

Бузин В.Б.,
Гарбацевич В.А.,
Едемский Д.Е.,
Попов А.В.,
Прокопович И.В.,
Хуторской А.В.

Фото из архива экспедиции

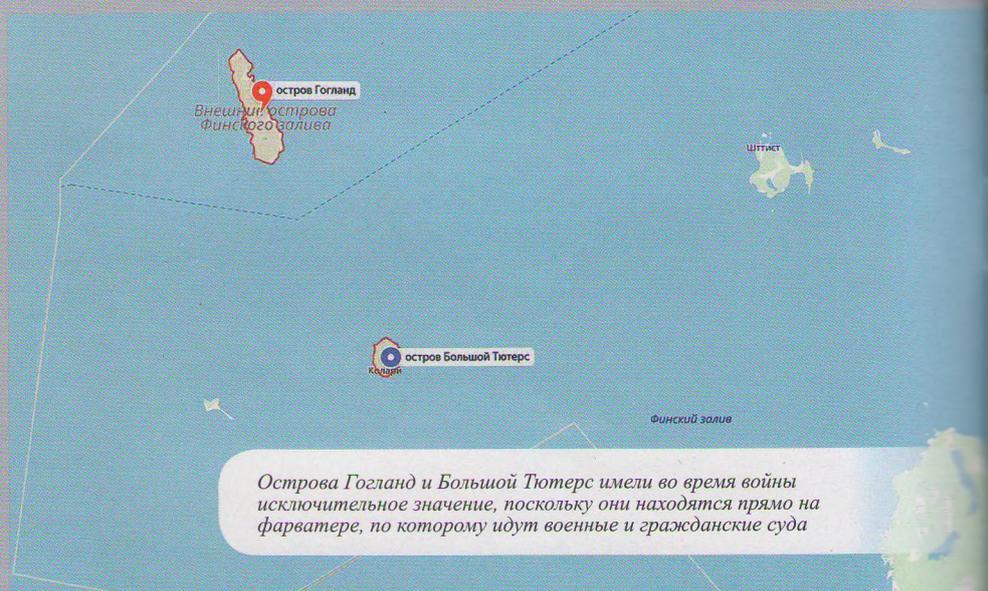
Применение высокоточной магнитометрии и мощного георадара для поиска объектов военно-технической истории

Ученые Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), имеющие богатый опыт организации и проведения измерений, принимали участие во многих международных проектах и экспедициях на всех континентах, включая Антарктиду, на всех океанах, включая подводные измерения, а также были первопроходцами в космических экспериментах. В этом году, 15 мая 2018 года, исполнилось 60 лет с запуска 3-го искусственного спутника Земли, на котором сотрудниками ИЗМИРАН был установлен магнитометр и впервые в мире проведены магнитные измерения в космосе.

В течение ряда лет специалисты ИЗМИРАН участвуют в археологических и поисковых экспедициях по поиску и обследованию объектов военно-технической истории, выполняемых государственными и общественными организациями. Активное участие в данных работах принимают сотрудники отдела распространения радиоволн и отделов постоянного и переменного поля Земли. В 2016 году руководителями ИЗМИРАН и Экспедиционного центра Министерства обороны подписано соглашение о сотрудничестве, которое призвано укрепить взаимодействие Академии Наук и ЭЦ МО

и вывести на качественно новый уровень организацию и проведение экспедиций. Два года взаимодействия дали свои положительные результаты.

Основные решаемые задачи в проведенных экспедициях – обследование инженерных и фортификационных сооружений, поиск объектов военно-технической истории (ОВТИ) геофизическими методами. Исходя из особенностей задач, специфики объектов и мест проведения работ, а также в связи с необходимостью получать результаты непосредственно в полевых условиях, в качестве геофизических методов обследования были выбраны магниторазведка и георадиолокация.





