Расширенный метод спектрографической глобальной съемки для исследования вариаций космических лучей

И.И. Ковалев, С. В. Олемской, В. Е. Сдобнов

Цели проведенной работы

- Расширение информативности метода СГС за счет разделения наблюдаемых вариаций КЛ на составляющие межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения;
- Возможность использования для анализа детекторов заряженных компонент КЛ без использования данных высотного хода температуры атмосферы;
- Повышение точности и достоверности метода СГС за счет использования более широкого энергетического диапазона наблюдений;
- Перспективы использования полученных температурных профилей атмосферы для прогнозирования погоды.

Метод СГС

- Метод СГС использует данные мировой сети станций КЛ, рассматривая ее как единый многоканальный прибор.
- В основе метода СГС заложена теория модуляции КЛ крупномасштабными электромагнитными полями СВ.
- Метод СГС позволяет по данным наземных наблюдений интенсивности КЛ позволяет разделить наблюдаемые вариации на составляющии межпланетного, магнитосферного и атмосферного происхождения и дает возможность получать:

а) спектр вариаций КЛ на орбите Земли

б) анизотропию КЛ в межпланетном пространстве и информацию об ориентации ММП

в) информацию об изменении планетарной системы ЖГО.

г) температурные характеристики атмосферы в точках измерения нестабильных компонент КЛ

Основные принципы

$$\frac{\Delta I_c^i}{I_c^i}(h_l) = -\overline{\Delta R_c} W_c^{i*}\left(\overline{R_c}, h_l\right) + \sum_{j=0}^{10}\sum_{k=1}^{m_n} A_{jk} B_{jkc}^{il}$$

$$A_{0k} = a_{0k};\ B_{0kc}^{jl} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi/2}\int_{R_{c(\alpha,\beta)}}^{\infty} R^{-k} W_c^i\left(R,\alpha,\beta,h_l\right)\sin\beta d\beta d\alpha dR \equiv \hat{K}R^{-k};$$

$$A_{1k} = a_{1k}\cos\Psi_0\cos\lambda_0;\ B_{1kc}^{il} = \hat{K}R^{-k}\cos\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{2k} = a_{1k}\sin\Psi_0\cos\lambda_0;\ B_{2kc}^{il} = \hat{K}R^{-k}\sin\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{3k} = a_{1k}\sin\lambda_0;\ B_{3kc}^{il} = \hat{K}R^{-k}\sin\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{4k} = a_{2k}\cos^2\Psi_0\cos^2\lambda_0;\ B_{4kc}^{il} = \frac{3}{2}\hat{K}R^{-k}\cos^2\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos^2\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{5k} = a_{2k}\cos\Psi_0\sin\Psi_0\cos^2\lambda_0;\ B_{5kc}^{il} = 3\hat{K}R^{-k}\cos\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\sin\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos^2\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{6k} = a_{2k}\sin^2\Psi_0\cos^2\lambda_0;\ B_{6kc}^{il} = \frac{3}{2}\hat{K}R^{-k}\sin^2\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos^2\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{7k} = a_{2k}\cos\Psi_0\cos\lambda_0\sin\lambda_0;\ B_{7kc}^{il} = 3\hat{K}R^{-k}\cos\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\sin\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{8k} = a_{2k}\sin\Psi_0\cos\lambda_0\sin\lambda_0;\ B_{8kc}^{il} = 3\hat{K}R^{-k}\sin\left[\Psi\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\cos\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right]\sin\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{9k} = a_{2k}\sin^2\lambda_0;\ B_{9kc}^{il} = \frac{3}{2}\hat{K}R^{-k}\sin^2\left[\lambda\left(R,\alpha,\beta\right)\right];$$

$$A_{10k} = a_{2k};\ B_{10kc}^{il} = -\frac{1}{2}B_{0kc}^{il}.$$

Основные принципы

- При подключении данных МТ, неисправленных на температурные вариации, рассматривается следующая система уравнений:

$$\frac{\Delta I_c^i}{I_c^i}(h_l) = -\overline{\Delta R_c} W_c^{i*}\left(\overline{R_c}, h_l\right) + \sum_{j=0}^{10}\sum_{k=1}^{m_n} A_{jk} B_{jkc}^{il} + V_{Tn}^i \Delta T_n + V_{Tсм}^i \Delta T_{см}$$

- Коэффициенты V для НМ равны нулю.

Стандартные ошибки

ΔdI/I НМ, %	ΔdI/I МТ, %	Δλ, °	ΔΨ, °	$ΔA_0$, %	$ΔA_1$, %	$ΔA_2$, %	ΔdRc, ГВ	ΔT ПС, °C	ΔT СМ, °C
±0.1	±0.1	±16.9	±21.5	±1.0	±8.8	±1.7	±0.03	±1.3	±0.3
	±0.2	±16.9	±21.5	±1.0	±8.8	±1.7	±0.03	±2.5	±1.2
±0.15	±0.1	±17.0	±21.8	±1.3	±8.8	±1.7	±0.04	±1.3	±0.3
	±0.2	±17.0	±21.8	±1.3	±8.8	±1.7	±0.04	±2.5	±1.0
±0.2	±0.1	±17.5	±22.1	±1.6	±8.9	±1.8	±0.05	±1.3	±0.3
	±0.2	±17.5	±22.1	±1.6	±8.9	±1.8	±0.05	±2.5	±1.0

