

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ФИЗИКЕ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫХ СВЯЗЕЙ

(Совет "Солнце – Земля")

119334, Москва, Ленинский проспект, 38, корп.1
Институт динамики геосфер РАН

Тел.: (499) 137 07 11
Факс: (499) 137 65 11
e-mail: kotova@iki.rssi.ru

3 марта 2014 г. № 003-14

Академику-секретарю
Отделения наук о Земле
Академику А.О. Глико

Глубокоуважаемый Александр Олегович!

22 января 2014 г. состоялось заседание Научного совета РАН по физике солнечно-земных связей (Совет «Солнце-Земля»).

Научные учреждения представили результаты своих исследований, проведенных в 2013 г., руководителям секций Совета. На заседании руководители секций сделали обзоры, состоялось широкое обсуждение, были выделены наиболее значимые результаты. Большинство результатов представляет интерес для Отделения физических наук.

Направляю Вам краткое изложение тех научных результатов, которые, по мнению членов Научного совета «Солнце – Земля», представляют интерес для Вашего отделения.

Приложение:

Важнейшие результаты научных исследований в области физики Земли, полученные в учреждениях РАН в 2013 г., 12 стр.

Председатель Совета
академик



Г.А. Жеребцов

Ученый секретарь Совета
к.ф.-м.н.



Г.А. Котова

ВАЖНЕЙШИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ, ПОЛУЧЕННЫЕ В 2013 Г.

Результаты, рекомендуемые Советом «Солнце-Земля» для включения в годовой отчет РАН

А. ПРОСТРАНСТВЕННО-РАЗНЕСЕННЫЙ КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Г.А. Жеребцов, О.И. Бернгардт, А.В. Михалев, Н.П. Первалова, К.Г. Ратовский, Р.А. Рахматулин, А.Г. Сорокин (ИСЗФ СО РАН), А.А. Добрынина, Саньков В.А. (ИЗК СО РАН), berng@iszf.irk.ru

В Азиатском регионе РФ сформирован пространственно - разнесенный комплекс геофизических инструментов (когерентный ионосферный радар, сеть приемников GPS/ГЛОНАСС, инфразвуковая станция, оптические комплексы для измерения свечения верхней атмосферы, сеть магнитных станций, ионозонды) обеспечивающий мониторинг околоземного космического пространства, в том числе потенциально опасных явлений и объектов. Например, совместно с сетью сейсмических станций были зарегистрированы эффекты, сопровождавшие полет и взрыв Челябинского метеороида 15 февраля 2013 г. в геомагнитном поле, в ионосфере, атмосфере и литосфере Земли.

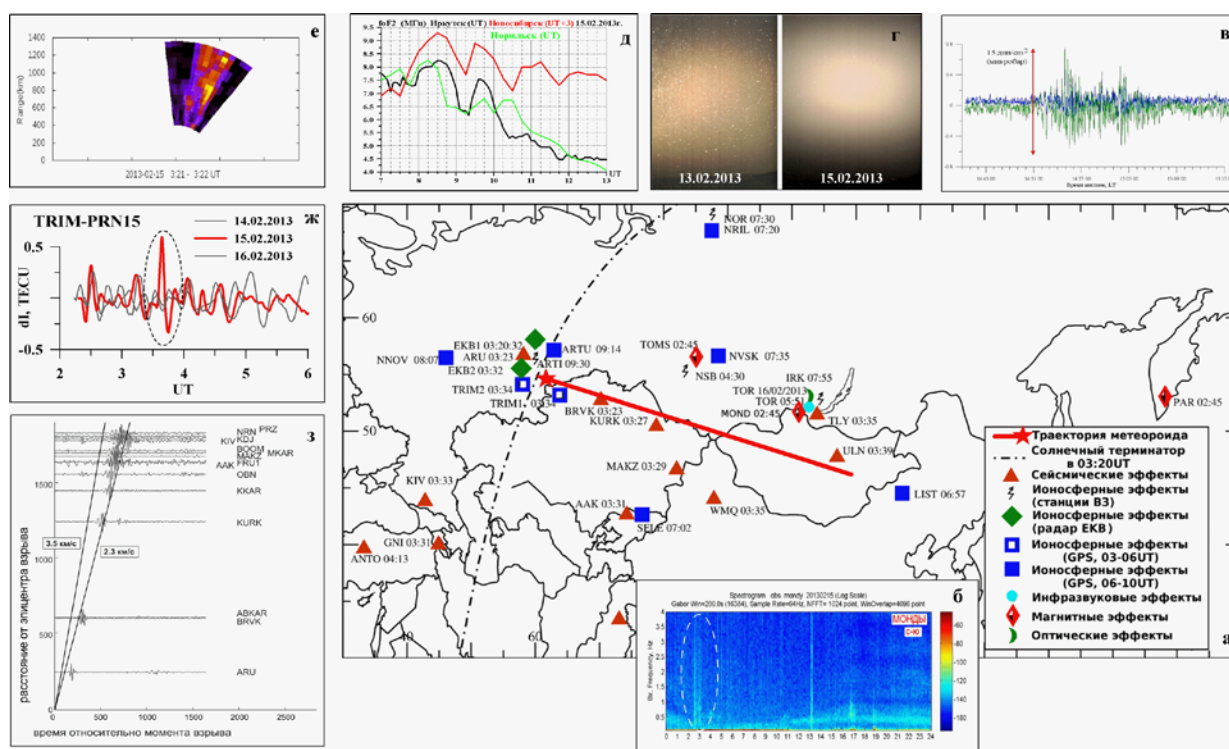


Рис. 1. Карта регистрации (а) и примеры (б-з) геофизических эффектов в азиатском регионе, сопровождавших падение Челябинского метеороида: шумовой всплеск в геомагнитном поле (б); инфразвуковой сигнал (в); свечение ночного неба (г); колебания критической частоты слоя F2 ионосферы (д); короткоживущая ионизованная область (е); колебания GPS-ПЭС (ж); сейсмические колебания (з). На карте показано место и время (UT) начала регистрации эффектов. Время взрыва метеороида: 03:20:33 UT

