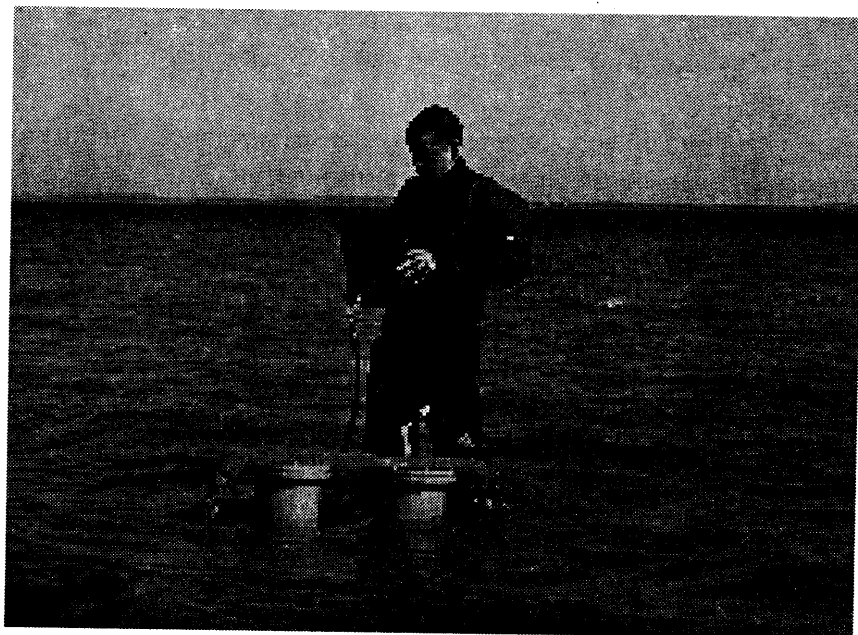


Рис. 1. Морская версия георадара ЛОЗА. Общий вид.

Испытания подводного георадара показали высокую эффективность его геометрии, так называемый «мягкий вход» волны в поглотитель стенок бокса. Это имело следствием отсутствие резонансов на внутреннем объеме контейнера. Основным недостатком третьей версии подводного георадара также был большой вес конструкции. Вес нейтральной плавучести превышал 500 кг. Это сильно затрудняло наземную и водную транспортировку прибора к месту работы. Хотя результаты экспериментов показали высокую эффективность радара, но неудобство работы с таким тяжелым прибором привело к необходимости пересмотра общей концепции антенн для морской воды с высокой проводимостью. Мы решили использовать проводимость среды для передачи и приема сигналов, т.е. использовать окружающую соленую морскую воду в качестве антенн. Технически

это было реализовано в виде пары сферических электродов по бокам боксов приемника и передатчика. Вес подводной части прибора снизился до 20 кг. Испытания показали, что новые антенны по всем показателям превосходят предыдущие. Общий вид морской версии георадара ЛОЗА показан на рис. 1.

3. АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ

Подводный георадарный комплекс, совместно с наземной версией, продолжил исследования, начатые в 2000 – 2001 г. в подводной части Таманского залива. В полевом сезоне 2001 г. был обнаружен большой объект, находящийся неподалеку от береговой линии косы Чушка. Георадарное обследование и подводный осмотр обнаружили глиняный фундамент шириной 15 м., частично выложенный камнями. Объект находился под слоем ила, песка и ракушечника.

