

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГЛАВНАЯ (ПУЛКОВСКАЯ) АСТРОНОМИЧЕСКАЯ
ОБСЕРВАТОРИЯ

**СОЛНЕЧНАЯ
И СОЛНЕЧНО-ЗЕМНАЯ ФИЗИКА — 2020**

*XXIV ВСЕРОССИЙСКАЯ ЕЖЕГОДНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ФИЗИКЕ СОЛНЦА*

Октябрь 2020

Санкт-Петербург
2020

Сборник содержит тезисы докладов, представленных на XXIV Всероссийскую ежегодную конференцию по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика — 2020» (октябрь 2020, ГАО РАН, Санкт-Петербург). Конференция проводится Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН при поддержке секции «Солнце» Научного совета по астрономии РАН и секции «Плазменные процессы в магнитосферах планет, атмосферах Солнца и звёзд» Научного совета «Солнце-Земля». Тематика конференции включает в себя широкий круг вопросов по физике солнечной активности и солнечно-земным связям.

Ввиду неопределенной эпидемиологической ситуации из-за COVID-19 конференция проводится в заочной форме.

ОРГКОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

А.В. Степанов (*ГАО РАН, сопредседатель*), В.В. Зайцев (*ИПФ РАН, сопредседатель*), Ю.А. Наговицын (*ГАО РАН, зам. председателя*), В.И. Абраменко (*КРАО*), В.М. Богод (*САО РАН*), К. Георгиева (*ИКСИ-БАН, Болгария*), В.А. Дергачев (*ФТИ РАН*), М.М. Кацова (*ГАИШ*), Л.Л. Кичатинов (*ИСЗФ СО РАН*) Н.Г. Макаренко (*ГАО РАН*), В.Ф. Мельников (*ГАО РАН*), В.Н. Обридко (*ИЗМИРАН*), А.А. Певцов (*NSO, ГАО РАН*), А.А. Соловьёв (*ГАО РАН*), Д.Д. Соколов (*МГУ*), А.Г. Тлатов (*ГАС ГАО РАН*).

Дисбаланс энергии между Землей и космосом диктует климат

Абдусаматов Х.И.

ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: abduss@gaoran.ru

Энергетический дисбаланс между Землей и космосом определяется разностью между среднегодовыми удельными мощностями солнечного излучения, поступающими во внешние слои атмосферы (СП), и уходящими обратно в космос её отражённой и рассеянной долями, определяемыми величиной альbedo Бонда Земли, а также собственного теплового излучения. Вследствие вариаций СП и действия термической инерции, среднегодовой энергетический баланс планеты всегда нарушается, что является основным состоянием климатической системы. Во время ледникового/межледникового циклов пики концентрации углекислого газа никогда не предшествовали потеплению, а наоборот, всегда имели место через 800 ± 400 лет после него, являясь его следствием. Физическая природа колебаний температур, установленная нами, определяется тем, что на фазе роста квазидвухвековой вариации СП, благодаря термической инерции, обеспечивается накопление дополнительной (избыточной) энергии в Мировом океане, а на фазе снижения СП – увеличение дефицита энергии. Долговременный энергетический дисбаланс между Землей и космосом за период порядка 30 лет и более ведет к соответствующему изменению температуры и климата. Длинная цепочка последующих вторичных причинно-следственных эффектов обратной связи являясь своеобразным самоусилителем вариации теплового режима, в фазе спада квазидвухвекового цикла многократно усилит наступившее незначительное похолодание посредством: существенного увеличения потерянной Землей дополнительной доли СП; естественного снижения концентраций парниковых газов в атмосфере в соответствии с соотношением Клапейрона-Клаузиуса и законом Генри; усиления атмосферного пропускания теплового излучения земной поверхности через окно прозрачности; уменьшения «темной» поверхности океанов, вызванного снижением уровня воды из-за охлаждения и соответствующего ее теплового сжатия [1]. Последовательные длинные серии этих циклов приводят к наступлению фазы глубокого похолодания квазидвухвекового цикла изменения климата.

- [1] Abdussamatov H.I. Energy imbalance between the Earth and space controls the climate // Earth Sciences. 2020. Vol. 9, No. 4, pp. 117-125. doi: 10.11648/j.earth.20200904.11

**Рост содержания водяного пара при потеплении
приведет к падению чувствительности климата
к увеличению концентрации углекислого газа**

Абдусаматов Х.И.

ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: abduss@gaoran.ru

Естественные содержания как водяного пара, так и углекислого газа в атмосфере в соответствии с соотношением Клапейрона-Клаузиуса и законом Генри увеличиваются до максимального уровня во время потепления и снижаются до минимального уровня в ледниковых периодах. Тепловое излучение поверхности Земли поглощается главным образом водяным паром (~68%) при второстепенной значимости углекислого газа (~12%). Согласно вертикальным профилям их объемных концентраций в атмосфере при потеплении резко увеличивается концентрация водяного пара непосредственно в приповерхностном слое тропосферы с равномерным распределением роста концентрации углекислого газа по высоте. Благодаря существенному перекрытию их спектральных полос поглощения в диапазонах ~4 – 5, ~9 – 11 и ~12 – 18 мкм поглощение теплового излучения поверхности с повышением температуры происходит не пропорционально увеличению их абсолютных концентраций. Доля поверхностного теплового излучения, поглощаемого углекислым газом в перекрывающихся участках спектральных полос поглощения окна прозрачности атмосферы, практически не увеличивается при потеплении вследствие роста поглощения резко увеличенными молекулами водяного пара непосредственно в самых нижних приповерхностных слоях тропосферы. В результате рост общей концентрации водяного пара в атмосфере значительно усиливает поглощение тепловой радиации поверхности, уменьшая тем самым влияние общего роста концентрации углекислого газа на термический режим планеты [1]. Величины природных потоков углекислого газа из Океана и с суши в атмосферу и из атмосферы в Океан и на сушу при потеплении многократно превышают выбросы этих веществ в атмосферу в результате деятельности человека. Оставшийся в атмосфере естественный избыток потоков углекислого газа при потеплении превышает рост его выбросов в атмосферу в результате деятельности человека.

- [1] Abdussamatov H.I. Energy imbalance between the Earth and space controls the climate // Earth Sciences. 2020. Vol. 9, No. 4, pp. 117-125. doi: 10.11648/j.earth.20200904.11

**Сравнительный анализ магнитного поля
невозмущенной фотосферы по данным GST/BBSO
и HMI/SDO**

Абраменко В.И.¹, Юрчишин В.Б.²

¹ *Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пгт. Научный,
Россия, e-mail: vabramenko@gmail.com*

² *Big Bear Solar Observatory, New Jersey Institute of Technology, Big
Bear City, CA, 92314, USA, e-mail: yurchysh@njit.edu*

Проведен сравнительный анализ одновременных наблюдений магнитного поля участка невозмущенной фотосферы по данным двух инструментов: Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту станции the Solar Dynamic Observatory (SDO, разрешение 1 угловая секунда) и инструмента Near InfraRed Imaging Spectropolarimeter (NIRIS), установленного на Goode Solar Telescope (GST) обсерватории Big Bear Solar Observatory (разрешение 0.16 угловой секунды). Сравнение пространственных спектров мощности магнитного поля показало: 1) неколмогоровский спектр с наклоном, близким к -1, наблюдается от масштаба порядка 10 Мм до масштаба порядка 0.8 Мм; 2) в интервале масштабов (3.5–0.3) Мм 35% магнитной энергии не может быть объяснено классическим колмогоровским турбулентным каскадом. Наблюдаемый избыток энергии можно объяснить работой мелкомасштабного турбулентного динамо вкупе с аномальной диффузией магнитных элементов, которая повсеместно присутствует в невозмущенной фотосфере.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 18-12-00131.

**Предвестники солнечных вспышек
в микроволновом диапазоне**

Абрамов-Максимов В.Е.¹, Бажунина И.А.²

¹ *ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: beam@gaoran.ru*

² *НИУ ВШЭ, Нижний Новгород*

Представлено исследование квазипериодических флуктуаций микроволнового излучения Солнца на предвспышечной стадии. Используются корреляционные кривые (correlation plots) ежедневных наблюдений Солнца на радиогелиографе Нобеяма на частоте 17 ГГц. Проанализировано 129 вспышек. У 75% событий выявлены предвспышечные флуктуации микроволнового излучения, продолжающиеся от 2–3 до 60–70 минут. Наблюдаются различные периоды флуктуаций: от нескольких секунд до

нескольких минут. Длительность предвспышечных цугов колебаний в периодах колебаний составляет в среднем 5 периодов. Эффект может быть вызван усилением амплитуды МГД-волн, распространяющихся в активной области перед началом солнечной вспышки.

Предвспышечные источники в микроволновом и ультрафиолетовом диапазонах

*Абрамов-Максимов В.Е.¹, Опейкина Л.В.²,
Мельников В.Ф.¹, Бакунина И.А.³, Боровик В.Н.¹*

¹ ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: beam@gaoran.ru

² САО РАН, Нижний Архыз

³ НИУ ВШЭ, Нижний Новгород

Представлены свойства микроволновых и ультрафиолетовых источников, расположенных над нейтральной линией фотосферного магнитного поля. Использованы наблюдения Солнца, выполненные на РАТАН-600 и космической обсерватории SDO. Рассмотренные источники появляются, как правило, за 2–3 дня до вспышек и могут рассматриваться как прогнозический фактор.

О характеристиках микроволновых источников, расположенных над нейтральной линией фотосферного магнитного поля

Абрамов-Максимов В.Е.¹, Опейкина Л.В.², Боровик В.Н.¹

¹ ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: beam@gaoran.ru

² САО РАН, Нижний Архыз

Представлены результаты измерения наклона спектра микроволновых источников, расположенных над нейтральной линией фотосферного магнитного поля. Такие источники являются типичными для вспышечно-продуктивных активных областей. Для этих источников характерны высокие яркостные температуры, меньшая степень поляризации и больший наклон спектра по сравнению с источниками, расположенными над пятнами. Сопоставляются значения наклонов спектра, полученные по наблюдениям на РАТАН-600 на старых наблюдательных комплексах (ИКАР) и на современных.

Модель поведения релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите

*Абунин А.А.¹, Абунина М.А.¹, Белов А.В.¹, Тлатов А.Г.¹,
Гайдаш С.П.¹, Крякунова О.Н.³, Прямушкина И.И.¹,
Шлык Н.С.¹*

¹ *ИЗМИРАН, Россия, e-mail: abunin@izmiran.ru*

² *Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Россия*

³ *ДТОО «Институт ионосферы», Казахстан*

Прогнозирование поведения потоков высокоэнергичных электронов в околоземном космическом пространстве является одной из наиболее актуальных задач солнечно-земной физики. В данной работе представлена модель поведения релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите. В качестве одного из основных входных параметров модели использовалась скорость солнечного ветра, рассчитанная на основе данных телескопа-магнитографа СТОП.

Исследование суточного хода потока релятивистских электронов по данным GOES

*Абунин А.А.¹, Абунина М.А.¹, Белов А.В.¹, Гайдаш С.П.¹,
Крякунова О.Н.², Николаевский Н.Ф.², Прямушкина И.И.¹,
Шлык Н.С.¹*

¹ *ИЗМИРАН, Россия, e-mail: abunin@izmiran.ru*

² *ДТОО «Институт ионосферы», Казахстан*

Одной из основных задач солнечно-земной физики является исследование поведения электронов в околоземном космическом пространстве. Цель данной работы состоит в том, чтобы исследовать суточный ход потока релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ. Это позволит более точно прогнозировать поведение этих частиц магнитосферного происхождения.

