

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ АВРОРАЛЬНОГО ОВАЛА НА ОСНОВЕ ТЕХНИКИ ИНВЕРСИИ МАГНИТОГРАММ

**Кондратьев А.Б., Пенских Ю.В., Лунюшкин С.Б.**

Институт солнечно-земной физики

# Авроральный овал

- **Авроральный овал** (понятие введено Akasofu S. I. и Feldstein Y. I. более полвека назад) – область полярных сияний, создаваемых потоками магнитосферных электронов, высыпающихся в высокоширотную ионосферу.

- **Существующие модели диагностики границ аврорального овала:**

AP-Model [*Vorobjev and Yagodkina, 2007*] – на основе наземных снимков сияний;

[*Milan et al., 2009*] – на основе спутниковых снимков сияний (images);

OVATION [*Newell et al., 2010*] – спутниковые данные о высыпающихся частицах.

- **Обозначения границ аврорального овала:**

R0 – северная граница овала (полярная шапка) соответствует высокоширотной границе продольных токов Зоны I Ииджимы–Потемры;

R2 – южная граница овала – низкоширотная граница продольных токов Зоны II;

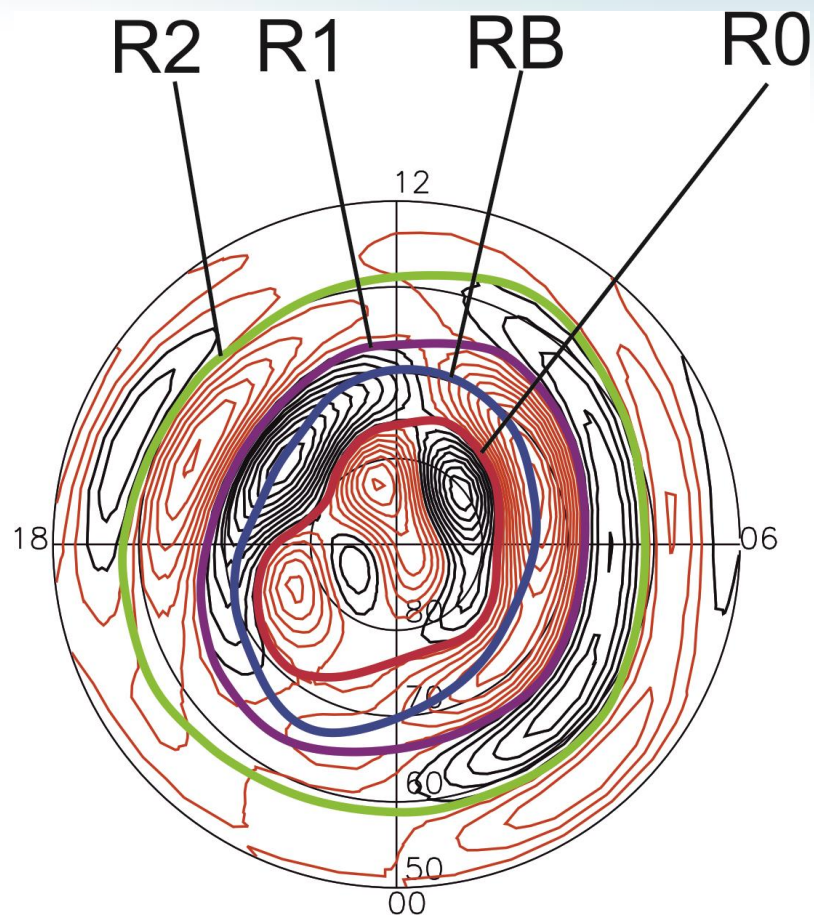
R1 – граница между Зонами I и II продольных токов;

RB (reversal boundary) – граница обращения ионосферной конвекции.