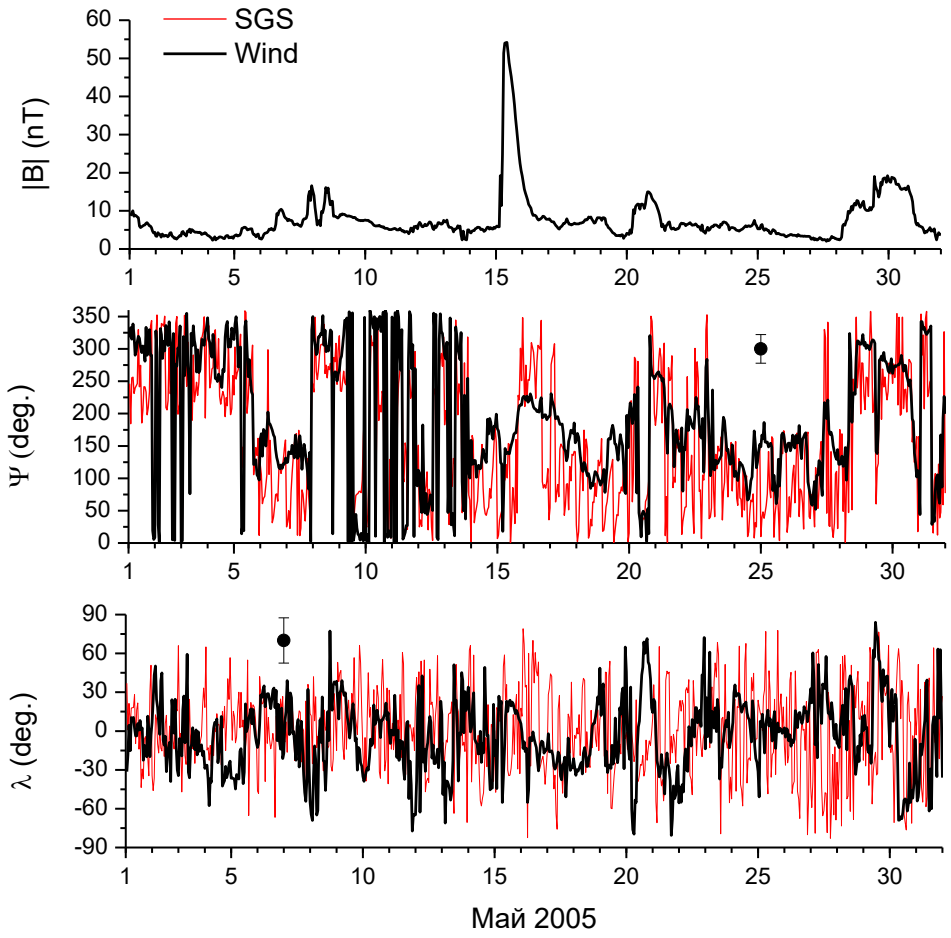
Исходные данные

- Рассматривались периоды: май 2005 года, август 2010 года, август 2018 года.
- Май 2005 года характеризовался сильной геомагнитной бурей и форбуш-эффектом.
- Август 2010 года характеризовался серией форбуш-понижений и умеренными геомагнитными возмущениями.
- Август 2018 года приходился на минимум солнечной активности, но характеризовался одной сильной магнитной бурей.

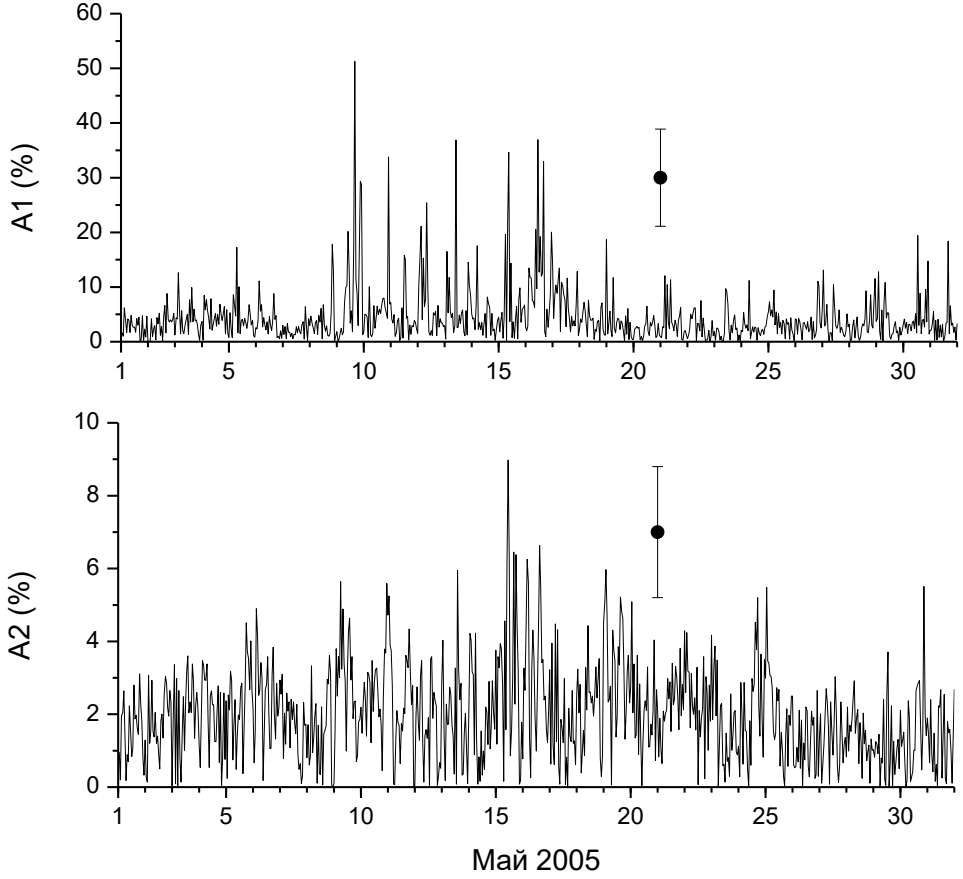
Исходные данные

- Помимо данных мировой сети НМ (39 – 43 станций), подключались данные детекторов заряженных компонент.
- Для исследования периодов мая 2005 и августа 2010 г. подключались данные Новосибирского МТ.
- Для исследования периода августа 2018 г. подключались данные Якутского МТ и мюонного годоскопа УРАГАН (Москва).