**Поведение скорости и температуры солнечного ветра
в межпланетных возмущениях, создающих
Форбуш-понижения**

*Мелкумян А.А.¹, Абунина М.А.², Белов А.В.²,
Абунин А.А.², Ерошенко Е.А.², Оленева В.А.², Янке В.Г.²*

¹ *Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М.
Губкина, Россия*

² *ИЗМИРАН, Россия, e-mail: abunina@izmiran.ru*

Форбуш-понижения космических лучей обусловлены двумя типами солнечных источников: корональными дырами и корональными выбросами массы. В некоторых случаях идентификация солнечного источника с межпланетным возмущением, вызывающим Форбуш-понижение, затруднена и требует тщательного и детального анализа характеристик солнечного ветра. В этих случаях полезно сопоставить поведение протонной температуры и скорости солнечного ветра. В данной работе такое сопоставление проводилось на основе большого экспериментального материала, объединенного в базы данных ИЗМИРАН. Оказалось, что зависимость температуры от скорости для спокойного солнечного ветра имеет степенной характер с более крутым спектром в области низких скоростей, чем в области высоких скоростей. На основе полученной T - V зависимости, для каждого часа, для которого есть данные о параметрах солнечного ветра, с июля 1965 г. и по декабрь 2018 г. были вычислены ожидаемая протонная температура T_{exp} и температурный индекс $K_T = T_{obs}/T_{exp}$ (T_{obs} – наблюдаемая температура). Этот индекс аномально велик в областях взаимодействия разноскоростных потоков солнечного ветра и аномально мал внутри магнитных облаков, что позволяет использовать его для выделения связанных с этими межпланетными структурами Форбуш-понижений и для идентификации их солнечных источников.

**О зависимости магнитного поля низкоширотной
корональной дыры от её площади**

Ахтемов З.С., Цап Ю.Т.

*Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, пос. Научный,
Крым, Россия, e-mail: azis@crao.crimea.ru*

На основе данных, полученных с помощью алгоритма CHIMERA [1], рассмотрена эволюция магнитного поля долгоживущей низкоширотной

корональной дыры и ее площади в момент прохождения центрального меридиана за период с 15.02.2012 по 14.10.2012 гг. Коэффициент корреляции за 9-ть кэррингтоновских оборотов составил $R = -0.53 \pm 0.3$, что заметно отличается от значения $R \approx -0.82$, приведенного в работе [2]. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости разработки единого подхода к проблеме оконтуривания корональных дыр на диске Солнца, а также в пользу важной роли перестановочного пересоединения в области их границ.

- [1] Garton T.M. et al. //Space Weather and Space Climate, J., 2018, v. 8., p. A02.
- [2] Heinemann S.G. et al. //Astrophys. J., 2018, v. 863., p. 29.

Параметры дифференциального вращения Солнца в цикле активности

Бадалян О.Г.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия,
e-mail: badalyan@izmiran.ru*

Дифференциальное вращение Солнца исследуется на временном интервале 1874–2013 (более 12 циклов активности). В качестве наблюдательного материала используется индекс S, представляющий собой суммарную площадь всех пятен, наблюдавшихся на видимой полусфере Солнца в данный день [1]. Индекс S можно рассматривать как характеристику пятенной активности Солнца как звезды. Индекс был рассчитан по данным Гринвичского каталога и его продолжения NOAA-USEF. Суммарные площади пятен S рассчитаны на каждый день для 10-градусных и 5-градусных широтных зон, а также отдельно для пятен, превышающих 100 msd по площади, и малых пятен менее 100 msd. Для нахождения вращения Солнца использован периодограммный анализ [1, 2].

Рассчитано изменение синодического периода вращения с широтой для всего временного интервала, а также изменение параметров дифференциального вращения от цикла к циклу. Обнаружено общее уменьшение синодического периода вращения Солнца с 1935 по 1975 годы, особенно выраженное в циклах 17 и 18. Показано, что дифференциальный градиент медленно увеличивается от цикла к циклу, вращение Солнца становится менее дифференциальным. Рассмотрено изменение периода вращения в

цикле активности и показано, что в конце на ветви спада цикла, при приближении к минимуму, вращение является наиболее дифференциальным, а на ветви роста, при приближении к максимуму, дифференциальный градиент наименьший. Результаты работы могут быть полезны при изучении механизмов возникновения дифференциального вращения Солнца и звезд и при построении теории магнитного динамо.

- [1] Бадалян О.Г.//Труды Всероссийской ежегодн. конф. "Солнечная и солнечно-земная физика 2011 (ред. А.В. Степанов, Ю.А. Наговицын), С.-Петербург, ГАО РАН, 2011, с. 15.
- [2] Badalyan O.G.// New Astron. 2010, v. 15, p. 135.

Особенности пространственной динамики радиояркости активных областей на Солнце перед корональными выбросами

*Бакунина И.А.¹, Мельников В.Ф.²,
Абрамов-Максимов В.Е.², Моргачев А.С.³, Шаин А.В.²*

¹*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Нижний Новгород, e-mail: rinbak@mail.ru*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru*

³*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, e-mail: a.s.morgachev@mail.ru*

Солнечные вспышки и корональные выбросы массы (КВМ) являются наиболее мощными проявлениями солнечной активности. Оба явления связаны с эволюцией пространственной структуры магнитного поля активных областей (АО). Известно, что не все мощные вспышки сопровождаются КВМ. В некоторых случаях наблюдаются КВМ, ассоциированные со вспышками очень низкой интенсивности. В то же время до сих пор не ясны наблюдательные признаки, определяющие способность АО вызывать эрупцию вещества из АО в высокие слои солнечной короны. Это затрудняет наше понимание физического механизма инициирования эрупции (триггера КВМ). Целью настоящей работы является поиск наблюдательных признаков начала эруптивного процесса. Для этого мы провели сравнительный анализ предвспышечных условий для 10 вспышечных событий, сопровождавшихся КВМ, и 6 событий, не сопровождавшихся КВМ.

Все события относятся к периоду 2011–2015 гг. Мы изучали, главным образом, особенности пространственной динамики микроволнового излучения (данные Радиогелиографа Нобеяма) активных областей перед выбранными событиями. В ряде активных областей эти особенности удалось связать с особенностями частотных спектров радиоисточников, полученных по данным РАТАН–600, а также с положением и динамикой ярких УФ петель в линии 94 \AA (SDO/AIA).

Наблюдения солнечной активности патрульными телескопами с регистрацией полного профиля хромосферных спектральных линиях CaIIK и H-альфа

Березин И.А., Стрелков М.А., Шрамко А.Д., Тлатов А.Г.

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru*

Рассмотрены результаты работы патрульных солнечных телескопов-спектрогелиографов, установленных на наблюдательной площадке ГАС ГАО РАН. На ГАС установлены два патрульных телескопа. Один телескоп проводит наблюдения в линии CaIIK 394 нм с 2012 г., второй патрульный телескоп наблюдает в линии H-альфа 656,3 нм с 2015 г. После модернизации в 2018 г., телескопы обеспечивают сканирование полного диска Солнца за интервал времени около 1 минута с пространственным разрешением около 3 угл. секунды. Эти характеристики позволяют регистрировать быстропротекающие процессы, такие как солнечные вспышки, предвспышечные процессы, эрупцию вещества и др. Наблюдения полного профиля спектральных линий позволяют оперативно регистрировать скорости вещества в хромосфере, как на диске, так и в протуберанцах на лимбе Солнца. Телескопы могут эффективно применяться в службе прогноза космической погоды. Для регистрации корональных выбросов массы эффективно используются наблюдения в линии CaIIK. Для этого предложен метод вычитания интенсивности в красном и голубом крыльях спектральных линий. Наблюдения в линии H-альфа позволяют регистрировать скорости движения вещества на уровне $\sim 100 \text{ м/с}$ и менее. Это позволяет выделять глобальные и локальные колебания вещества в хромосфере с характерными периодами ~ 3 и ~ 5 минут и перейти к практической исследованию хромосферной гелиосейсмологии. Представлены результаты синоптических наблюдений и примеры изменений профиля при быстропротекающих процессах.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-02-00098-а.

Сильная плазменная турбулентность в бессиловых конфигурациях магнитного поля солнечной короны

Беспалов П.А.¹, Савина О.Н.²

¹*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород,
e-mail: pbespalov@mail.ru*

²*Национальный исследовательский университет Высшая школа
экономики, Нижний Новгород, e-mail: onsavina@mail.ru*

Согласно результатам наблюдений и теоретическим расчетам для разреженных областей солнечной короны характерны значительные стационарные продольные (вдоль магнитного поля) электрические токи. Сравнительно крупномасштабные нестационарные продольные токи имеют место в инерционных и кинетических альвеновских волнах, наличие которых подтверждены наблюдениями. Если в локальном продольном токе упорядоченная скорость электронов превосходит их тепловую скорость, то в плазме развивается аperiodическая неустойчивость. Проведенные оценки показывают, что для условий в солнечной короне порог такой неустойчивости может быть превышен. Тогда, согласно выполненным расчетам, формируется сильная плазменная турбулентность в виде многочисленных каверн плотности дебаевского масштаба с квадрупольными электрическими полями. Учет этой турбулентности важен для определения величины коэффициентов переноса и объяснения свойств потоков энергичных частиц в солнечной короне.

Работа П.А. Беспалова по выполнению численных расчетов выполнена в рамках Государственного задания № 0035-2014-0029.

Вариации солнечных магнитных полей и их влияние на КВМ и радио всплески II типа

Биленко И.А.

Московский государственный университет, Астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, e-mail: bilenko@sai.msu.ru

Корональные выбросы массы (КВМ) являются одним из важнейших факторов, определяющих космическую погоду и влияющих на геомагнитную активность. Было показано, что КВМ сопровождающиеся радио всплесками II типа (РВИ), являются более геоэффективными. Однако вопрос о формировании как КВМ, так и РВИ до сих пор остается открытым, как и не ясны до конца процессы определяющие их динамику в солнечных циклах.

На основе большого объема наблюдательных данных как в оптическом, так и в радио диапазонах, полученных на наземных обсерваториях Kitt Peak и WSO и космических аппаратах SOHO, WIND и STEREO, рассмотрены циклические изменения солнечных магнитных полей разного масштаба и напряженности и влияние их вариаций на изменение числа и параметров КВМ и РВП, а также на характеристики плазмы солнечной короны в областях формирования РВП.

Полученные результаты показывают, что КВМ с различными параметрами ведут себя по-разному в 23 и 24 циклах. В 24 цикле возросло не только число КВМ, но изменились и их зависимости от фотосферных магнитных полей. Число и параметры РВП также отличаются в 23 и 24 циклах. Выявлена связь этих различий с различной динамикой магнитных полей разного масштаба и напряженности в 23 и 24 циклах.

Поиск оптических вспышек у G, K, M-карликов

Бондарь Н.И.¹, Кацова М.М.², Шляпников А.А.¹

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п.Научный,
e-mail: otbn@mail.ru*

²*Государственный астрономический институт им.
П.К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова*

Частота и энергия вспышек у звезд малых масс является одним из показателей их активности. На основе данных обсерватории TESS и из каталога GAIA DR2 отобрано 1829 объектов, 486 из них удовлетворяют критериям $T_* < 7000K$, $L_* < 1.1L_\odot$, $L_* \geq 6.136^{-6} \times T_* - 0.022$, т.е. находятся в нижней части главной последовательности. Для этой выборки получены статистические характеристики по физическим параметрам звезд, большую ее часть составляют G-звезды. Для ряда звезд приведены результаты выбранной методики поиска вспышек.

По наземным фотометрическим базам, включающим многолетние данные, поиск вспышек выполнен для 12 активных G, K, M карликов. У этих звезд выполнен анализ кривых блеска и, используя статистические критерии, выявлены возможные вспышки, определены их амплитуды, рассмотрена зависимость амплитуды и частоты вспышек от спектрального класса звезд. Вспышки малой амплитуды от 0.1^m до 0.5^m наблюдаются как у G-звезд, так и более холодных карликов, вспышки с повышением блеска более, чем на величину, возможны у поздних M-карликов.