# Постановка задачи

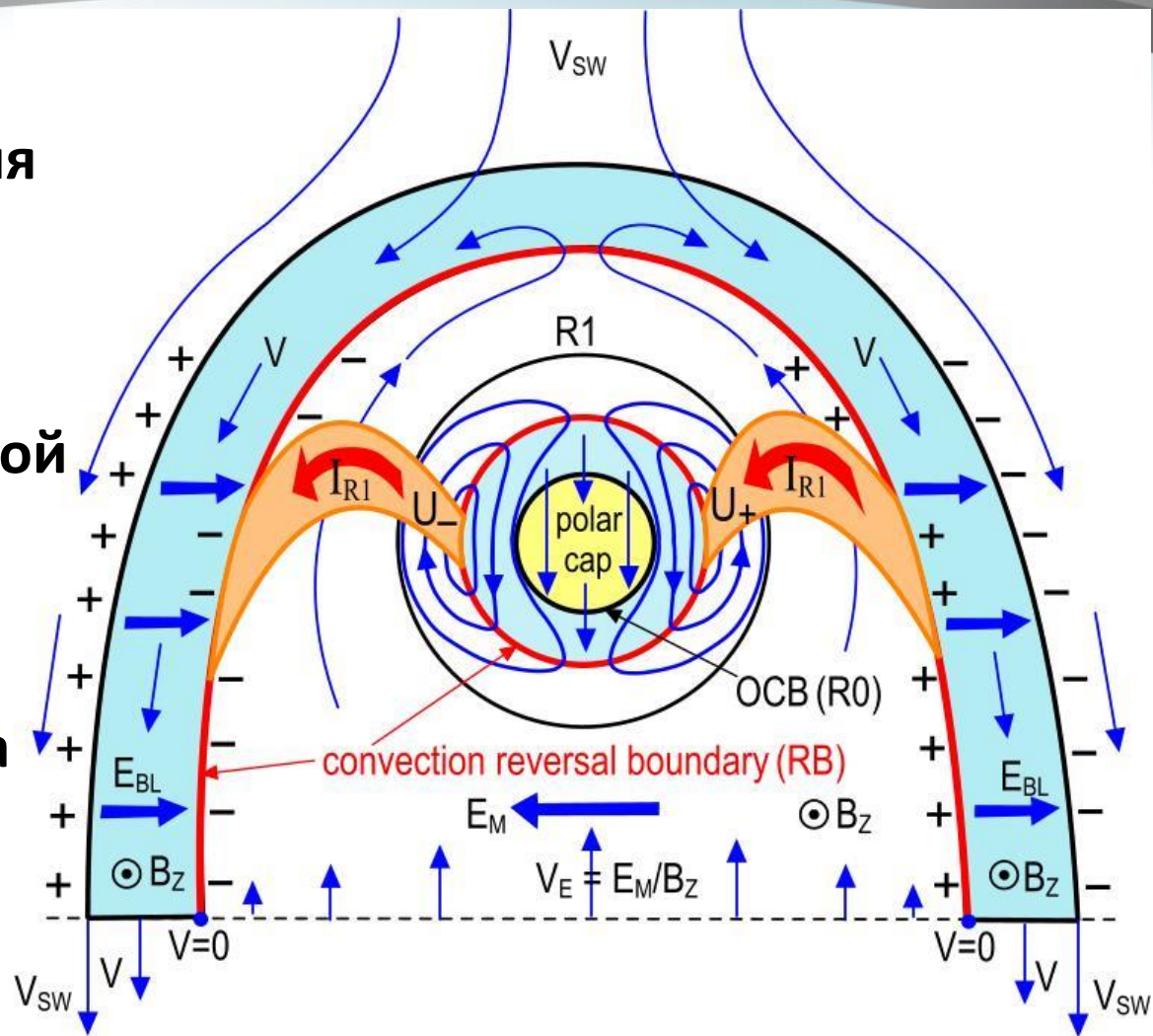
Постановка задачи стимулирована необходимостью автоматизации метода определения границ аврорального овала, являющихся входными параметрами модели корпускулярной проводимости комплекса ТИМ, и включает:

1. Разработку нового алгоритма определения границ аврорального овала (RB, R0, R1, R2).
2. Программную реализацию алгоритма.
3. Оценку точности работы нового автоматизированного метода в сравнении с ручным.



# Основные положения метода

1. Граница обращения конвекции.
2. Взаимосвязь ионосферной конвекции и токовой функции.
3. Максимум модуля ротора дрейфовой скорости – граница обращения конвекции.