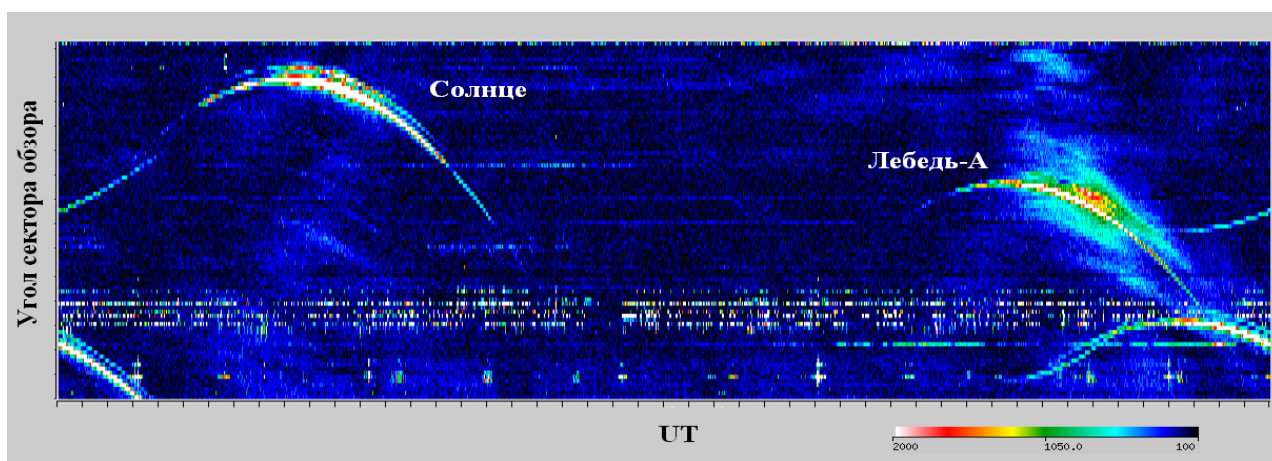
1. Бернгардт О.И., Добрынина А.А., Жеребцов Г.А., Михалев А.В., Первалова Н.П., Ратовский К.Г., Рахматулин Р.А., Саньков В.А., Сорокин А.Г. Геофизические явления,

1. ФИЗИКА ИОНОСФЕРЫ

1. Радиоастрономические наблюдения на Иркутском радаре некогерентного рассеяния

Р.В. Васильев, Д.С. Кушнарев, Л.К. Кашапова, В.П. Лебедев, А.В. Медведев, Н.И. Невидимов, К.Г. Ратовский (ИСЗФ СО РАН), medvedev@iszf.irk.ru

Разработан метод наблюдения дискретных космических радиоисточников в диапазоне 149–164 МГц с использованием Иркутского радара некогерентного рассеяния (ИРНР). Создан программно-аппаратный комплекс, позволяющий с высоким временным разрешением (единицы секунд) и в большом динамическом диапазоне (70 ДБ) вести регистрацию потока радиоизлучения дискретных космических радиоисточников, проходящих через сектор обзора радара, таких, как Солнце, Лебедь-А, Кассиопея-А. Установлено хорошее согласие данных о вариациях солнечного радиоизлучения, полученных в 2013 году на ИРНР и радиогелиографе Nansay. Одновременное наблюдение на ИРНР Солнца и стабильных дискретных космических радиоисточников позволяет использовать ИРНР в качестве дополнительного средства контроля солнечной активности с абсолютной калибровкой потока радиоизлучения.



Дискретные радиоисточники, наблюдаемые на ИРНР. Диаграмма отражает поведение мощности принимаемого радиосигнала в течение суток. Цветом от черного к белому указана мощность в относительных единицах.

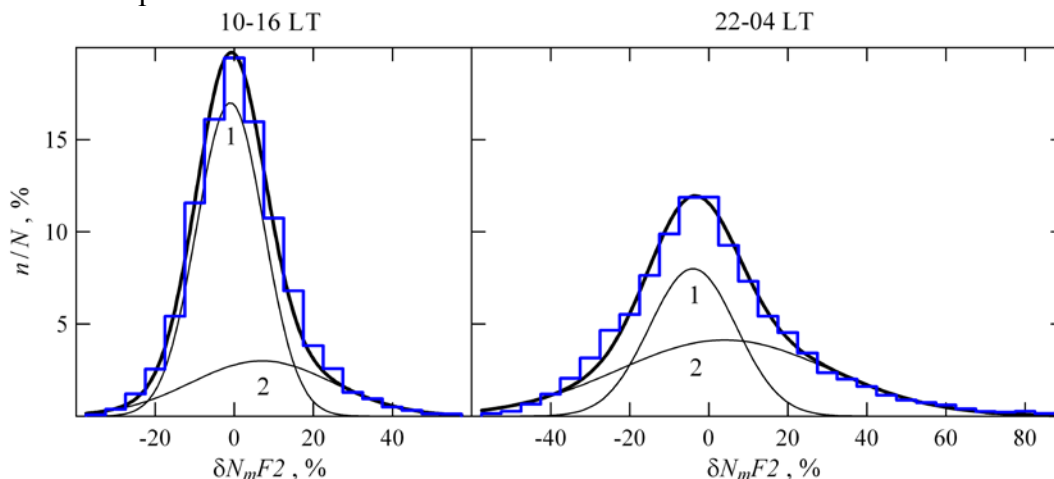
1. Васильев Р.В., Кушнарев Д.С., Кашапова Л.К., Лебедев В.П., Медведев А.В., Невидимов Н.И., Ратовский К.Г. Первые результаты радионаблюдений Солнца и мощных дискретных источников на иркутском радаре // *Астрономический журнал*. 2013. Т. 90, №11. С. 948-958.
2. Vasilyev R.V., Kushnarev D.S., Lebedev V.P., Medvedev A.V., Nevidimov N.I., Ratovsky K.G. Perspectives of usage of Irkutsk incoherent scatter radar (IISR) as an imaging riometer and radio-heliograph // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, doi 10.1016/j.jastp.2013.06.012

2. Новое свойство изменчивости параметров максимума F2-слоя ионосферы

М.Г. Деминов, Г.Ф. Деминова, (ИЗМИРАН), Г.А. Жеребцов, Н.М. Полех, (ИСЗФ СО РАН), deminov@izmiran.ru

Впервые на основе статистического анализа данных среднеширотной ионосферной станции для спокойных условий при низкой солнечной активности установлено, что гистограмму относительных отклонений концентрации максимума F2-слоя от фона ($\delta N_m F2$) можно аппроксимировать смесью двух нормальных распределений, первый и второй компоненты которых ассоциируются с ионосферными эффектами атмосферных гравитационных волн (АГВ) и планетарных волн и приливов соответственно. Отклонения гистограмм $\delta N_m F2$ от одного нормального распределения наиболее значительны в ночные часы зимой и в равноденствия, когда знаки смещения (отклонения от среднего) для первого и второго компонентов смеси различны.

Для ионосферных исследований данная функция – смесь двух нормальных распределений – использована впервые.



