

# Глубины залегания источников аномального магнитного поля по наземным и аэростатным магнитным данным

*Цветков Ю.П.<sup>1</sup>, Новиков К.В.<sup>2</sup>, Иванов А.А.<sup>3</sup>, Филиппов С.В.<sup>1</sup>,  
Брехов О.М.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>ИЗМИРАН, г.Москва, г.Троицк, [tsvetkov@izmiran.ru](mailto:tsvetkov@izmiran.ru)

<sup>2</sup>ФГБУ "Гидроспецгеология", г.Москва

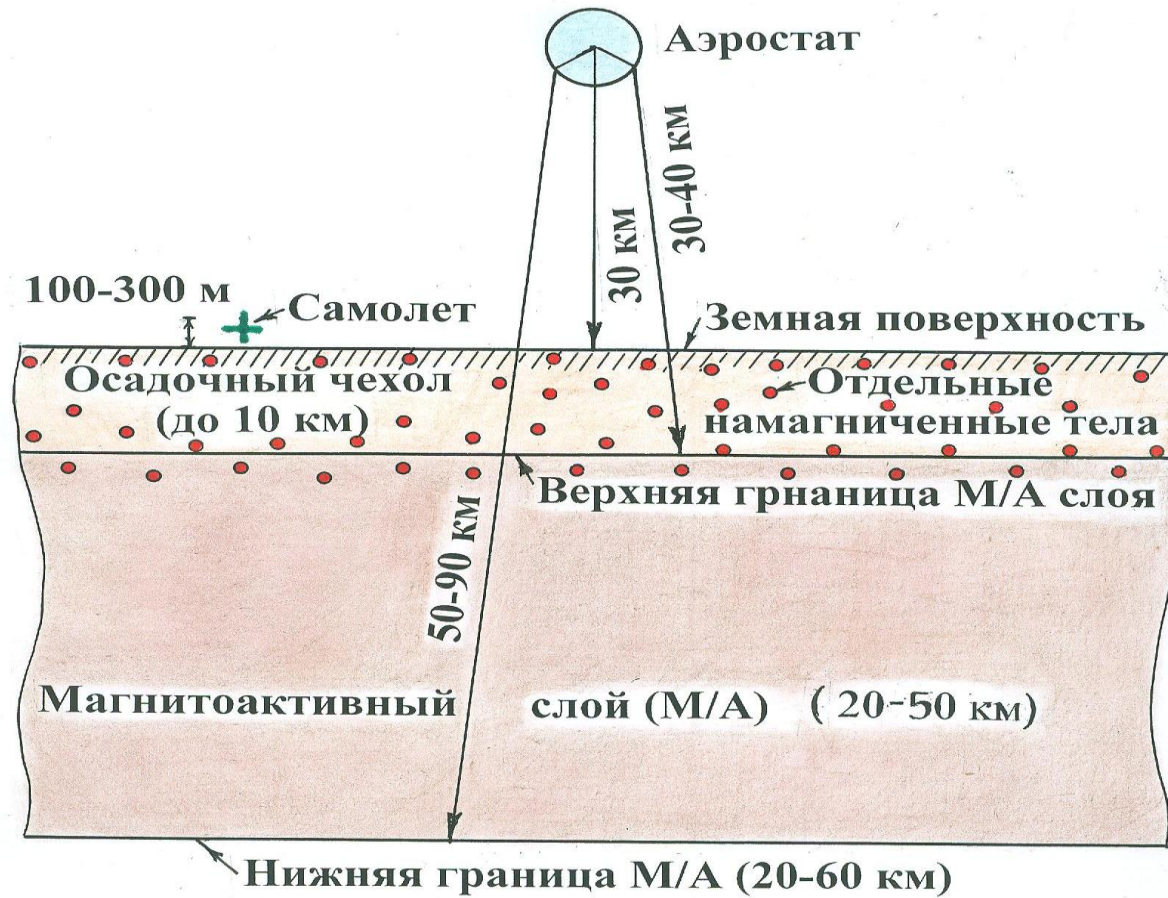
<sup>3</sup>МГРИ-РГГРУ, г.Москва

<sup>4</sup>МАИ, г.Москва

«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли  
из космоса»

ИКИ, МОСКВА 2017

*Российская  
академия наук*



## Структура магнитного строения земной коры и методы ее исследования

В данных магнитных съемок наиболее значимо представлена та составляющая спектра профиля, которая формируется источниками, соответствующими высоте съемки.

