DOI: 10.25698/UGV.2018.1.5.34 УДК 550.837 + 550.838

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИИ И ПРИВЯЗКИ К МЕСТНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Угрюмов И.А. – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. В статье рассматривается вопрос повышения эффективности геофизических методов путем автоматизации процесса измерений. Предложена структурная схема автоматизированного комплекса для сбора геофизической информации для методов магнитометрии, электрометрии, поля естественной радиоактивности, приведены данные опытных работ на инженерно-геологических и археологических объектах.

Геофизические методы, магнитометрия, электрометрия, поле естественной радиоактивности, автоматизация измерений, геологические и археологические объекты.

THE AUTOMATIC SYSTEM TOREGISTRATIONS AND LICATION TO TERRIAN GEOPHISICAL DATA

Ugryumov I.A. – Institute of Geophysics UB of RAS, Yekaterinburg

Abstract. In article is considered question of increasing to efficiency of the geophisical methods by way to automations of the process of the measurements. Is given proposal structured scheme of the automatic complex for collection of geophisical information for magnetic methods, the electric methods, field to natural radioactivity. Experienced work are shown on engineering-geological and archeological object.

The geophisical methods, the magnetic methods, the electric methods, field to natural radioactivity, automation of the measurements, geological and archeological objects.

Введение

Роль геофизических методов при решении геологических задач настолько значительна, что геофизические методы применяются практически на всех стадиях геологоразведочных исследований, способствуя повышению их эффективности и снижению затрат на их проведение.

Kniga.seluk.ru

Приведенная выше цитата в полной мере соответствует геологическим задачам по поискам и разведке полезных ископаемых, изучения строения земной коры и мантии. Однако в смежных областях, например в инженерной геологии и археологии, геофизические методы исследований применяются не всегда. На это имеются объективные и субъективные причины. К объективным можно отнести значительно более скромный бюджет инженерно-геологических и тем более археологических задач, к которым в то же время предъявляются повышенные требования к точности и надежности результатов геофизических исследований. Субъективная причина – это слабая информированность руководителей многочисленных инженерно-изыскательских организаций о возможностях геофизики. Как правило, геофизические исследования включаются в состав инженерно-геологических изысканий только в том случае, если это непосредственно предписано ГОСТом или СНИПом, и в условиях жесткой конкуренции и экономии рассматриваются как лишние дополнительные затраты. В археологии интерес к геофизическим методам разведки постепенно растет, однако часть исследователей в нашей стране считают их неприемлемы-

ми, так как они нарушают сложившиеся в археологии традиционные методики проведения работ. Эти настроения отразились на законодательном уровне. Так в 2013 году статья 7.15 Кодекса об административных правонарушений РФ, устанавливающая ответственность за «*ведение археологических разведок или раскопок без разрешения…*», была дополнена понятием использования для поиска специальных технических средств. «*Под специальными техническими средствами поиска в настоящей статье понимаются металлоискатели, радары, магнитные приборы и другие технические средства, позволяющие определить наличие археологических предметов в месте залегания*». Путем разрешения этих противоречий может быть создание геофизического аппаратурно-методического комплекса, ориентированного на инженерно-геологические и археологические исследования, который бы мог максимально автоматизировать сбор и обработку геофизических данных (магнитных, электромагнитных, радиоактивного фона и др.), обеспечить их хорошую топографическую привязку с учетом рельефа местности. Это позволит собирать большие объемы информации, и тем самым полно и точно решать геологические задачи так, что полученный эффект применения геофизических методов разведки при их низкой себестоимости должен развеять сомнения многих скептиков.