# Взаимосвязь ионосферной конвекции и токовой функции

Закон Ома:  $\mathbf{j} = \mathbf{j}_P + \mathbf{j}_H = \Sigma_P \mathbf{E} + \Sigma_H \frac{\mathbf{B} \times \mathbf{E}}{B}$  (1)

Теорема Гельмгольца:  $\mathbf{j} = \mathbf{j}_{pot} + \mathbf{j}_{sol}$  (2)

[Kern,1966]:  $\mathbf{j}_{sol} = \mathbf{j}_H = \nabla J \times \mathbf{n}$  (3)

$$\mathbf{E} = -\nabla U \quad \mathbf{V} = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} \quad \mathbf{n} = -\frac{\mathbf{B}}{B}$$

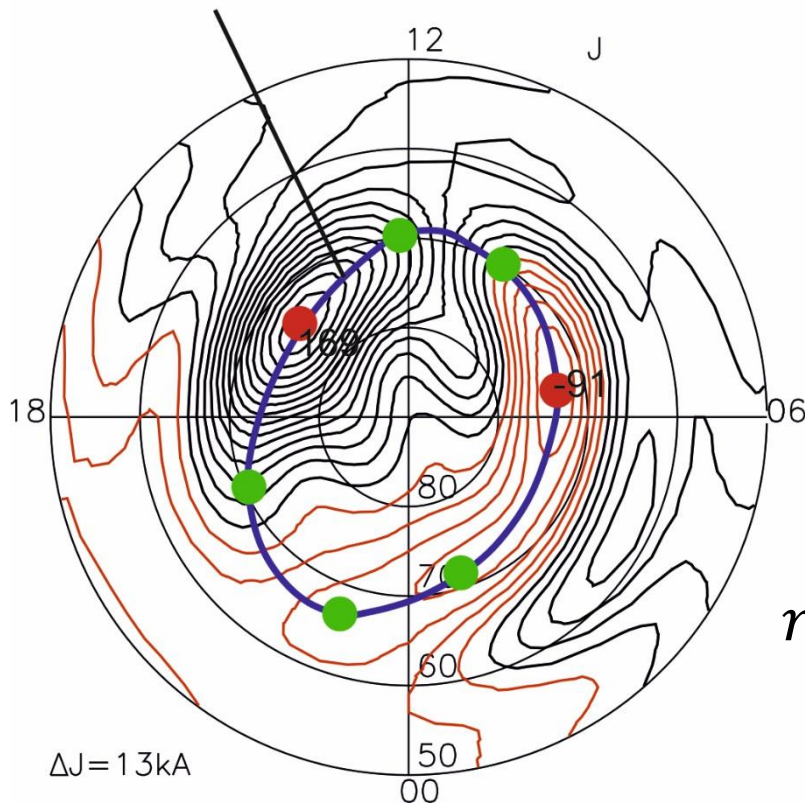
$$\mathbf{j}_H = -\Sigma_H \nabla U \times \mathbf{n} \quad (4) \quad \nabla J = -\Sigma_H \nabla U \quad (5)$$

$$J = -\Sigma_H U + const \quad (6)$$

$J$  – токовая функция,  $U$  – электрический потенциал ионосферы

# Максимум ротора дрейфовой скорости – граница обращения конвекции

RB - reversal boundary



Карта эквивалентной токовой функции

$$\mathbf{j} = \mathbf{j}_P + \mathbf{j}_H = \Sigma_P \mathbf{E} + \Sigma_H \frac{\mathbf{B} \times \mathbf{E}}{B} \quad (1)$$