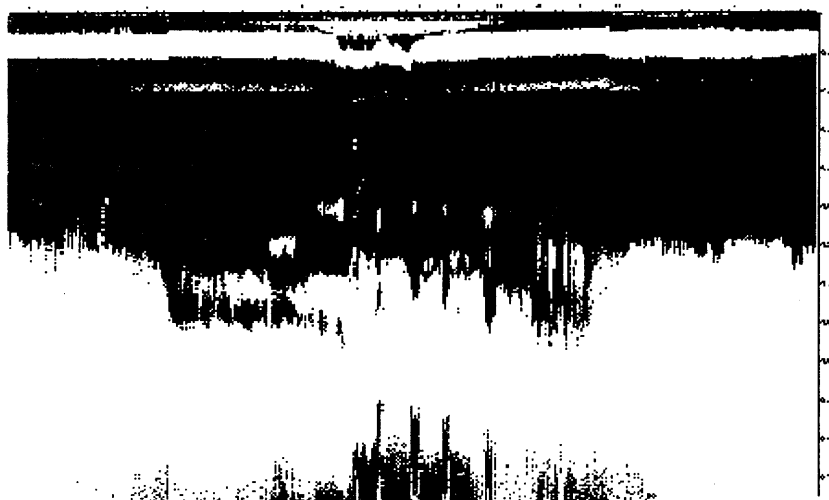


Рис. 2. Сечение на расстоянии 0.3 км. Глубина воды 0.5 м.

Анализ полученных результатов (структура, геометрия и размер объекта) позволил прийти к выводу, что это основание защитной стены.

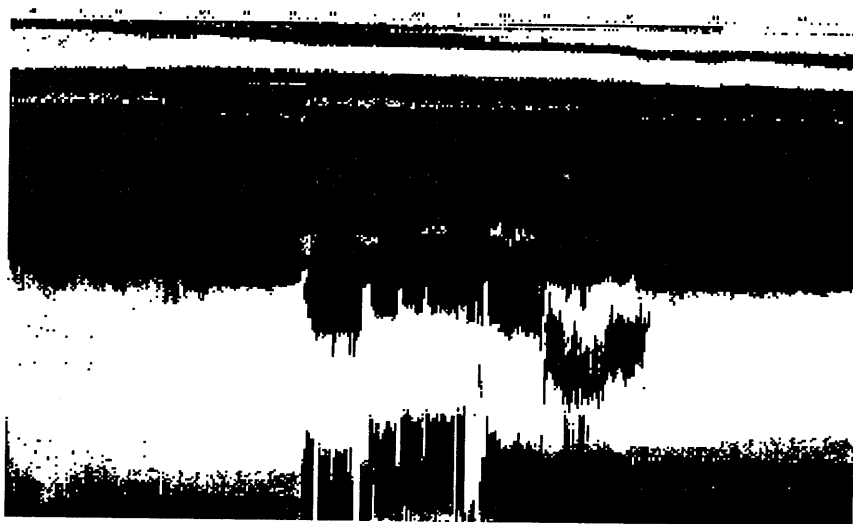


Рис. 3. Сечение на расстоянии 0.5 км. Глубина воды 0.7 м.

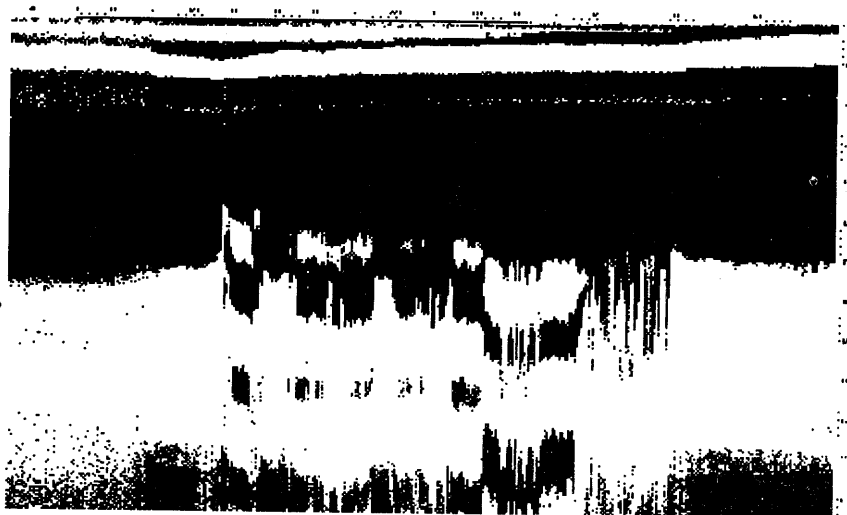


Рис. 4. Сечение на расстоянии 0.7 км. Глубина воды 0.8 м.