Аэромагнитными данными хорошо представлена верхняя граница магнитоактивного слоя, а данные, полученные на высотах 20-40 км представляют центр масс магнитоактивного слоя земной литосферы.

# Методология определения границ залегания магнитоактивного слоя

Использование спектров магнитных профилей для оценки глубин залегания намагниченных геологических объектов широкую известность получил метод А.Спектора и Ф.Гранта (1970).

Этот метод модернизирован в статье [Tanaka A., Okubo Y., Matsubayashi O. Curie point depth based on spectrum analysis of the magnetic anomaly data in East and Southeast Asia. *Tektonophysics*, 306 (1999), pp. 461-470], в которой получены два выражения спектров соответственно для высоких и низких гармонических частот. В этом подходе низкочастотная часть спектра обусловлена положением центра тяжести (масс) магнитоактивного слоя. Раздельно логарифмируя то и другое выражения спектров находят асимптоты полученных графиков логарифмов и по углу наклона полученных асимптот определяют глубину залегания верхней кромки магнитоактивного слоя земной коры и центра масс этого слоя.

Глубины залегания нижней границы магнитоактивного слоя литосферы (изотерма Кюри) вычисляются по формуле:

$$Z_{be} = 2Z_{ac} - Z_{te}, \text{ где:}$$

$Z_{be}$  – глубина нижней границы;

$Z_{ac}$  – глубина центра масс;

$Z_{te}$  – глубина верхней границы.

Глубина залегания нижней границы магнитоактивного слоя литосферы соответствует положению изотермы Кюри. Однако, в областях с глубоким залеганием изотермы Кюри оценка глубин путем использования подходов, примененных в статье [Tanaka A., et al.], может показать ошибочные результаты по причине потери предельно низкочастотной части спектра аэромагнитного профиля.

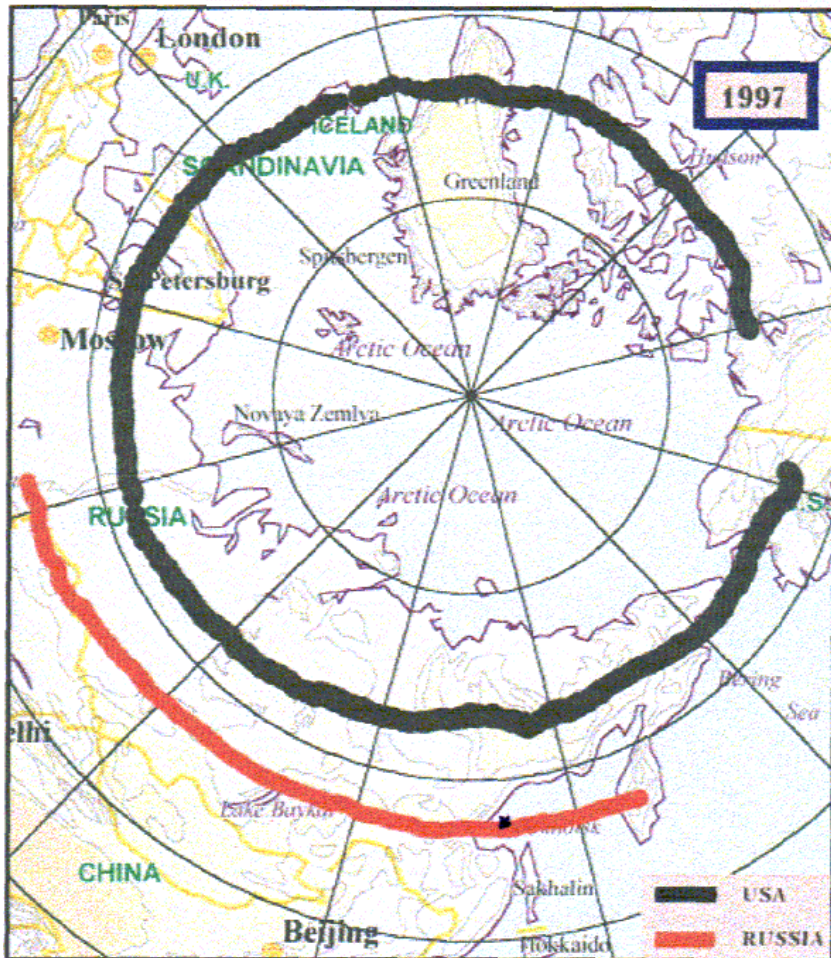
В основе методики оценки глубины залегания объектов по амплитудному спектру может использоваться соотношение для логарифма амплитудного спектра, доказанное Валентином Константиновичем Ивановым [Иванов В.К. О распределении особенностей потенциала. Успехи математических наук. 1956. Т. 11, вып. 5 (71). С. 67-70]:

