

Сопоставление направления дрейфа с ориентацией поперечной анизотропии, рассчитанной для разных высот F-области ионосферы

¹ Полярный геофизический институт, г. Мурманск (Россия)

² Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва (Россия)

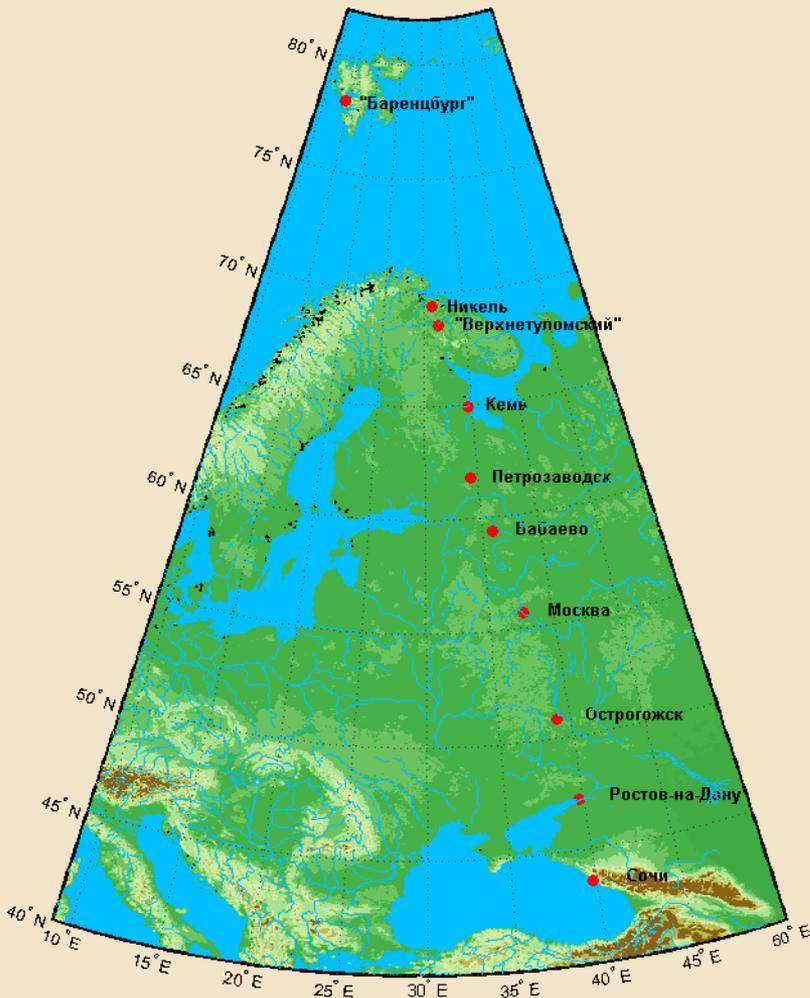
³ НИИ физики южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону (Россия)

XXI международная конференция

«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»

г. Москва - 2023

Радиотомографическая установка* ПГИ: г. Москва – центр томографической цепочки с октября 2008 г. по март 2012 г.



Станция	С. Ш.	В. Д.
п. Баренцбург (арх. Шпицберген)	78.10°	14.21°
г. Никель	69.40°	31.01°
п. Верхнетуломский	68.59°	31.76°
г. Кемь	64.95°	34.57°
г. Петрозаводск	61.78°	34.37°
г. Бабаево	59.37°	35.93°
г. Москва	55.67°	37.63°
г. Острогожск	50.87°	39.06°
г. Ростов-на-Дону	47.21°	39.70°
г. Сочи	43.58°	39.77°

* Терещенко Е.Д., Юрик Р.Ю., Григорьев В.Ф., Романова Н.Ю. Радиотомографическая установка Полярного геофизического института КНЦ РАН (РТУ ПГИ КНЦ РАН) // Сб. трудов конференции «Гелиогеофизические исследования в Арктике», 19–23 сентября 2016, г. Мурманск, Россия. С. 129–132. 2016.