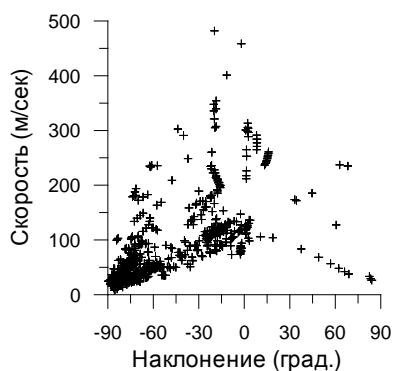
Гистограммы $\delta N_m F2$ для дневных (10-16 LT) и ночных (22-04 LT) часов по всем данным ст. Иркутск для спокойных условий в интервале 2007-2010 гг. Аппроксимации гистограмм смесью двух нормальных распределений (толстые линии), компоненты 1 и 2 смеси (тонкие линии).

1. *Deminov M.G., Deminova G.F., Zherebtsov G.A., Polekh N.M. Statistical properties of variability of the quiet ionosphere F2-layer maximum parameters over Irkutsk under low solar activity // Adv. Space Res. 2013. V. 51. No. 5. P. 702-711.*

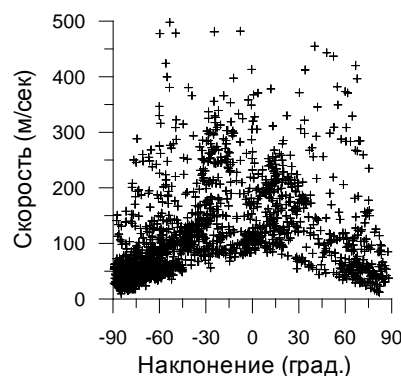
3. Экспериментальное исследование проявления внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере Земли

А.В. Медведев, К.Г. Ратовский, М.В. Толстикова, А.А. Щербаков, С.С. Алсаткин (ИСЗФ СО РАН), medvedev@iszf.irk.ru

Создан автоматизированный метод анализа трехмерных пространственно-временных неоднородностей электронной концентрации в ионосфере с использованием данных Иркутского радара некогерентного рассеяния и ионозонда DPS-4. Впервые получена представительная статистика характеристик распространения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). На основе данных о полном трехмерном векторе скорости ПИВ осуществлен анализ дисперсионных зависимостей для наблюдаемых волновых возмущений. Установлено, что скорости и углы наклона большинства наблюдаемых ПИВ соответствуют существующим представлениям о законах распространения внутренних гравитационных волн в верхней атмосфере. От 70 до 90% волн имеет источник ниже области наблюдения. Волны, распространяющиеся сверху вниз, связаны, вероятно, с отражением первичных волн на высотах выше области наблюдения.



Дневные условия



Ночные условия

Распределения на фазовой плоскости: модуль фазовой скорости – угол наклона волнового вектора относительно горизонта (положительные значения соответствуют распространению вниз, отрицательные - вверх).

1. *Медведев А.В., Ратовский К.Г., Толстиков М.В., Щербаков А.А., Алсаткин С.С. Статистическое исследование характеристик распространения перемещающихся ионосферных возмущений по данным радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН // Солнечно-земная физика. 2012. Вып. 20. С. 85–91.*
2. *Medvedev A.V., Ratovsky K.G., Tolstikov M.V., Alsatkin S.S., Scherbakov A.A. Studying of the spatial-temporal structure of wavelike ionospheric disturbances on the base of Irkutsk incoherent scatter radar and Digisonde data // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jastp.2013.09.001>.*

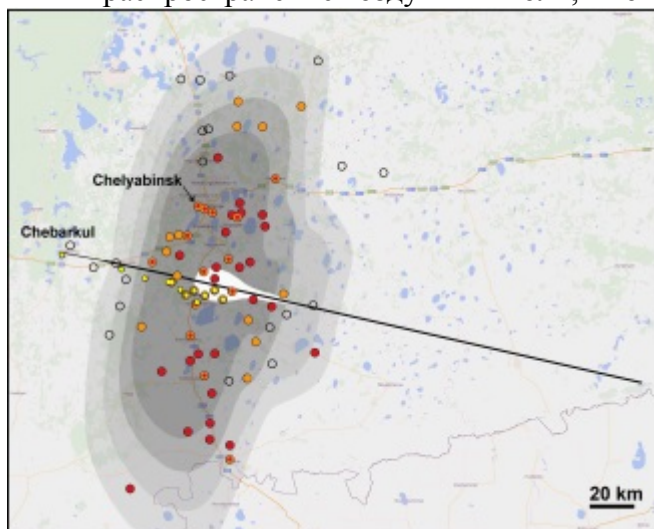
II. ФИЗИКА ЛИТОСФЕРНО-АТМОСФЕРНО-ИОНОСФЕРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

4. Анализ Челябинской катастрофы

О.П. Попова, Д.О. Глазачев, Ю.С. Рыбнов, В.А. Харламов, В.В.Шувалов (ИДГ РАН), В.В. Емельяненко, А.П. Карташова (ИНАСАН), olga@idg.chph.ras.ru

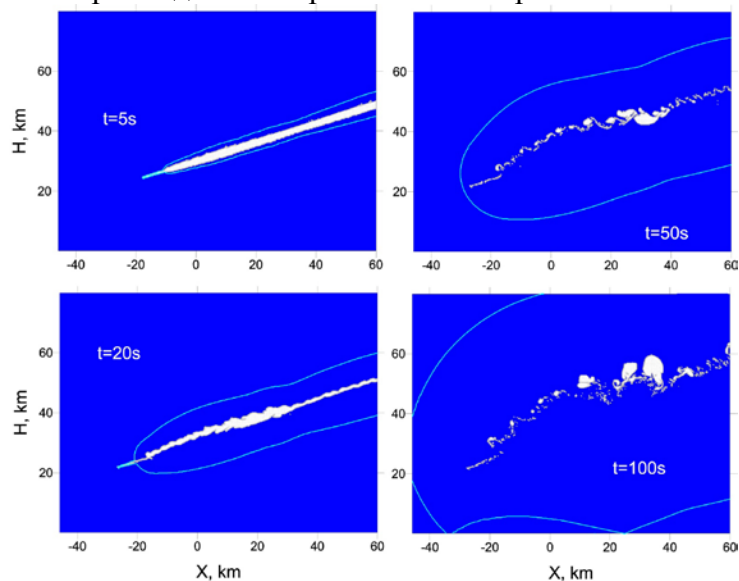
Проведен комплекс исследований, позволивший:

- по инфразвуку и повреждениям на поверхности оценить энергию космического тела (400-600 кт ТНТ);
- по световой кривой построить модель энерговыделения и по этой модели рассчитать распространение воздушных волн, в том числе их воздействие на поверхность Земли.



Численное моделирование распределения избыточного давления ΔP в окрестности падения Челябинского метеорита: E – энергия метеороида (кт ТНТ); черная линия показывает траекторию метеороида, красные и оранжевые символами - пострадавшие населенные пункты, черные окружности - населенные пункты без разрушений. желтые точки-локализации обнаруженных метеоритов, белым показана область интенсивного излучения.