$$H = -\limsup_{\omega \rightarrow \infty} \frac{\ln |R(\omega)|}{|\omega|}$$

которое показывает, что график логарифма амплитудного спектра для полей таких моделей при  $\omega \rightarrow \infty$  стремится к наклонной асимптоте с уравнением  $Y = c - H|\omega|$ , где параметр  $H$  характеризует глубину самой верхней из особых точек функции, а  $c$  – свободный член линейной функции.



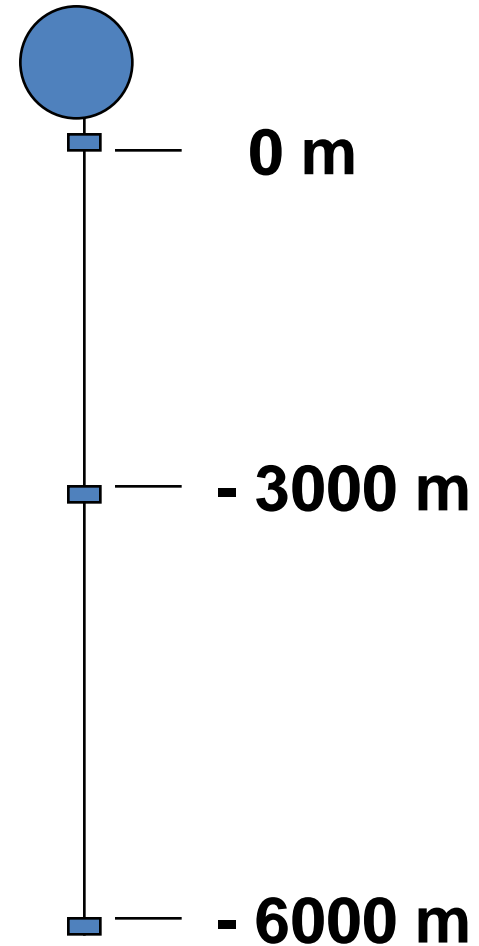
# Траекторий полетов аэростатов



Стратосферные аэростаты в зональных воздушных течениях могут по кольцевым орбитам дрейфовать вокруг земного шара и выполнять глобальные геомагнитные наблюдения. Примеры траекторий полетов приведены на рисунке.