Экспедиция «Гогланд» на острове Большой Тютерс



Размещение площадок проведения детального обследования на предмет нахождения объектов ВТИ

тием георадарной системы, разработанной сотрудниками ИЗМИРАН под космический проект «Марс-94». В настоящее время данный георадар является одним из самых мощных (по энергии излучаемого импульса) среди подобных приборов: импульсная мощность передатчика 1 МВт (пиковый потенциал 5 кВ), глубина зондирования более 20 метров.

Совместное использование высокоточной магнитометрии и георадара повышенной мощности дает хорошие результаты при поиске ОВТИ в различных средах и условиях съёмки. Магнитометрия и радиолокация работают на разных физических механизмах. В основе магнитометрии – обнаружение вариаций постоянного магнитного поля Земли, вызываемых

Несмотря на то, что в институте выполняются работы по созданию уникальных кварцевых, квантовых, феррозондовых и криогенных магнитометров, для проведения полевых измерений было достаточно использовать коммерческий пешеходный магнитометр «МИНИМАГ» (АО «Геологоразведка», г. Санкт-Петербург) – одноканальный протонный магнитометр, предназначенный для измерения модуля вектора магнитной индукции геомагнитного поля при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых.

Для проведения георадиолокационных обследований использовался георадар «Лоза-В» (ООО «Компания ВНИИСМИ»), который является разви-

локальными неоднородностями и объектами. Радиоволновой метод предполагает излучение короткого электромагнитного сигнала и анализ регистрируемых отражений от электрически контрастных неоднородностей среды и техногенных объектов. Эти два метода взаимно дополняют друг друга и позволяют с большей эффективностью проводить исследования, повышая, таким образом количество обнаруживаемых объектов и понижая долю ложных «находок».

Работы по поиску ОВТИ выполнялись в рамках совместной экспедиции Русского географического общества и Экспедиционного центра Министерства обороны Российской Федерации в апреле–мае 2018



Работы выполнялись в рамках совместной экспедиции Русского географического общества и Экспедиционного центра Министерства обороны РФ

года в Национальном парке Угра и на острове Большой Тютерс (Финский залив).

Остров Большой Тютерс находится в центральной части Финского залива, он расположен в 75 км от побережья Финляндии и в 18 км к юго-востоку от острова Гогланд и входит в состав Кингисеппского района Ленинградской области. В основании острова залегают граниты Балтийского щита, сверху перекрытого маломощными песчаными отложениями. На восточной оконечности острова, находятся песчаные дюны, вытянувшиеся с юга на север почти на километр.

Еще в начале Великой Отечественной войны финны и немцы захватили архипелаг, расположенный в самом центре Финского залива. Острова Гогланд и Большой Тютерс при этом имели исключительное значение, поскольку они находятся прямо на фарватере, по которому идут военные и гражданские суда. Большой Тютерс в годы войны, представлял собой хорошо укрепленную гранитную цитадель. Там появилась мощная немецкая батарея для борьбы с советским флотом и зенитные батареи для защиты острова от нашей авиации. Фашисты завезли на остров огромное количество боеприпасов.

В 1944 году, когда Финляндия подписала мирный договор с СССР, Большой Тютерс был спешно оставлен немцами. Уходя, они заминировали остров и взорвали почти всё, что могло представлять хоть какую-то ценность. С тех пор Большой Тютерс семь раз разминировали, даже с привлечением Шведского агентства спасательных служб (ШАСС). Сапёры обезвредили 31 873 взрывоопасных предмета, а в 2015 году еще 724 боеприпаса времен Второй мировой войны. Однако на острове еще находятся боеприпасы времён войны.

Известно, что некоторые объекты (например, снаряды) имеют разный магнитный отклик в зависимости от ориентации их оси относительно направления магнитных силовых линий Земли. Если таких объектов много, и они хаотично расположены относительно друг друга, то по изменению магнитного поля над ними невозможно будет с приемлемой достоверностью сказать о размерах объектов и глубине их залегания. В этом случае может помочь георадиолокация.

