

УДК 550.380

**ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ  
РАСЧЕТА И АНАЛИЗА  
ПАРАМЕТРОВ НЕВОЗМУЩЕННОГО ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ  
ДЛЯ ПЛАТФОРМЫ ANDROID**

**CALCULATING AND ANALYSIS OF THE UNPERTURBED  
GEOMAGNETIC FIELD SOFTWARE TOOLS ON ANDROID  
PLATFORM**

**Воробьев А. В., Шабарчин А. Л.**

**ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический  
университет», г. Уфа, Российская Федерация**

**A.V. Vorobyov, A.L. Shabarchin**

**FSBEI NPE “Ufa State Petroleum Technological University”,  
Ufa, the Russian Federation**

**e-mail: Achiev@yandex.ru**

**Аннотация.** Вариации геомагнитного поля (ГМП) Земли оказывают сильное негативное воздействие на современные технологические системы. По мере освоения Севера и создания крупных технологических систем было обнаружено, что часть аварийных ситуаций определенно связана с развитием магнитных возмущений. Задача оперативного определения и регистрации параметров невозмущенного геомагнитного поля (ГМП) в условиях минимума аппаратно-вычислительных средств стоит достаточно остро.

Известные в геофизической практике подходы к оперативному определению достоверных параметров ГМП в полевых условиях имеют ряд очевидных и существенных недостатков: жесткая привязка к шагу дискрети-

зации заданной координатной сетки; низкая степень автоматизации процесса определения параметров ГМП; необходимость использования габаритного и дорогостоящего оборудования; малый ряд определяемых в результате параметров и др.

В настоящей статье предлагается способ определения и регистрации параметров невозмущенного геомагнитного поля в условиях минимума аппаратно-вычислительных средств и систем, а также ограниченных информационных и энергоресурсов. Описывается методика применения указанного способа для оперативного и достоверного вычисления основного ряда параметров геомагнитного диполя в автоматическом режиме. Рассматривается реализация предложенной математической и методической базы в операционной системе Android с помощью языков программирования Java и Delphi на портативном устройстве с GPS-приемником.

Представленный вариант его практического применения на портативном устройстве с ОС Android показывает, что процесс вычисления параметров ГМП в текущей точке нахождения исследователя автоматизирован на 100% и вероятность совершения оператором устройства методической ошибки сведена к минимуму.

**Abstract.** Variations of the geomagnetic field of the Earth have a strong negative impact on the modern technological system. In the development process of the North and the creation of large technological systems, it was found that part of the emergency definitely associated with the development of magnetic disturbances. The task of identifying and registering the operational parameters of the unperturbed geomagnetic field in a minimum of hardware and computing resources is quite acute.

The known in geophysical practice approaches to determine the reliability of operational parameters of the geomagnetic pole in the field have a number of obvious and significant drawbacks: rigid adherence to a given step sampling grid; low degree of automation of the process of determining the parameters of

the geomagnetic pole; necessity for oversized and expensive equipment; a small number of the determined parameters.

In this paper method of determination and registration the parameters of the undisturbed geomagnetic field in the minimum hardware and computational tools and systems, and limited information and energy sources is proposed. The methods of implementing the mentioned method for operative and reliable geomagnetic dipole parameters automatic calculation is described. The realization of implementing the proposed mathematical and methodological bases on Android-based operation system using the languages of programming Delphi and Java is represented

Its practical application on a portable device with Android OS shows that the process of calculating the parameters of the geomagnetic field at the current position of the researcher is 100% automatic and the likelihood of methodological errors are minimized.

**Ключевые слова:** геомагнитное поле; геомагнитный диполь; геомагнитосфера; геомагнитные псевдобоури; GPS-приемник; портативное устройство; ОС Android.

**Key words:** geomagnetic pole; geomagnetic dipole; geomagnetic sphere; geomagnetic pseudo storm; portable device; GPS-receiver, OS Android.