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} \quad (2)$$

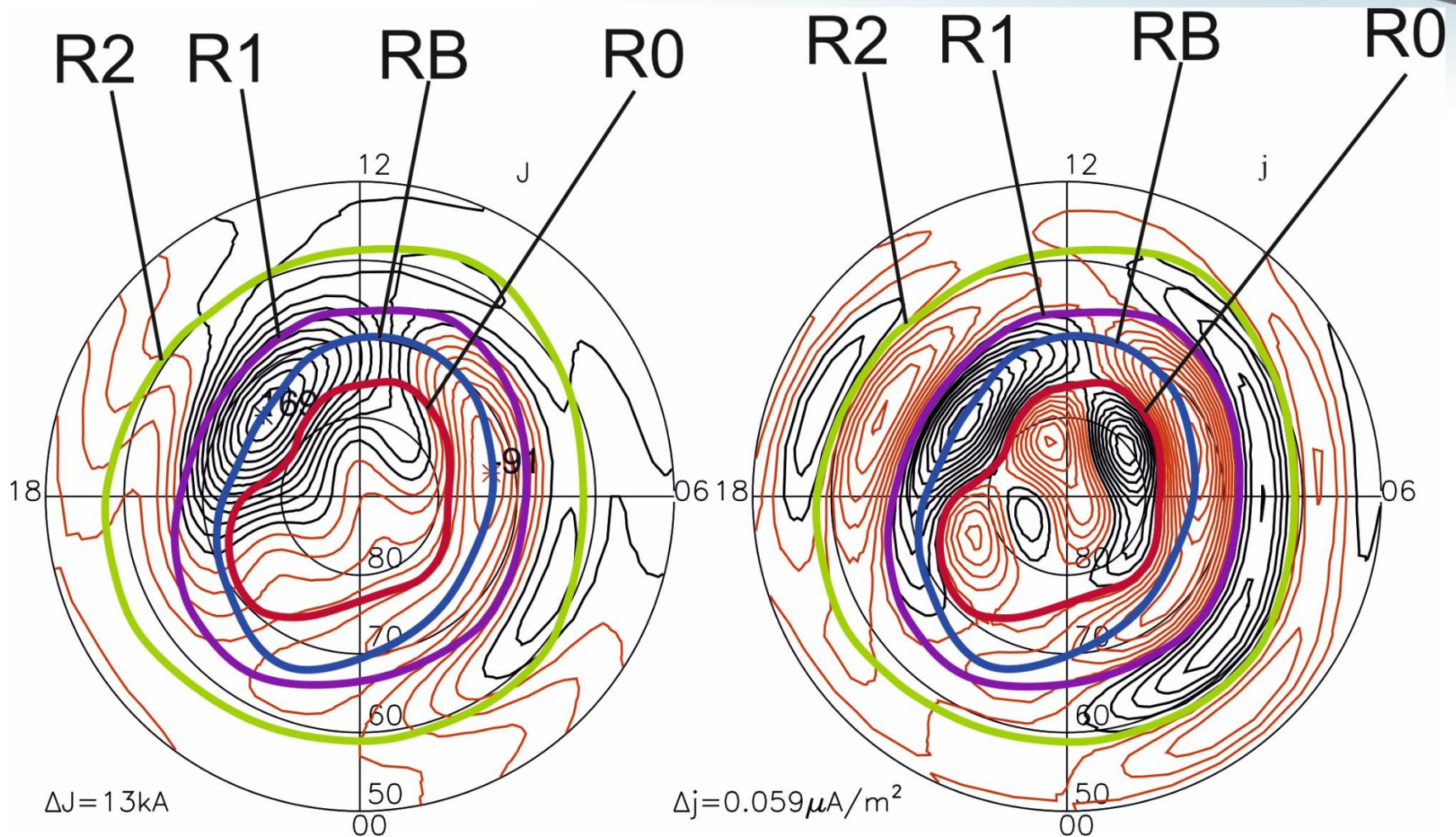
$$\mathbf{j}_H = -(\Sigma_H B) \mathbf{V} \quad (4) \quad \mathbf{j}_H = \nabla J \times \mathbf{n} \quad (6)$$

$$\text{rot} \mathbf{j} = \frac{2}{r} \nabla J - (\Delta J) \mathbf{n} \quad (7)$$

$$\text{rot} \mathbf{V} = \frac{1}{\Sigma_H B} \left[ (\Delta J) \mathbf{n} - \frac{2}{r} \nabla J \right] \quad (8)$$