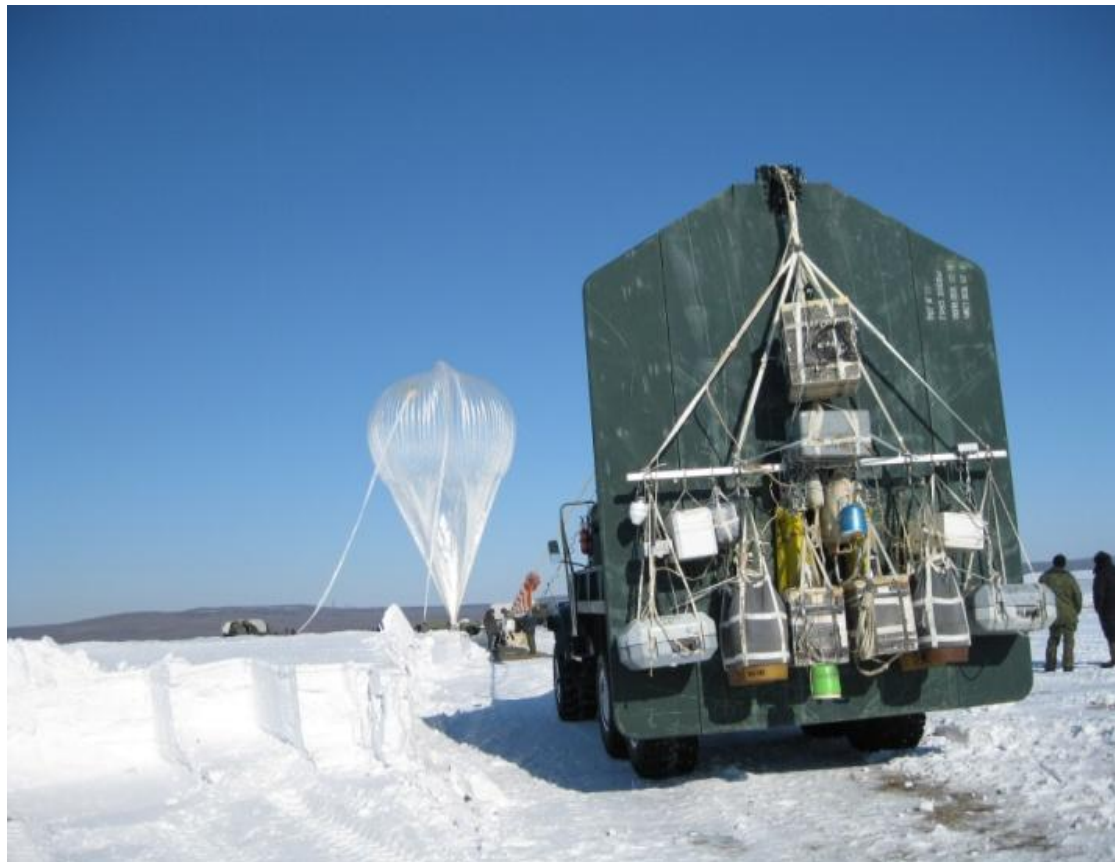
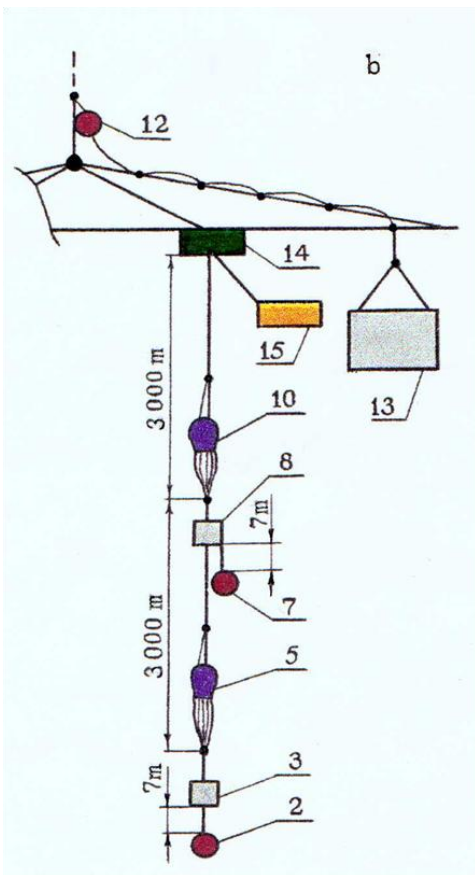
# Аэростатный магнитный градиентометр

Нами внедрен в практику магнитных измерений аэростатный магнитный градиентометр, имеющий измерительную базу длиной 6 км, ориентируемую вдоль вертикали по полю силы тяжести. Данные градиентных измерений практически не содержат вариаций внешних источников даже в полярных областях Земли.





# Вид аэростатной системы



**3,8,13** – магнитометры; **2,7,12** – датчики магнитометров  
**5, 10, 15** – парашюты.

# О погрешностях градиентных измерений

Дифференциалы главного геомагнитного поля, получаемые по аналитическим моделям для точек, разнесенных на расстояние 6 км, не содержат заметной систематической погрешности этих моделей, как и моделей вековой вариации геомагнитного поля, т.к. для источников, расположенных на глубинах свыше 3000 км, на таком относительно малом расстоянии между датчиками градиентометра (6 км) эти погрешности практически идентичны и взаимно исключаются при вычислении дифференциалов. Это особенно важно для оценок глубин центров масс магнитных источников в условиях ослабленного магнитного поля глубинных источников, выделяемых над земной поверхностью.