Вейвлет анализ долговременной активности V833 Тау

Бондарь Н.И.¹, Степанов Р.А.², Кацова М.М.³,
Соколов Д.Д.^{4,5,6}, Фрик П.Г.²

¹ Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п.Научный,
e-mail: otbn@mail.ru

² Институт механики сплошных сред, Пермь

³ Государственный астрономический ин-т им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоосова, Москва

⁴ ИЗМИРАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва

⁵ Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоосова, Москва

⁶ Московский центр фундаментальной и прикладной математики,
Москва

В изучении циклической активности, обнаруженной у ряда звезд солнечного типа и холодных карликов, остается открытым вопрос о стабильности найденных циклов. Имеющиеся в настоящее время ряды наблюдений индикаторов активности покрывают несколько десятилетий, что недостаточно для уверенного определения длительности и амплитуды циклов. Это затрудняет сравнение звездной активности с наблюдаемой на Солнце. В исследовании долговременных вариаций блеска активных карликов различные методы анализа обнаруживают сосуществование коротких и длинных звездных циклов. В данной работе выполнен вейвлет-анализ 120-летнего фотометрического ряда молодой звезды типа VY Dra V833 Тау (K2V), у которой ранее были выявлены многолетний цикл (60–80 лет) и короткие циклы – менее 6 лет. Использован новый подход: выполнена реконструкция кривой блеска звезды на интервале с 1899 г. по 2019 год с учетом найденных вейвлет-коэффициентов в фиксированном диапазоне масштабов $10 < \tau < 40$ лет и в окрестности локального максимума. Активность звезды прослеживается практически во всем диапазоне доступных масштабов ($3 < \tau < 100$ лет), и этот результат сопоставим с поведением солнечной активности на масштабах $0.1 < \tau < 10$ лет. Можно предположить, что если звездный цикл для V833 Тау существует, то он на порядок длиннее солнечного, т.е. составляет около 80–100 лет; однако имеющихся данных пока недостаточно, чтобы выделить предлагаемый цикл. Не исключается также сценарий, согласно которому V833 Тау имеет по существу нестабильное динамо и продолжительность его цикла колеблется в пределах 10–40 лет.

Определение спектра протонов по спектрам гамма-квантов во время солнечных вспышек

Васильев Г.И.

ФТИ им. А.Ф.Иоффе, С.-Петербург, e-mail: gennadyivas@gmail.com

Гамма-кванты, возникающие во время солнечных вспышек при взаимодействии ускоренных протонов с фотосферой и более глубокими слоями Солнца, выходят в межпланетное пространство с толщии в несколько десятков г см^{-2} . Временная зависимость спектров образующихся мгновенных гамма-квантов определяется преимущественно временным ходом процесса ускорения протонов. Большой вклад в формирование спектров дает образующаяся при образовании ${}^2\text{H}$ линия 2.224 МэВ. Гамма-квант может выйти из Солнца без взаимодействия или после одного или нескольких комптоновских рассеяний. Время термализации нейтронов, образующих ${}^2\text{H}$ зависит от температуры и плотности окружающей среды. Эта зависимость может привести к временному сдвигу части гамма-квантов.

Проведены расчеты угловых, энергетических и временных распределений гамма-квантов, выходящих в межпланетное пространство. Рассматривается методика определения спектра протонов по спектрам гамма-квантов с учетом гамма-квантов с энергиями выше 0,5и 2.3 МэВ

Пространственно-временная динамика быстрых электронов и плазменной турбулентности во вспышечной неоднородной плазме

Ватагин П.В., Кудрявцев И.В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, e-mail: pavelvat@gmail.com

Доклад посвящен рассмотрению распространения быстрых электронов в солнечной плазме, ускоренных во время солнечных вспышек. Особенностью данной работы является учет взаимодействия этих электронов с ленгмюровской турбулентностью и кулоновских столкновений с частицами фоновой плазмы, концентрация которой меняется в пространстве. Рассмотрение ведется в рамках пространственно одномерной нестационарной модели. Традиционно при изучении динамики быстрых электронов в солнечной плазме пренебрегается взаимодействием с плазменными волнами. Однако учет данного взаимодействия необходим, так как оно может изменять функцию распределения быстрых электронов при их распространении в окружающей плазме. Это может отразиться на характеристиках

жесткого рентгеновского излучения, на основании которых производится диагностика ускоренных во вспышках электронов. Необходимость учета генерации плазменных волн быстрыми электронами и взаимодействия между ними вызвана также тем, что плазменные волны порождают радиоизлучение и это радиоизлучение регистрируется при наблюдениях. В докладе приводятся результаты расчетов функции распределения быстрых электронов и спектральной плотности энергии ленгмюровских волн в различные моменты времени и на различных расстояниях от места их ускорения в солнечной плазме.

Эффекты высокоэнергичных солнечных протонных событий 23-го солнечного цикла в вариациях интенсивности стратосферного полярного вихря

Веретененко С.В.

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: s.veretenenko@mail.ioffe.ru*

Исследованы эффекты солнечных протонных событий с энергиями частиц >90 МэВ в вариациях скорости зонального западного ветра на разных уровнях стратосферы за период 1997-2007 гг. (23-й солнечный цикл) на основе данных реанализа NCEP/NCAR [1]. Наибольшие изменения скорости ветра в связи с исследуемыми событиями выявлены в области формирования стратосферного полярного вихря (широты $50-80^\circ\text{N}$) на всех уровнях стратосферы. Обнаружено значительное увеличение скорости зонального ветра в указанной широтной области для событий, имевших место при западной фазе квазидвухлетних осцилляций атмосферы. Полученные результаты позволяют предположить, что вторжения высокоэнергичных солнечных протонов, достигающих высот средней атмосферы, могут оказывать влияние на интенсивность стратосферного полярного вихря.

[1] Kalnay E. et al. // Bull. Amer. Meteorol. Soc., 1996, v. 77, p. 437.

**Долговременные изменения площади корональных дыр
и повторяемость магнитных бурь
с постепенным началом**

**Веретененко С.В.¹, Огурцов М.Г.^{1,2}, Обридко В.Н.³,
Тлатов А.Г.⁴**

¹*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: s.veretenenko@mail.ioffe.ru*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru*

³*ИЗМИРАН, Троицк, e-mail: obridko@izmiran.ru*

⁴*Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск,
e-mail: tlatov@mail.ru*

Исследованы долговременные изменения площади корональных дыр (КД), реконструированных по синоптическим $H\alpha$ -картам за период 1887-2016 гг., и повторяемости магнитных бурь с постепенным началом. Обнаружено, что временные вариации среднегодовых значений площади КД в северном и южном полушариях характеризуются ярко выраженной ~ 11 -летней периодичностью, но заметно различаются на мультидекадной шкале. Вейвлет-спектры площади КД в южном полушарии, в отличие от северного, обнаруживают устойчивые периодичности ~ 30 -35 лет на всем исследуемом временном интервале, что приводит к долговременным вариациям северо-южной асимметрии площади КД. Аналогичные периодичности ~ 30 -35 лет доминируют в вейвлет-спектрах частоты повторяемости магнитных бурь с постепенным началом [1]. Полученные результаты позволяют предположить, что вариации повторяемости магнитных бурь с постепенным началом на мультидекадной шкале тесно связаны с соответствующими вариациями северо-южной асимметрии площади корональных дыр.

[1] Veretenenko S., Ogurtsov M., Obridko V. // J.Atm.Sol.-Terr.Phys., 2020, v. 205, 105295.

Неосесимметричная и осесимметричная составляющие распределения солнечных пятен в 1874–2016 годах

Вернова Е.С.¹, Тясто М.И.¹, Баранов Д.Г.²

¹ СПбФ ИЗМИРАН, С.-Петербург, e-mail: helena@ev13934.spb.edu

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург, e-mail: d.baranov@mail.ioffe.ru

Проведено исследование осесимметричной и неосесимметричной компонент солнечной активности (СА) по данным Greenwich- USAF/NOAA (площадь солнечных пятен, 1874–2016 гг.). Рассматривалось долготное распределение активности по всему диску Солнца, а также отдельно для северного (N) и южного (S) полушарий. Для оценки величины неосесимметричной компоненты (долготной асимметрии) использовался метод векторного сложения площадей солнечных пятен. При таком подходе вклады равномерно распределенной по долготе СА взаимно компенсируются, позволяя выделить неосесимметричную часть активности.

Показано, что в максимуме СА неосесимметричная компонента составляет приблизительно одну треть полной площади пятен, а две трети приходятся на осесимметричную часть. Отношение долготной асимметрии к площади солнечных пятен находится в противофазе с циклом СА. Долготная асимметрия N и S полушарий связаны очень слабо (коэффициент корреляции $R = 0.29$), и их поведение отличается во многих аспектах. Так корреляция скорости роста активности с высотой цикла (эффект Вальдмейера) для долготной асимметрии S полушария очень высока ($R = 0.96$), а для N полушария заметно слабее ($R = 0.75$). Правило Гневышева-Оля также проявляется по-разному для двух полушарий.

Для изучения долгопериодных вариаций неосесимметричной компоненты использован интеграл долготной асимметрии за каждый отдельный цикл СА. Наибольшее значение интеграл долготной асимметрии имеет в 18 цикле, в отличие от площади солнечных пятен, максимум которой наблюдается в 19 цикле. Отношение интеграла долготной асимметрии к интегралу площади солнечных пятен имеет тенденцию к уменьшению со временем так, что это отношение в циклах 12–16 выше, чем среднее за весь период 1874–2016 гг., и ниже среднего в 17–23 циклах.

Синхронизация, Причинность и Обратимость в Солнечно-Земной Физике

Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г.

ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: dmitry.volobuev@mail.ru

Проблемы Солнечно-Земных связей имеют уже более чем вековую научную историю. Со времен Чижевского предложено большое количество физических механизмов и моделей однако статистические доказательства редко выходят за рамки подсчетов корреляции Пирсона. Большая часть экспериментальных данных, которые используются для обнаружения упомянутых связей, доступны в форме временных рядов; матричные данные (изображения) покрывают сравнительно небольшой интервал наблюдений. Ряды содержат гео/гелиофизические характеристики, которые отображают пространственно-временную сложность систем на Солнце и Земле в скалярные, или векторные временные последовательности. В литературе обычно не обсуждается, что мы теряем при таких проекциях, в какой степени ряды можно рассматривать как детерминированно-порожденную наблюдаемую в смысле Такенса, и, наконец, насколько обратная реконструкция, как топологическое вложение, эквивалентна исходной системе. Этот вопрос наиболее важен, поскольку «наблюдаемая» по Такенсу (сигнал или реализация) предполагает типичность проекции на первую координату. Нетрудно понять, что это эквивалентно свойствам сильного перемешивания в системе, относительно натуральной эргодической меры. В практической ситуации, взаимодействующие системы на Солнце и Земле являются термодинамически открытыми и нестационарными, т.е., как правило, теорема существования и единственности решения, просто отсутствует. В случае предполагаемых причинных аналитических (непрерывных) связей, заданных, например, в форме неявной функции от набора переменных от двух систем, теорема о неявной функции говорит нам, что направленность связей невозможно выявить вообще. Однако это тот самый случай, который предполагает концепция «обобщенной синхронизации». Таким образом, проблема установления солнечно-земных связей вынуждена опираться на набор некоторых простых техник, обеспечивающих правдоподобный результат.

Целью нашей работы является сравнительный анализ эффективности этих инструментов для задач, в которых их применяют в отсутствие корректных обоснований. В данной работе мы обсуждаем различные количественные меры, полученные по экспериментальным данным и претендующие на обнаружение связей двух динамических систем вообще, и направленность таких связей для случая Солнце-Земля. Кроме традиционных методов условных дисперсий и причинности по Грейнджеру, мы мы обсуждаем подходы основанные на дескрипторах топологического анализа

данных, диагностики обратимости рядов, бесконечно- мерные модели в пространстве Гильберта (разложение по динамическим модам на основе оператора Купмана) и понижение размерности рядов с помощью так называемых диффузных координат.

**Солнечная активность по данным наблюдений Сиголи,
Галилея, Колонны, Колоньи и Шайнера
в 1612–1614 годах**

Вохмянин М.В.¹, Арльт Р.², Золотова Н.В.¹

¹*Санкт-Петербургский Государственный Университет,
e-mail: m.vokhmyanin@spbu.ru*

²*Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam, e-mail: rarlt@aip.de*

В работе представлены результаты восстановления параметров солнечной активности по зарисовкам наблюдателей в начале XVII века. Выполнен анализ зарисовок солнечного диска, полученных разными методиками с разной степенью точности и детальности. Проведено сравнение площадей групп пятен по историческим зарисовкам и современным данным. Обнаружена нехватка мелких групп пятен в ранних наблюдениях. Отношение площадей тени и полутени в группах пятен в прошлом, по видимому, было схожим с данной величиной в современную эпоху. Для определения гелиокоординат пятен было разработано два метода. В первом используется время, указанное наблюдателем для каждой из зарисовок. Второй метод минимизирует разброс пятен по широте при их движении по солнечному диску. Проведено сравнение результатов двух методов. Представлены предварительные результаты оценки скорости дифференциального вращения.