## **Введение**

Вариации геомагнитного поля (ГМП) Земли оказывают сильное негативное воздействие на современные технологические системы. По мере освоения Севера и создания крупных технологических систем было обнаружено, что часть аварийных ситуаций определенно связана с развитием магнитных возмущений. Основное воздействие состоит в развитие индукционных эффектов: в линиях электропередач, в кабелях связи, в протяженных сигнальных системах. При этом наиболее подвержены негативному влиянию силовые трансформаторы. Кроме частоты 50 Гц появляются на-

водки других частот, которые сбивают работу регулирующих устройств. В результате происходит отключение энергетических систем. Воздействие ГМВ на измерительную аппаратуру, применяемую в геолого-разведочных и навигационных системах, может также существенно исказить достоверность контролируемой информации.

На сегодняшний день задача оперативного определения и регистрации параметров невозмущенного геомагнитного поля (ГМП) в условиях минимума аппаратно-вычислительных средств стоит достаточно остро.

Такая ситуация связана с тем, что в России традиционно указанная задача решается одним из двух способов: либо посредством получения данных с сайтов обсерваторий в режиме реального времени, либо с помощью специального геофизического оборудования. Но тут имеются существенные недостатки.

Получение данных с сайтов имеют некоторые ограничения: требуются хорошие линии связи, у каждой обсерватории свой формат структуризации данных и данные, как правило, на английском языке. В России свои данные выкладывают две обсерватории – Москва и Иркутск. Следует также отметить, что неоднородности поля возмущений достаточно велики, так что для конкретного региона вопрос привязки глобальных данных может быть осуществлен только в том случае, если имеется локальная точка наблюдения.

Известные в геофизической практике подходы к оперативному определению достоверных параметров ГМП в полевых условиях имеют ряд очевидных и существенных недостатков: жесткая привязка к шагу дискретизации заданной координатной сетки; низкая степень автоматизации процесса определения параметров ГМП; необходимость использования габаритного и дорогостоящего оборудования; малый ряд определяемых в результате параметров и др.

В этой связи, очевидно, что создание новых и совершенствование известных способов определения параметров невозмущенного ГМП, в том

числе в полевых условиях, является актуальной как научно-технической, так и естественнонаучной задачей.

### **Краткий обзор параметров ГМП**

Современная наука полагает, что внешнее ядро Земли жидкое и преимущественно металлическое, а ферромагнитные элементы, такие как железо и никель, являются одними из его основных компонентов (на глубинах более 670 км) и составляют при этом массовую долю ядра планеты ~85,5 и ~ 5,2% соответственно, то есть суммарно более 90%.

Непрерывное вращение Земли в целом и ее ядра в частности обуславливает наличие в нем постоянных течений и соответствующих им электрических токов, обеспечивающих согласно законам магнитной гидродинамики наличие геомагнитного поля [2]. Солнце постоянно излучается во все стороны сравнительно быстрые заряженные частицы, поток которых получил название солнечного ветра. При встрече с магнитным полем Земли образуется ударная волна, сжимающая его со стороны Солнца и растягивающая в противоположную. В результате с подсолнечной стороны магнитное поле простирается лишь на 10-13 радиусов Земли, в хвост магнитосферы тянется примерно до 1000 земных радиусов, образуя, так называемый, хвост магнитосферы.

Со стороны Солнца плазма ограничивает магнитное поле Земли, создавая нейтральный слой, именуемый магнитопаузой, которая отделяет магнитное поле Земли от внешних полей. Вдоль магнитопаузы течет ток, образованный частицами Солнечного ветра, обтекающими магнитосферу. Толщина переходного слоя от магнитного поля земли к полю, принесенному солнечным ветром 100-200 км [10].

При этом в силу сложной и неоднородной структуры геомагнитной сферы (рисунок 1) ее силовые характеристики распределены по поверхности планеты и в околоземном пространстве крайне неравномерно. Так, на основании результатов наблюдений, проводимых в данной области, уста-

новлено, что индукция геомагнитного поля на границе магнитосферы и магнитопаузы (рисунок 1) соответствует  $\sim 10,03$  мТл, у поверхности Земли на экваторе  $\sim 20-40$  мкТл, а у полюсов  $\sim 60-70$  мкТл.