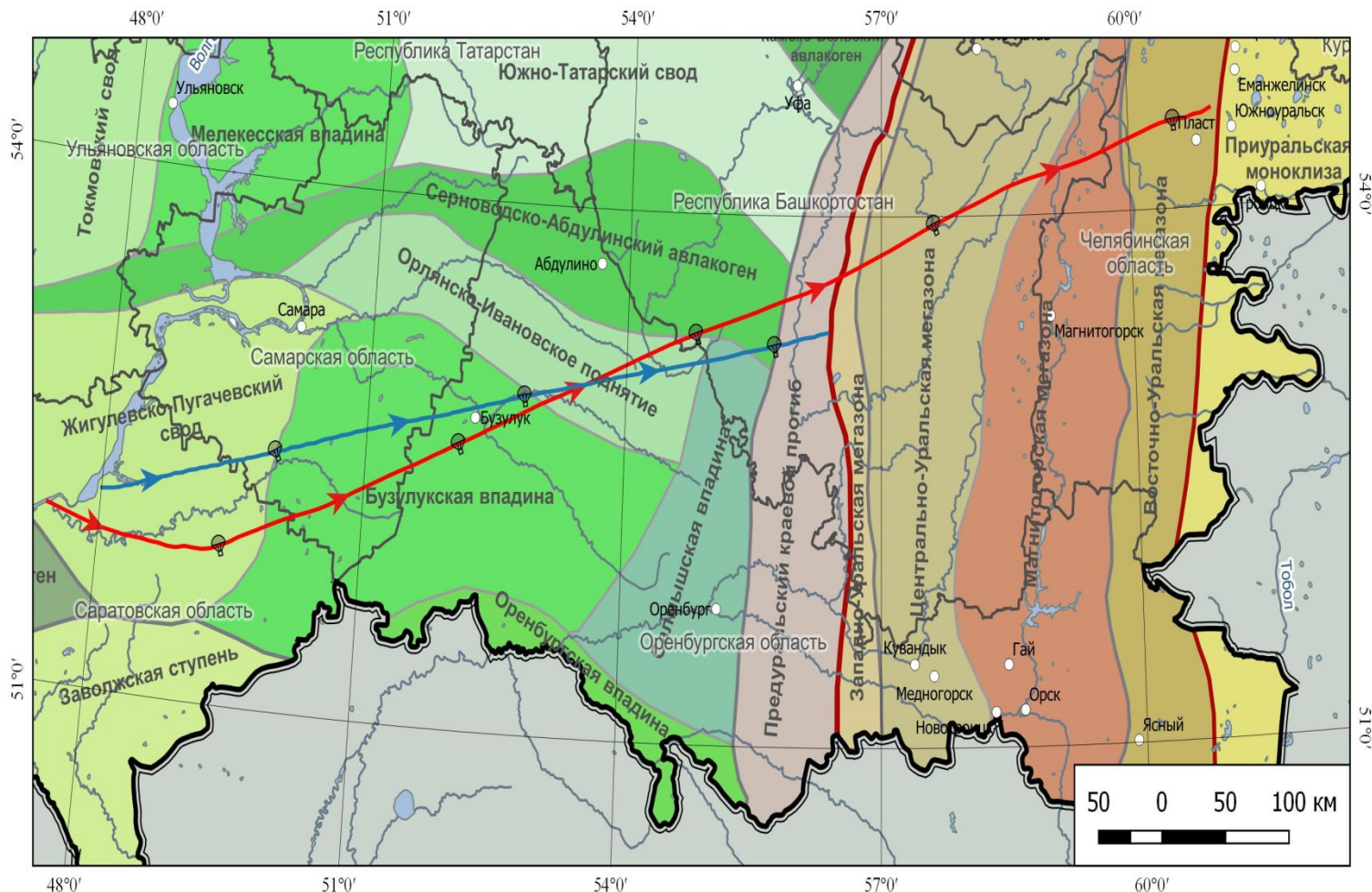
Данные вертикальных магнитных градиентов по аналогичной причине не содержат и значимых полей внешних источников.