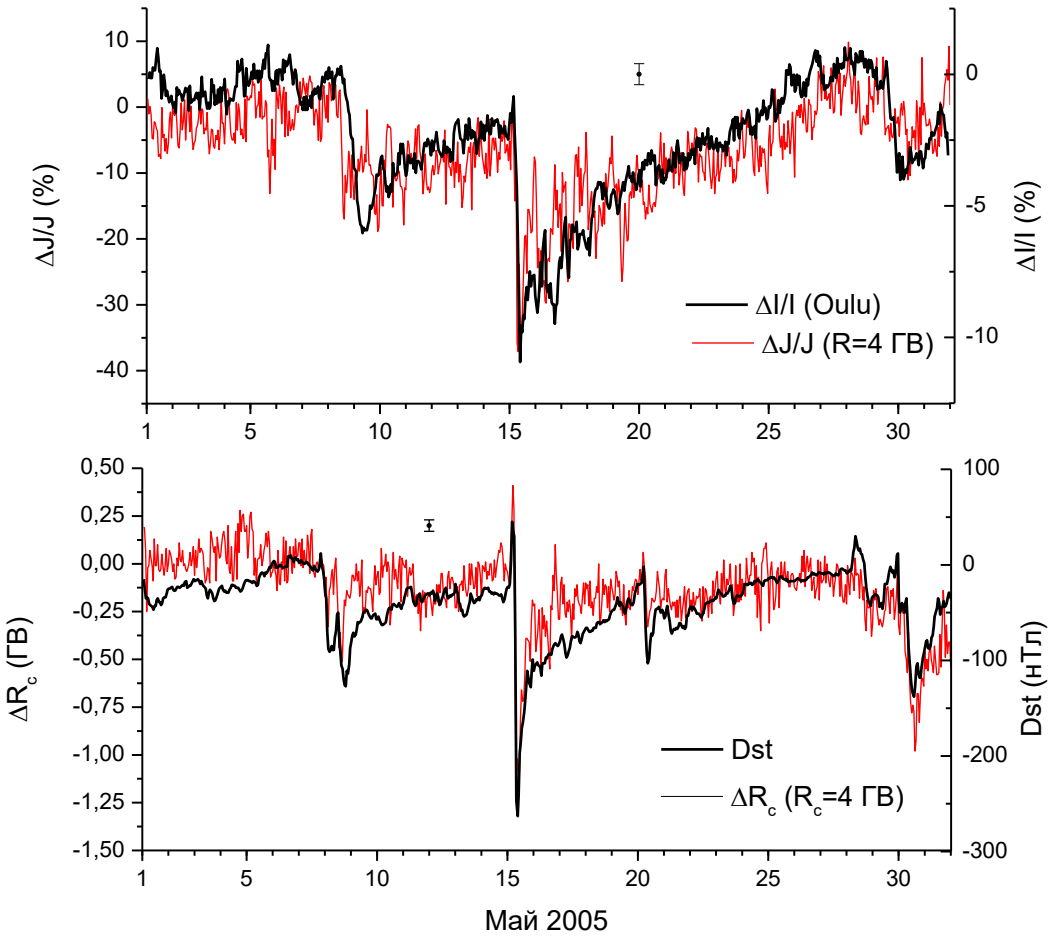
Май 2005 - ММП



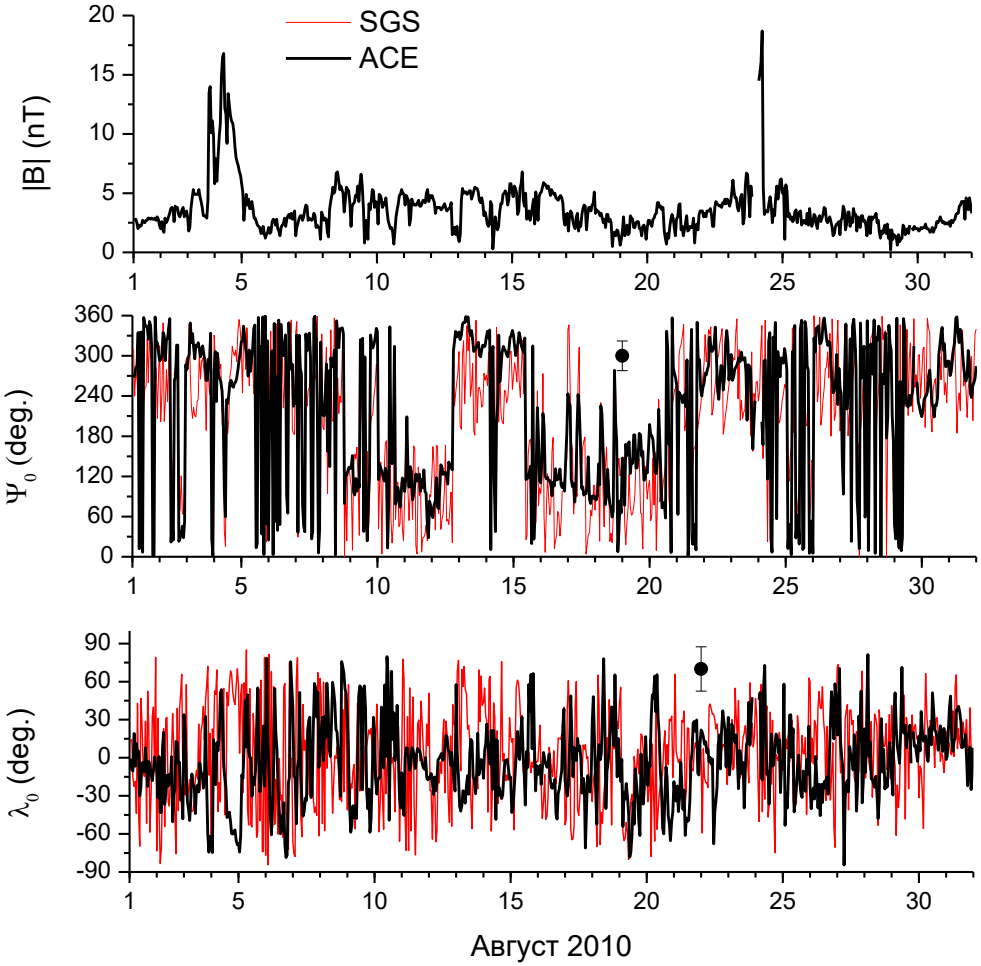