Получено удовлетворительное соответствие областей разрушения и районов разрушения. Показано, что выделение энергии имело протяженный характер и существенно отличалось от энергосвечения при точечном взрыве.



Моделирование процесса вхождения Челябинского метеорита в атмосферу, возникновение и распространение ударной волны (голубая линия) и эволюция следа в атмосфере. След, показанный белым цветом, состоит из смеси паров метеороида и воздуха, он продолжал висеть в атмосфере десятки минут и поэтому хорошо виден на многочисленных фотографиях. Точка $X=0$ соответствует координате самой мощной вспышки.

1. *Olga P. Popova, Peter Jenniskens, Vacheslav Emel'yanenko et al. Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery and Characterization, Science, 2013, Vol. 342, no. 6162, pp. 1069-1073.*

5. Механизм создания области высокой проводимости в грозовом облаке

А.Н. Караштин ,(ФГБНУ НИРФИ), А.В. Гуревич, А.П. Чубенко, В.А. Рябов, А.Л. Щепетов, К.П. Зыбин, Г.Г. Митько, М.О. Птицын (ФИАН), Ю.В. Шлюгаев (ИПФ РАН), А.П. Антонова (Институт ионосферы, Алматы, Казахстан), Л.И. Вильданова (ТШВНС, Алматы, Казахстан), В.М. Ту (МФТИ), tolk@nirfi.sci-nnov.ru

На основе экспериментальных исследований предложен механизм создания области высокой проводимости в грозовом облаке на начальной стадии развития молниевых разряда за счет синхронного разряда гидрометеоров в результате пробоя на убегающих электронах (ПУЭ), инициированного вторичными электронами с энергией 0.1 — 1 МэВ, генерируемыми космическими лучами с первичной энергией порядка 10^{12} эВ, в электрическом поле грозового облака.

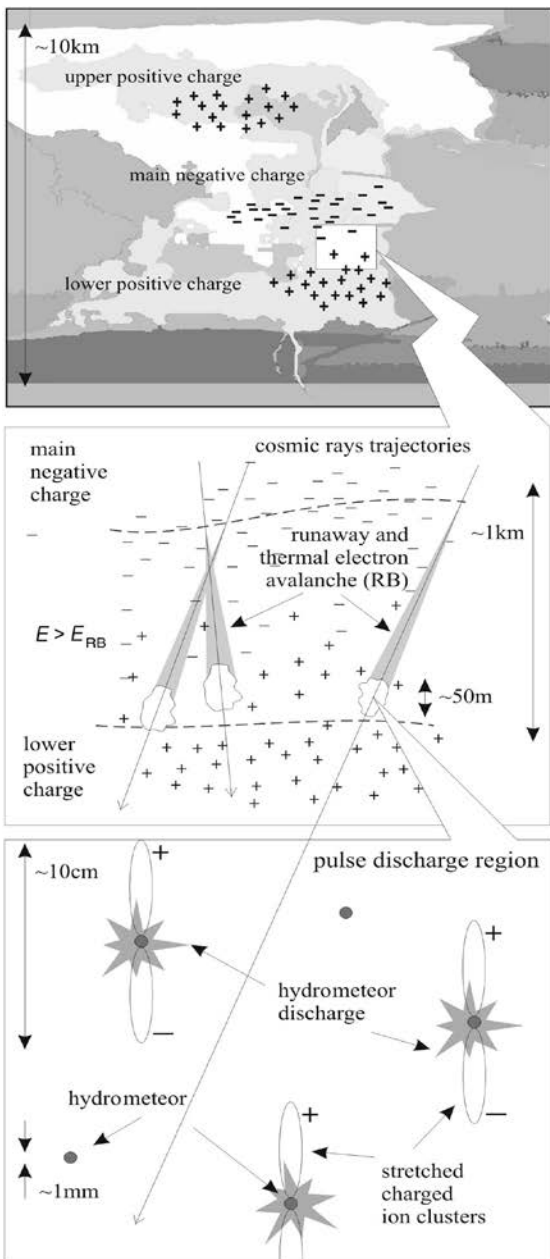
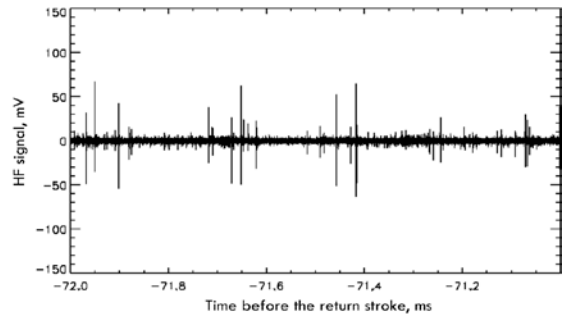
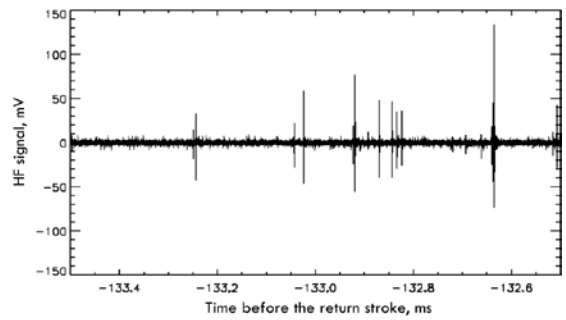
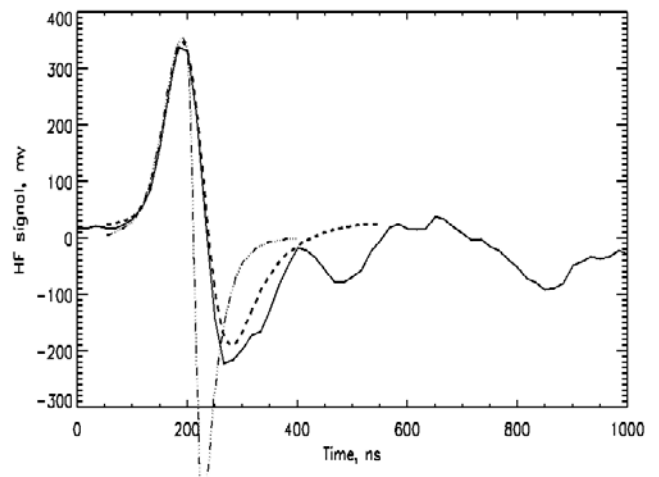


Рисунок области формирования молниевых разрядов



Вверху: начало разряда- первый радиоимпульс появляется за 133,25 мс до обратного хода.