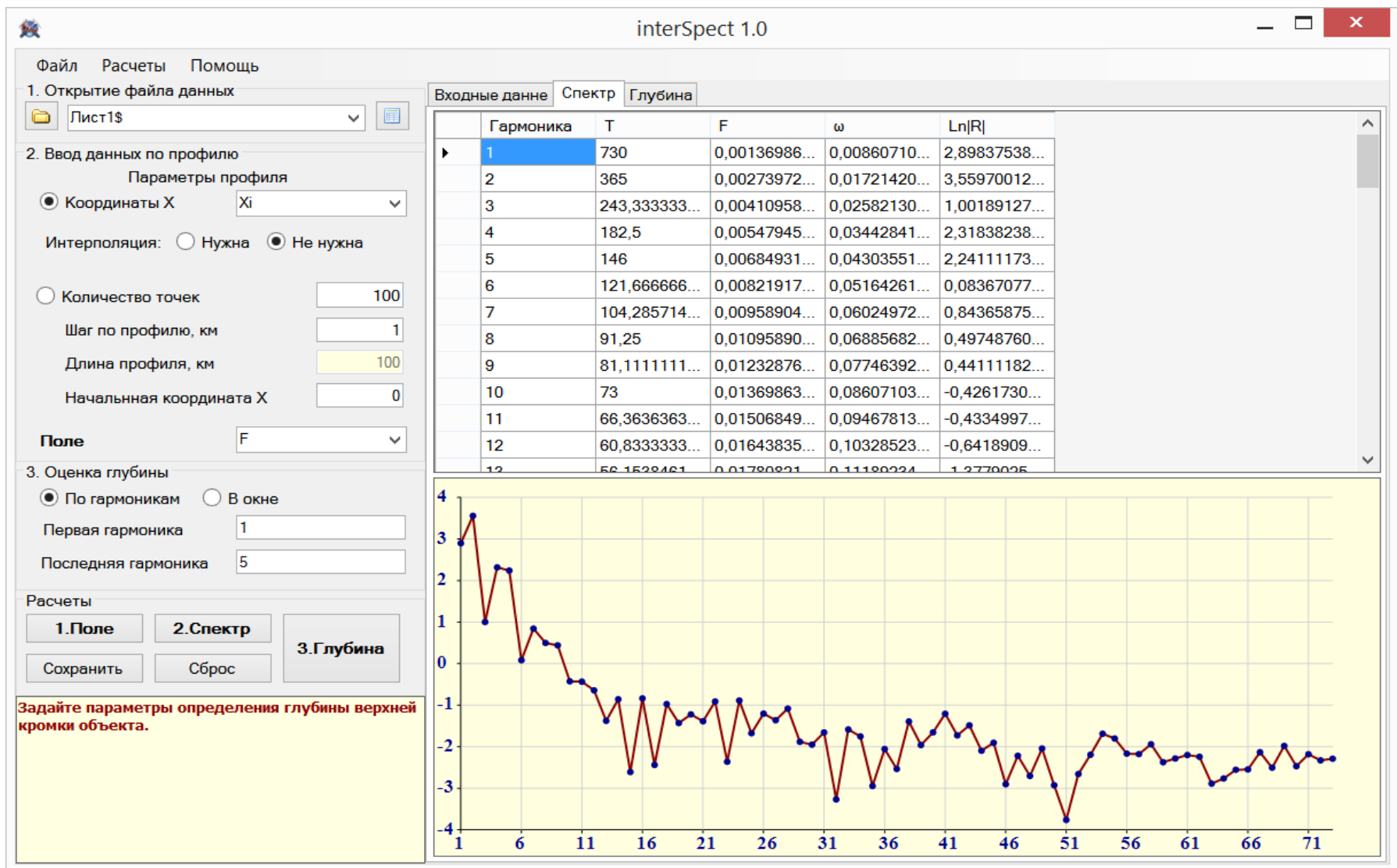
Пункт оперативного наблюдения (регистрирующая аппаратура).