Май 2005 – питч-угловая анизотропия



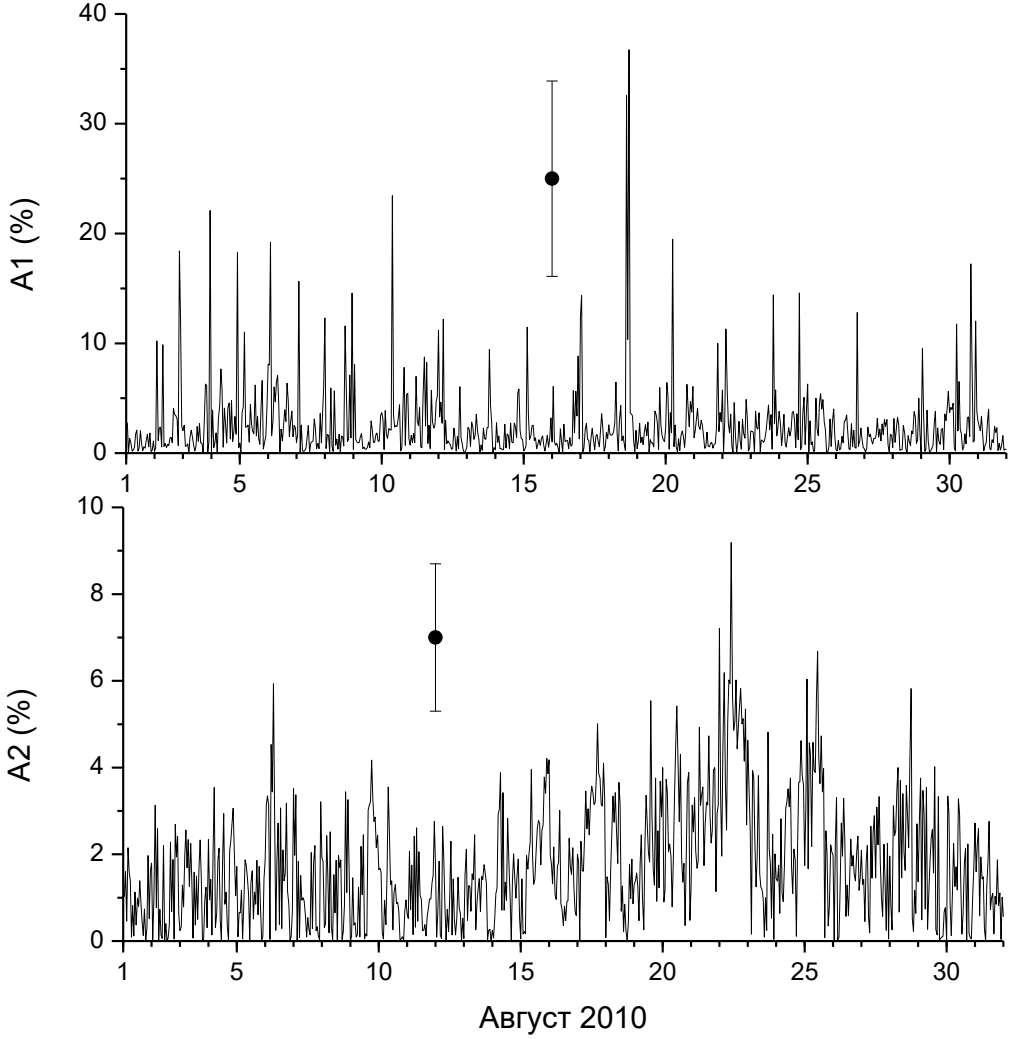
Май 2005 – Изотропная компонента и изменение ЖГО