Состав аппаратуры

Для решения вышеперечисленных задач в Институте геофизики разработана автоматизированная система регистрации и привязки к местности геофизических данных (*АСРиПГД*) (далее по тексту – Система). В настоящее время многие современные геофизические приборы (магнитометры) снабжены навигаторами, что позволяет сразу определять координаты пунктов измерений, однако, как правило, погрешность таких навигаторов лежит в метровом диапазоне, что не обеспечивает необходимую точность топографических привязок при детальных съемках. В предлагаемой Системе устранен этот недостаток, она представляет собой гибкий программно-аппаратурный комплекс, позволяющий осуществлять регистрацию геофизических данных и производить их спутниковую привязку к местности с точностью до 0,1 м. Аппаратура создана на основе микроконтроллеров, систем передачи данных и навигации GPS/ГЛОНАС, компактна и рассчитана на проведение измерений в движении. Тип регистрируемых данных определяется типом датчика, подключенного к входу Системы. Состав Системы представлен на рис. 1.

Полевой компьютер осуществляет управление всеми режимами работы Системы, синхронизирует и осуществляет запись в файл на твердотельный накопитель геофизических данных, координат точек

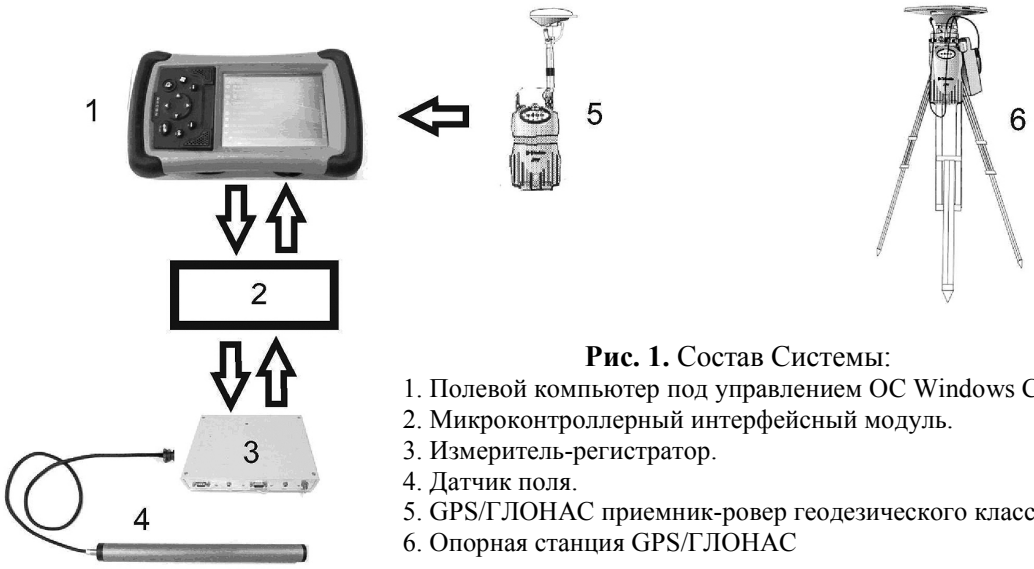

Рис. 1. Состав Системы:
1. Полевой компьютер под управлением ОС Windows CE.
2. Микроконтроллерный интерфейсный модуль.
3. Измеритель-регистратор.
4. Датчик поля.
5. GPS/ГЛОНАС приемник-ровер геодезического класса.
6. Опорная станция GPS/ГЛОНАС

наблюдения и вспомогательных параметров, характеризующих качество наблюдений. На сенсорном экране можно в реальном времени наблюдать процесс регистрации в графическом и цифровом виде.

Микроконтроллерный интерфейсный модуль обеспечивает коммуникацию и передачу данных полевому компьютеру по интерфейсам COM, USB или BlueTooth, а так же осуществляет управление измерителем-регистратором по командам полевого компьютера.

Измеритель-регистратор обеспечивает работу датчика поля, осуществляет необходимое усиление сигнала и преобразование аналоговых данных в цифровой код.

Датчик поля преобразует значения поля (магнитного, электрического, электромагнитного) в электрический сигнал. Могут использоваться датчики как от серийно выпускаемой геофизической аппаратуры (совместно с измерителем регистратором), так и специальные.