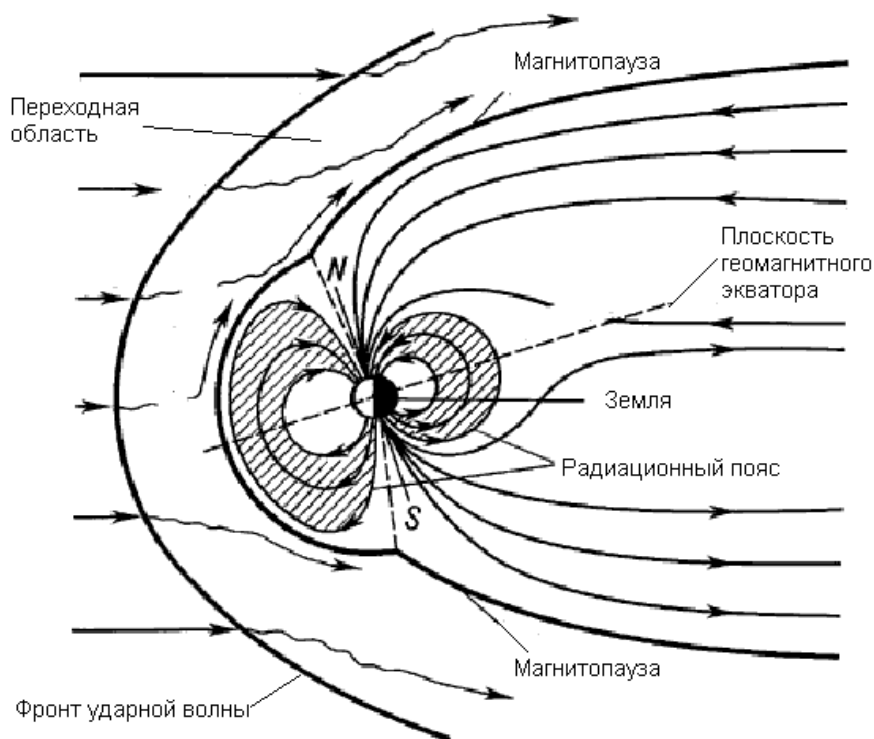


Рисунок 1. Магнитосфера Земли

### Математическое моделирование невозмущенного ГМП

Определим полный вектор индукции магнитного поля Земли  $B_{ge}$  в точке географического пространства, заданной пространственно-временными координатами (широта, долгота, высота над уровнем моря, год), как сумму трех приоритетных составляющих:

$$B_{ge} = B_1 + B_2 + B_3,$$

где  $B_1$  – вектор индукции ГМП внутриземных источников;  $B_2$  – регулярная составляющая вектора индукции ГМП магнитосферных токов, вычисляемая в солнечно-магнитосферной системе координат;  $B_3$  – иррациональная составляющая вектора индукции ГМП как техногенной, так и естественной природы происхождения, имеющая, как правило, хаотичный или сложно прогнозируемый характер возникновения и развития.

Для теоретической оценки текущих параметров  $B_0$  представим модель главного поля рядами сферических гармоник, в зависимости от географических координат.

Скалярный потенциал индукции ГМП внутриземных источников  $U$  [нТл·км] в точке пространства со сферическими координатами  $r, \theta, \lambda$  определяется как:

$$U = R_3 \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n (g_n^m \cos(m\lambda)) + h_n^m (\sin(m\lambda)) \left(\frac{R_3}{r}\right) P_n^m \cos\theta, \quad (1)$$

где  $r$  – расстояние от центра Земли до точки наблюдения (геоцентрическое расстояние), км;

$\lambda$  – долгота от Гринвичского меридиана, градусы;

$\theta$  – полярный угол (дополнение до широты,  $\theta = (\pi/2) - \varphi'$ , градусы, где  $\varphi'$  – широта в сферических координатах, градусы);