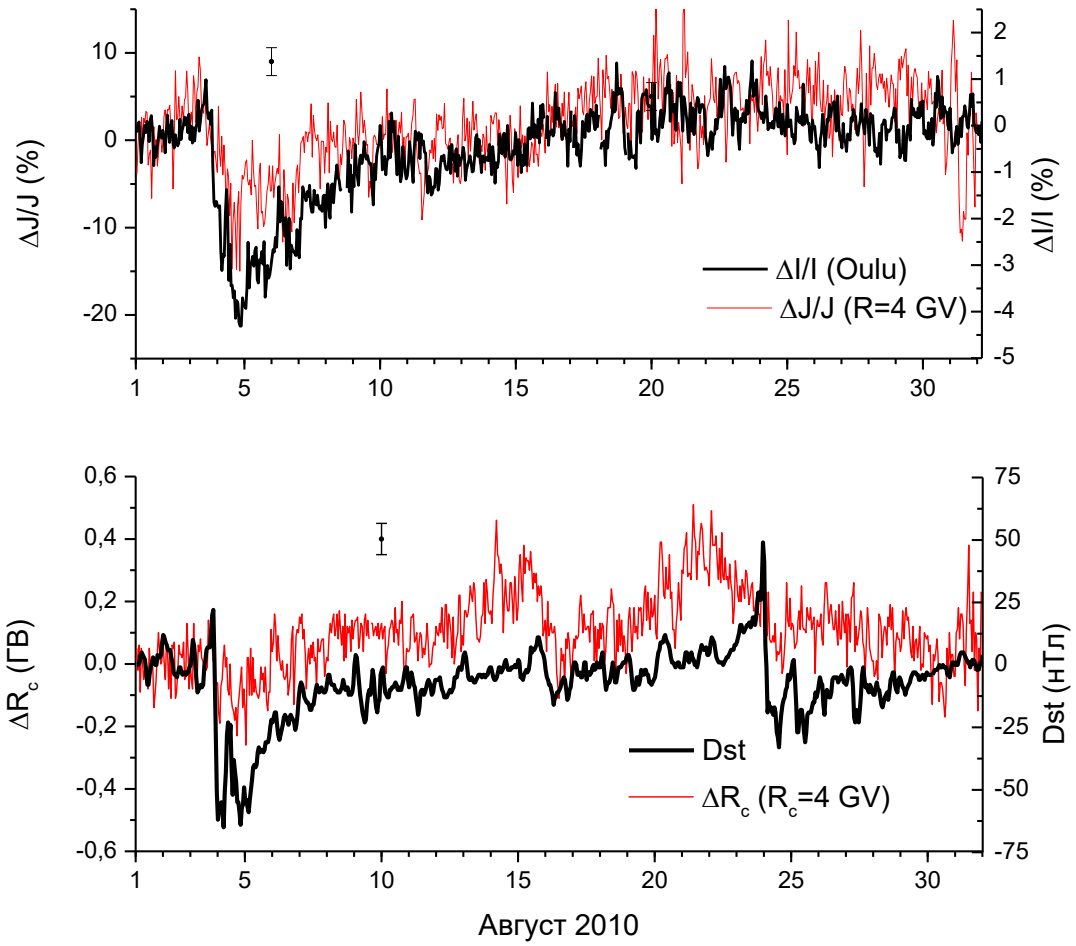
Август 2010 - ММП



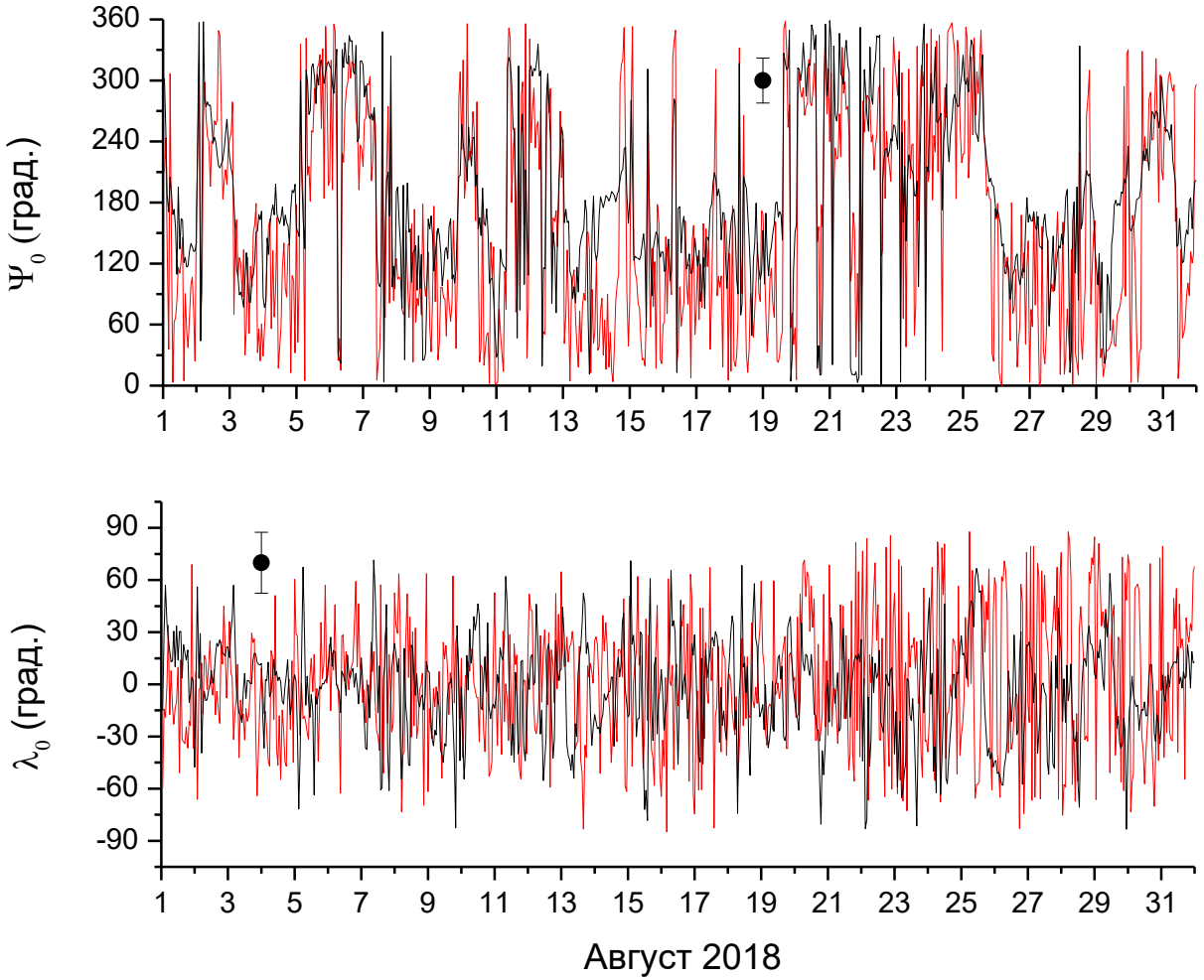