GPS/ГЛОНАС приемник-ровер осуществляет прием сигналов навигационных спутников, вычисление координат точек наблюдения и передачу этих данных полевому компьютеру вместе с метками точного времени, так же запись данных на карту памяти для вычисления координат при постобработке.

Опорная станция GPS/ГЛОНАС осуществляет прием сигналов навигационных спутников, вычисление и передачу поправок приемнику-роверу, а так же запись данных на карту памяти для вычисления координат при постобработке.

Основу системы составляет программное обеспечение полевого компьютера, разработанное автором, а так же аппаратные и программные средства микроконтроллерного интерфейсного модуля, работающие совместно.

Опытные работы

Первое пробное применение *АСРиПГД* было осуществлено в ходе экспедиции Ямал-Арктика 2013. Решались две задачи: первая – площадная магнитная съемка небольших участков на побережье Обской губы с целью выбора места заложения пункта наблюдения за вековым изменением магнитного склонения, вторая – оценка радиоактивного фона вдоль береговой линии с целью поиска мест возможного радиоактивного загрязнения. В экспедиции 2013 года в составе Системы было использовано следующее оборудование: полевой компьютер RECON (процессор Intel PXA255, 200 МГц, ОЗУ 64MB, Flash 128MB), интерфейсный модуль версия 1.1, для магнитных измерений – цезиевый датчик квантового магнитометра М33, для измерений радиоактивности – в качестве измерителя-регистратора радиометр СРП 68, навигационное оборудование – GPS/ГЛОНАС приемники роверная и опорная станции – ProMark200 (любезно предоставленные компанией АО «ПРИН» для испытаний). Использование Системы позволило оперативно выполнить магнитную съемку на трех участках, а так же измерить уровень естественной радиоактивности на нескольких десятках километров береговой линии. Шаг наблюдений составил порядка 1 м, измерения выполнялись одним оператором при пешем передвижении со средней скоростью 3–5 км/ч при частоте записи одно измерение в секунду. В итоге были выполнены измерения магнитного поля в ~2500 точках и более 50 000 точек измерений естественной радиоактивности.

Анализ полученных материалов показал эффективность применения *АСРиПГД* и выявил необходимость некоторых доработок. Доработки касались в основном порядка обмена данными с измерителем-регистратором и записи дополнительных параметров (характеризующих качество измерений) в файл данных.

Следующим этапом опытных работ с Системой было ее использование в электроразведке для метода дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП) в задачах инженерных изысканий и археологии. Был доработан микроконтроллерный интерфейсный модуль для стыковки его с измерителем индукционного прибора ЭФА (электронный фиксатор анизотропии, г. Днепропетровск). ЭФА представляет со-

бой ортогонально размещенные на штанге генераторный и измерительный диполи. В модификации ДЭМП генераторный диполь ориентируется вертикально, приемный – горизонтально, в направлении радиальной компоненты электромагнитного поля. Для удобства передвижения длина штанги была выбрана 5 м. Съемка выполняется оператором и помощником непрерывным перемещением установки по профилю, точка записи относится к середине установки, частота записи одно измерение в секунду.

Работы с Системой в такой конфигурации были проведены в рамках инженерных изысканий на объекте: «Базовая станция BTS-66-790GU сети подвижной радиотелефонной связи стандартов GSM-900/UMTS-2100 на окраине г. Полевской, "Малаховая гора" (юго-западный склон)». Цель изысканий – определение глубины залегания скальных грунтов или мощности рыхлых отложений на участке строительства. Были выполнены работы методом ДЭМП – 948 точек наблюдения и ВЭЗ – 20 точек наблюдения с разносами АВ/2 до 40 м. Результаты представлены на рис. 2 в виде плана относительной продольной проводимости грунтов на участке по результатам ДЭМП (*а*) и плана участка с определением глубины залегания кровли коренных пород по результатам ВЭЗ (*б*). Можно легко видеть хорошую корреляцию аномалий повышенной продольной проводимости в северо-западной части участка с увеличением мощности рыхлых отложений. Точки зондирований ВЭЗ 1–5, 14–15. Конечно, метод ДЭМП в данной реализации с прибором ЭФА дает только качественную оценку электрических свойств исследуемой площади, в отличие от ВЭЗ, нельзя определить параметры разреза, однако оперативно оценить неоднородности грунтов и выбрать местоположения точек зондирований методом ВЭЗ вполне возможно.