На Таманском полуострове есть частично сохранившиеся фрагменты стены, известные под названием Киммерийский вал. По словам К.К. Герца, один из первых исследователей северного черноморья Дюбо де Монпере назвал его Киммерийским, опираясь на слова Стробона: «В древние времена Киммерик был городом на полуострове, окруженный рвом и валом.» Герц сообщает: «Южно-восточный край полуострова Фонтан представляет собой древнюю стену, начинающуюся с крайнего северо-восточного угла Таманского залива, и идущий, как говорят, до Азовского моря, до станции Пересыпная... Ров, в половину морской сажени, довольно глубок».

Георадарные сечения Киммерийского вала были получены на 600, 200 и 100 метрах от уреза воды Таманского залива в западно–восточном направлении вдоль сохранившегося на берегу участка. Практически одинаковые сечения мы получили во время обследования протяженного подводного объекта возле косы Чушка. Десятки георадарных профилей позволили проследить его направление более чем на два километра от острова Лисий до восточного края острова Крупинина.

За сезон 2003 г. под водой Таманского залива мы получили более 50 георадарных сечений на расстоянии 12 км. Во всех сечениях, под слоями ила и песка, зарегистрировано основание вала шириной 15 метров, частично выложенное камнем, и двенадцатиметровый ров с южной стороны.

На рис. 2-11 приведены радарограммы Киммерийского вала, полученные со дна моря. Сигналы радара представлены в бинарной форме без обработки в шкале задержек от 0 до 256 нс.

Эти значения задержек, по нашим оценкам, соответствуют глубине под дном от 4 до 6 метров. Расстояния, указанные на подписях к рисункам, соответствуют участку стены от ее точки входа в воду на берегу залива. Эти рисунки позволяют оценить степень разрушения вала от морских штормов. Так, на рис. 2 — 3 можно наблюдать камни основания и ров с правой стороны вала. Начиная с рис. 4 ров уже не виден, а начиная с рис. 6 исчезают камни, унесенные водой. Здесь мы видим глиняное основание стены.

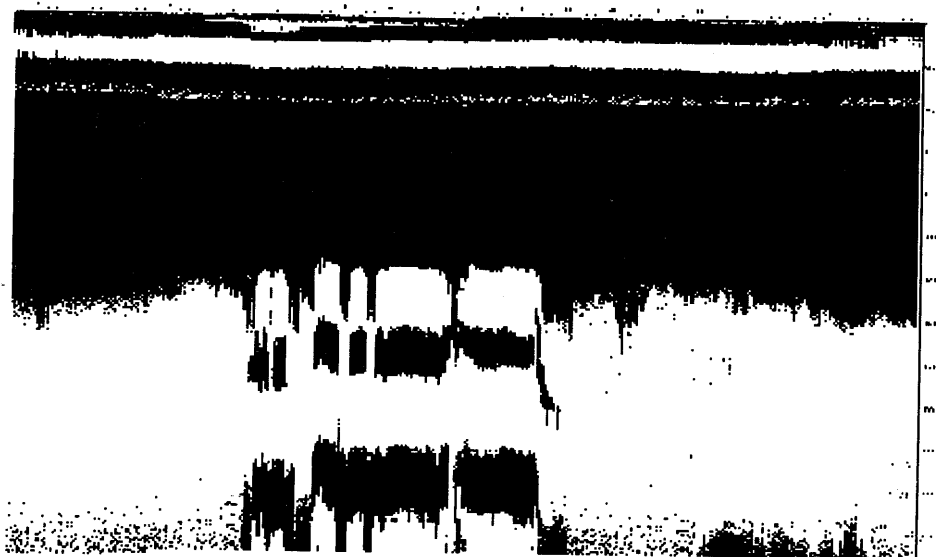


Рис. 5. Сечение на расстоянии 0.9 км. Глубина воды 1.0 м.