Внизу: промежуточное сканирование



Сравнение наблюдаемой формы радиоимпульса (сплошная кривая) с теоретическими предсказаниями (штрихпунктирная и пунктирная кривые)

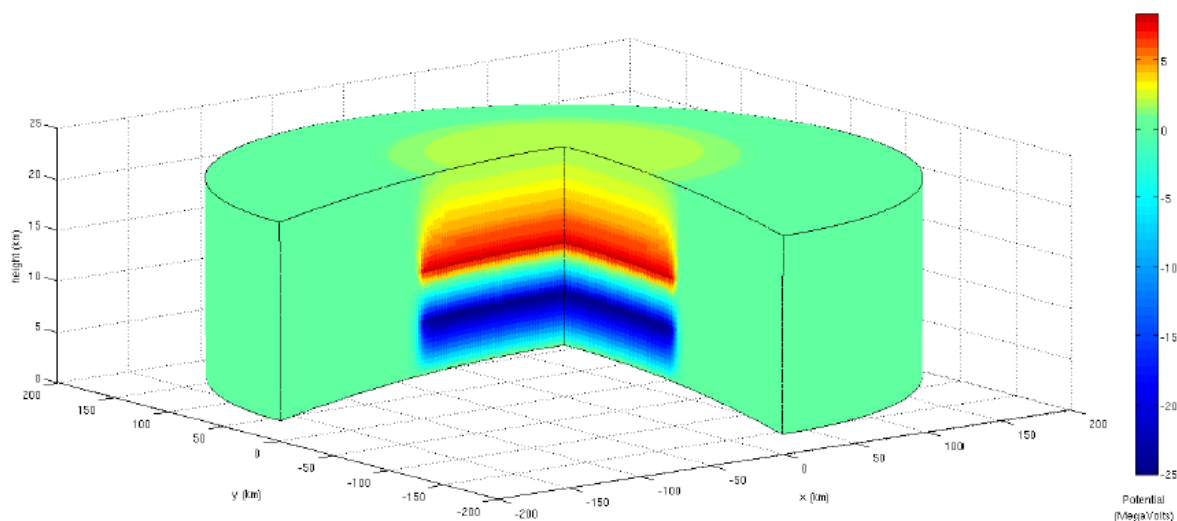
1. A.V. Gurevich, A.N. Karashtin, *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 110, 185005
2. A.V. Gurevich, V.P. Antonova, A.P. Chubenko, A.N. Karashtin, G.G. Mitko, M.O. Ptitsyn, V.A. Ryabov, A.L. Shepetov, Yu.V. Shlyugaev, W.M. Thu, L.I. Vildanova, K.P. Zybin, *Phys. Rev. Lett.*, 2013, 111, 165001

6. Сферическая модель глобальной электрической цепи

А.В.Калинин, Е.А.Мареев, Н.Н.Слюняев, А.А.Жидков (ИПФ РАН), mareev@appl.sci-nnov.ru

Разработана сферическая модель глобальной электрической цепи, позволившая впервые параметризовать вклад основных генераторов в глобальную цепь и исследовать влияние крупномасштабных неоднородностей проводимости на величину ионосферного потенциала.

Исследованы самосогласованные стационарные и нестационарные задачи об определении электрических полей в атмосфере и ионосферного потенциала. Разработаны и реализованы численные алгоритмы решения. Показано, что наиболее значительное воздействие на ионосферный потенциал оказывают неоднородности проводимости внутри грозных облаков – генераторов глобальной цепи.



Распределение потенциала вблизи грозного облака

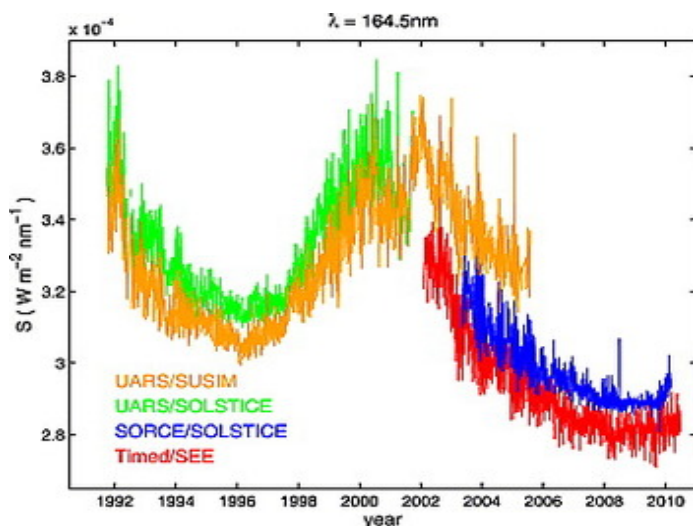
1. Williams E.R., Mareev E.A. *Recent Progress on the Global Electrical Circuit // Atmos. Res.*, 2013. V. 95. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05](http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.05).
2. А.В.Калинин, Е.А.Мареев, Н.Н.Слюняев, А.А.Жидков, *Стационарные и нестационарные модели глобальной электрической цепи: корректность, аналитические соотношения, численная реализация, Изв. РАН – ФАО, 2014. №2 (принята)*.

III. СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ

(Секция, совместная с Советом «Исследования по теории климата Земли»)

7. **Воздействие вариаций УФ радиации в солнечном цикле на температуру средней атмосферы и тропосферы (трехмерное моделирование)**