Моделирование характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ

*Галикян Н.Г., Юлбарисов Р.Ф., Голубков В.С.,
Майоров А.Г.*

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия, e-mail: potayrgalikyana@gmail.com*

Работа посвящена воспроизведению 27-дневных вариаций потока галактических космических лучей (ГКЛ), наблюдавшихся в эксперименте PAMELA [1], при помощи моделирования распространения ГКЛ в гелиосфере.

Построена карта электромагнитного поля в межпланетном пространстве в соответствии с моделями [2], [3] и экспериментальными измерениями, сделанными космическим аппаратом ACE. Создан алгоритм, который численно решает уравнение движения космических лучей в этом поле и восстанавливает их траекторию. Генерируются заряженные частицы на границе гелиосферы и осуществляется их трассировка с использованием разобранного алгоритма. Начальные характеристики частиц таковы, что формируется их изотропное угловое распределение, а энергетический спектр соответствует межзвёздному, который предложен в работе [4].

В результате расчетов получены временные зависимости потока космических лучей в околоземном пространстве в период с 2007 по 2008 год и проведено сравнение с измерениями в эксперименте PAMELA

- [1] I. K. Troitskaya, A. G. Mayorov, V. V. Malakhov, R. Modzelewska, and S. A. Rodenko // ISSN 1062-8738, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2019, Vol. 83, No. 5, pp. 576–578.
- [2] C. Pei, J. W. Bieber, R. A. Burger, and J. Clem // The Astrophysical Journal, 744:170 (5pp), 2012 January 10
- [3] Paolo Lipari // INFN, sezione di Roma, Piazzale Aldo Moro 2, 00185 Roma, Italy, August 2, 2014.
- [4] D. Bisschoff, M.S. Potgieter: // Astrophys Space Sci (2016) 361:48.

О структуре и динамике лептоклина

Гетлинг А.В.¹, Косовичев А.Г.^{2,3}

¹*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени
Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва,
e-mail: A.Getling@mail.ru*

²*Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark,
NJ 07102, USA, e-mail: alexander.g.kosovichev@njit.edu*

³*NASA Ames Research Center, Moffett Field, Mountain View, CA
94035, USA*

Данные наблюдений на инструменте НМИ орбитальной обсерватории SDO — оптические изображения и результаты гелиосейсмологических инверсий — используются для исследования структуры и динамики течений в диапазоне глубин до 21 Мм под фотосферной в ряде активных и спокойных областей Солнца. На глубинах, превышающих 6 Мм, обнаружены колебания среднего значения восточно-западной компоненты скорости, измеренной в кэррингтоновской системе отсчета, — иными словами, вариации скорости вращения Солнца. Амплитуда этих колебаний растет с глубиной. Соответственно испытывает существенные изменения структура подповерхностного сдвигового слоя (лептоклина), характеризуемая распределением скорости вращения по глубине. Оно варьирует от почти однородного до сдвигового со значительным перепадом скоростей сверху донизу. Для поверхностного подслоя толщиной порядка 2 Мм зачастую характерен обратный сдвиг: скорость не растет, а убывает с глубиной. Обращение знака сдвига временами наблюдается и на средних глубинах. Рассмотрены корреляции скорости между различными широтами спокойного Солнца и спектры мощности колебаний. Выявлена, в частности, изменчивая асимметрия колебаний между северным и южным полушарием. Обсуждается возможная связь найденных колебаний со структурой крупномасштабной конвекции.

**Анализ результатов исследования наблюдений
полярной корональной дыры на Солнце в широком
сантиметровом диапазоне длин волн**

Голубчина О.

*Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической
обсерватории, Санкт-Петербург, Россия*

Представлен обзор основных результатов исследования полярной корональной дыры над северным полюсом Солнца по наблюдениям солнечного затмения 29 марта 2006 года с помощью радиотелескопа РАТАН-600 в широком см-диапазоне длин волн: 1.03, 1.38, 2.7, 6.2, 13.0, 30.7 см.

Обсуждаются полученные результаты: распределение яркостных температур полярной корональной дыры над северным полюсом Солнца на расстояниях примерно

(1.005–2.0) Rs от центра солнечного диска; идентичность температурных свойств полярной и низкоширотных корональных дыр на Солнце в период минимальной солнечной активности. Анализ выполнен с привлечением наблюдательных и теоретических данных, опубликованных различными авторами.

**Полярные и экваториальные корональные дыры:
физические условия**

*Гопасюк О.С., Барановский Э.А., Таращук В.П.,
Штерцер Н.И*

*ФГБУН КрАО РАН, Научный, Республика Крым,
e-mail: olg@crasrimea.ru*

При исследовании КД обычно используются данные о внеатмосферных коротковолновых излучениях, и это оставляет без внимания процессы в хромосфере, в основании КД. Наблюдения в линиях $H\alpha$ и HeI 10830Å позволили нам определить физические условия в КД на уровне хромосферы. Полярная и экваториальные КД наблюдались в 2015–2017 гг. на фазе спада 24 цикла солнечной активности. Полярная корональная дыра находилась в северном полушарии. За это время ее относительная интенсивность менялась в пределах 1.0046–1.0355 для линии HeI 10830Å и 0.9676–0.9866 для линии $H\alpha$. Интенсивность экваториальных КД менялась в пределах 1.0102–1.0377 для линии HeI 10830Å и 0.9509–0.9819 для линии $H\alpha$. Рассчитаны модели хромосферы, объясняющие наблюдаемые особенности исследуемых КД. Модели построены в результате расчетов

профилей линий $\text{H}\alpha$ и $\text{HeI } 10830\text{\AA}$ с помощью не-ЛТР программы. Модели показали, что кинетическая температура в экваториальных КД аналогична кинетической температуре полярной КД и также увеличивается в зависимости от высоты в хромосфере. В обоих случаях различие атмосфер КД и спокойного Солнца отмечено уже на уровне верхней фотосферы – нижней хромосферы. Температура КД ниже на 1000–2000 К по сравнению с невозмущенной хромосферой.

Вспышка X2.2 6 сентября 2017 г.: временные и пространственные характеристики

Гопасюк О.С., Вольвач А.Е., Якубовская И.В.

*ФГБУН КрАО РАН, Научный, Республика Крым,
e-mail: olg@crao.crimea.ru*

Мы провели многоволновое исследование солнечной вспышки X2.2 6 сентября 2017 года. Для изучения временных и пространственных характеристик вспышки использовались одночастотные записи на нескольких фиксированных частотах в диапазоне 245 МГц – 10 ГГц, магнитограммы фотосферного подольного поля и изображения Солнца в (E)UV-диапазоне. Данные были получены на радиоастрономическом диагностическом комплексе солнечной активности Крымской астрофизической обсерватории РАН [1] и Atmospheric Imaging Assembly (AIA) и Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) установленных на Solar Dynamics Observatory (SDO). Сравнение времен пиков микроволнового излучения показывает, что более высокие частоты достигают пика раньше, а более низкие – позже. Временная задержка при переходе от более высоких частот сантиметрового диапазона длин волн к более низким составляла около 12 секунд, а при переходе от сантиметрового диапазона к метровому – 23 секунды. Эта прогрессирующая задержка с частотой, вероятно, связана с относительно медленной эволюцией всей области источника радиоизлучения от низких корональных высот с более высокой напряженностью магнитного поля к более высоким высотам и более низкой напряженностью магнитного поля. Во время импульсной фазы происходили сильные изменения шира, измеренного по положению сопряженных точек оснований UV петель. Изменение шира прекратилось в середине импульсной фазы вспышки, что может свидетельствовать о том, что переход от импульсной к gradual фазе связан с изменением магнитного шира.

[1] Volvach A.E., Yakubovskaya I.V. // Astronomical and Astrophysical Transactions, 2019, v. 31, No. 2, p. 389.

Длительные вспышки, не сопровождающиеся солнечными протонными событиями

Григорьева И.Ю.¹, Струминский А.Б.²

¹ Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург,
e-mail: irina.2014.irina@mail.ru

² Институт космических исследований РАН, Москва,
e-mail: astrum@iki.rssi.ru

Ранее, в работе [1] мы рассмотрели события начала сентября 2017 года и предложили сценарий ускорения солнечных космических лучей (СКЛ – релятивистских электронов и протонов), позволяющий объяснить 4 мощные вспышки 4-6 сентября и связанные с ними явления в межпланетном пространстве (МП). В частности, была исследована вспышка X2.2 GOES-класса, произошедшая 6 сентября, которая, в отличие от трех других, не была связана ни с корональным выбросом массы (КВМ), ни с солнечными протонами. Возможно, ее аналогами являются X-вспышки 22-26 октября 2014 года в активной области 12192, которые не сопровождались КВМ [2], [3]. Другой их общей характеристикой оказывается развитие вспышек во вновь появляющейся замкнутой конфигурации петель ограниченной по высоте над фотосферой плотностью для плазменной частоты 1.4 ГГц [4].

Авторы работ [5], [6] считали, что такие события свидетельствуют против ускорения протонов во вспышках, так как если нет КВМ, то и нет ускоренных протонов. Мы планируем проанализировать вспышки конца октября 2014 года в рамках [1] и обсудить эффекты, связанные с возможным ускорением низко-энергичных протонов с энергией менее 10 МэВ („молчащих“ протонов).

- [1] Струминский А.Б., Григорьева И.Ю., Логачев Ю.И., Садовский А.М. // Физика Плазмы, 2020, т. 46(2), с. 139.
- [2] Thalmann J.K., Su Y., Temmer M., et al. // Astrophys. J., 801:L23 (5pp), 2015.
- [3] Sun X., Bobra M.G., Hoeksema J.T., et al. // Astrophys. J., 804:L28, (6pp), 2017.
- [4] Rieger E., Treumann R.A., and Karlicky M. // Solar Phys., 1999, v. 187(1), p. 59.
- [5] Kahler S.W., Kazachenko M., Lynch B.L., et al. // J.Phys.:conf.Ser., 900 012011, 2017.
- [6] Cliver E.W., Kahler S.W., Kazachenko M, et al. // Astrophys. J., 877:11, (17pp), 2019.

**Взаимосвязь жесткости обрезания космических лучей
и параметров магнитосферы во время бури 20 ноября
2003 года: явления гистерезиса**

Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И.

*Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн РАН (СПбФ ИЗМИРАН),
Санкт Петербург*

Мы рассчитали корреляции вариаций жесткостей геомагнитного обрезания космических лучей ΔR с индексами геомагнитной активности, параметрами солнечного ветра и межпланетного магнитного поля ММП во время каждой из трех фаз магнитной бури 20–21 ноября 2003 г. — перед началом бури, в ее главной и восстановительной фазах. Найдено, что полученные зависимости ΔR от исследуемых параметров на протяжении всей бури неоднозначны. Траектория изменения ΔR в зависимости от исследуемых параметров во время интенсификации бури (развитие токовых систем) не совпадает с траекториями на восстановительной фазе (распад токовых систем), поэтому формируются петлеобразные диаграммы. Таким образом, впервые, насколько нам известно, обнаружены явления гистерезиса во взаимодействии ΔR и параметров гелио- и магнитосферы (на примере станции Москва). Геометрия найденных петель гистерезиса различна для различных параметров, в частности петли различаются по ширине. При этом получено, что характер гистерезисной петли находится в прямой зависимости от того, насколько регулярной и тесной является взаимосвязь ΔR и исследуемых параметров. Наиболее тесная корреляция наблюдается для Dst индекса ($k = 0.99$, практически одинаковая для всех фаз), что формирует очень узкую петлю. Для ММП корреляция с ΔR меньше, при этом она различна на главной и восстановительной фазах, то есть наблюдается явная асимметрия для B_y ($k = 0.96$ на главной фазе и $k = 0.70$ на восстановительной), для B_z ($k = 0.24$ на главной фазе, $k = 0.69$ на восстановительной) и для B ($k = 0.58$ на главной, $k = -0.94$ на восстановительной фазах). Накопление энергии при развитии кольцевого тока на главной фазе бури и ее высвобождение на восстановительной фазе происходит не симметрично. Более низкие k и асимметрия процесса формируют широкую петлю. Найдено, что при взаимодействии ΔR с давлением N и плотностью P солнечного ветра, формируемые петли гистерезиса не носят регулярного характера: траектории $\Delta R(N)$ и $\Delta R(P)$ на всех фазах возмущения запутанные, и многократно пересекают друг друга. Таким образом, геометрия петли гистерезиса может служить новым информативным индексом взаимосвязи ΔR и параметров геомагнитосферы.