Август 2010 – питч-угловая анизотропия



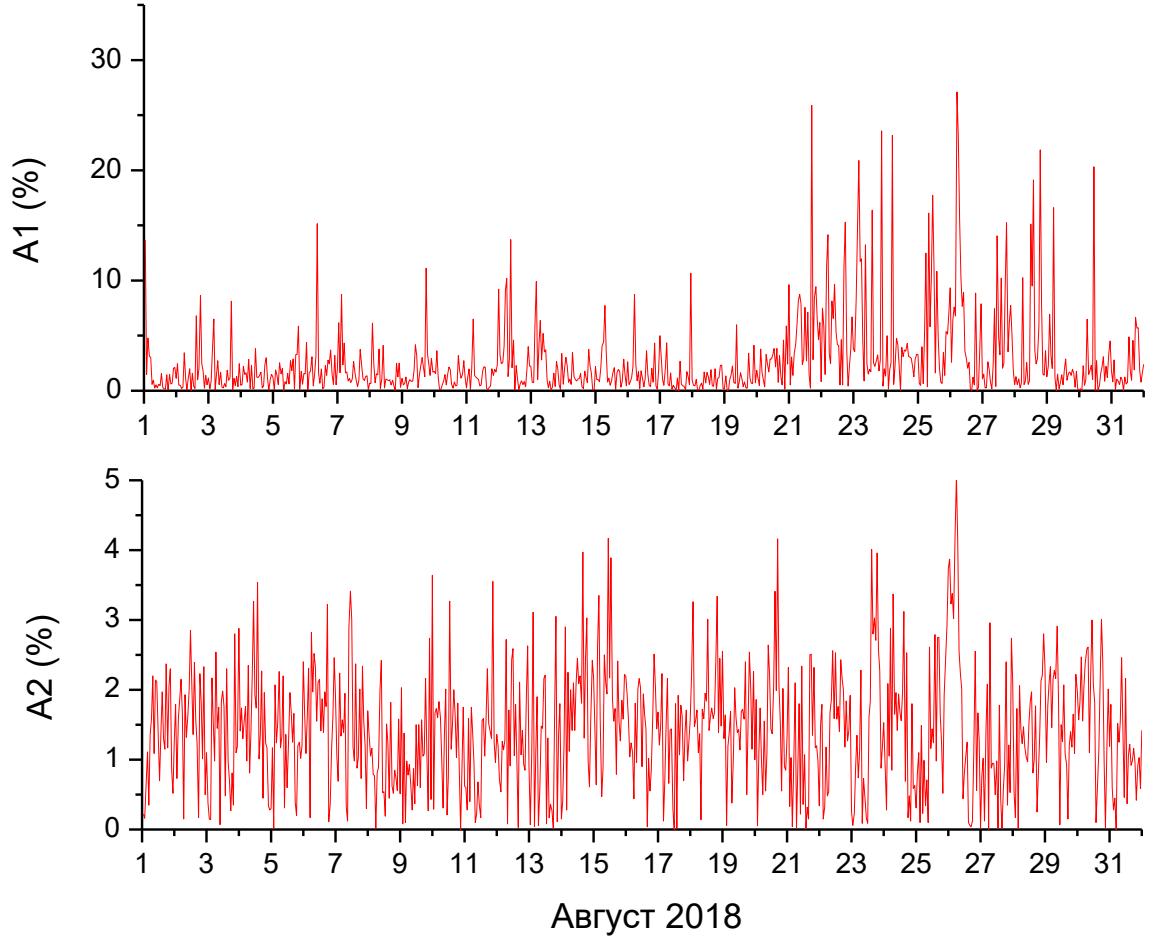
Август 2010 – Изотропная компонента и изменение ЖГО