**Первопроходцы: стабильность и мобильность !
Томографический приёмник, антенна и компьютер -
всё необходимое для автономной работы умещается на одном столе.**



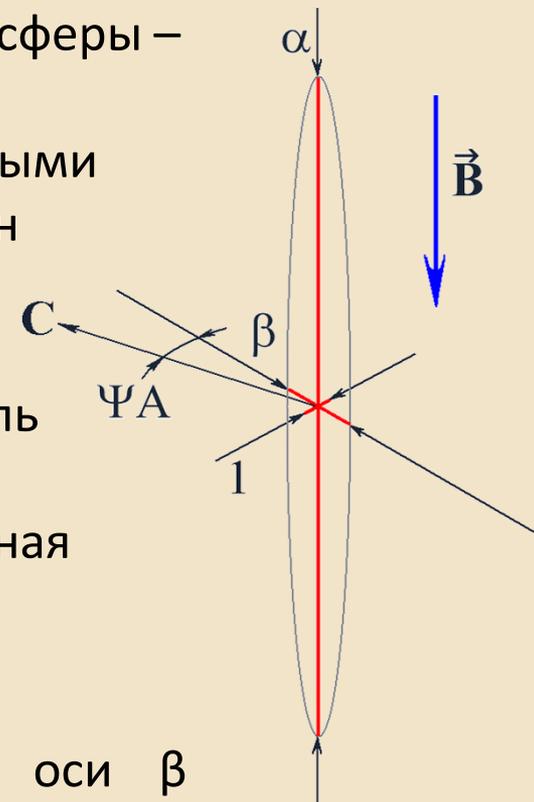
** Терещенко Е.Д., Юрик Р.Ю., Григорьев В.Ф., Романова Н.Ю. Радиотомографическая установка Полярного геофизического института КНЦ РАН (РТУ ПГИ КНЦ РАН) // Сб. трудов конференции «Гелиогеофизические исследования в Арктике», 19–23 сентября 2016, г. Мурманск, Россия. С. 129–132. 2016.*

Мелкомасштабные неоднородности F-области ионосферы – неоднородности электронной плотности с поперечными геомагнитному полю размерами от нескольких сотен метров до нескольких километров.

Неоднородности анизотропны: более вытянуты вдоль геомагнитного поля (α – продольная анизотропия) и менее вытянуты перпендикулярно ему (β – поперечная анизотропия), причём $\alpha > \beta > 1$

В разных геофизических условиях ориентация оси β различна. Поэтому она получила термин и буквенное обозначение:

Ψ_A – ориентация поперечной анизотропии

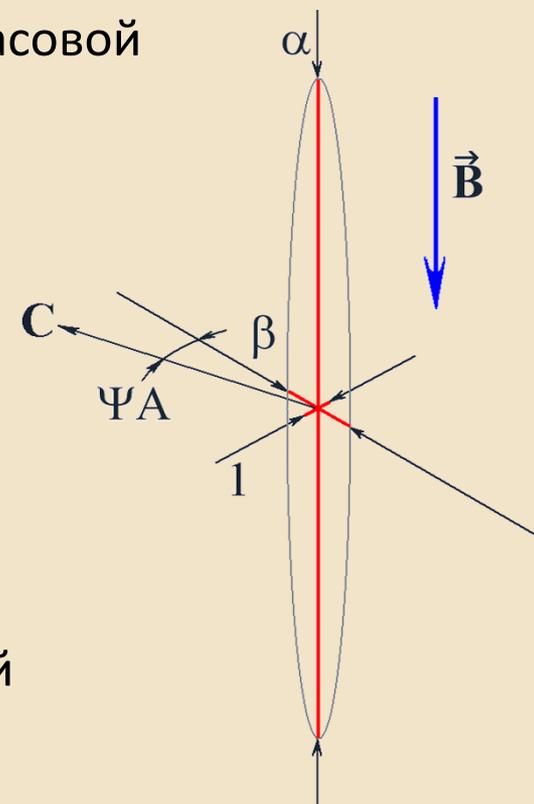


Ψ_A – угол, измеряется в градусах и отсчитывается от направления на географический север по часовой стрелке.

Ориентацию поперечной анизотропии Ψ_A можно определить с точностью в несколько градусов.

Она соответствует:

- направлению дрейфа плазмы в F-области высокоширотной ионосферы*;
- направлению горизонтального ветра в F-области среднеширотной ионосферы (по данным станций Острогжск – Ростов-на-Дону – Сочи)**;



*Козлова М.О. Исследование неоднородностей километрового масштаба в F-области высокоширотной ионосферы по данным о мерцаниях спутниковых радиосигналов: Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Мурманск: изд-во ПГИ КНЦ РАН. 2002. 30 с.