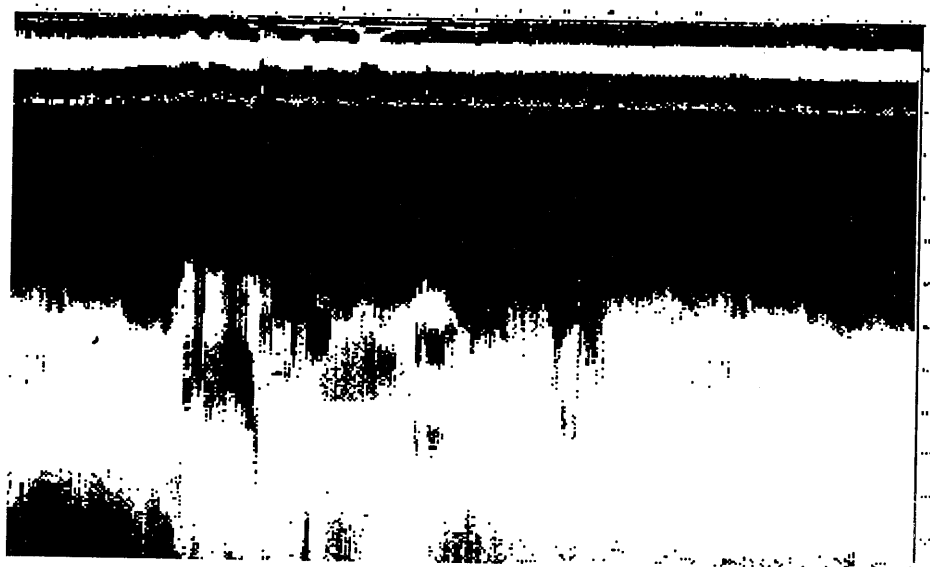


Рис. 6. Сечение на расстоянии 1.1 км. Глубина воды 1.2 м.

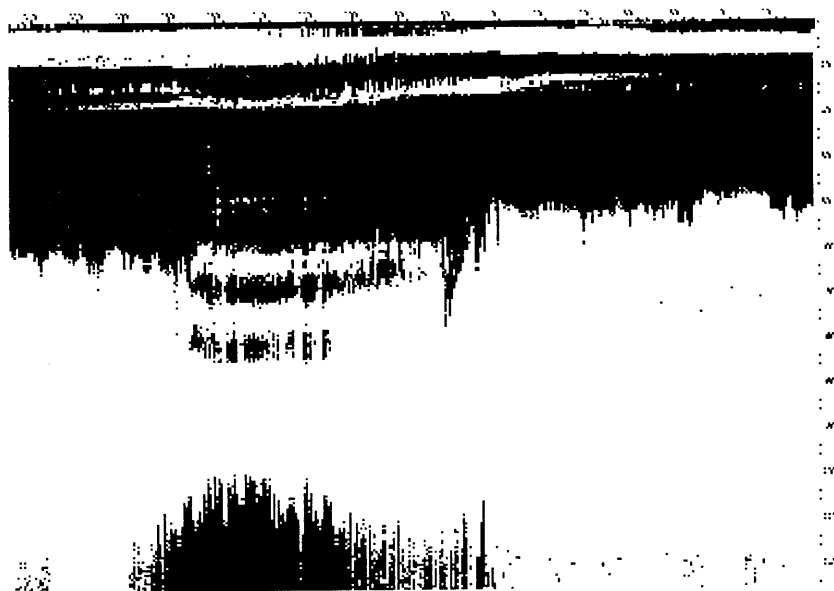


Рис. 7. Сечение на расстоянии 1.3 км. Глубина воды 1.9 м.