Колебания климата в Арктическом регионе в период Голоцена и солнечная активность

Дергачев В.А.

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург,
e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru*

Северные регионы нашей планеты играют важную роль в процессах, воздействующих на окружающую среду в глобальном масштабе, и являются индикаторами глобальных климатических изменений. Арктический регион наиболее сильно реагирует на все климатические изменения, происходящие на планете. Арктический регион включает в себя Гренландский ледниковый щит, примыкающие к северному полюсу северные окраины Европы, Евразии, Северной Америки, Канадский Арктический архипелаг, Северный Ледовитый океан, Арктические воды периферийных морей Северного Атлантического и Тихого океанов. Климат Арктического региона в настоящее время характеризуется новыми особенностями: наблюдается смягчение климата от года к году, о чем свидетельствует повышение температуры воздуха, таяние Гренландского ледяного щита, уменьшение толщины и площади морского льда.

Характерной особенностью Арктического региона является недостаточная изученность сложных как климатических процессов, так и обратных связей, присущих усиленной естественной изменчивости климата как в прошлом, так и в настоящее время. В отличие от других регионов земного шара, формирование температурного режима Арктики характеризуется рядом особенностей: 1) поступление притока тепла от Солнца в полярные области ниже, чем в неполярные; 2) регион находится вблизи географического полюса, а в настоящее время сюда входит и геомагнитный полюс, благодаря чему в атмосферу высоких широт вторгаются потоки заряженных космических и солнечных частиц; 3) циркуляционные океанические и атмосферные процессы и большая отражательная способность снега и льда определяют количество тепла, принесённого океаническими течениями и воздушными потоками из низких географических широт; 4) Арктика — это климатический район, наиболее чувствительный к изменениям количества парниковых газов в атмосфере и облачности.

В работе анализируются временные ряды изменений в арктическом климате, отраженных в его основных компонентах, на временных интервалах, охватывающих эпоху голоцена, последние 2000 лет и интервал антропогенного воздействия на климат. Обсуждаются вопросы, которые имеют первостепенное значение для понимания природы климатических изменений в наш век и основные физические процессы, ответственные за эти изменения. Рассматривается возможная роль солнечной активности в изменениях климата на Земле в прошлом и в будущем и роль ускоренного

роста температуры и сокращения площади морских льдов в Арктике в формировании аномалий климата и погоды в Северном полушарии. Отмечен вклад аномальных потоков турбулентного тепла в Арктике в современные климатические тренды глобальной температуры.

Гренландский ледяной покров в настоящее время примерно на порядок меньше ледяного покрова Северного полушария во время последнего ледникового максимума около 21 000 лет назад. Следует отметить, что основной вклад в повышение уровня Мирового океана в настоящее время вносит именно таяние Гренландского ледникового покрова.

Вращение солнечной короны по наблюдениям радио и рентгеновского излучения Солнца на протяжении 22–24 циклов солнечной активности

Дмитриев П.Б.

*ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: paul.d@mail.ioffe.ru*

Благодаря систематическим радиоастрономическим и внеатмосферным (спутники серии GOES) измерениям солнечного излучения, появилась возможность ввести два новых индекса солнечной активности (СА). Один из них – излучение от солнечного диска на частоте 2800 МГц, другой – мягкое рентгеновское излучение (МРИ) от полного диска Солнца, измеряемое в интервале длин волн 0.1–0.8 нм. В радиоизлучении Солнца в течение цикла СА выделяются три составляющих: постоянная – тепловое излучение короны и хромосферы, переменная – от корональных конденсаций и кратковременная – всплески длительностью от секунд до нескольких часов, связанные со вспышками в хромосфере. В свою очередь МРИ исходит от горячих петель магнитных активных областей, которые заполнены горячей плазмой – источником «квазитеплого» МРИ, формирующей медленно меняющуюся составляющую, и от скоротечных (минуты, часы) солнечных вспышек, происходящих в этих магнитных структурах и дающих резкое увеличение потока МРИ. Поэтому оба эти индекса, которые отражают интенсивность образования в атмосфере Солнца активных магнитных областей и их эволюцию, можно использовать в качестве индикатора СА.

Значения индексов были исследованы при помощи метода построения комбинированной спектральной периодограммы на предмет наличия квазипериодических осцилляций на протяжении трех последних солнечных циклов. Часть значений выявленных квазипериодов можно объяснить собственным вращением Солнца, а остальные отражают средние времена

«жизни» активных образований солнечной атмосферы. Особое внимание было уделено изучению временного изменения параметров выявленных квазипериодических компонентов на протяжении солнечных циклов путем построения выборочной оценки нормированной спектральной плотности исходных данных в скользящем временном окне величиной до года.

Связь кривой дифференциального вращения Солнца с гелиосейсмологией и оценка глубины ячеек суперконвекции

Живанович И.¹, Соловьев А.А.^{1,2}, Риехокайнен А.³,
Ефремов В.И.¹

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург

² Калмыцкий государственный университет

³ Department of Physics and Astronomy, University of Turku, Turku,
Finland

Артефакт «pixel-to-pixel» (p2p), возникающий вследствие дискретного характера матричных приемников, задает независимый стандарт частоты. Благодаря этому, данный эффект может быть использован для исследования дифференциального вращения Солнца по таким трассерам, как солнечные факелы (Живанович и др. 2019). Полученные результаты хорошо совпадают с данными наземных наблюдений по солнечным пятнам и лучевым скоростям, но при сравнении их с данными гелиосейсмологии они оказываются существенно завышенными. Это может быть следствием того, что магнитные трассеры (пятна, факелы) захвачены сеткой супергрануляции, которая, благодаря наличию лентоклина в верхней части конвективной зоны, вращается быстрее, чем самые верхние, поверхностные слои Солнца, угловая скорость которых фиксируется методами гелиосейсмологии. Зная структуру лентоклина, в рамках такой модели можно оценить глубину нижней, наиболее плотной, границы ячейки суперконвекции (около 20 Мм).

**Разрешение неоднозначностей
при идентификации активных областей
с нарушением закона полярностей Хейла**

**Жукова А.В.¹, Хлыстова А.И.², Абраменко В.И.¹,
Соколов Д.Д.^{3,4,5}**

¹ *Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный,
Крым, Россия e-mail: anastasiya.v.zhukova@gmail.com*

² *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
e-mail: hlystova@iszf.irk.ru*

³ *МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
e-mail: sokoloff.dd@gmail.com*

⁴ *Московский центр фундаментальной и прикладной математики,
Москва, Россия*

⁵ *ИЗМИРАН им. Н.В.Пушкова, Троицк, Москва, Россия*

При помощи данных MDI/SOHO, HMI/SDO, DPD исследованы 8703 активные области (АО) с 01.01.1989 по 31.12.2019. Проанализированы сложности в идентификации АО с нарушением закона полярностей Хейла (анти-Хейловских АО), выявлены основные причины возможных ошибок. Предложены два основных и четыре дополнительных критерия идентификации группы солнечных пятен в качестве анти-Хейловской АО. Основные критерии сформулированы в соответствии с классическими представлениями, изложенными в работах [1], [2]. Согласно этим критериям анти-Хейловская АО представляет биполь обратной (по отношению к установленной по закону Хейла) полярности с пятнами/порами в обеих полярностях и условивыми магнитными связями между ними. Составлен каталог анти-Хейловских АО, удовлетворяющих предложенным критериям, доступный по ссылке <http://sun.crao.ru/databases/catalog-anti-hale>.

Определение анти-Хейловских АО 23-го и 24-го циклов А.Ж. поддержано РФФ (проект 18-12-00131). А.Х. благодарит гранты РФФИ 18-02-00085 и 19-52-45002. Работа А.Х. поддержана базовой финансовой программой ФНИ П.16. В.А. признательная за частичную поддержку Минобрнауки НИР 0831-2019-0006. Д.С. благодарит грант РФФИ 18-02-00085.

[1] Hale G.E., Nicholson S.B. // *Astrophys. J.*, 1925, v. 62, p. 270.

[2] Babcock H.W. // *Astrophys. J.*, 1961, v. 133, p. 572.

О взаимосвязи событий в СКЛ и их солнечных источников с учетом магнито-морфологической классификации активных областей

***Жукова А.В.¹, Кашапова Л.К.², Митева Р.³,
Мешалкина Н.С.², Жданов Д.А.², Мягкова И.Н.⁴***

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный, Крым, Россия, e-mail: anastasiya.v.zhukova@gmail.com*

²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия, e-mail: lkk@iszf.irk.ru*

³*Институт космических исследований и технологий БАН, София, Болгария, e-mail: RMiteva@mail.space.bas.bg*

⁴*НИИЯФ МГУ, Москва, Россия, e-mail: irina@srd.sinp.msu.ru*

Представлены результаты анализа взаимосвязи между спектральными параметрами событий в солнечных космических лучах (СКЛ) и характеристик соответствующих солнечных вспышек с классом больше М5, наблюдаемых во время 23-го солнечного цикла. Поиск взаимосвязи между магнитной структурой и вспышечной продуктивностью АО продолжает исследование, начатое в работе [1]. Особенности магнитной топологии активных областей (АО) учтены благодаря распределению АО в соответствии с магнито-морфологической классификацией (ММК), предложенной в работе [2]. В качестве индикатора процессов ускорения в солнечной атмосфере во время вспышек использовались электронный спектральный индекс, полученный на основе микроволновых наблюдений, и скорость корональных выбросов массы (КВМ). Зависимости между спектральными свойствами электронов и протонов в событиях в СКЛ и GOES классом вспышек и различными показателями ускорения изучаются и обсуждаются с учетом ММК классов АО.

А.Ж. благодарит за поддержку Минобрнауки НИР 0831-2019-0006. Работа Л.К. и И.М. поддержана базовой финансовой программой ФНИ П.16 и частично поддержана программой №28 Президиума РАН.

- [1] Kashapova L.K., Miteva R., Myagkova I.N., Bogomolov A.V. // Solar Phys., 2019, v. 294, p. 9.
- [2] Abramenko V.I., Zhukova A.V., Kutsenko A.S. // Geomagn. and Aeron., 2018, v. 58, p. 1159.

Сравнение осцилляций магнитных характеристик тени солнечных пятен в активных областях с различными типами эруптивных событий

Загайнова Ю.С.¹, Файнштейн В.Г.²

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова, Москва, e-mail: yuliazag@izmiran.ru*

²*Институт солнечно-земной физики, Иркутск, e-mail: vfain@iszf.irk.ru*

Исследованы магнитные характеристики тени солнечных пятен в активных областях (АО) Солнца, в которых зарегистрированы разные типы эруптивных событий (ЭС). Для анализа были отобраны две группы ЭС, наблюдавшихся в АО с группами пятен: (1) — ЭС с формированием корональных выбросов массы (КВМ) с различными скоростями и сопровождающиеся солнечными вспышками, (2) — ЭС, включающие солнечные вспышки, но без инициации КВМ. В отобранных АО с ЭС исследовали изменение со временем минимального α_{min} и среднего $\langle \alpha \rangle$ углов наклона силовых линий поля к радиальному из центра Солнца направлению в пределах тени пятен. Параметр α_{min} характеризует угол наклона оси магнитной трубки из тени пятна, а $\langle \alpha \rangle$ — угловой разброс силовых линий поля относительно ее оси. Обнаружено, что в каждой АО с источником быстрого КВМ, существуют одно или несколько пятен, в которых началу ЭС, либо предшествует заметное (в несколько раз) относительно быстрое уменьшение α_{min} и $\langle \alpha \rangle$, продолжающееся после начала вспышки, либо начинается сразу с момента начала вспышки. В АО с ЭС с инициацией медленных КВМ и без КВМ таких резких изменений этих параметров магнитного поля не наблюдается. Выявлена еще одна особенность поведения магнитного поля в тени пятен в АО с ЭС — наличие колебаний α_{min} и $\langle \alpha \rangle$ с различными частотами. Для отобранных групп пятен с двумя типами ЭС были построены и сопоставлены спектры мощности колебаний α_{min} и $\langle \alpha \rangle$ в тени пятен, как за весь промежуток времени анализа колебаний этих параметров (± 6 ч от начала ЭС), так и отдельно в периоды времени до и после начала ЭС.