**Романова Н.Ю. Взаимосвязь между направлением горизонтального ветра и ориентацией поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей в F-области среднеширотной ионосферы // Геомагнетизм и аэронавигация. Т. 57. № 4. С. 463–471. 2017. DOI: 10.7868/S0016794017040150

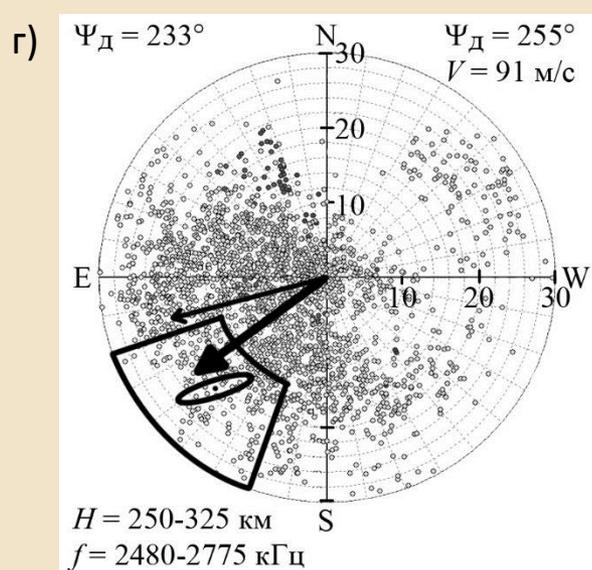
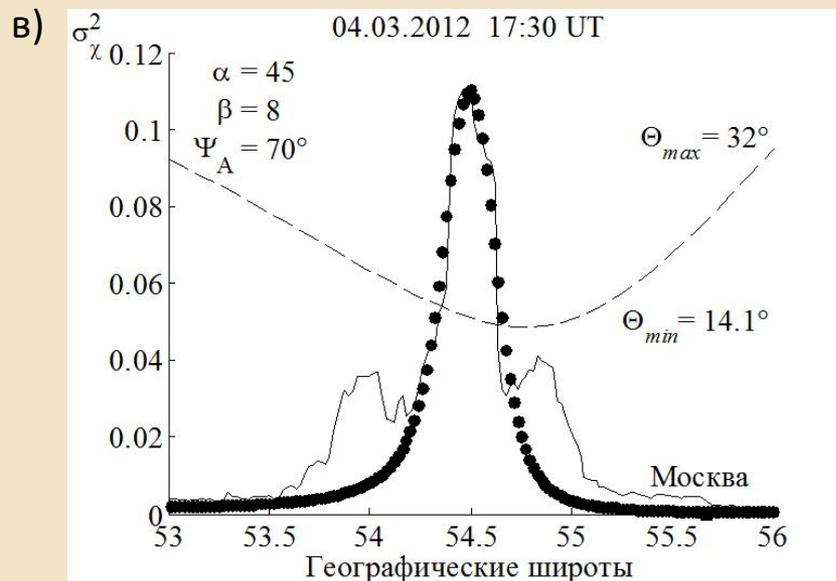
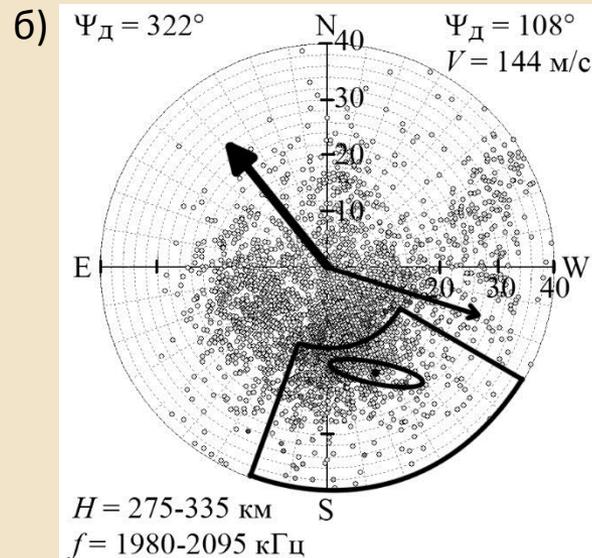
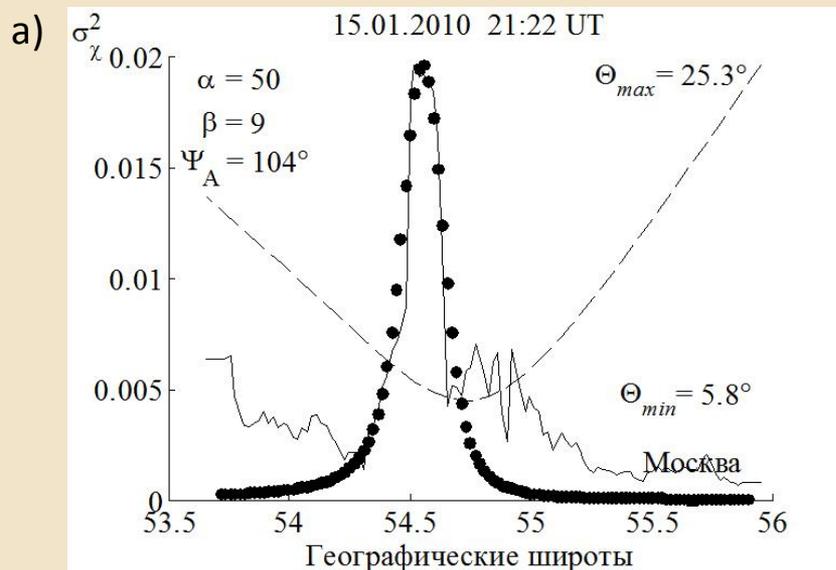
- Разработанным в ПГИ методом радиопросвечивания* численно определить значения ориентации поперечной анизотропии Ψ_A мелкомасштабных неоднородностей в F-области ионосферы над Москвой в период май 2009 – март 2012 гг.
- Разработанной в НИИ физики ЮФУ программой LocalDrift** численно определить направление дрейфа среднемасштабных неоднородностей (от 5-10 км до 50-100 км, в зависимости от высоты отражения и частоты зондирования) в тех же областях ионосферы и в то же время суток.
- Сопоставить полученные значения с целью исследовать предполагаемую связь между направлением дрейфа и поперечной вытянутостью мелкомасштабных неоднородностей.

* Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева Е.С. Радиотомография ионосферы // М.: Физматлит, 336 с. 2007.

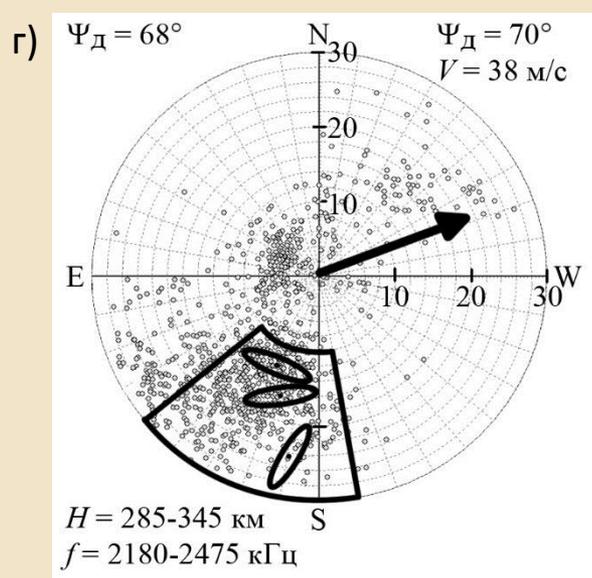
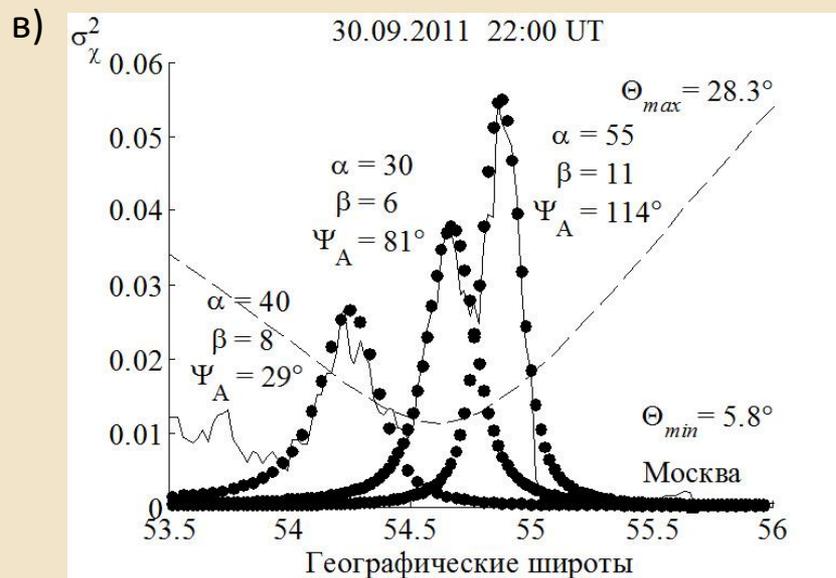
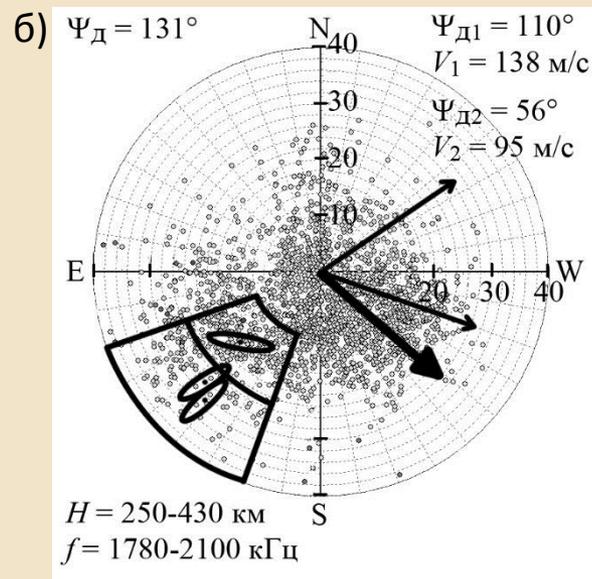
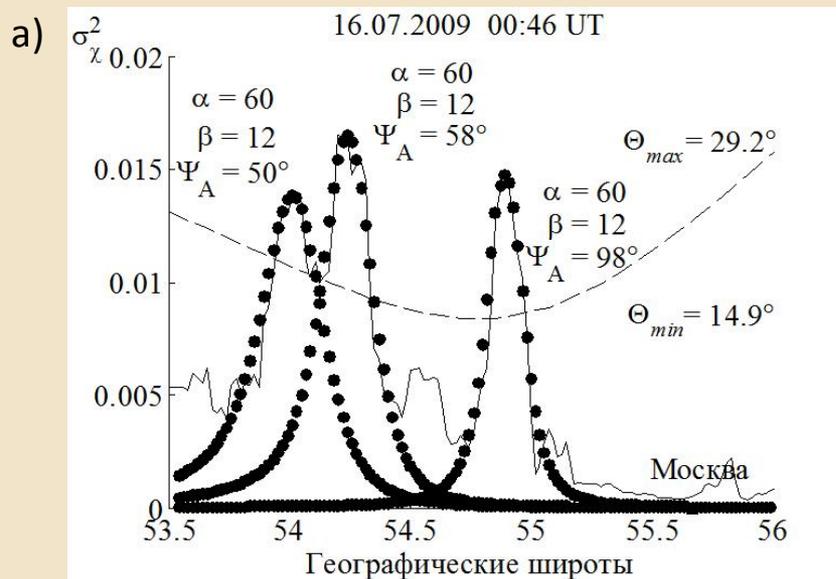
Kunitsyn V.E., Tereshchenko E.D. Ionospheric Tomography // Springer, 260 p. 2003.