А.А. Кривоуцкий, (ЦАО Росгидромет, Долгопрудный), alexei.krivolutsky@rambler.ru

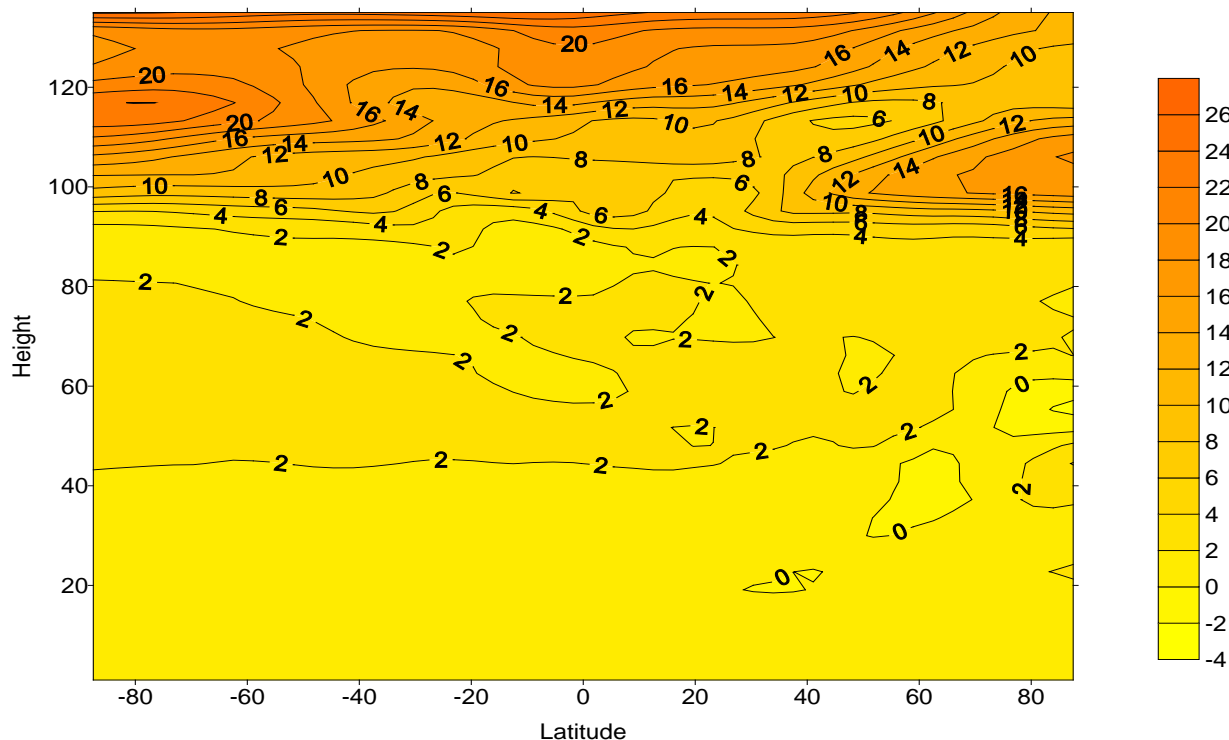


В 2013 г. в Лаборатории химии и динамики атмосферы (ЛХДА) ЦАО были получены результаты, характеризующие глобальную структуру отклика температуры и ветра в атмосфере Земли на высотах 1-130 км на изменение потоков УФ радиации Солнца в цикле его активности (11-лет). Использовалась модель общей циркуляции атмосферы ЛХДА ARM (Atmospheric Research Model). В качестве вынуждающего воздействия в радиационные блоки

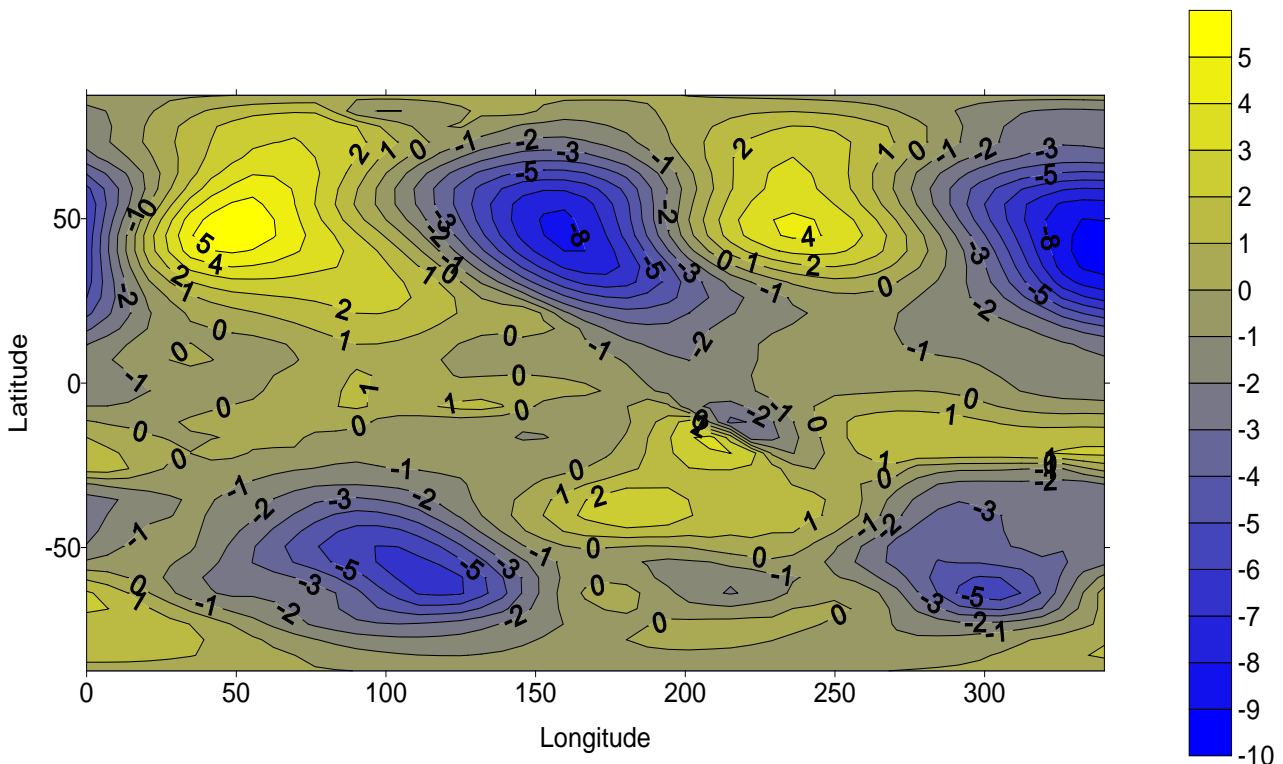
Рис.1 Вариации УФ радиации Солнца на длине волны 164,5 нм.

модели была введена соответствующая временная модуляция, амплитуда которой зависела от длины волны солнечной радиации в соответствии с данными спутниковых наблюдений. Поглощение УФ радиации озоном и молекулярным кислородом в различных участках спектра приводит к разогреву атмосферы, неоднородность которого вызывает движения, возмущая циркуляцию.

Согласно результатам моделирования отклик температуры при зональном осреднении полей между максимумом и минимумом активности Солнца затухает при уменьшении высоты от 15-20 К в нижней термосфере до величины, меньшей 1 К в тропосфере. При этом на отдельных уровнях проявляется волновая структура (обусловленная воздействием планетарных волн), которая не видна при зональном осреднении. Амплитуда такой волны оценивается в несколько градусов.



Изменения температуры средней атмосферы в цикле активности Солнца для января (расчет по модели ARM)



Изменения температуры на уровне 5 км в цикле активности Солнца для января
(расчет по модели ARM)

1. Krivolutsky A.A., Cherepanova L.A. Response of the global fields of temperature and tropospheric wind and the middle atmosphere to variations in solar UV radiation flow during a solar activity cycle in the presence of planetary waves (3D modeling) // *Geomagnetism and Aeronomy*. 2013. V. 55. № 7. P. 871-875,.