В процессе проведения измерений на о. Большой Тютерс была обнаружена локальная аномалия магнитного поля, превышающая фоновые значения поля более чем на 150 нТл. Оценка глубины залегания локальной неоднородности по данным магнитометрии двумя различными методами дала разные результаты. Методом касательных была определена глубина залегания верхней кромки объекта в диапазоне от 1,0 до 1,3 метра (рис. 2в), а анализ изменения магнитного поля с расстоянием дал оценку глубины залегания объекта в 2,2–2,8 метра.

Сопоставление данных георадиолокации (рис. 2а) и магнитных измерений (рис. 2в) позволило оценить более детально характеристики аномалии. По характеру отражений электромагнитного сигнала (рис. 2а) можно предположить, что объект или имеет сложную форму или состоит из отдельных локальных фрагментов. По данным георадиолокации глубина залегания верхней кромки основного тела объекта находится на глубине от 1,2 до 1,5 м. Нижняя точка объекта расположена на глубине порядка 4,5–5 метров. По результатам площадной георадарной съёмки размеры объекта в плане не превышают 3×4 м.

Проведённые предварительные раскопки подтвердили результаты измерений. Были обнаружены

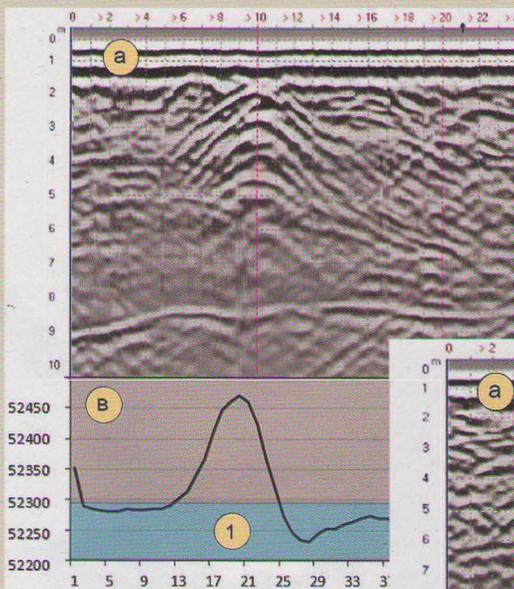


Рис. 2

деревянные ящики с цинками снарядов для зенитной пушки «Эрликон» FlaK-28.

Следует отметить, что по одним лишь данным магниторазведки без применения дополнительных методов обследования не всегда можно правильно интерпретировать полученные результаты. В процессе проведения предварительного обследования в 2017

году была выявлена крупномасштабная магнитная аномалия, которую интерпретировали как крупный объект, залегающий на глубинах более 3 метров. Для этого были основания, так как в 50-ти от него метрах была обнаружена зенитная пушка на колес-

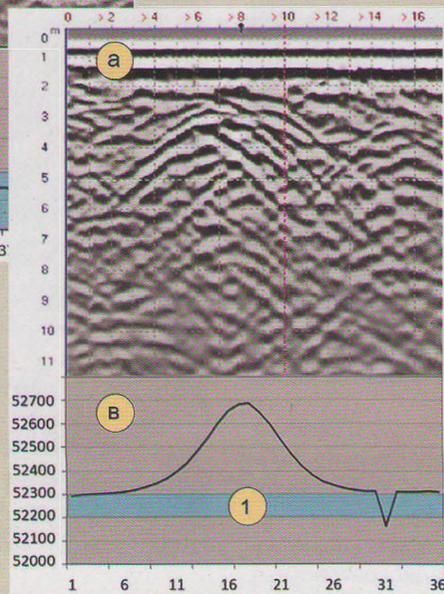


Рис. 3

ном шасси, магнитный образ которой был близок по своим параметрам к зарегистрированной аномалии.

Для комплексного обследования была определена площадка 10×30 метров и выполнена высокоточная магнитная съёмка с шагом 50 см по профилю, с размещением параллельных профилей на расстоянии 100 см друг от друга. Магнитная съёмка показала, что в центре площадки однозначно фиксируются несколько локальных объектов неглубокого подповерхностного размещения и две другие локальные аномалии, одну из которых и интерпретировали как массивный объект глубокого залегания. Оценка глубины залегания по магнитным данным двумя различными методами показала, что глубина залегания верхней точки объекта составляет от 1,5 до 5 метров, а центральная часть аномалии расположена на глубине ~ 7,4 метра.