Сравним производительность методов. Время, затраченное на выполнение измерений с использованием Системы методом ДЭМП (948 измерений, одно измерение в секунду), составляет немногим более 15 минут (больше времени уходит на развертывание аппаратуры). Бригада состоит из двух человек – оператор и помощник.

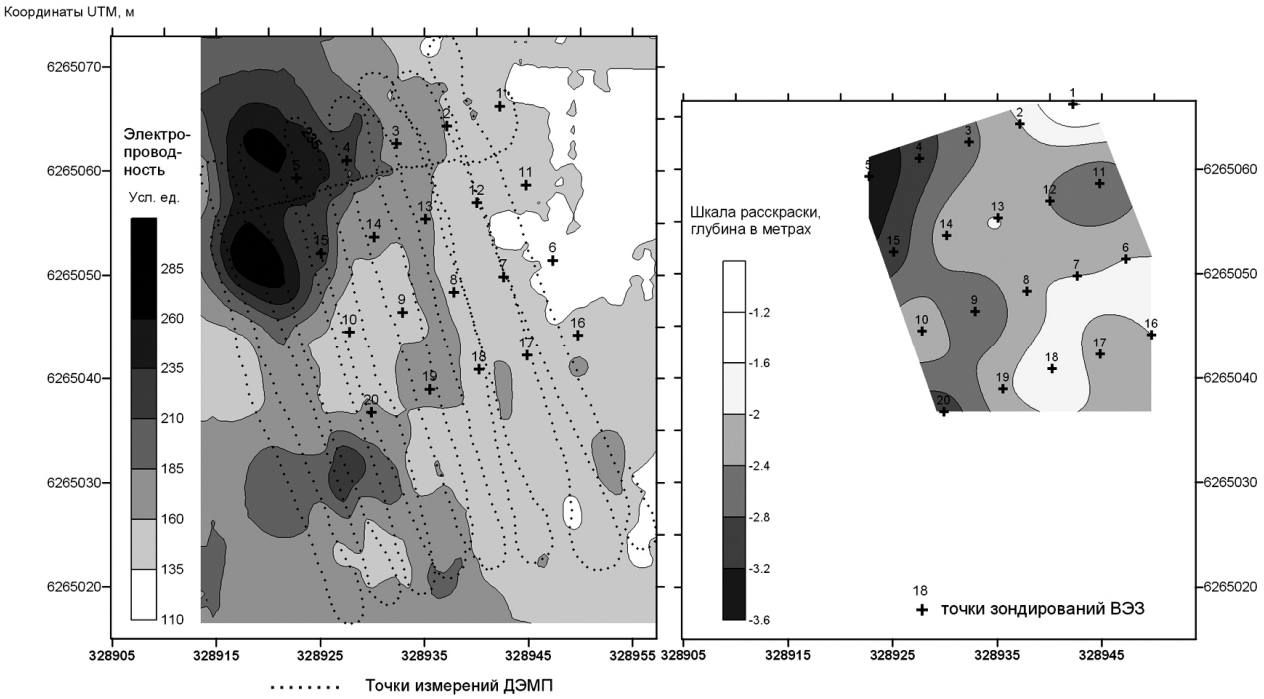

Рис. 2. Результаты инженерно-геофизических исследований на объекте «Малаховая гора»:
а – план относительной продольной проводимости грунтов по результатам ДЭМП. Изолиниями и раскраской показано распределение электрической проводимости грунтов верхней части (до 2,5 м) в условных единицах;
б – план участка с определением глубины залегания кровли коренных пород по результатам ВЭЗ