**О возможности нагрева солнечной короны потоками
тепла из корональных магнитных структур**

Зайцев В.В.¹, Степанов А.В.², Кронштадтов П.В.¹

¹ИПФ РАН, Нижний Новгород

²ГАО РАН, Санкт-Петербург

Оценены потоки тепла из горячих магнитных петель и магнитных трубок в окружающую корону как возможный источник нагрева короны. Показано, что горячие магнитные трубки (горячие спикулы II типа) являются более эффективным источником нагрева короны по сравнению с горячими магнитными петлями, так как в последнем случае тепловые потоки в корону существенно ограничены замкнутой структурой магнитного поля петель. Показано, что для компенсации радиационных потерь и потерь на теплопроводность из короны требуется приблизительно 10^4 горячих спикул, что составляет около 1% от количества спикул, одновременно наблюдающихся на солнечной поверхности. Анализ показывает, что основным источником энергии для нагрева корональной плазмы является фотосферная конвекция, генерирующая в магнитных петлях и магнитных трубках электрические токи, величина которых достигает $10^{11} - 10^{12}$ А. Диссипация электрических токов существенно возрастает при учете неполной ионизации плазмы (т.е. при учете ионно-атомных столкновений и связанной с ними проводимости Каулинга) и приводит к двум важным эффектам – к нагреву плазмы в магнитных структурах до температуры в несколько миллионов градусов и к возникновению потоков горячей плазмы из открытых магнитных трубок в корону. Инжекция горячей плазмы связана с нагревом электрическими токами фотосферных оснований трубок, возрастающим при спорадическом увеличении скорости фотосферной конвекции, например, в результате 5-минутных колебаний или при развитии неустойчивости Рэлея -Тейлора. В результате скорость нагрева фотосферных оснований трубок кольцевыми токами начинает превышать радиационные потери, что приводит к скачку градиента давления и возникновению инъекции горячей плазмы из открытого конца магнитной трубки в корону. Работа поддержана грантом РФФИ № 20-12-00268, а также грантами РФФИ №№ 20-02-00108, 19-02-00704, 18-02-0085.

Оценка основных параметров корональных ярких точек в рамках модели взаимодействия индуцированных токовых систем

Ибрагимов И.А., Миненко Е.П.

*Астрономический институт им.Мирзо Улугбека АН РУз.,
Ташкент, e-mail: igor@astrin.uz*

В рамках предложенной феноменологической модели образования корональных ярких точек (КЯТ) как результата взаимодействия токовых систем в солнечной короне проведены численные оценки основных параметров КЯТ. Рассматриваемая модель принципиально отличается от стандартной концепции пересоединения потенциальных магнитных полей в атмосфере Солнца. Источником корональных токовых систем (КТС) являются мелкомасштабные магнитные неоднородности, всплывающие из-под фотосферы в корону через переходный слой с полностью ионизованной плазмой. Полученные оценочные результаты хорошо согласуются с данными наблюдений. В частности, рассмотренная модель КТС, базируясь на основных законах электродинамики и результатах лабораторных экспериментов в области физики плазмы, в первом приближении дает достаточно хорошее согласие с регистрируемыми параметрами и характеристиками КЯТ, такими, как размер, энерговыделение, время жизни, спектр и уровень генерируемого радиоизлучения. Показана принципиальная возможность локального нагрева корональной плазмы, генерации рентгеновского и радиоизлучения в области взаимодействия КТС за счет развития плазменных и МГД-неустойчивостей.

Связи между продолжительностью, формой и амплитудой 11-летнего цикла солнечной активности

Иванов В.Г.

*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург*

В пятенных индексах наблюдается обратная корреляция между длиной восходящей ветви 11-летнего цикла солнечной активности и его амплитудой («правило Вальдмайера»). Имеется и другое, менее известное правило подобного типа — обратная корреляция между длиной данного цикла и амплитудой следующего («правило Д-А»).

В данной работе анализируется проявление двух этих правил в различных рядах индексов активности. Показано, что правило Д–А не является следствием правила Вальдмайера, а вполне независимо от него. Продемонстрирована возможность совместного использования двух этих правил для анализа и коррекции неточностей в исторических рядах пятенных индексов.

Выделение корональных дыр на изображениях солнечного диска и синоптических картах методами машинного обучения

Илларионов Е.А.^{1,2}, Косовичев А.Г.^{3,4}, Тлатов А.Г.⁵

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: egor.mypost@gmail.com

²Московский центр фундаментальной и прикладной математики,
Москва

³Department of Physics, New Jersey Institute of Technology, Newark,
e-mail: alexander.g.kosovichev@njit.edu

⁴NASA Ames Research Center, Moffett Field, CA

⁵Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru

Корональные дыры (КД) представляют интерес не только в аспекте задач прогноза космической погоды, т.е. краткосрочных явлений, но и на существенно больших временных масштабах. В этом случае удобным инструментом становится синоптическая карта. Традиционно для ее построения производится склейка карт корональных дыр, предварительно детектированных на диске Солнца. Возникает, однако, трудность, связанная с изменчивостью контуров КД во времени. Способ решения этой проблемы может существенно влиять на вид получаемой синоптической карты. Мы предлагаем несколько иной подход: сначала склеивать изображения диска Солнца в синоптическую карту, а затем произвести выделение КД. Для выделения контуров мы используем сверточную нейронную сеть, обученную на дисковых изображениях. Замечательным образом алгоритм оказывается применим к синоптическим картам без дополнительной адаптации, что подчеркивает его универсальный характер. В докладе мы покажем результаты анализа полученных синоптических карт КД за период с 2010 года по н.в. в различных аспектах солнечной активности. Результаты показывают, что хотя в некоторых случаях КД могут быть соотнесены с миграцией магнитного потока, существуют также и иные механизмы формирования и эволюции КД. Для проведения дальнейшего анализа каталог синоптических карт КД выложен в открытый доступ на сайте https://sun.njit.edu/coronal_holes/.

**55 лет наблюдений сильных магнитных полей
солнечных пятен по программе Служба Солнца
в Коуровской обсерватории**

*Калинин А.А., Лямова Г.В., Никифорова Т.П.,
Соболев А.М., Шагабутдинов А.И., Калинина Н.Д.*

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург,
e-mail: alexander.kalinin@urfu.ru*

С 1965 года в Коуровской обсерватории проводятся наблюдения магнитных полей по программе Служба Солнца. Для измерений используется линия FeI 630.25 нм. На солнечном телескопе АЦУ-5 перед щелью спектрографа АСП-20 устанавливается четвертьволновая пластинка с обрезанным фильтром, в фокальной плоскости спектрографа призма Волластона и нитяной микрометр, отсчеты которого калибруются по близлежащим атмосферным линиям кислорода. Измеряется расстояние центров тяжести право- и левополяризованных компонент спектральной линии в пятне в точке максимальной напряженности поля. В организации наблюдений большую помощь оказала ГАО АН СССР (Г.Ф.Вяльшин), КраО (Н.Н.Степанян), ИСЗФ (В.И.Скоморовский, В.М.Григорьев). В разные годы внесли вклад Ф.Г.Рожавский, П.Е.Захарова, А.С.Куманцев, Л.Кузнецов, Л.Селезнева, А.К.Кириллов.

До 2017 г. данные Коуровской обсерватории размещены в Солнечных данных ГАО РАН для магнитных полей солнечных пятен. Сравнение данных обсерваторий бывшей службы Солнца (Крым, Киев, Урал) и обсерватории Маунт Вилсон проведено в [1]. В этой работе показано удовлетворительное согласие данных трех обсерваторий. Таким образом данные Крыма, Киева и Урала способны дополнять друг друга в части заполнения лакун наблюдений магнитных полей солнечных пятен. В настоящее время в АО УрФУ проводится работа по созданию сайта и базы данных полученного временного ряда.

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0030.

- [1] Лоцицкая Н.И., Лямова Г.В., Малащук В.М. Сравнение результатов визуальных измерений магнитных полей крупных солнечных пятен, выполненных в разных обсерваториях в 23 цикле солнечной активности // Изв. Крымской Астрофиз. Обс., 2007, v.103, №4, с.59-67.

О текущем минимуме солнечной активности

Калинин А.А., Калинина Н.Д.

*Уральский федеральный университет, Екатеринбург,
e-mail: alexander.kalinin@urfu.ru*

В работе [1] показано, что аномально низкая пятнообразовательная деятельность Солнца может быть связана с асимметрией солнечного цикла, определяемой как $A=(U-T)/(U+T)$, где U — длительность фазы спада от максимума до минимума, T — длительность фазы подъема от минимума до максимума для каждого конкретного 11-летнего цикла. Нами построена зависимость асимметрии A солнечных циклов для чисел Вольфа в версии Brussel 2.0 для циклов с номерами от -13 до 24. Сравнение с данными [1] показало, что для пересмотренной версии чисел Вольфа относительная глубина минимума Маундера меньше, а Дальтона больше, причем значения асимметрии для минимума Дальтона тоже принимают отрицательные значения, чего не было в [1]. Если считать, что точка раздела между 24 и 25 циклом попадает на лето 2019 года, то значение A для 24 цикла находится около нуля, и качественно общая современная картина соответствует глубокому минимуму типа Маундера и Дальтона.

Работа выполнена при финансовой поддержке государства в лице Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FEUZ-2020-0030.

- [1] Gleissberg W. and Damboldt T. Reflections on the Maunder Minimum of sunspots // JBAA, 1979, v. 89, pp. 440-449

О методике выделения джетов в однородных временных сериях изображений Солнца

Кальтман Т.И.¹, Ступишин А.Г.², Анфиногентов С.А.³

¹ САО РАН, С.-Петербург, e-mail: arles@mail.ru

² СПбГУ, С.-Петербург

³ ИСЗФ, Иркутск

Наблюдение плазменных струйных излучений одновременно в различных диапазонах позволяет детально изучить как их инициирование, энергию, динамику и коллимацию, так и связанные с ними плазменные процессы: неустойчивость, турбулентность и ускорение заряженных частиц.

Разработан метод автоматического поиска джетов в однородных временных сериях изображений в крайнем ультрафиолете по данным SDO/AIA. Метод основан на выделении контрастных деталей на изображениях «бегущей разности» (разности интенсивностей КУФ-излучения в соседние моменты времени, для SDO/AIA — 12 с). Найденные временные ряды контрастных деталей далее анализируются по ряду параметров (количество пикселей, вытянутость, длина ряда) и принимается решение об отнесении события к классу джетов. По завершении анализа формируется отчет (текстовый файл с указанием параметров предполагаемых джетов и видеофайл с изображениями интенсивности, бегущей разности и предполагаемых джетов).

Метод реализован в виде «конвейера» (загрузка данных — вырезка фрагмента — построение бегущей разности — поиск кандидатов — построение отчета) на языке IDL.

Разрабатываемая методика естественным образом открывает возможность применения методов машинного обучения, которые будут заключаться в определении оптимальных параметров фильтрации изображения и параметров выделения события (джета). Дальнейшей целью применения методики является определение физических механизмов, ответственных за генерацию, коллимацию и динамику плазменных струй в атмосфере Солнца.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-29-21016.

Наблюдательные параметры плазменных струй в короне Солнца и разработка методов диагностики их физических параметров

***Кальтман Т.И.¹, Накаряков В.М.^{1,2}, Ступишин А.Г.³,
Анфиногентов С.А.⁴, Лукичева М.В.^{1,5}***

¹САО РАН, С.-Петербург, e-mail: arles@mail.ru

²University of Warwick, UK

³СПбГУ, С.-Петербург

⁴ИСЗФ, Иркутск

⁵Max-Planck-Institut, Germany

В докладе дискутируются наблюдательные параметры радиоизлучения в событиях, связанных с плазменными струями, в зависимости от механизма образования, условий излучения и эволюции струй.

На основе Каталога горячих струй в короне Солнца <http://spbf.sao.ru/coronal-jets-catalog> в докладе представлены наблюдения плазменных струй в активных областях в различных диапазонах. Продолжено заполнение каталога с первичной информацией о событиях, параметрах струи, материнской активной области и сопутствующих эруптивных явлениях. Представлена визуализация динамики по данным SDO/AIA в разных спектральных линиях. Для некоторых событий, совпадающих по времени с наблюдениями наземных инструментов РАТАН-600, СРГ и Nobeyama RadioHeliograph, представлены соответствующие данные микроволнового диапазона. Данные SDO/HMI используются для реконструкции магнитного поля в нижнюю корону и сопоставляются с данными РАТАН-600 и СРГ. В докладе также приведены примеры работы специально разработанного алгоритма автоматического поиска струй в массиве рутинных наблюдений.