В районе максимума напряжённости магнитного поля была проведена георадарная площадная съёмка, а через точку с максимальным значением

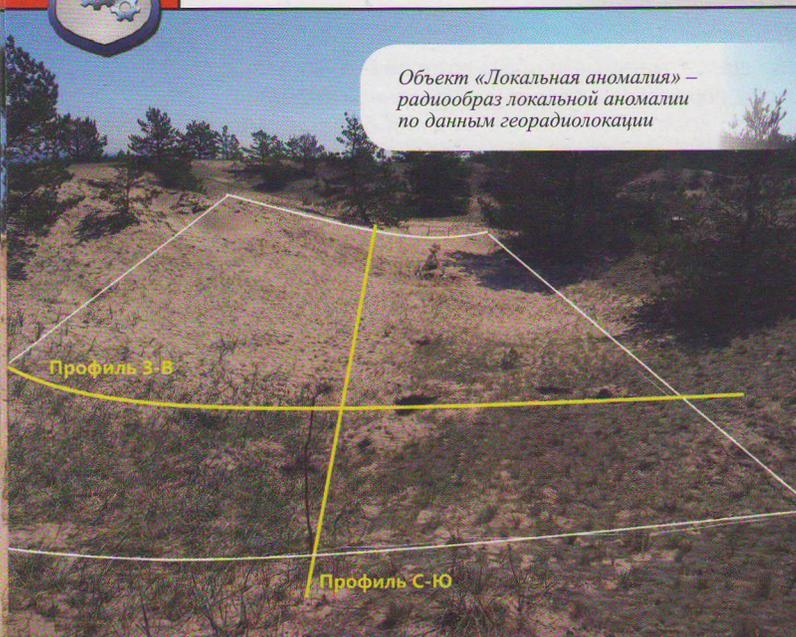
магнитного поля проложены два взаимно перпендикулярных георадарных профиля. Результаты георадарной съёмки зафиксировали V-образную воронку глубиной не менее 3-х метров, заполненную однородным слоем песка. Стенки воронки радиоконтрастны



Объект «Склад боеприпасов», результаты предварительного раскопа – снаряды для зенитной пушки FlaK-28



ТЕХНОЛОГИЯ ПОИСКА



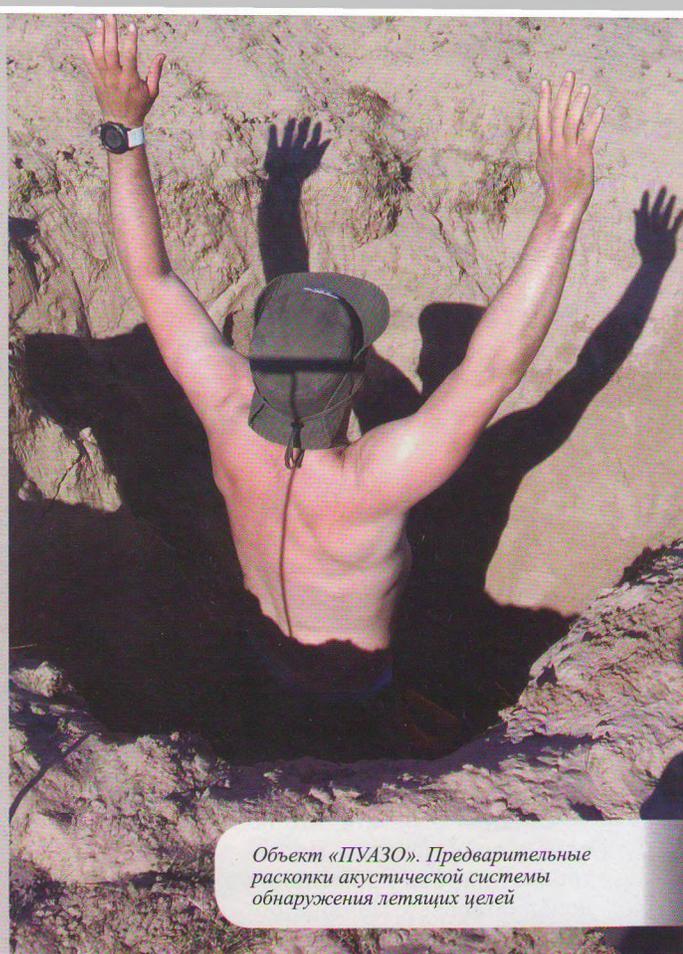
Объект «Локальная аномалия» – радиообраз локальной аномалии по данным георадиолокации