** Zhabankov G.A., Telegin V.A., Panchenko V.A., Maltseva O.A. Updating DPS-4 ionosonde by ionospheric drift measurements: the LocalDrift software package // Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves RSEMW (RSEMW-2021). (Divnomorskoe, 2021). doi: 10.1109/RSEMW52378.2021.9494072

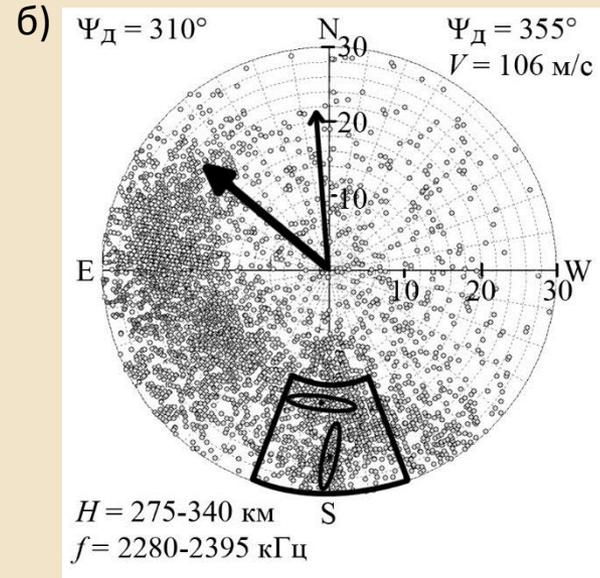
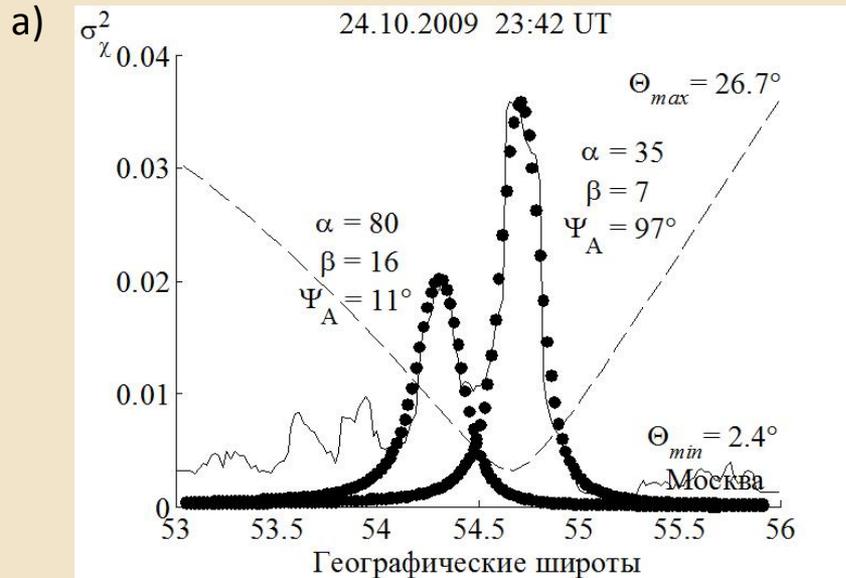
только по одному максимуму (а, в) и взаимное расположение (б, г) на карте неба ионосферных отражателей и ориентации поперечной анизотропии Ψ_A