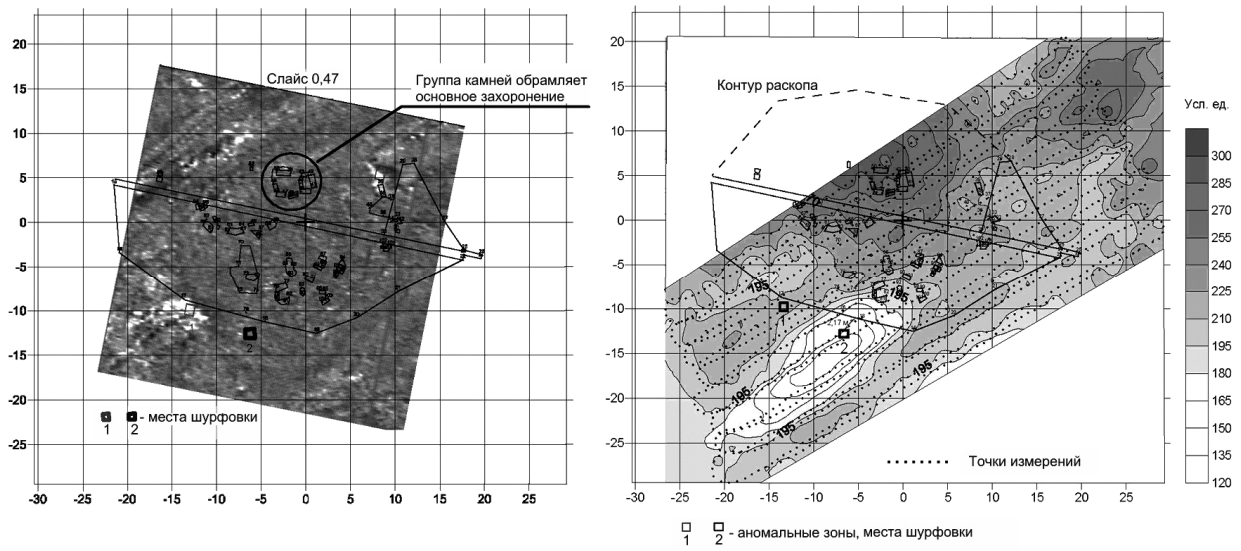

Рис. 3. Сопоставление данных георадарной съемки и результатов ДЭМП на объекте курган №1
а – данные георадарной съемки с положением артефактов;
б – карта относительной проводимости грунта кургана, места шурфовки

Время, затраченное на выполнение работ методом ВЭЗ традиционным способом (20 ВЭЗ с установкой AMNB), составило почти полторы рабочих смены – 10 часов (бригада из трёх человека – оператор и два рабочих).

Как видно из приведенного примера, производительность метода ДЭМП с использованием Системы значительно выше. При использовании его в комплексе с ВЭЗ можно без снижения качества исследований сократить число зондирований, увеличив тем самым производительность инженерно-геофизических изысканий в целом.

В целях повышения производительности отдельным вопросом встает тема совершенствования самого метода ДЭМП для инженерных изысканий, измерительной аппаратуры и методики количественной интерпретации результатов.

Опробование Системы на археологических объектах было выполнено в 2016 году. В это время в рамках проекта Уральского отделения РАН «Междисциплинарные исследования памятников эпохи бронзы Южного Урала» вблизи деревни Неплюевка выполнялась детальная магнитная съемка и георадарные исследования могильных курганов. Полученные данные любезно предоставлены сотрудником Института геофизики В.В. Носкевичем (Федорова, Носкевич, 2017). С целью сопоставления результатов на объекте курган №1 были выполнены работы с Системой методом ДЭМП и на кургане №28 – магнитная съемка. Съемка проводилась непосредственно перед началом археологических раскопок. Результаты по объекту курган №1 представлены на рис. 3. По результатам раскопок на план нанесены контуры камней, обрамляющие основные захоронения, всего захоронений на площади кургана было выявлено более 30.