и содержат множество локальных неоднородностей. Трёхмерное (3D) георадарное моделирование показало эллипсоидальную форму воронки. Координаты центра воронки практически совпадают с максимумом магнитного поля данной аномалии. Георадиолокация не выявила локальных радиоконтрастных крупномасштабных неоднородностей на глубинах до 7 метров.

По результатам проведенных исследований данную аномалию можно интерпретировать как воронку, возникшую в результате взрыва, а боковые стенки воронки содержащие осколки металла, формируют данную магнитную аномалию.

По мнению руководителей экспедиции, не все объекты, входящие в зенитный комплекс ПУАЗО (акустическая система управления артиллерийским зенитным огнём), располагавшийся на дюнах, обнаружены. Вероятность их эвакуации при отступлении немецких войск составных частей комплекса мала, так как даже самые ценные зенитные орудия остались на боевых позициях.

Была проведена в свободном поиске магнитная разведка в южной части песчаных дюн и обнаружена аномалия магнитного поля, превышающая на



Объект «ПУАЗО». Предварительные раскопки акустической системы обнаружения летящих целей



Система ПУАЗО за работой...



Площадка проведения обследования и обнаруженной номерной детали самолёта

400–500 нТл фоновые значения. Величина, характер возрастания и спада аномального значения поля позволили предположить наличие массивного металлосодержащего тела на глубинах более 3-х метров. Для уточнения параметров объекта и условий его залегания была проведена площадная высокоточная магнитная съёмка и проложены георадарные профили через предполагаемое место размещения объекта (рис. 3а,в). Сопоставление данных георадиолокации и магнитных измерений дало возможность уточнить место залегания массивного металлического объекта на глубине более 3–3,5 м.

Оперативно проведенные предварительные раскопки подтвердили наличие техногенного объекта, верхние части которого залегают на глубине около 3-х метров. По отдельным поднятым на поверхность деталям объекта можно предположить, что это акустическая система для управления артиллерийским зенитным огнём или прожектор на металлической раме, входящий в комплекс управления артиллерийским огнём. Раскопки и подъём объекта запланированы на предстоящую экспедицию.

Чаще всего поиск ОВТИ происходит на полях бывших сражений, где в земле продолжают лежать многочисленные «свидетели» – осколки снарядов, пули, части уничтоженного оружия и амуниции. В основном обнаруживаются регистрируемые магнитометром металлосодержащие объекты, лежащие в верхних слоях грунта. С учётом того, что магнитное поле убывает

как третья степень расстояния, большое количество таких «объектов» в приповерхностном слое грунта может полностью маскировать более крупные нижележащие объекты, представляющие для изыскателей большой интерес. В этом случае приходится проводить подготовительные работы – очистку обследуемой площадки от металлосодержащих предметов неглубокого залегания.

Другая экспедиция была проведена при участии специалистов ИЗМИРАН в апреле 2018 года в Калужской области для уточнения известного по рассказам местных жителей места падения советского боевого самолёта во время Великой Отечественной войны. Необходимо было подтвердить место падения самолёта, установить тип самолёта и восстановить фамилии погибших членов экипажа. Для этого, как минимум, необходимо было найти двигатель самолёта или иные номерные детали, по которым можно было бы восстановить через архивы все данные о самолёте и его экипаже.