Примеры определения параметров анизотропии α, β, Ψ_A по трём максимумам (а, в) и взаимное расположение (б, г) на карте неба ионосферных отражателей и ориентации поперечной анизотропии Ψ_A

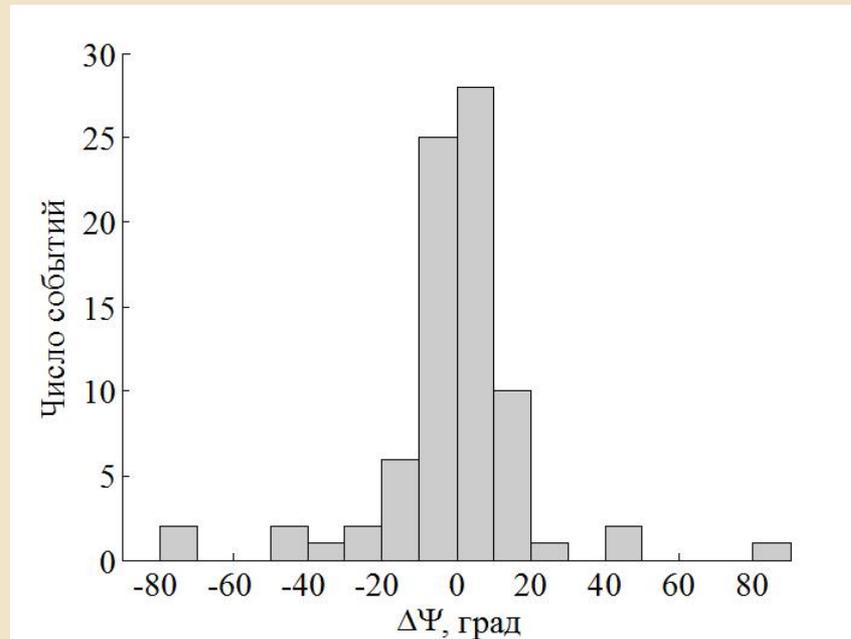


Пример определения параметров анизотропии α , β , Ψ_A
 по двум максимумам (а) и взаимное расположение (б) на карте неба
 ионосферных отражателей и ориентации поперечной анизотропии Ψ_A



- (а) – экспериментальные максимумы в графике дисперсии логарифма относительной амплитуды (сплошная кривая) и их аппроксимация теоретическими кривыми (кружки).
- (б) – взаимное расположение на карте неба ионосферных отражателей (серые точки) и ориентация поперечной анизотропии (эллипс). Стрелки в центре рисунка – направление дрейфа, рассчитанное по отражателям всей карты неба (толстая стрелка) и по отражателям в локальной области (тонкая стрелка). Границы локальной области обозначены черным цветом.

Гистограмма различий между
ориентацией поперечной анизотропии Ψ_A и направлением дрейфа Ψ_D
для 80 случаев сопоставления этих экспериментальных данных