Как можно заметить, положение обнаруженных артефактов не отражается в геофизических полях. Лишь в юго-западной части кургана, за пределами раскопа, имеем вытянутую в том же направлении аномалию пониженной проводимости по данным ДЭМП (2) и немного северо-западнее георадарную аномалию (1).

Георадарная аномалия (1) находится в зоне повышенных значений электрической проводимости грунтов (ДЭМП), а пониженные значения проводимости на радарограмме никак не отражаются. Было сделано предположение, что это аномалия геологической природы. Для проверки природы аномалии командой археологов было заложено два шурфа размером 1×1 м. В шурфе №1 на глубине 0,42 м под почвенно-растительным слоем был встречен плотный

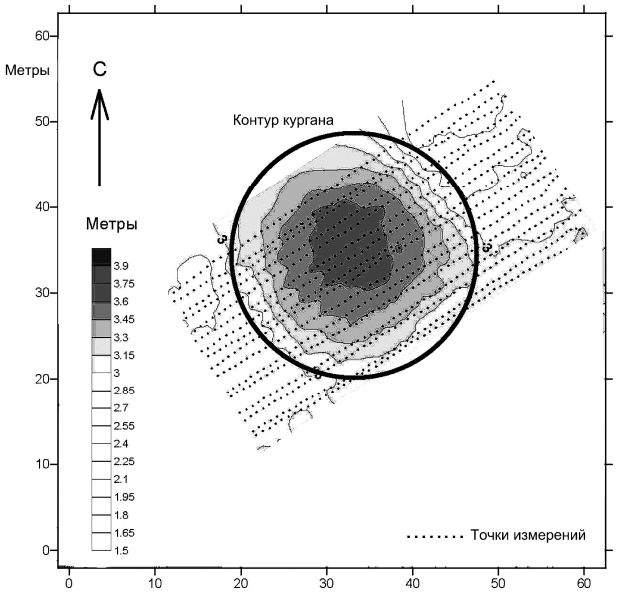

Рис. 4. Карта высот постройки кургана №1

слой глины светло-желтого цвета. В шурфе №2, несмотря на то, что он находился всего в 7,5 м от шурфа №1, под почвенно-растительным слоем с глубины 0,3 м залегали продукты выветривания коренных пород в виде полусцементированной кварцевой крошки. По этим породам шурф был пройден до глубины 1 м. Таким образом, данные геофизической разведки были успешно подтверждены: для георадарной съемки отражающим горизонтом являлся слой глины, для ДЭМП – зона пониженной проводимости, связанная с выходом коренных пород. Что касается археологических объектов, то отсутствие контрастных отражающих границ и небольшие размеры камней, обрамляющих захоронения, не позволили их выделить.

При обследовании кургана №1 с помощью Системы были выполнены измерения 1230 точках. Поскольку координаты точек наблюдения с точностью 0,1 м определяются не только в плане, но и по высоте, полученные данные позволили построить карту высот постройки кургана №1 (рис. 4). Высота кургана составила чуть более 0,8 м, с северо-западной стороны постройку кургана нарушает современная дорога. Характерная волнистость изолиний рельефа кургана обусловлена тем, что при пешем передвижении антенна навигационного приемника совершает вертикальные колебательные движения вместе с телом оператора.

Результаты магнитной съемки на кургане №28 представлены на рис. 5 и 6. На рис. 5*а* приведены данные магнитной съемки, выполненные протонным градиентометром ММПГ-1 по сети с шагом наблюдения 0,5×0,5 м. Измерение модуля магнитной индукции выполнено на высоте