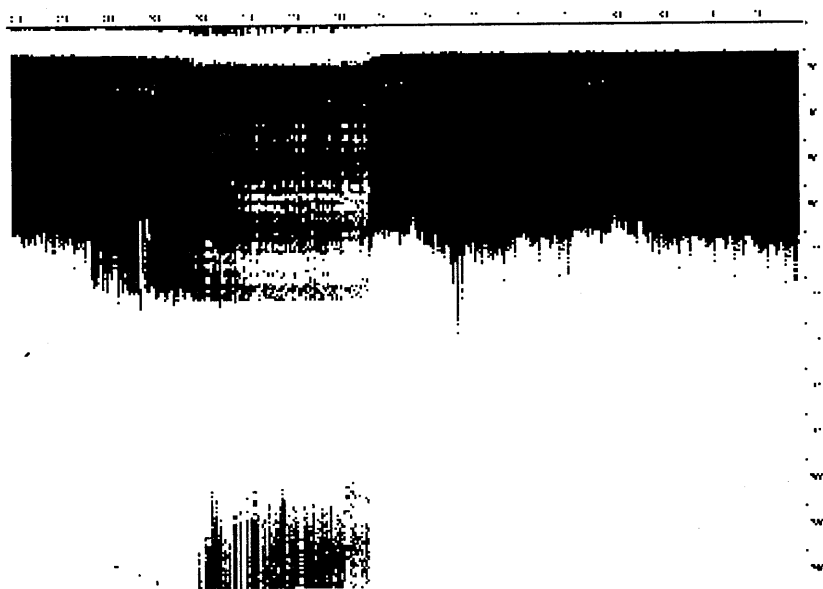


Рис. 8. Сечение на расстоянии 1.5 км. Глубина воды 2 м.

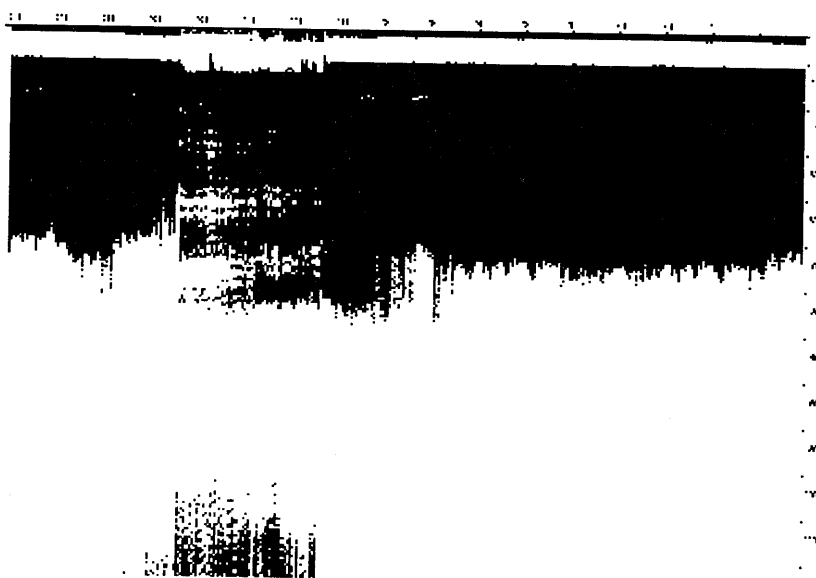


Рис. 9. Сечение на расстоянии 1.7 км. Глубина воды 1.9 м.