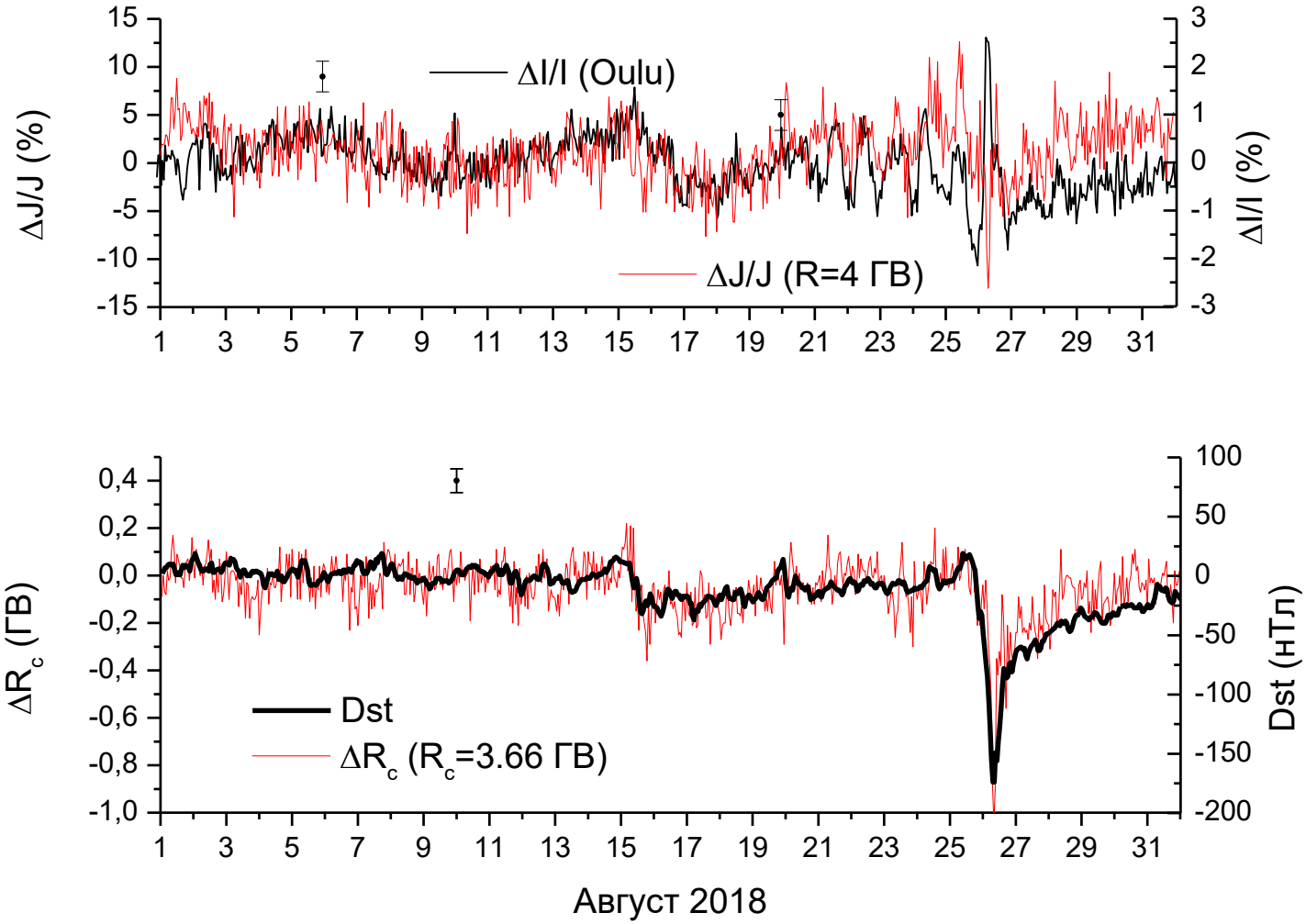
Август 2018 - ММП



Август 2018 - питч-угловая анизотропия



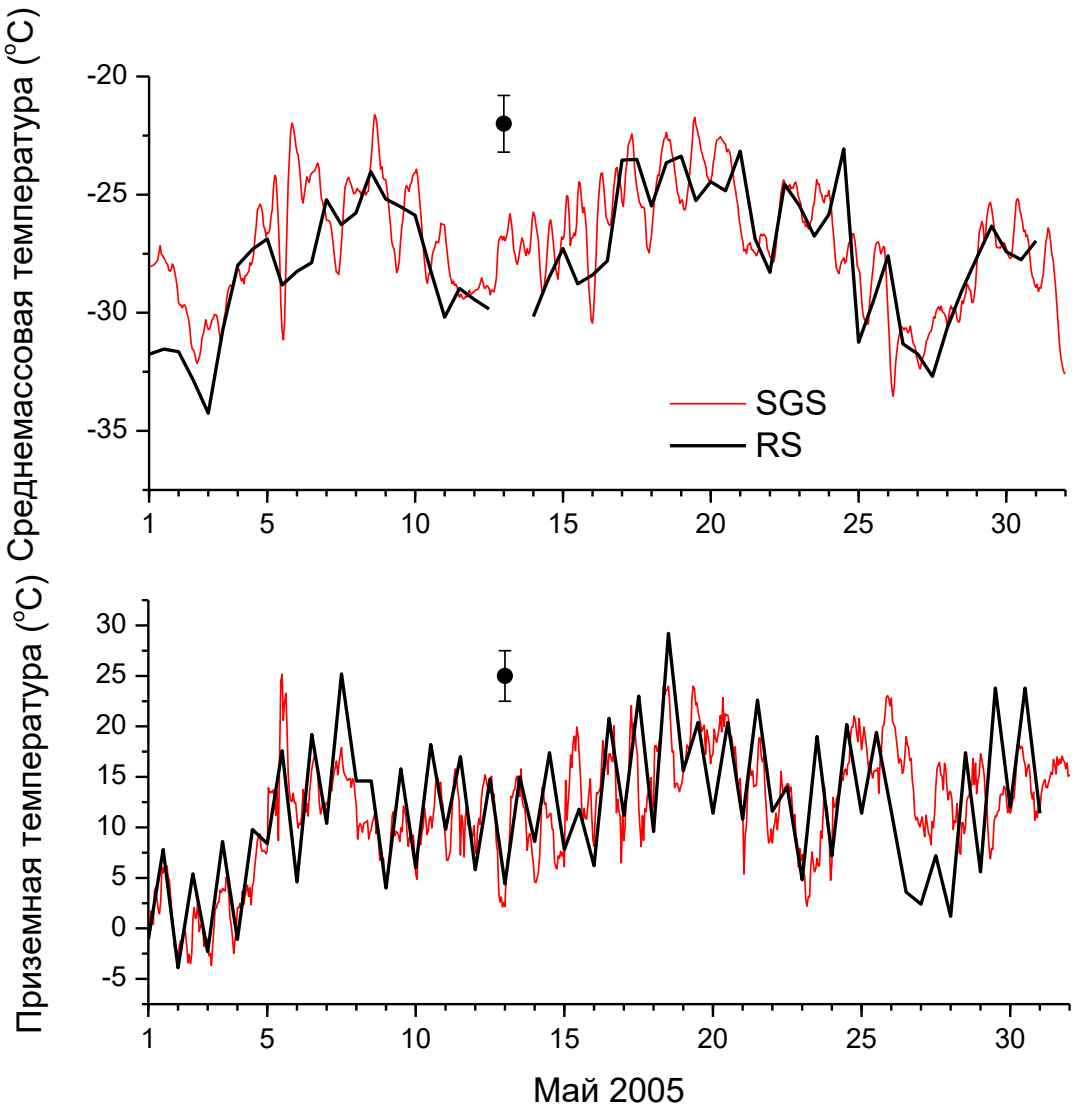
Август 2018 – Изотропная компонента и изменение ЖГО