2. Krivolutsky A.A. Solar cycle forcing on composition , temperature and dynamics: preliminary simulations with ARM and CHARM models // *Workshop on SolarMIP Project, Thessaloniki, Greece, 2013*.

8. Влияние солнечной активности (СА) и галактических космических лучей (ГКЛ) на циркуляции нижней атмосферы

Веретененко С.В., Огурцов М.Г. (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН), s.veretenenko@mail.ioffe.ru

Исследованы возможные причины временной изменчивости эффектов солнечной активности (СА) и галактических космических лучей (ГКЛ) в циркуляции нижней атмосферы. Показано, что обнаруженные ранее ~60-летние вариации амплитуды и знака эффектов СА/ГКЛ в атмосферном давлении умеренных и высоких широт (Veretenenko and Ogurtsov, *Advances in Space Research*, 2012; Веретененко и Огурцов, *Геомagnetизм и Аэрoномия*, 2012) тесно связаны с изменениями состояния циклонического вихря, формирующегося в полярной стратосфере. В периоды сильного вихря увеличение потоков ГКЛ в минимумах 11-летнего солнечного цикла сопровождается ростом давления (усилением антициклонов) в полярных широтах и понижением давления (усилением циклонов) на полярных фронтах умеренных широт (рис.1а). В периоды слабого вихря при увеличении потоков ГКЛ наблюдается обратный эффект: ослабление как арктических антициклонов, так и полярно-фронтальных циклонов (рис.1б). Возможной причиной обращения знака эффектов ГКЛ в циркуляции нижней атмосферы является изменение характера взаимодействия тропосферы и стратосферы в зависимости от состояния циркумполярного вихря. Оценки интенсивности вихря по данным 'реанализа' NCEP/NCAR (рис.2б,в) позволяют предположить наличие ~60-летней периодичности, влияющей на эволюцию крупномасштабной атмосферной циркуляции и характер эффектов СА/ГКЛ в развитии внетропических барических

образований. Полученные результаты свидетельствуют о важной роли стратосферного циркумполярного вихря в механизме солнечно-атмосферных связей.

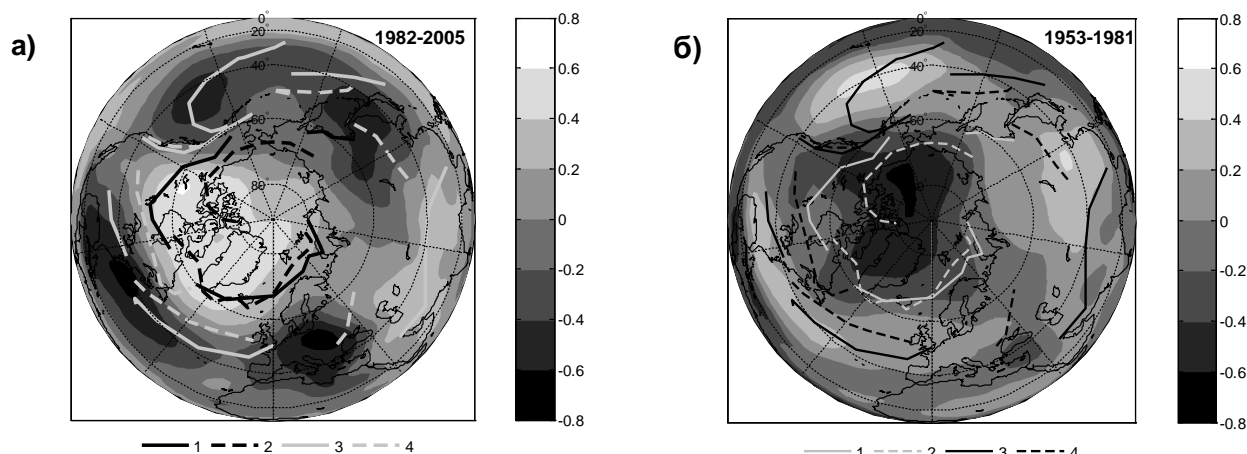


Рис.1. Распределение коэффициентов корреляции между среднегодовыми значениями геопотенциальных высот изобарического уровня 700 гПа и скорости счета нейтронного монитора в Клаймаксе в периоды сильного (а) и слабого (б) циркумполярного вихря. Положения климатологических фронтов показаны линиями: 1, 2 – арктические фронты в январе и июле, соответственно; 3, 4 – полярные фронты в январе и июле, соответственно.