$R_3$  – средний радиус Земли,  $R_3 = 6371,03$ , [км];

$g_n^m(t)$  и  $h_n^m(t)$  – сферические гармонические коэффициенты, нТл, зависящие от времени;

$P_n^m$  – ортогональный многочлен нормированных по Шмидту присоединенных функций Лежандра степени  $n$ , порядка  $m$ , определяемый, согласно (2):

$$P_n^m \cos\theta = 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \dots \cdot (2n-1) \cdot \left(\frac{\varepsilon_m}{(n+m)!(n-m)!}\right)^{1/2} \times \\ \times \sin^m\theta \left[ \cos^{n-m}\theta - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \cos^{n-m-2}\theta + \right. \\ \left. + \frac{(n-m)(n-m-1)(n-m-2)(n-m-3)}{2 \cdot 4(2n-1)(2n-3)} \cos^{n-m-4}\theta - \dots \right] \quad (2)$$

где  $\varepsilon_m$  – нормировочный множитель ( $\varepsilon_m = 2$  для  $m \geq 1$  и  $\varepsilon_m = 1$  для  $m=0$ );

$n$  – степень сферических гармоник;

$m$  – порядок сферических гармоник.

На данном этапе предлагается сделать допущение и принять за нормальное (невозмущенное) состояние силовой характеристики ГМП значение вектора  $B_1$ , то есть:

$$B_0 \approx B_1,$$

где  $B_0$  – значение индукции невозмущенного ГМП в точке, заданной пространственно-временными координатами;

$B_1$  – индукция ГМП внутривозмущенных источников.

Согласно приведенной методике, для расчета параметров невозмущенного ГМП изначально необходимо и достаточно задаться значениями геодезических пространственно-временных координат, рядом физических инвариантных свойств Земли, рядом инвариантных свойств Земли и наборами сферических гармонических коэффициентов [1].

### **Аналитическое мобильное приложение. Расчет параметров геомагнитного поля**

Основным направлением для реализации данной модели является достижение мобильности и оперативности, то есть возможность использования приложения в условиях минимальных аппаратных возможностей для автоматизированного вычисления параметров невозмущенного поля в режиме реального времени.

Предлагаемое инструментально-программное средство предоставит ученым-специалистам возможность оперативно и с надлежащей точностью генерировать и анализировать картины распределения вектора геомагнитной индукции в околоземном пространстве с любой необходимой разрешающей способностью в автоматизированном режиме.

Реализация предлагаемого решения в виде приложения на мобильное устройство с ОС Android обеспечивает расширение функциональных возможностей и повышает автономность и оперативность проводимых исследований и сопутствующих им расчетов специалистов геофизического профиля, работающих в полевых условиях, обладающих портативными устройствами.



## **Технология систем глобального позиционирования на портативных устройствах**

В последнее время невозможно представить повседневную жизнь без использования технологии GPS (англ. Global Positioning System – система глобального позиционирования). Изначально система была разработана для военных нужд, однако в настоящее время активно используется в гражданских целях, достаточно пользователю иметь GPS-навигатор или другой аппарат с GPS-приемником.

Основа любого GPS-приемника – это чипсет, на котором он работает. Долгое время все приёмники выпускались с 12-канальными чипсетами. Кроме того, что 12 каналов недостаточно для быстрого «Холодного старта» – первоначального определения своего местоположения, такие приёмники нуждались в открытом небе, так как работали только с прямой видимостью спутников (минимум 3; чем больше, тем точнее). На сегодняшний день все подобные приёмники считаются устаревшими и сняты с производства. В настоящий момент максимальное число каналов на профессиональном приемнике – 440 (два чипсета по 220 каналов в приемнике). Поскольку навигационные спутники вещают на разных частотах, для повышения точности, профессиональное оборудование определяет координаты с помощью всех доступных каналов всех видимых в данный момент времени спутников.