Выполнено теоретическое моделирование динамики линейных альвеновских возмущений на плазменных струях. Выведены дисперсионные уравнения, установлены критерии появления эффектов волн с отрицательной энергией и критерии их неустойчивостей.

Целью разрабатываемых методов диагностики является определение физических механизмов, ответственных за генерацию, коллимацию и динамику плазменных струй в атмосфере Солнца.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-29-21016.

О супервспышках на Солнце и звёздах

Кацова М.М.¹, Обриджо В.Н.², Соколов Д.Д.^{3,2},
Лившиц И.М.^{1,2}

¹ ГАИШ МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва,
e-mail: mkatsova@mail.ru, ilivsh@gmail.com

² ИЗМИРАН им.Н.В.Пушкова, Троицк, Москва,
e-mail: obridko@mail.ru

³ Физический факультет МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва,
e-mail: sokoloff.dd@gmail.com

Обсуждаются современные наблюдательные данные о наиболее мощных нестационарных явлениях на звёздах, подобных Солнцу. Оставаясь в рамках даже самых экстремальных солнечных представлений, не удаётся получить энергию вспышки больше, чем 10^{34} эрг, что, по-видимому, является абсолютным верхним пределом для Солнца. Для получения в супервспышках на звёздах энергии 10^{36} эрг необходимо допустить, что

магнитное поле в несколько тысяч Гс занимает площадь более 30% площади полусферы. Это дает значение среднего поля около 1кГс. Недавно появились наблюдательные свидетельства существования сильных реликтовых магнитных полей на звёздах солнечного типа. Обсуждается вопрос, насколько необходимо менять механизмы конвекции и динамо с соответствующим изменением моделей атмосферы. Рассматриваются возможные пути решения проблемы энергетики супервспышек.

Результаты получены при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-02-00191_а.

Пространственно-временной анализ аварийных ситуаций в угольных шахтах. Космофизические аспекты. II

Василенко Т.А.¹, Довбнич М.М.², Кириллов А.К.³, Мендрий Я.В.²

¹*С-Петербургский горный университет, С-Петербург, Россия*

²*Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина*

³*Институт физики горных процессов НАН Украины, Днепр, Украина, e-mail: kirillov1953@inbox.ru*

На втором этапе исследования связи аварийных ситуаций на полях шахты Краснолиманская (Украина) с факторами солнечной погоды в 2007 и 2008 гг. обращается внимание на вариации периодических составляющих в спектрах мощности потока галактических космических лучей (ГКЛ) в свете концепции собственных механических колебаний Земли.

Авария 23.05.2008 произошла согласно атрибутам 3D сейсмического зондирования в точке минимума когерентности и максимума интенсивности скальвающих (сдвиговых) напряжений. Именно здесь имеется область нарушения и скопления метана. По времени наблюдалось совпадение с повышенной геомагнитной активностью. В интервале рассматриваемых квазипериодических составляющих флуктуаций ГКЛ 22-23 мая и 25-26 мая наблюдались процессы перекачки энергии от низкочастотных компонент к высокочастотным. Изменение периодов квазипериодических колебаний показаний нейтронного монитора свидетельствует о возможных газодинамических явлениях в угольном пласте, связанных с реакцией литосферы на вариации геомагнитного поля и состояние ионосферы.

Авария 9.05.2007 произошла в момент времени, близкий к моменту восхода Солнца и совпала по времени с прохождения активной области,

которая находилась на геоэффективных долготах вблизи центра диска Солнца. Согласно данным GOES одна из рентгеновских вспышек практически совпала с моментом выброса метана и его возгоранием. В этот день также произошла смена полярности секторной структуры ММП с отрицательной на положительную. Скорость солнечного ветра оставалась на уровне 600 км/с.

Выявленные в настоящем исследовании с помощью спектрального анализа квазипериодические составляющие в вариациях показаний нейтронного монитора достаточно надежно коррелируют с активными процессами на Солнце. Наблюдаются периодические компоненты, которые можно отнести к собственным сейсмическим колебаниям Земли. В спектрах мощности наблюдается эволюция собственных механических колебаний Земли от сфероидальных компонент к крутильным в процессе прохождения возмущениями межпланетной среды земной орбиты.

Байесовский подход в прогнозировании солнечных вспышек

Князева И.С.

*Главная Пулковская Обсерватория (ГАО) РАН, Санкт-Петербург,
e-mail: iknyazeva@gmail.com*

В настоящий момент представлено большое количество систем прогнозирования солнечных вспышек [1]. Многие из них используют современные методы машинного обучения. Появились работы, в которых прогностическая система основана на обработке потока изображений с космических обсерваторий и используются техники глубокого обучения в компьютерном зрении [2]. Несмотря на усложнение моделей, значительного прорыва в точности прогноза не наблюдается [1]. Более того, использование сложных моделей делает прогностическую систему не интерпретируемым черным ящиком. В свою очередь модели, основанные на Байесовском подходе, предполагают собой наличие генеративной модели для данных, априорных представлений о параметрах модели, предоставляют возможность включить разнородную информацию в модели. В результате получается интерпретируемая генеративная модель как с оценками параметров, так и неопределенности в этих параметрах. Такой подход был предложен [4], однако не получил широкого распространения. Причиной служит, возможно, сложность оценки Байесовских моделей. Одним из ключевых блоков данной модели является оценка статистики вспышечной активности индивидуальной области. Предполагается, что вспышечный процесс

моделируется распределением Пуассона, с параметром интенсивности потока событий, который обратно пропорционален среднему времени ожидания между вспышечными событиями [3]. Параметр интенсивности может быть как единственным, так и представлять собой кусочно-постоянную функцию. Автором предложена блочная модель для оценки параметров средней интенсивности. В модели использовались только данные GOES с моментам вспышечных событий, и никак не использовались физические данные активных областей. Сейчас существует программное обеспечение позволяющее быстро и эффективно оценивать Байесовские модели. В данной работе предложена модель для вспышечной интенсивности отдельной области с учетом как распределения времени между вспышками, так и физических параметров области. В модифицированной модели также предполагается, что вспышечный процесс моделируется распределением Пуассона, а средняя интенсивность является функцией времени и параметров активной области.

- [1] Leka K.D., et al. // *Astrophys. J.S.S.*, 2019, v. 243(2), p. 36.
- [2] Huang X., et al. // *Astrophys. J.*, 2018, 856(1), p. 7.
- [3] Wheatland M.S. // *Solar Physics*, 2001, 203(1), p. 87.
- [4] Wheatland M.S. // *Astrophys. J.*, 2004, 609(2), p. 1134.

Трехмерное моделирование спокойных солнечных протуберанцев

Королькова О.А., Соловьев А.А.

ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: korolkovaoa@gmail.com

Представлен аналитический метод расчета стационарных магнито-плазменных структур, позволяющий учитывать наличие течений высокопроводящей плазмы вдоль магнитных силовых линий. Данный метод используется для построения трехмерной МГД-модели спокойного солнечного протуберанца, лежащего на магнитной параллели. По заданной изначально структуре магнитного поля мы находим распределения полного давления, плотности, температуры и скорости плазмы в каждой точке исследуемой конфигурации. Получаемые распределения вышеперечисленных физических величин должны согласовываться с реальными наблюдаемыми данными. Кроме того, задаваемое магнитное поле должно удовлетворять следующим условиям: 1) волокно располагается над фотосферной линией раздела полярности, 2) волокно уединенное, вдали от исследуемой

структуры магнитное поле волокна должно переходить в магнитное поле окружающей невозмущенной атмосферы, 3) скорость течения плазмы должна быть максимальна в центре волокна и спадать на его периферии.

Построение трехмерных стационарных моделей солнечных протуберанцев является продолжением цикла наших работ, посвященных проблеме равновесия холодного и плотного волокна в магнитном поле солнечной короны.

Долготное распределение и скорость вращения активных областей в текущем минимуме солнечной активности

Костюченко И.Г.

НИФХИ им.Л.Я.Карпова, Москва, e-mail: irkost46@gmail.com

Распределение пятен на солнечной поверхности во время минимумов солнечной активности (СА) и их эволюция обеспечивают нас важной информацией о структуре глобального поля Солнца.

Долготное распределение групп солнечных пятен в текущем минимуме СА проанализированы на базе данных Кисловодской Горной астрономической станции и данных, представленных Dr.Lisa Upton и Dr.David Hathaway на их сайте, о координатах и площадях солнечных пятен. Они сопоставлены с положением областей повышенного значения магнитных потоков, полученным из магнитографических синоптических карт обсерватории Вилкоккс.

Оказалось, что появление магнитных потоков флоккул и пятен в обоих полушариях происходит, как и в предыдущих минимумах солнечной активности, преимущественно в выделенных полосах кэррингтоновских долгот, что может быть объяснено существованием долгоживущих подфотосферных источников всплывающих магнитных потоков. Эти долготы от оборота к обороту, последовательно смещаются с востока на запад.

Особенность исследования фазы минимума состоит в том, что в этот период количество активных магнитных образований невелико, и их взаимное расположение и эволюцию можно проследить детально. Это позволяет оценить скорость вращения не только индивидуальных групп пятен, но и их возможных подфотосферных источников.

Циклы Солнца и отношение Архимеда 22:7

Котов В.А.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Крым
298409, e-mail: vkotov@crao.crimea.ru*

Магнитное поле Солнца изменяется с периодами 22 г. и $P_7 \approx 7$ лет. Их отношение совпадает с приближением Архимеда 22:7 для числа π , а временная шкала $(\pi - 3)P_7$ – с орбитальным периодом Земли.

Активные долготы в максимумах солнечных циклов

Крамьнин А.П., Мизалина Ф.А.

*Уссурийская астрофизическая обсерватория ИПА РАН, Уссурийск,
e-mail: a.p.kramynin@mail.ru*

Исследуются особенности долготного распределения солнечной активности в северном и южном полушариях от цикла к циклу за период 1874–2018 гг. Использовался метод разложения по естественным ортогональным функциям матриц, составленных из годовых долготных распределений числа солнечных пятен как для всего, исследуемого периода, так и только для годов максимумов солнечных циклов отдельно для северного и южного полушарий Солнца. Установлено, что ряды разложения довольно быстро сходятся, причем вклад первого компонента разложения более 82%. По первому компоненту разложения выявляется наличие активных долгот причем временные изменения в разных долготных интервалах подобно и определяется на 82% временным ходом 11-летнего цикла. Таким образом, наибольшие изменения индекса происходят в активных долготах и достигают максимальных значений в год максимума цикла. Анализ двумерной диаграммы долготного распределения солнечной активности в годы максимума от цикла к циклу выявляет дрейф активных долгот, несколько различный в северном и южном полушариях Солнца. Вклад второго и третьего компонента разложения $\sim 4\%$ каждый, описывают другие особенности долготного распределения солнечной активности, связанные с другими независимыми факторами возникновения активных долгот, например, с их количеством. Оставшиеся $\sim 10\%$ вклада, по-видимому, связана со случайным шумом.

**Спектральная диагностика ленгмюровской
турбулентности корональной плазмы на основе
радиоизлучения на двойной плазменной частоте**

Кудрявцев И.В.¹, Кальтман Т.И.²

¹ ФТИ им. А.Ф.Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

² Санкт-Петербургский филиал САО РАН, С.-Петербург,
e-mail: Arles@mail.ru

Доклад посвящен изучению влияния спектров ленгмюровской турбулентности на спектральные особенности генерируемого под различными углами в солнечной плазме радиоизлучения на двойной плазменной частоте. Рассматриваемое радиоизлучение образуется при попарном слиянии ленгмюровских волн. При этом происходит образование поперечной электромагнитной волны с частотой приблизительно равной удвоенной электронной плазменной частоте (ω_{pe}). Как известно, частота ленгмюровских волн зависит не только от концентрации плазмы, но и от её температуры и от волнового вектора этой волны. Поэтому при слиянии ленгмюровских волн происходит генерация радиоизлучения не с одной частотой ($2\omega_{pe}$), а с различными частотами. При этом значения этих частот несколько превышает $2\omega_{pe}$. Приводятся расчеты частотных спектров радиоизлучения для разных типов спектров ленгмюровских волн. Показано, что спектр генерируемого радиоизлучения определяется спектром ленгмюровских волн. Таким образом, измерение тонкой спектральной структуры радиоизлучения, генерируемого в солнечной плазме в области частот $2\omega_{pe}$, позволяет реконструировать спектры плазменной турбулентности и делать выводы о её природе. В докладе также приводятся восстановленные спектры турбулентности для некоторых солнечных радиовсплесков, имеющих тонкую спектральную структуру.