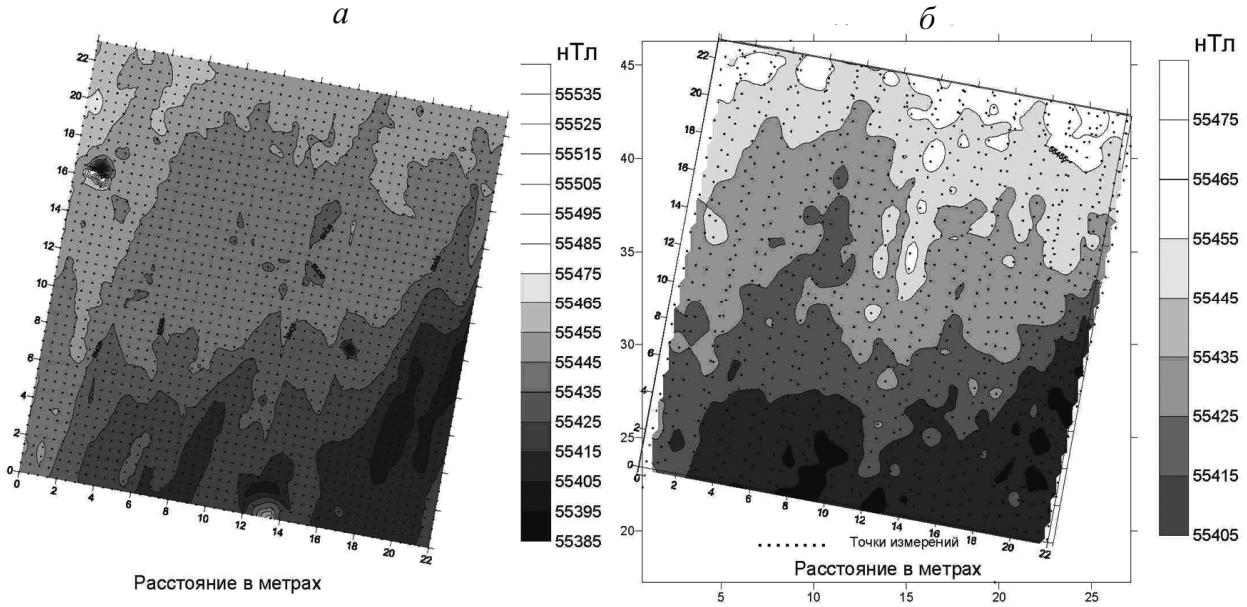

Рис. 5. Результаты магнитной съемки на кургане №28:
а – карта изодинам магнитной индукции, высота датчика градиентометра – 0,35 м;
б – карта изодинам магнитной индукции, полученная при работе с Системой, высота датчика – 0,5 м