Помимо собственно широты, долготы и высоты современный GPS-приёмник способен сообщить точное время, высоту над уровнем моря, не используя мобильную систему передачи данных.

Google Android – операционная система (ОС) для смартфонов, планшетных компьютеров и других портативных устройств. Система позволяет создавать Java приложения, управляющие ресурсами устройства, в частности GPS-приемник.

Основная идея Google состоит в том, что компания предлагает в открытый доступ исходные коды своей ОС, предлагает набор удобных инстру-

ментов для разработки и хорошо документированное SDK (Software Development Kit), что значительно упрощает процесс создания необходимого приложения.

Таким образом, наличие портативного устройства с GPS-приемником на ОС Android дает все шансы на реализацию поставленных задач.

### Алгоритм работы приложения

Алгоритм работы приложения представлен на рисунке 2.

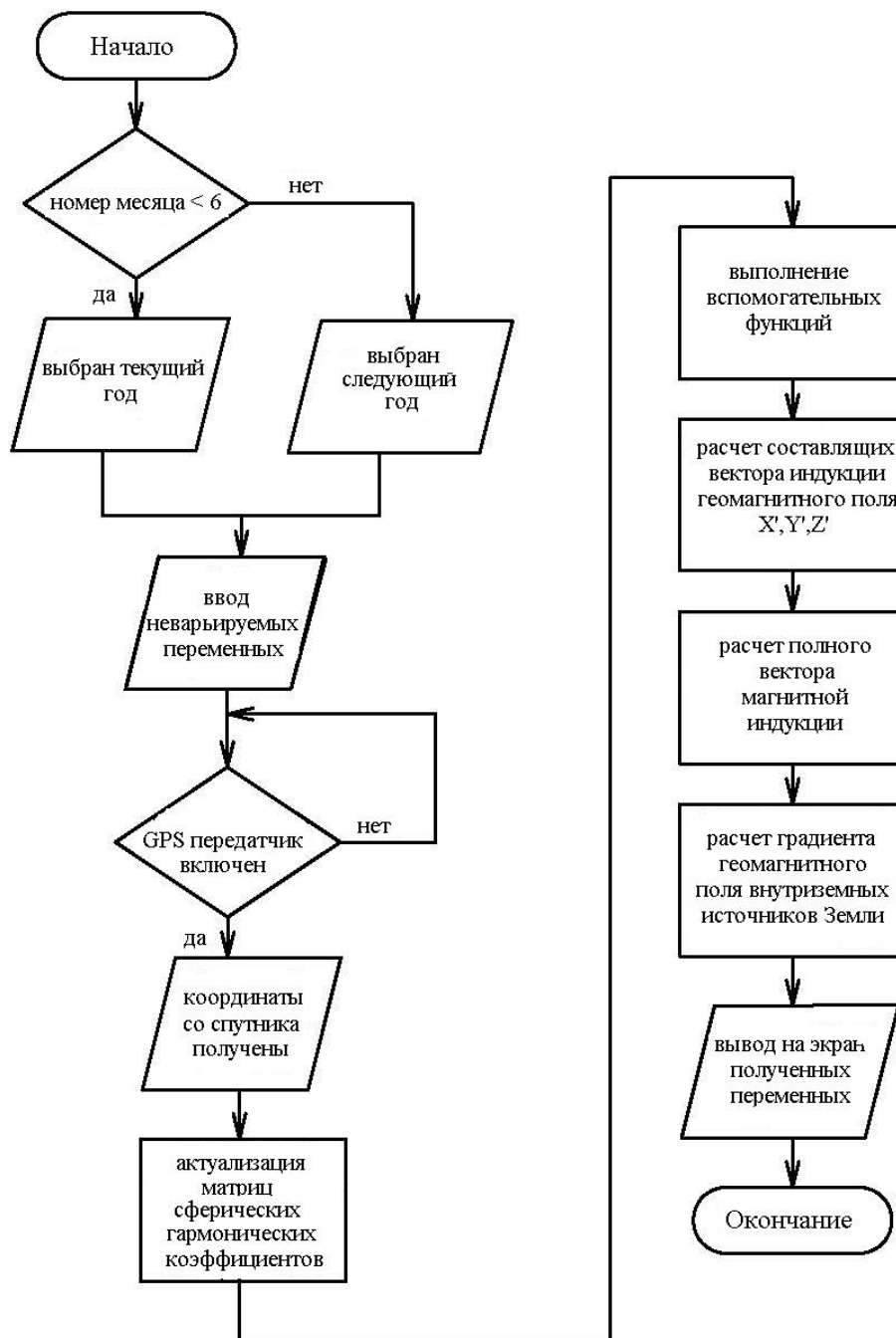


Рисунок 2. Алгоритм программы

## Реализация мобильного приложения

В самом начале работы программно-вычислительного комплекса, приложение уточняет и выводит на экран текущую дату, в зависимости от месяца выбирается либо текущий год, либо следующий (для какого года используются разные поправочные коэффициенты).