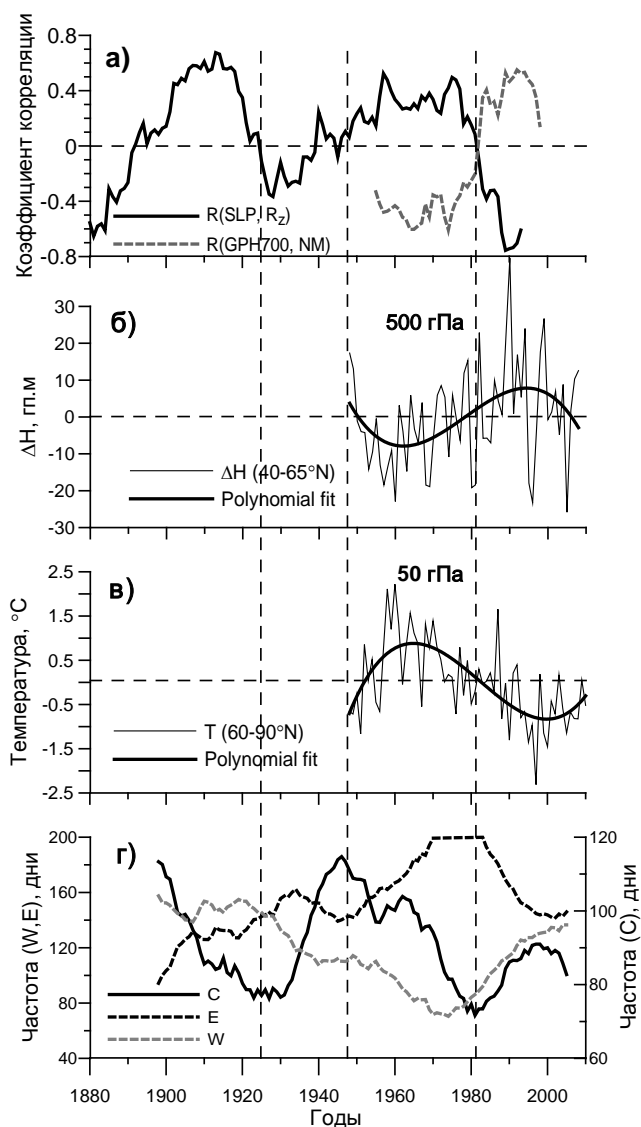


Рис.2. а) Коэффициенты корреляции по скользящим 15-летним интервалам между среднегодовыми значениями давления тропосферы в области широт $>60^{\circ}\text{N}$ и характеристиками СА/ГКЛ: $R(SLP, R_z)$ – между приземным давлением и числами Вольфа (сплошная линия); $R(GPH700, NM)$ – между геопотенциальными высотами изобарического уровня 700 гПа и скоростью счета нейтронного монитора в Клаймаксе (штриховая линия). б) Аномалии среднегодовых значений разности зональных геопотенциальных высот изобарического уровня 500 гПа между широтами 40 и 65°N . в) Аномалии среднегодовых значений температуры в области $60-90^{\circ}\text{N}$ на уровне 50 гПа. г) Долговременные изменения частоты повторяемости (числа дней в году) основных форм циркуляции по классификации Вангенгейма-Гирса (15-летние скользящие средние). Вертикальные штриховые линии показывают годы изменения знака коэффициентов корреляции.

1. Veretenenko S., Ogurtsov M. "The stratospheric polar vortex as a cause for the temporal variability of solar activity and galactic cosmic ray effects on the lower atmosphere circulation". IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series, 409 (2013) 012238 doi:10.1088/1742-6596/409/1/012238

2. Веретененко С.В., Огурцов М.Г. "Циркумполярный вихрь как причина временной изменчивости эффектов солнечной активности и галактических космических лучей в циркуляции нижней атмосферы". Известия РАН. Сер. физическая, 2013, Т.77, №5, с.658-660.

3. Веретененко С.В., Огурцов М.Г. "Роль стратосферного циркумполярного вихря в формировании долгопериодных эффектов солнечной активности и галактических космических лучей в тропосферной циркуляции". Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца "Солнечная и солнечно-земная физика-2013"(25-27 сентября 2013 года, Санкт-Петербург, ГАО РАН). СПб, 2013, с.39-42.

9. Особенности вариаций гамма-фона в приземном слое атмосферы, связанные с атмосферными осадками

Э.В. Вашенюк, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский., Л.И. Щур, ПГИ РАН, vashenyuk@pgia.ru

На основе накопленных за несколько лет данных комплексного мониторинга космических лучей произведён анализ возрастных гамма-фона на уровне Земли, связанных с атмосферными осадками. С помощью метода наложения эпох получены средние временные профили осадков и возрастных потока гамма-излучения и других компонентов вторичных космических лучей (электронов, мюонов, нейтронов). Показано, что максимум возрастания гамма-фона запаздывает на 30-40 минут относительно максимума осадков. Аналогично ведут себя потоки электронов и мюонов, но с меньшей амплитудой возрастания. Нейтронная компонента практически не реагирует на осадки. Поскольку гамма-излучение в нижних слоях атмосферы возникает в процессе торможения заряженных частиц, то синхронность вариации гамма-излучения с потоками электронов и мюонов указывает на проявления одного и того же эффекта – ускорения заряженных частиц в электрических полях дождевых облаков.

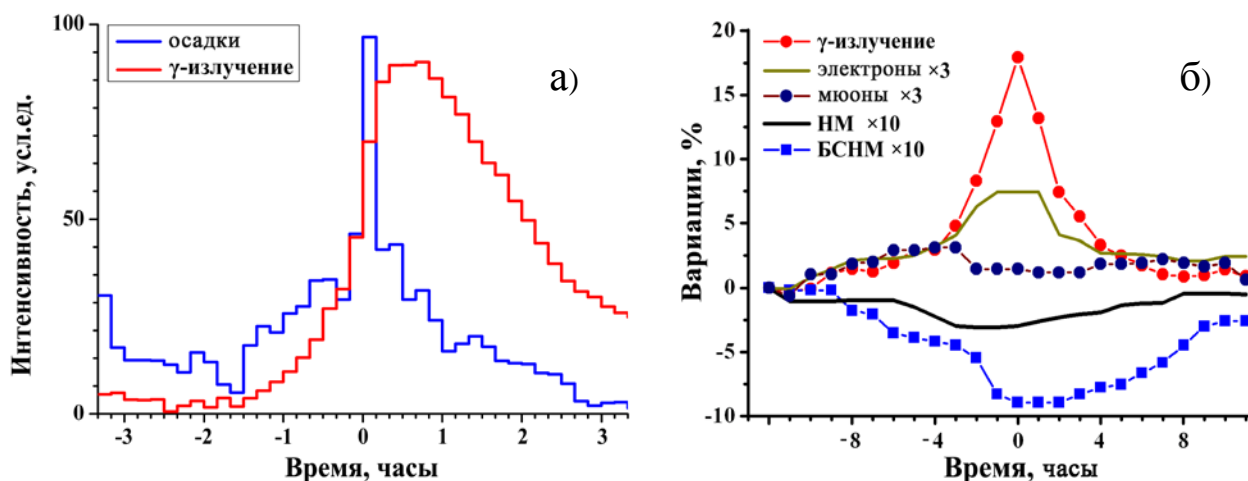


Рис.1. (а) Средние профили осадков и возрастания гамма-фона; (б) Средние профили вариации гамма-фона, электронов, мюонов, нейтронного монитора и бессвинцового нейтронного монитора. Профиль осадков не показан, поскольку он в данном масштабе близок к профилю гамма-фона.

1. A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, E.A. Mauricev, B.B. Gvozdevsky, E.V. Vashenyuk The continuous detection of gamma (X-ray) spectra registered during atmospheric

- precipitations // Journal of Physics: Conference Series, 409 (2013) 012240, doi:10.1088/1742-6596/409/1/012240, (0.4 а.л.).*
3. *A.V. Germanenko, Yu.V. Balabin, B.B. Gvozdevsky, E.V. Vashenyuk Features of the flux of gamma-radiation in the lower atmosphere during precipitation // Journal of Physics: Conference Series, 409 (2013) 012241, doi:10.1088/1742-6596/409/1/012241, (0.4 а.л.).*
 4. *Yu.V. Balabin, A.V. Germanenko, B.B. Gvozdevsky, E.V. Vashenyuk Variations of gamma radiation spectra during precipitations // Journal of Physics: Conference Series, 409 (2013) 012243, doi:10.1088/1742-6596/409/1/012243, (0.4 а.л.).*
 5. *Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский, Э.В. Вашенюк. Особенности вариаций гамма-фона в приземном слое атмосферы // Известия РАН. Серия физическая, 2013, т.77, № 5, с.640-642, (0.4 а.л.).*
 6. *Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Б.Б. Гвоздевский, Э.В. Вашенюк. Вариации естественного рентгеновского фона в полярной атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия, 2013, (принята к печати).*