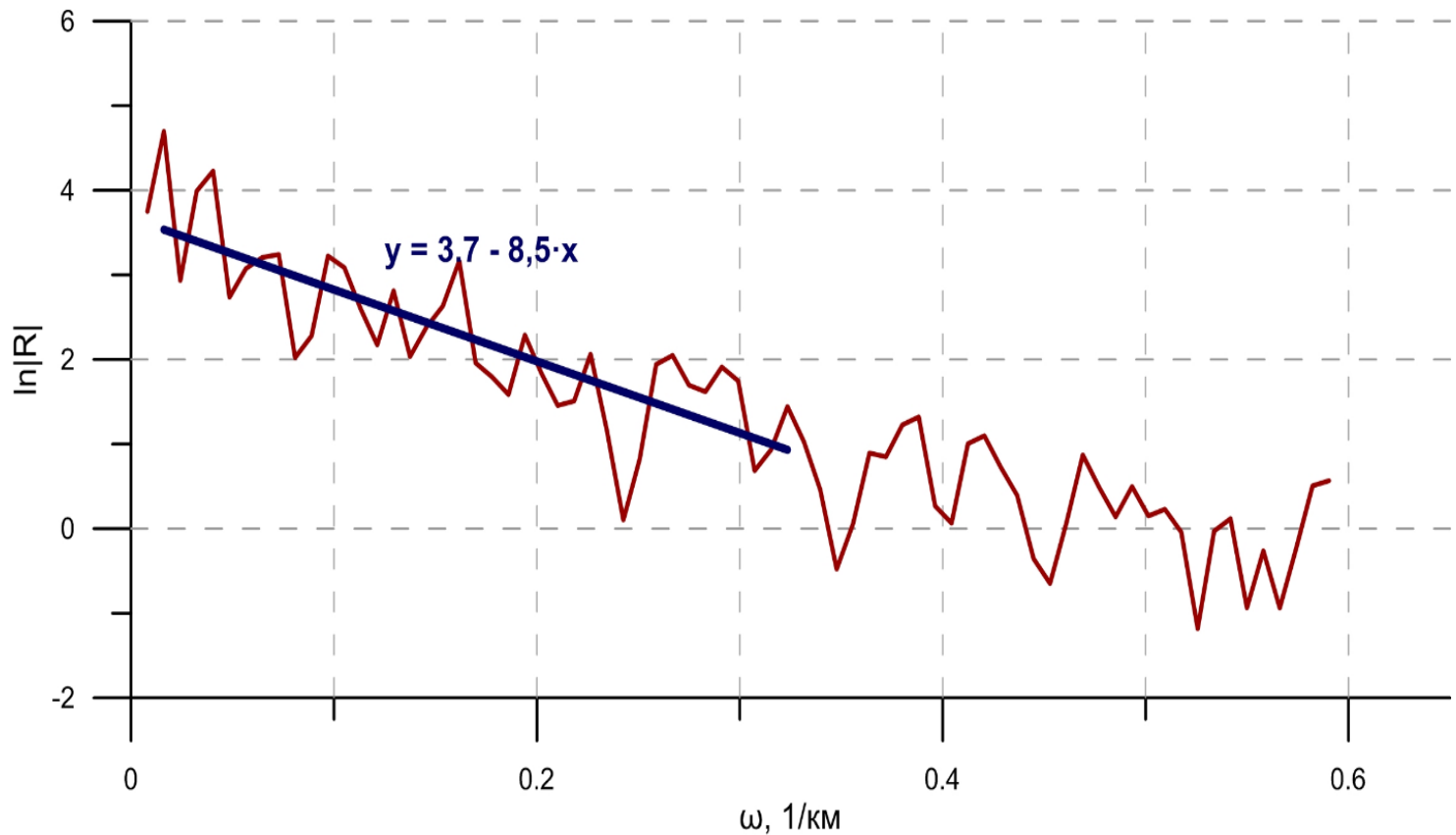
# Траектория полетов аэростатов ИЗМИРАН



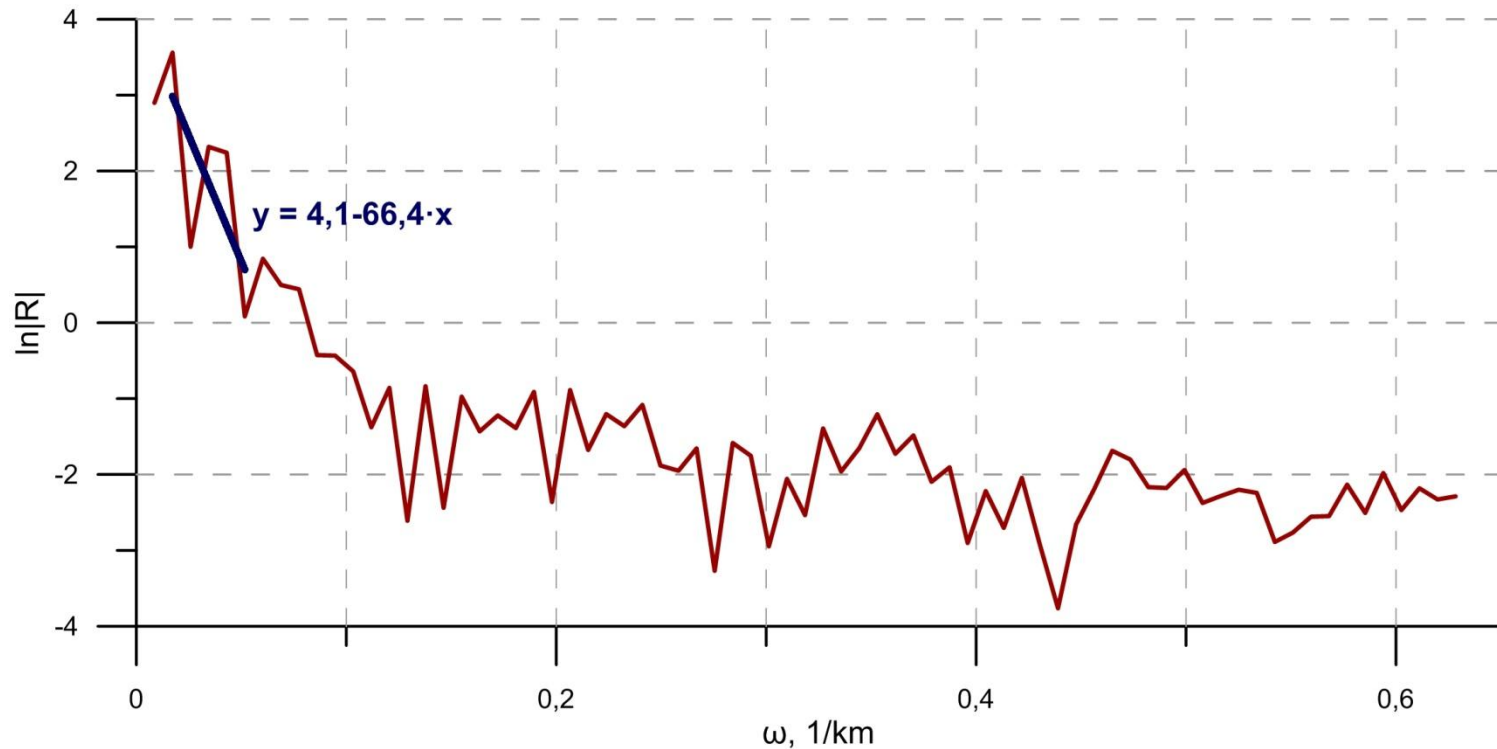
Голубая линия – полет 2008 г. Красная линия – полет 2013 г.



Интерфейс программы InterSpect 1.0. (Новиков К.В., Иванов А.А.)



Логарифм амплитудного спектра аномального магнитного поля по профилю Вольск – Южно-Уральск, снятому с карты магнитных аномалий (высота 0 км). Глубина верхней границы М/А слоя литосферы составляет 8,5 км.



С учетом высоты полета аэростата (30 км) глубина залегания центра масс МА-слоя составляет 36,4 км. Глубина залегания нижней границы МА-слоя составляет:  $36,4 \text{ км} \times 2 - 8,5 \text{ км} = 64,3 \text{ км}$ .



## Заключение

1. Использование только аэромагнитных данных для оценки глубины залегания нижней границы магнитоактивного слоя земной литосферы может дать ошибочные результаты.
2. Аэромагнитные данные спектральным методом уверенно регистрируют положение верхней кромки магнитоактивного слоя земной коры и не выявляют реальное положение центров масс магнитных источников, а аэростатные данные не фиксируют положение верхней кромки, но уверенно дают глубины залегания центров масс магнитных источников. Следовательно, комбинация интерпретаций аэромагнитных и аэростатных магнитных данных наиболее результативна из имеющихся возможностей.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**