Для активации работы приложения необходимо включить Location Sensor, который используется для получения данных с GPS-приемника мобильного устройства:

```
// процедура считывания данных со спутника GPS
procedure TForm1.LocationSensor1LocationChanged(Sender: TObject;
const OldLocation, NewLocation: TLocationCoord2D);
begin
    sev_shirota := NewLocation.Latitude;
    vost_dolgota := NewLocation.Longitude;
end;

procedure TForm1.Switch1Switch(Sender: TObject); //процедура включения
датчика на телефоне
begin
    LocationSensor1.Active := Switch1.IsChecked;
    Timer1.Enabled := Switch1.IsChecked;
    if switch1.IsChecked then Button3Click(Button3);
end;
```

Для нормальной работы приложения программно-вычислительный комплекс использует процедуру обновления данных в течение 60 секунд.

Также осуществляется ввод неварьируемых переменных, а именно средний радиус Земли, большая полуось земного эллипсоида вращения, малая полуось земного эллипсоида вращения и матрицы сферических гармонических коэффициентов.

После получения всех необходимых данных, приложение выполняет соответствующие расчеты, описанные в [3], учитывая все особенности языка программирования. Пример работы приложения показан на рисунках 3 и 4.

### Примеры работы приложения

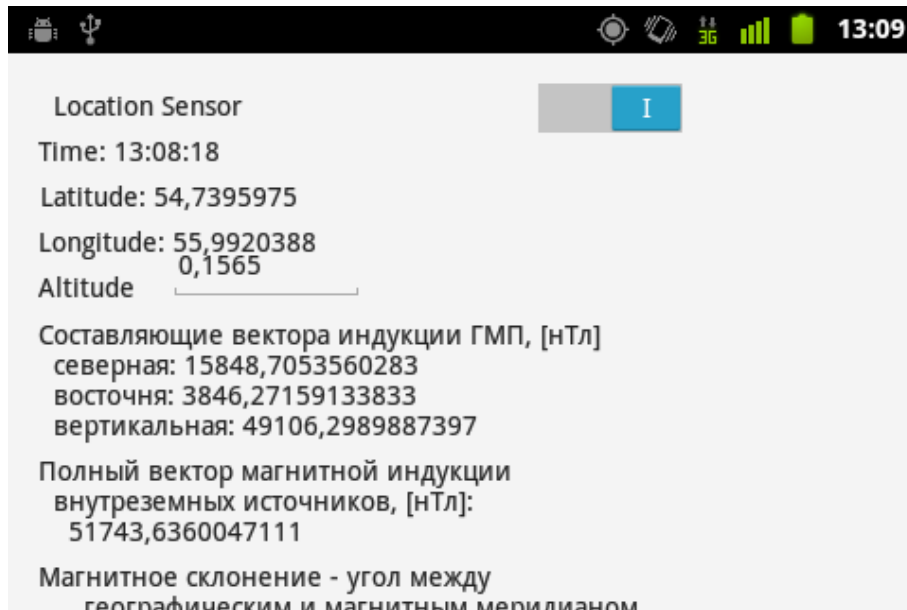


Рисунок 3. Пример работы приложения (начало)