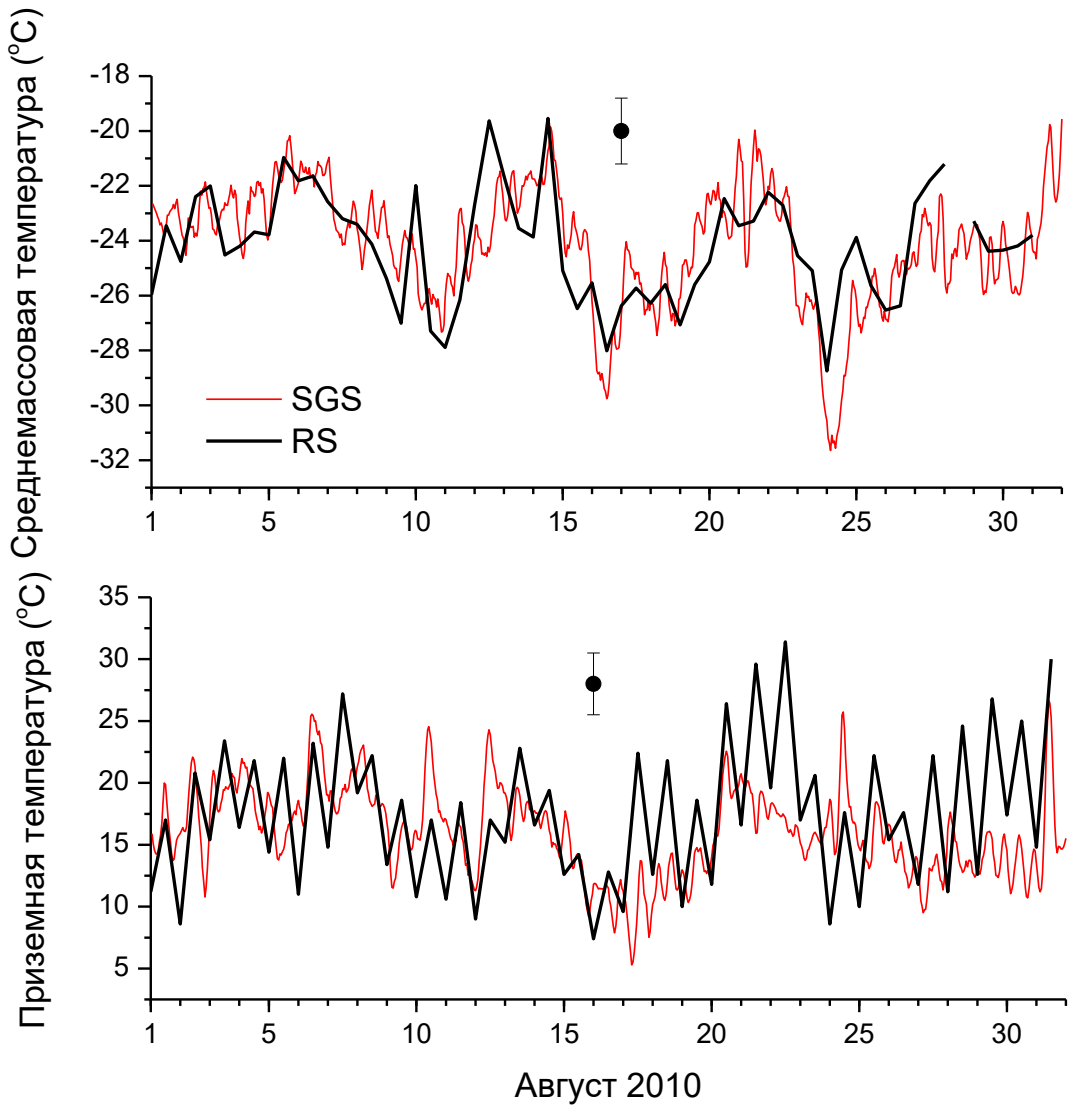
Результаты

- По обоим периодам наблюдается согласие между данными по ориентации ММП, полученными методом СГС и от АМС. Коэффициент корреляции – 0.76.
- По полученной методом СГС информации питч-угловой анизотропии можно сделать предположения о наличии петлевых структур в ММП.
- В периоды возмущений изменение ЖГО коррелирует с Dst-индексом. Коэффициент корреляции – 0.96.

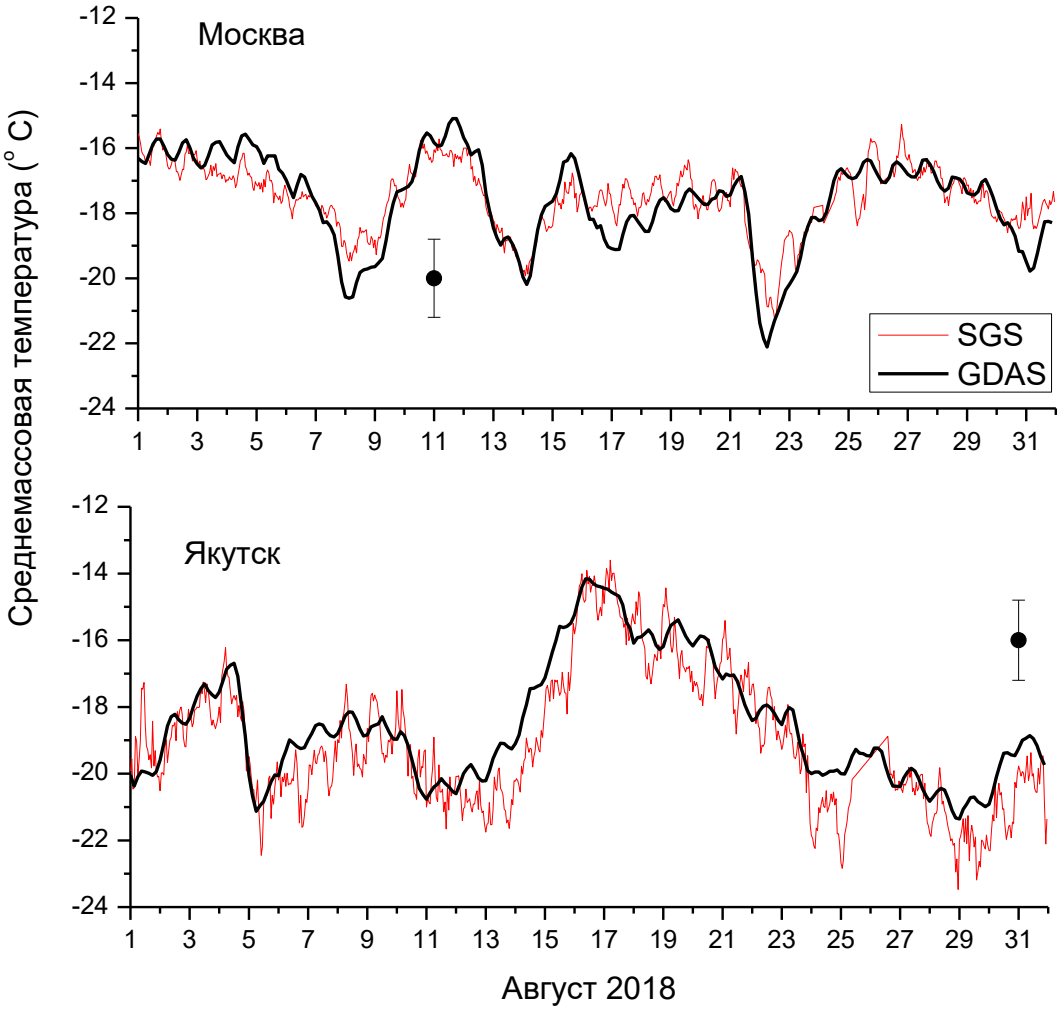
Май 2005 - температура



Август 2010 - температура



Август 2018 - температура



Результаты

- Наблюдается хорошее согласие в расчетных и наблюдаемых данных по температуре.
- Некоторое расхождения в расчетных и наблюдаемых данных по температуре могут возникать вследствие нескольких факторов: низкое качество данных МТ, неполнота данных радиозондирования, разные метеоусловия в пунктах проведения радиозондирования и регистрации жесткой компоненты.

Выводы

- В результате исследований вариаций КЛ по данным наземных измерений КЛ на мировой сети станций в различные периоды СА показана информативность модифицированного метода СГС при диагностике межпланетного пространства, магнитосферы и атмосферы Земли для решения задач солнечно-земной физики.
- Сравнение результатов расчетов с применением метода СГС с данными прямых наблюдений доказало их достоверность, а использование для анализа данных наблюдений нестабильных заряженных компонент КЛ без исправления их на температурный эффект позволяет получить температурные характеристики атмосферы в точке таких измерений.