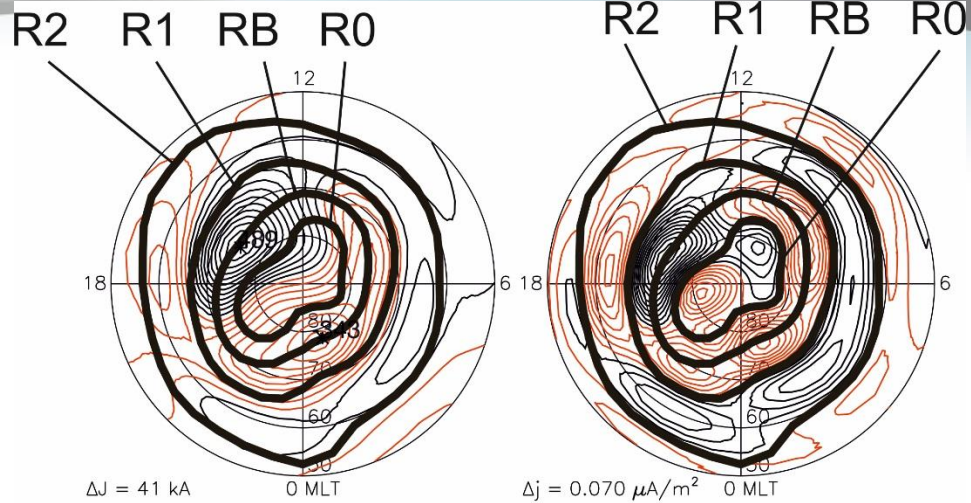
$$\max |\text{rot} \mathbf{V}| = \begin{cases} \max(|\Delta J|) \\ \min(|\nabla J|) \end{cases}$$