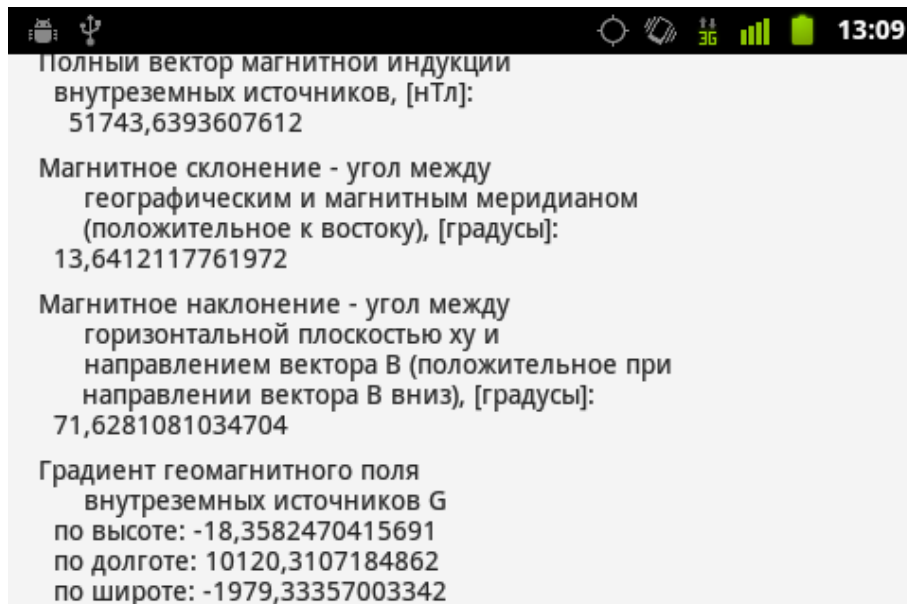


Рисунок 4. Пример работы приложения (окончание).

## **Выводы**

В рамках проведенных исследований был обоснован и предложен способ определения параметров невозмущенного ГМП в условиях минимума аппаратно-вычислительных устройств

Представлен вариант его практического применения на портативном устройстве с ОС Android, который полностью удовлетворяет поставленным задачам. Таким образом, процесс вычисления параметров ГМП в текущей точке нахождения исследователя автоматизирован на 100% и вероятность совершения оператором устройства методической ошибки сведена к минимуму.

## **Список используемых источников**

1 Воробьев А.В., Шакирова Г.Р. Автоматизированный анализ невозмущенного геомагнитного поля на основе технологии картографических веб-сервисов// Вестник УГАТУ №5(58). С.177-187.

2 Воробьев А.В. Вопросы проектирования цифровых геомагнитных обсерваторий. Berlin: LAP Lambert Academic Publishing Gmbh&Co. KG, 2012. ISBN 978-3-8443-5300-6. С.10-20.

3 Воробьев А.В. Моделирование и исследование эффекта геомагнитной псевдобури // Геоинформатика. 2013. № 2. С.29-36.

4 Воробьев А.В. О возможности применения анизотропных магниторезистивных сенсоров в геоинформационных магнитометрических системах// Приборы. 2012. № 1 (139). С.10-16.

5 Воробьев А.В. Способ определения параметров невозмущенного геомагнитного поля в полевых условиях// Нефтегазовое дело. 2013. № 1. С. 71-81.

6 Воробьев А.В Geomagnetic\_v1.0: свид. об офиц. рег. программы для ЭВМ №2013610905. М.: РосАПО, 2013.10 с.