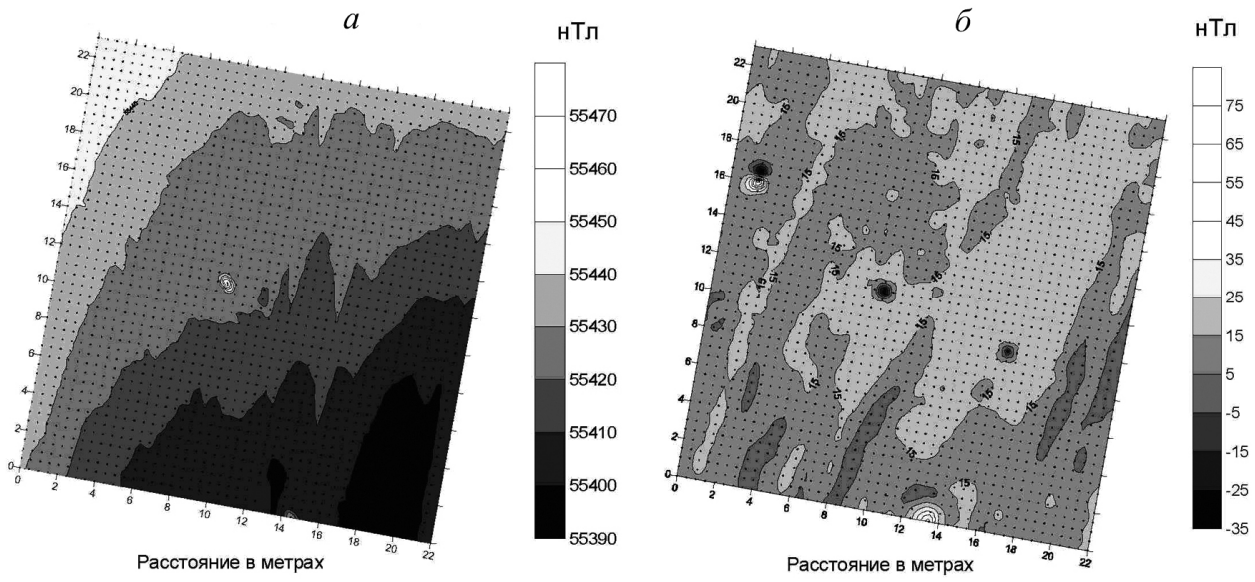

Рис. 6. Результаты магнитной съемки на кургане №28:
а – карта изодинам магнитной индукции верхнего датчика градиентометра;
б – карта изодинам магнитной индукции *dT*

0,35 м от поверхности земли с остановкой датчика на каждой точке наблюдения. Размер планшета 22×23 м, число точек наблюдений – 2024. На рис. 5*б* приведены данные магнитной съемки с использованием Системы. Использован цезиевый датчик магнитометра M33 как более быстродействующий в отличие от протонного, измерение модуля магнитной индукции выполнено на высоте 0,5 м от поверхности земли в движении, частота записи – одно измерение в секунду. Для привязки результатов наблюдений применялись GPS приемники Trimble 5700 в качестве роверной и опорной станции. Число точек наблюдения ~1216, время измерений – 20 минут. Вариации магнитного поля регистрировались магнитометром G859 с частотой записи 1 Гц и составили за время наблюдений не более 2 нТл.

Как можно видеть из приведенных материалов, полученная структура магнитного поля в рамках участка в обоих случаях практически одинаковая. Имеются характерные участки пониженных значений в южной и юго-восточной частях планшета и повышенные в северной. Однако форма участков с аномальными значениями не всегда повторяется. Это может быть связано с более редкой сетью наблюдений при измерениях с Системой (см. рис. 5*б*), а так же высотой расположения датчика. На рис. 6*а* приведены данные измерения модуля магнитной индукции на высоте 2,15 м и (рис. 6*б*) градиента поля (разности между верхним и нижним датчиком).

Как видно из приведенных материалов, детальность магнитной съемки существенно зависит от высоты расположения датчика, в то же время возрастают аномалии от поверхностных неоднородностей, не являющихся объектами поиска. Как справедливо отмечено в работах (Муравьев и др., 2009; Федорова, Носкевич, 2012), предпочтение следует отдавать градиентной съемке. Выбирая оптимальную высоту датчиков, можно «настраиваться» на поиски нужных объектов. Применение *АСРиПГД* может существенно ускорить этот процесс, а так же учесть изменения высоты положения датчика возникающие при движении.

Заключение

Разработанная автоматизированная система регистрации и привязки к местности геофизических данных успешно прошла опробование на инженерно-геологических и археологических объектах. За короткий промежуток времени регистрируется большой объем данных. Оп-

ределяя три координаты точки наблюдений, Система позволяет получать одновременно с геофизическими картами карту рельефа местности.

Литература

Муравьев Л.А., Носкевич В.В., Федорова Н.В. Результаты магнитометрических исследований археологических памятников эпохи бронзы на Южном Урале // Уральский геофизический вестник. 2009. № 1. С. 44–49.

Федорова Н.В., Носкевич В.В. Реконструкция планировки укрепленных поселений эпохи бронзы на Южном Урале (Ольгино, Коноплянка) по результатам детальной магнитной съемки // Уральский геофизический вестник. 2012. № 1. С. 52–59.

Федорова Н.В., Носкевич В.В. Геофизические исследования курганов Неплюевского археологического комплекса (Южный Урал) // Уральский геофизический вестник. 2017. № 1. С. 52–59.