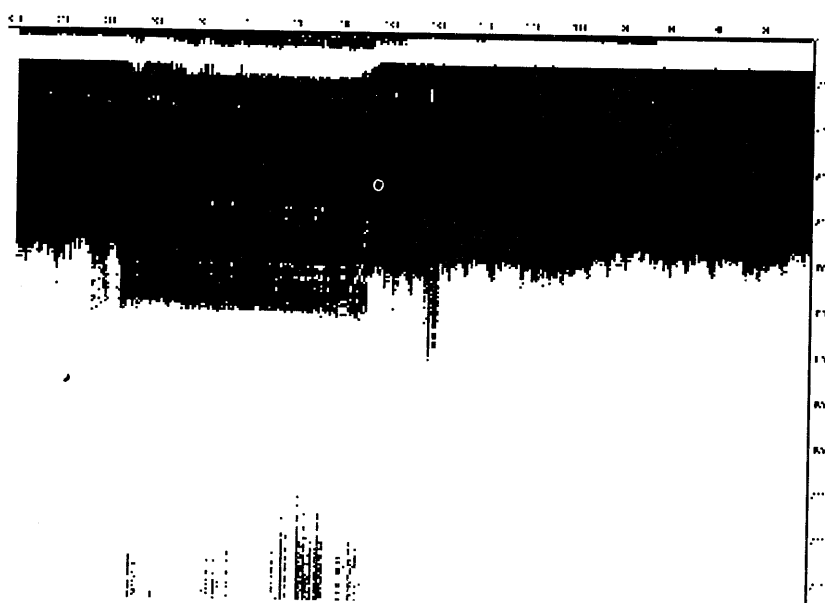


Рис. 10. Сечение на расстоянии 10.8 км. Глубина воды 2.2 м

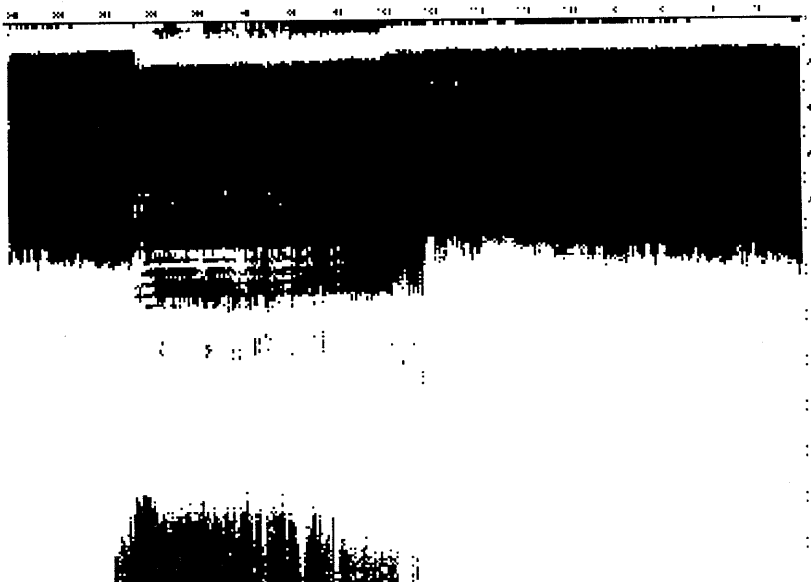


Рис. 11. Сечение на расстоянии 11 км. Глубина воды 2.5 м.

Размеры стены и рва позволяют нам сделать заключение, что обнаруженный подводным георадаром вал является продолжением Киммерийского вала, фрагментарно сохранившегося до наших дней на поверхности. Мы считаем, что раньше это было оборонительное сооружение, описанное Страбоном. (*Книга 11, Глава 2*).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] А.Г. Васильев, В.В. Копейкин, П.А. Морозов. Георадар в подводных археологических исследованиях. Древности Боспора. М.: №5, 2002.
- [2] Древности Кимерика Боспорийского. Изд. дом Эрмитаж, СПб, 1854, с. СXXXIV.
- [3] В.Д. Блаватский. Очерки военной науки в северных античных государствах Черного моря. М.: АН СССР, 1954, с. 103.
- [4] К.К. Герц. Археологическая топография Таманского полуострова. М.: 1870, с.103.
- [5] Страбон. География. Перевод Г.А. Стратановского. М.: 1994, 494 с.
- [6] Dubois de Montpereux. Voyage autour du Caucase. Paris, 1843, Atlas V, p. 34.