- 7 Голощапов А.Л. Google Android: программирование для мобильных устройств. Спб.: БХВ-Петербург, 2011. 448 с.: ил.
- 8 Конценебин Ю.П., Волкова Е.Н. Интерпретация данных магнитных аномалий/учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 011200 – геофизика/ Саратов: Изд-во «Научная книга», 2006. 74 с.
- 9 Миловзоров Г.В., Воробьев А.В. Методика описания параметров геомагнитной псевдобури // Вестник ИжГТУ. 2013. №1. С.103-107.
- 10 Новиков К.В. Магниторазведка: учеб. пособие. Ч. 1.М.: 2013.141 с.
- 11 Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч.1. Полярные магнитные возмущения. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. 220 с.
- 12 Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: изд-во Ленингр. ун-та, 1978. 592 с.
- 13 GPS-приемник [Электронный ресурс]  
<https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS-приемник> (дата обращения 25.11.14).

## References

- 1 Vorobyov A.V., Shakirova G.R. Avtomatizirovannyj analiz nevozmushhennogo geomagnitnogo polja na osnove tehnologii kartograficheskikh veb-servisov// VestnikUGATU №5 (58) s.177-187. [in Russian].
- 2 Vorobyov A.V. Voprosy proektirovaniya cifrovyyh geomagnitnyh observatorij.- Berlin: LAP Lambert Academic Publishing GmbH&Co. KG, 2012. – ISBN 978-3-8443-5300-6.-S.10-20. [in Russian].
- 3 Vorobyov A.V. Modelirovanie i issledovaniej effekta geomagnitnoj psevdoburi // Geoinformatika. 2013. №2.S.29-36.[in Russian].
- 4 Vorobyov A.V. O vozmozhnosti primeneniya anizotropnyh magnitorezistivnyh sensorov v geoinformacionnyh magnetmetricheskikh sistemah// Pribory. 2012. №1 (139). S.10-16. [in Russian].

- 5 Vorobyov A.V. Sposob opredelenija parametrov nevozmushhennogo geomagnitnogo polja v polevyh uslovijah// Neftegazovoe delo.2013.№1. С. 71-81. [in Russian].
- 6 Vorobyov A.V. Geomagnetic\_v1.0: svid. obofic. reg. ProgrammydljaJeVM №2013610905. M.:RosAPO, 2013. 10 s. [in Russian].
- 7 Goloshhapov A.L. Google Android: programmirovanie dlja mobilnyh ustrojstv. Spb.: BHV-Peterburg, 2011.448 s.:il.. [in Russian].
- 8 Koncenebin Ju.P, Volkova E.N. Interpretacija dannyh magnitnyh anomalij./Uchebnoeposobiedljastudentov, obuchajushhihsja po specialnosti 011200 – geofizika./ Saratov: Iz-vo «Nauchnajakniga»,2006. 74 s.[in Russian].
- 9 Milovzorov G.V, Vorobyov A.V., Metodika opisanija parametrov geomagnitnoj psevdoburi // VestnikIzhGTU. 2013. №1. S.103-107. [in Russian].
- 10 Novikov K.V. Magnitorazvedka: Uchebnoe posobie. Chast' 1.M.: 2013. 141 s.[in Russian].
- 11 Pudovkin M.I, Raspopov O.M, Klejmenova N.G. Vozmushhenijaj elektromagnitno gopolja Zemli. Ch.I. Poljarnye magnitnye vozmushhenija. L., Izd-vo Leningr. un-ta, 1975. 220 s.[in Russian].
- 12 Janovskij B.M. Zemnoj magnetizm. L.: izd-vo Leningradskogo un-ta, 1978. 592 s. [in Russian].
- 13 GPS-priemnik [Jelektronnyj resurs] <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS-priemnik> (data obrashhenija 25.11.14). [in Russian].

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Воробьев А.В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация технологических процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A.V. Vorobyov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Automation of Technological Processes and Production”, FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

Шабарчин А.Л., магистрант, группа МУС 01-13-01, кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств», ФГБОУ ВПО УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

A.L. Shabarchin, Master Student of MUS 01-13-01 Group of the Chair “Automation of Technological Processes and Production” FSBEI HPE USPTU, Ufa, the Russian Federation

e-mail: [achiev@yandex.ru](mailto:achiev@yandex.ru)