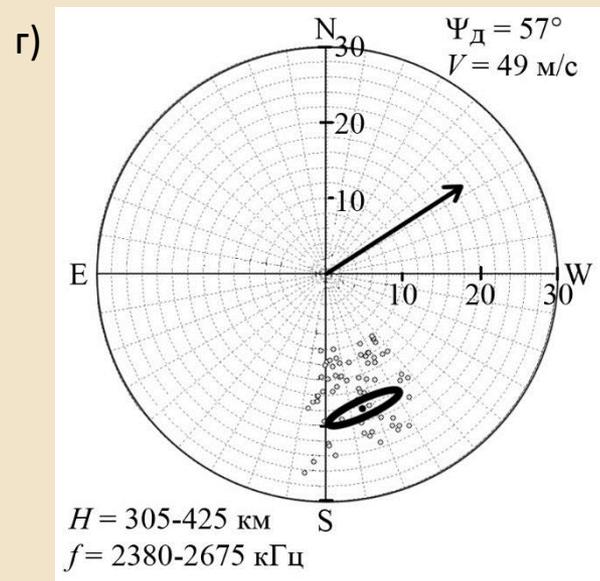
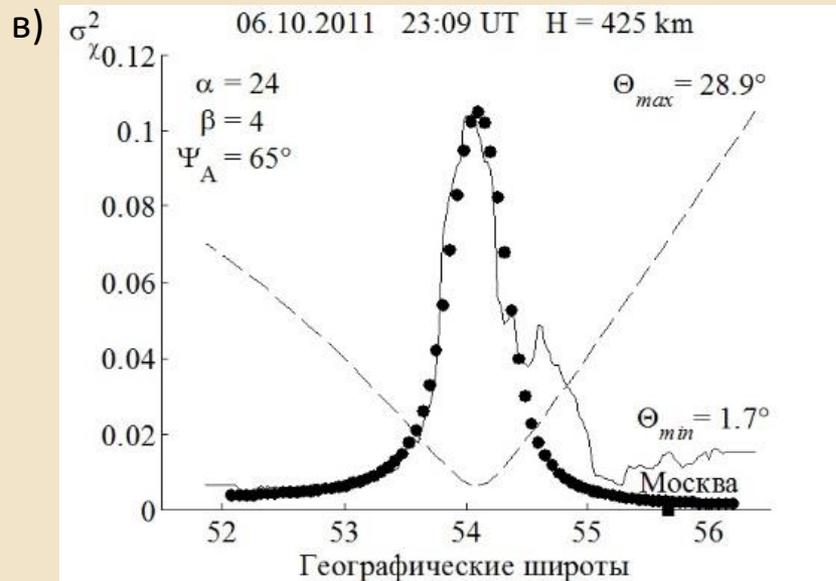
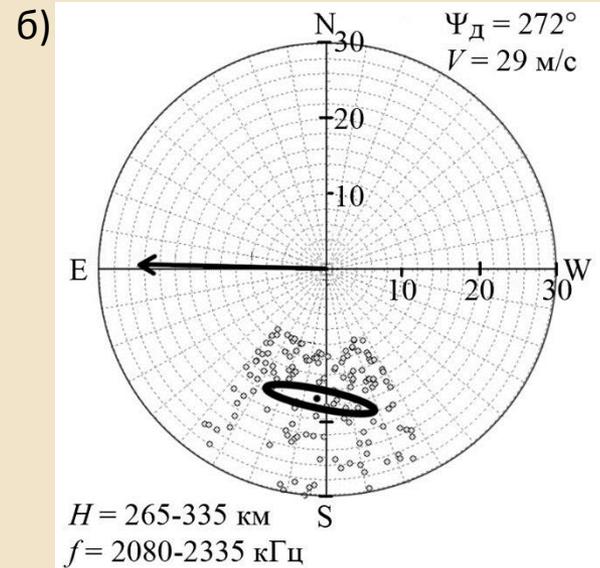
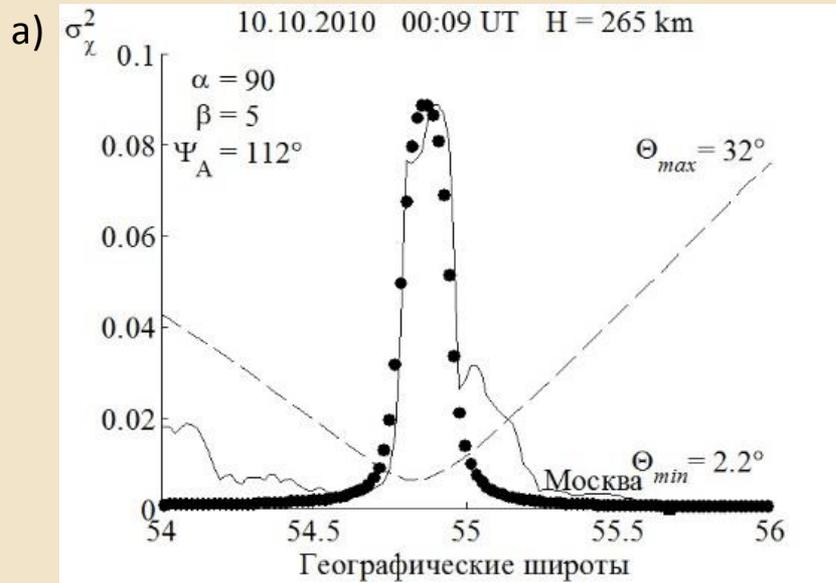


80 – это общее количество **максимумов** дисперсии уровня амплитуды, сопоставленных с данными по дрейфу. Это количество получено из **68 радиосеансов**, их которых:

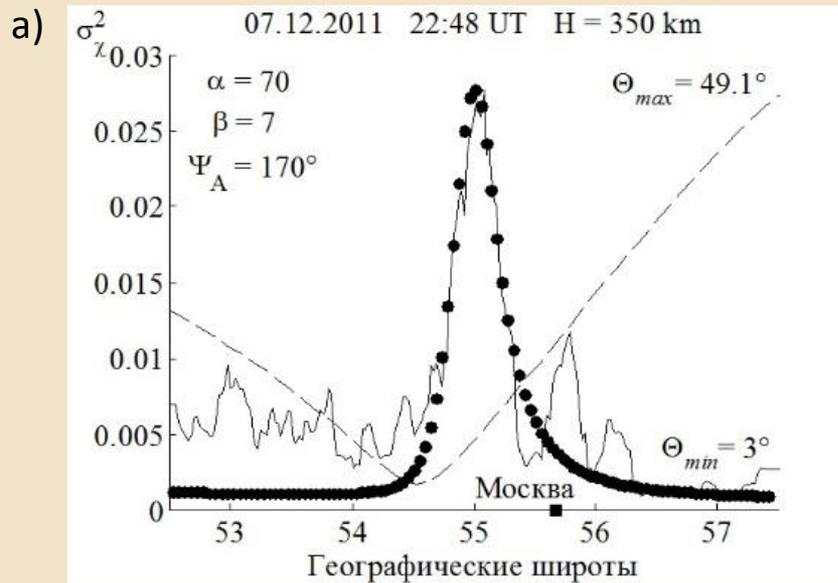
- 58 радиосеансов с 1 максимумом;
- 8 радиосеансов с 2 максимумами;
- 2 радиосеансов с 3 максимумами;

Примеры определения параметров анизотропии α , β , Ψ_A

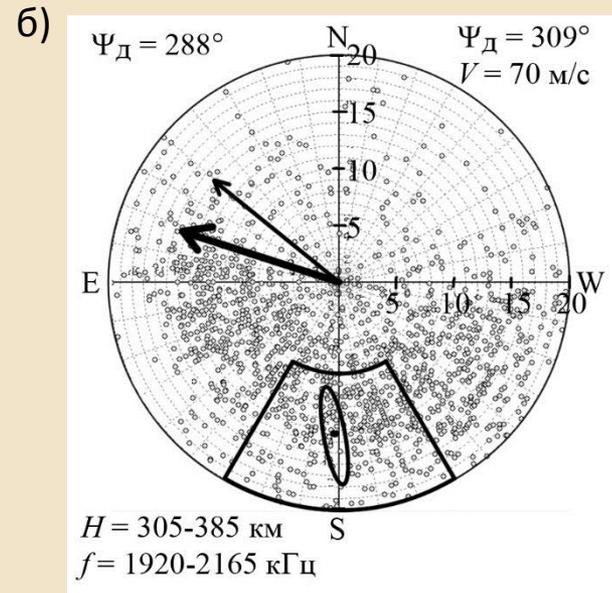
при зенитных пролётах ИСЗ (а, в) и взаимное расположение (б, г) на карте неба ионосферных отражателей и ориентации поперечной анизотропии Ψ_A



Примеры определения параметров анизотропии α, β, Ψ_A при зенитных пролётах ИСЗ (а, в) и взаимное расположение (б, г) на карте неба ионосферных отражателей и ориентации поперечной анизотропии Ψ_A



$$\Psi_A = 170^\circ (350^\circ)$$



$$\Psi_D = 309^\circ$$

$$\Delta \Psi = 41^\circ$$

- В период с мая 2009 г. по март 2012 г. было сделано 80 сопоставлений между ориентацией поперечной анизотропии Ψ_A и направлением дрейфа Ψ_D , которое показало сходство этих значений в большинстве случаев. **То есть в плоскости, перпендикулярной геомагнитному полю, мелкомасштабные неоднородности вытянуты вдоль направления дрейфа.**
- Однако в нескольких случаях различие между Ψ_A и Ψ_D было велико, несмотря на усовершенствованный подход к обработке карт неба – программа LocalDrift, где к расчету принимались ионосферные отражатели не всей карты неба, а только в исследуемой локальной области. **Возможно, большие различия связаны с расположением мелкомасштабных неоднородностей выше максимума F-слоя (т.е. вне указанного интервала действующих высот, используемых при данном режиме работы DPS-4), где направление дрейфа не может быть определено ионозондом в силу его технических ограничений.**

Исследование Г.А. Жбанкова проводилось при финансовой поддержке от Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание Г30110/23-10-ИФ).