При обследовании на берегу реки Ужайка в Национальном парке «Угра» места предполагаемого падения самолёта была обнаружена воронка от удара о землю самолёта и большое количество мелких металлических элементов неглубокого залегания, многие из которых могли принадлежать упавшему самолёту. Результаты площадной магнитной съёмки одного из участков места падения машины выявили тёмные пятна на магнитограмме – это локальные



неоднородности приповерхностного залегания. Крупных локальных неоднородностей на обследуемых участках магнитная съёмка не выявила.

На выделенном участке проведена георадарная съёмка. На георадарном профиле фиксируется две границы раздела сред, профиль представлен тремя слоями, нижний из которых, является кровлей известняков. Крупные части самолёта при падении на землю образуют воронку, нарушая плоскостную структуру подповерхностной среды. С помощью георадара можно обнаружить эти нарушения и тем самым локализовать возможные места падения крупных элементов самолёта, например, двигателя.

Результаты площадной георадарной съёмки также не выявили локальных неоднородностей, нарушающих границы раздела сред, которые могли бы произойти при падении крупных частей самолёта.

Тем не менее, при детальном обследовании всех металлосодержащих аномалий, выявленных в результате магнитной съёмки, были обнаружены многочисленные мелкие фрагменты дюрала, отдельные стальные фрагменты узлов и агрегатов советского производства. Крупных узлов, агрегатов, в том числе двигателей не обнаружено. В процессе осмотра фрагментов самолёта выявлены две повреждённые детали, сохранившие номерные данные – дюралевое полукольцо с номером «1 045-525» и стальная деталь с дюралевым хомутом с номером «223019». При работе с ОБД «Мемориал» и по информации, полученной от историков авиации проекта «Небо Родины» «Поискового движения России», установлено, что выявленные фрагменты деталей, узлов и агрегатов принадлежат двухмоторному бомбардировщику Ер-2 № 1706, моторы №№ 045-525 и 045-441, входившему в состав 421-го ДБАП 81-й АД. По архивной информации: «6 октября 1941 г. в ходе выполнения боевого задания по бомбардировке колонн мотомехвойск противника в районе дороги Чипляево – Юхнов (30 км севернее г. Спасс-Деменск) самолёт сбит с земли зенитной артиллерией, сгорел в 10–12 км юго-

западнее г. Юхнов». Экипаж: летчик – капитан Андреев Виктор Дмитриевич, 1912 г/р, – погиб; штурман – капитан Чипура Иван Павлович, 1907 г/р, выпрыгнул с парашютом, погиб 17.02.1942; воздушный стрелок-радист – младший сержант Козеня Сергей Гиколович, 1919 г/р, – погиб; воздушный стрелок – сержант Егоренков Иван Дмитриевич, 1918 г/р, – погиб.

Заключение

Использованный геофизический комплекс приборов – магнитометр и георадар, показал хорошие результаты и позволил в режиме реального времени локализовать ОБТИ, провести оценку глубины и условия их залегания.

В результате работ, проведенных на острове Б. Тютерс в рамках комплексной экспедиции Русского географического общества «Гогланд» и при содействии Экспедиционного центра МО РФ, выполнен большой объём геофизических наблюдений, в результате которых обнаружены два склада с боеприпасами, землянка, установка, входящая в состав зенитно-артиллерийского комплекса (предположительно акустическая система для управления артиллерийским зенитным огнём). Выделен ряд перспективных площадок для проведения дальнейших раскопок. Глубина залегания объектов от 1 до 4–5 метров.

Георадарные исследования проводились при поддержке РФФИ, грант № 18-02-00185.

Список литературы

1. Kopeikin V.V., Edemsky D.E., Garbatsevich V.A. et al. Enhanced Power Ground Penetrating Radars // Proc. 6th Internat. Conf. on GPR. Sendai, Japan. 1996. P. 152–154.
2. Едемский Д.Е., Едемский Ф.Д., Морозов П.А. Профилирование и определение параметров среды при проведении георадарных обследований // Электромагнитные волны и электронные системы. 2010. Т. 15. № 9. С. 57–63.