# Определение границ R0, R1, R2

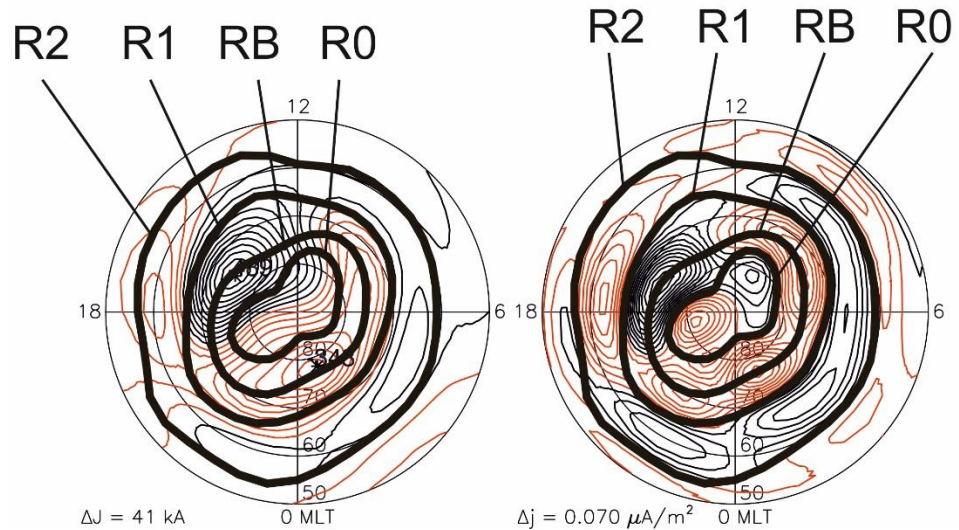


# Визуальное сравнение границ

Ручное построение

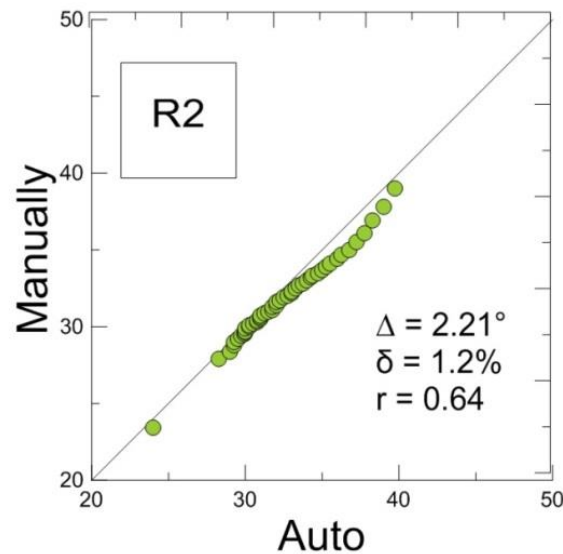
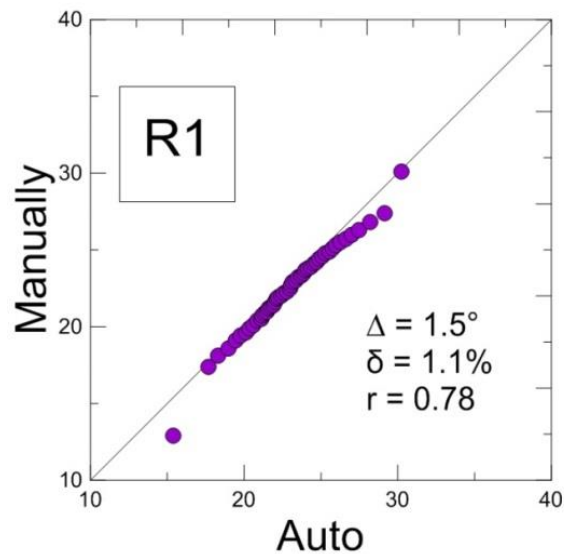
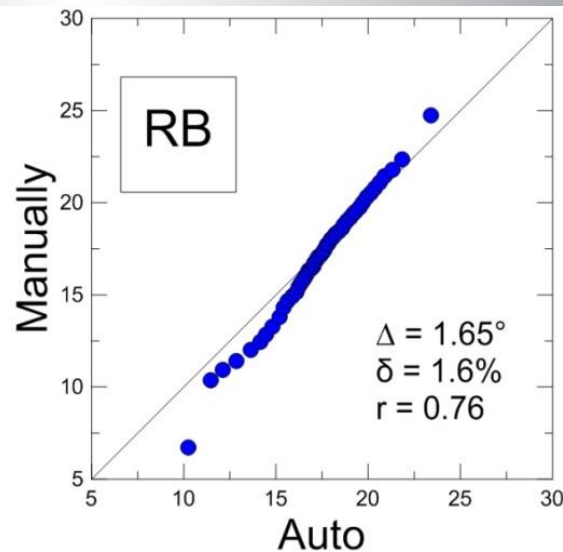
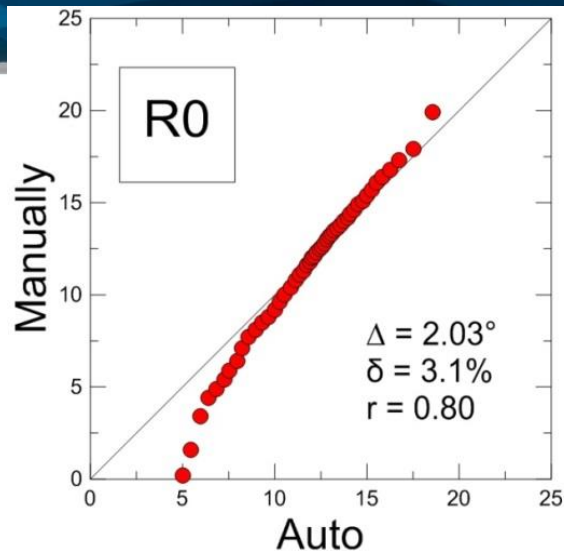


Автоматизированное построение





# Количественное сравнение границ



# Основные результаты

1. Разработан новый автоматизированный метод наземной диагностики границ аврорального овала на основе данных техники инверсии магнитограмм.
2. Выполнена программная реализация алгоритма.
3. Проведено сравнение ручного и автоматизированного способов построения границ аврорального овала.
4. Программный способ определения границ сокращает время обработки необходимых карт на 2-3 порядка по сравнению с ручным способом, не уступая по точности.
5. Решена проблема неоднозначности построения границ аврорального овала при ручном методе.



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**