Работа поддержана грантом РФФИ 18-29-21016.

**О генерации ионно-звуковых волн в солнечной плазме
при разрыве токового слоя**

Кудрявцев И.В.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

По современным представлениям процессы ускорения частиц в солнечной плазме и выбросов сгустков плазмы связаны с разрывом токовых

слоев. На это указывает в частности временная структура жесткого рентгеновского излучения, показывающая, что процессы выделения энергии во время солнечных вспышек носят импульсный характер с характерными временами десятки миллисекунд (например [1]). В докладе анализируется возможность возбуждения ионно-звуковых волн в солнечной плазме при разрыве токового слоя. Ионно-звуковые волны в солнечной плазме могут приводить к эффективному рассеянию электронов, что будет менять характер их распространения в плазме (например [2]) Для генерации ионно-звуковых волн необходимо, как известно, значительное превышение электронной температуры T_e над ионной T_i , т.е. необходимо выполнение условия $T_e \gg T_i$. Поэтому возбуждение этих волн возможно на Солнце только в неравновесной плазме, которая может быть в области преобразования энергии магнитного поля в тепловую энергию плазмы и если скорость нагрева электронов превосходит скорость нагрева ионов. К таким областям, где возможна генерация ионно-звуковых волн, могут относиться и области между горячими и более холодными частями вспышечных петель (например [3]). Однако недостаточное внимание уделяется процессам возбуждения ионно-звуковых волн в солнечной плазме, их эволюции и анизотропии. Поэтому в докладе рассматриваются особенности генерации данных волн в результате разрывов токовых слоев в солнечной плазме для различных направлений волнового вектора.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-29-21016.

- [1] Dmitriev P.B. et al.// Solar System Research, 2006, v. 40(2), p. 142.
- [2] Кудрявцев И.В., Чариков Ю.Е.// *Астрономический журнал*, 1991, т. 68, с. 825.
- [3] Arber T.D., Melnikov V.F.// *Astrophysical Journal*, 2009, v. 690, p. 238.

Климатические изменения и различные реконструкции солнечной активности на основе космогенных изотопов

Кудрявцев И.В.^{1,2}

¹ *ФТИ им. А.Ф. Иоффе,*

С.-Петербург, e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

² *ГАО РАН, С.-Петербург*

Доклад посвящен рассмотрению и анализу различных реконструкций Солнечной активности в прошлые столетия на основе данных о содержании космогенных изотопов в природных архивах. К таким изотопам

относятся изотопы ^{14}C и ^{10}Be , содержание которых в годовых кольцах деревьев и слоях льда в ледниках Гренландии и Антарктиды, соответственно, отражает вариации интенсивности частиц галактических космических лучей и активности Солнца. Однако между результатами этих реконструкций серьезные различия. Так до настоящего времени обсуждается вопрос о соотношении глобальных минимумов солнечной активности Шпёрера (≈ 1460 - 1550 гг.), Маундера (≈ 1645 - 1715 гг.) и Дальтона (≈ 1790 - 1830 гг.). Ряд реконструкций показывают, что минимумы Шпёрера и Маундера были более глубокими, чем минимум Дальтона. Другие реконструкции указывают, что минимум Дальтона мог быть не менее глубоким (хотя и коротким). В докладе анализируются особенности различных реконструкций активности Солнца и рассматриваются возможные причины различий результатов реконструкций.

Работа поддержана грантами РФФИ 18-02-00583 и 19-00088.

Солнечная активность и изменение климата Земли в эпоху окончания ледникового периода и перехода к Голоцену

Кудрявцев И.В.^{1,2}, Дергачев В.А.¹

¹ФТИ им. А.Ф.Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru

²ГАО РАН, С.-Петербург

Доклад посвящен рассмотрению изменений во времени солнечной активности и климата в эпоху окончания последнего ледникового периода и перехода к Голоцену. Максимум последнего глобального оледенения, как известно, имел место ≈ 20 - 22 тысяч лет назад. После этого температура на Земле начала повышаться. Началось таяние ледников и повышение уровня Мирового океана, происходило повышение концентрации углекислого газа в атмосфере. Однако переход от ледникового периода к Голоцену проходил не с монотонным повышением температуры, а сопровождался рядом потеплений и похолоданий. Особый интерес вызывает длительное Майендорфское потепление, которое происходило на временном интервале ≈ 12500 - 11850 гг. до нашей эры (н.э.). Выделяются также периоды похолоданий — Древнейший Дриас (≈ 11850 - 11700 гг. до н.э.), Древний Дриас (≈ 11600 - 11400 гг. до н.э.) и Поздний Дриас (≈ 10700 - 9700 гг. до н.э.). Причины этих колебаний земного климата до сих пор остаются плохо изученными. В работе исследовалась возможная связь изменений климата на данном временном интервале с изменением активности Солнца. Солнечную активность, как известно, можно исследовать на основе данных по

содержанию космогенных изотопов в природных архивах. Для этого проводятся реконструкции гелиосферного модуляционного потенциала, который и отражает изменение активности Солнца в прошлом. Кроме того, на содержание космогенного радиоуглерода в природных резервуарах также влияет изменение климата. В докладе анализируются данные по изменению климата Земли и активности Солнца в указанную эпоху и приводятся аргументы в пользу влияния активности Солнца на климат Земли на большой временной шкале.

**Скорость генерации космогенного изотопа ^{14}C ,
гелиосферный модуляционный потенциал и вариации
климата Земли в Среднем Голоцене**

Кудрявцев И.В.^{1,2}, Дергачев В.А.¹

¹ *ФТИ им. А.Ф.Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: Igor.Koudriavtsev@mail.ioffe.ru*

² *ГАО РАН, С.-Петербург*

В докладе представлены результаты реконструкций скорости генерации космогенного изотопа ^{14}C в земной атмосфере и гелиосферного модуляционного потенциала (ГМП) с учётом вариации климата Земли в Среднем Голоцене (\approx 8-3 тысяч лет назад). Данный временной интервал характеризуется установившимся теплом климатом после окончания последнего глобального оледенения. Однако и в этот период происходили климатические изменения, в частности менялась глобальная температура, изменялась влажность воздуха. Данные климатические изменения в частности отражены в истории пустыни Сахара. Отметим также, что на рассматриваемом временном интервале имели место циклические изменения солнечной активности. Так как изменение земного климата могут приводить к перераспределению углерода между океаном, атмосферой, биосферой и гумусом, то учет вариаций климата в этот период могут внести свой вклад в результаты реконструкций скорости генерации изотопа ^{14}C и ГМП. Это должно отразиться и на результатах реконструкций активности Солнца, основанных на радиоуглеродных данных. Произведено сравнение с результатами, полученными ранее.

Работа части поддержана грантами РФФИ 18-02-00583 и 19-00088.

**Морфология усредненного профиля фазы спада
солнечной вспышки по наблюдениям нижней
солнечной атмосферы**

***Кашапова Л.К.¹, Брумол А.-М.², Ларионова А.И.³,
Куприянова Е.Г.³, Мотыж И.Д.¹***

¹ *Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: lkk@iszf.irk.ru*

² *Warwick University, Coventry, UK,
e-mail: a-m.broomhall@warwick.ac.uk*

³ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург*

Мы представляем результаты исследования фазы спада солнечных вспышек в нескольких спектральных полосах SDO/AIA: 1600 Å, 1700 Å и 304 Å. Задачей исследования было получить усредненный временной профиль потока солнечной вспышки и подобрать аналитические шаблоны, наилучшим образом описывающие его эволюцию. Данный подход основан на методе, успешно примененном к вспышкам белого света, наблюдаемым на карлике М4. В ходе исследования проанализированы временные профили вспышек, полученные на основе полных изображений Солнца за период 2011–2014 в каждой из спектральных полос. Основным критерием отбора событий для реконструкции усредненного временного профиля было медленное и непрерывное затухание потока без значительных новых всплесков. Усредненные временные профили аппроксимировались двумя видами аналитических шаблонов, представляющими собой либо комбинацию двух экспонент с независимыми показателями, либо степенную функцию с изломом. Обсуждаются возможности использования полученных аналитических шаблонов для описания процессов на фазе спада и применение полученных результатов для исследования солнечных и звездных вспышек.

**Тестирование методов распознавания
мультимодальных КПП**

***Куприянова Е.Г.¹, Кальтман Т.И.², Брумол А.-М.³,
Мехта Т.³***

¹ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
Санкт-Петербург, e-mail: elenku@bk.ru*

² *Специальная астрофизическая обсерватория РАН, СПб филиал,
Санкт-Петербург*

³ *Warwick University, Coventry, UK*

Мультимодальные квазипериодические пульсации (КПП), наблюдаемые в излучении солнечных и звездных вспышек, являются важным инструментом диагностики процессов выделения и переноса энергии во вспышечной плазме. На данный момент проблема детектирования КПП во временных профилях остается нерешенной. Для успешного решения этой проблемы необходимо провести всестороннее тестирование методов. Мы представляем результаты тестирования трех методов: периодограммы Фурье, вейвлет (Морле) и метода разложения по эмпирическим модам (EMD). Данная работа является предложением исследований, проведенных в [1], для класса мультимодальных КПП. Методы тестируются на основе большой выборки синтетических временных профилей. Каждая модель временного профиля имитирует фазу спада вспышки и представляет собой суперпозицию тренда, КПП и шума. Тренд фиксирован для каждой модели и задан в виде суммы двух степенных функций с разными показателями. Мультимодальные КПП представляют собой сумму двух синусоид, у которых для разных моделей варьируются период, амплитуда, а также число циклов осцилляций. Шумовая компонента задана в виде суммы белого и красного шумов. Тестирование каждого метода проводилось с целью определить, насколько близкие по периоду колебания могут быть детектированы, какой процент ложноположительных и ложноотрицательных результатов и как полученные результаты зависят от основных параметров модели, а именно, от абсолютного значения периодов, количества циклов осцилляций, отношения сигнала к шуму. Предлагаются оптимальные комбинации методов для повышения достоверности детектированных КПП.

[1] Broomhall et al. // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2019, v. 244, p. 44

Вычислительная топология вспышечных АО

Макаренко Н.Г., Князева И.С., Рыбинцев А.С.

ГАО РАН, Санкт-Петербург, e-mail: ng-makar@mail.ru

Для описания динамических режимов вспышечных АО рассматривается временная последовательность HMI/SDO магнитограмм. Каждой из них сопоставляется топологические инварианты: так называемые числа Бетти, вычисленные при фильтрации значений меры на изображении. Грубо говоря, они измеряют число компонент связности (Бетти-нуль) и число дыр, т.е. нестягиваемых циклов (Бетти-один). В основе их оценок лежит следующий алгоритм. Представим себе, что поверхность цифрового изображения залита водой, уровень которой понижается. Топологическими свойствами назовем число компонент связности (островов) и числа дыр (озер), возникающие когда уровень жидкости проходит через критические точки рельефа. Так, два соседних острова сливаются, когда уровень понижается до седловой точки (перевала) между ними. Это событие реферируют как «смерть» топологического свойства — компоненты связности, уменьшающей число Бетти-нуль, на единицу. Обнажившиеся острова могут образовывать кольцевые структуры, которые ограничивают дыры, или озера. Появление такого озера реферируют как рождение топологического свойства, которое увеличивает число Бетти-один на единицу. Время жизни, или персистентность свойства измеряется разностью уровней его рождения и смерти. Пара чисел, одно из которых соответствует уровню фильтрации, на котором свойство появляется, а второе, на котором оно умирает, служат координатами точек диаграммы персистентности (ДП). Она представляет собой облако точек лежащих выше диагонали. Последняя соответствует свойствам с нулевым временем жизни, т.е. нулевой персистентностью. Каждая магнитограмма, с помощью описанной фильтрации, снабжается, таким образом, парой ДП — для компонент связности и для дыр. К сожалению такая форма ДП не удобна для анализа динамики: облако точек не образует многообразия. Мы показываем способ, позволяющий представить ДП точками их на расслоениях единичной гиперсферы. Использование идеи волновой функции позволяет выразить риманову метрику Фишера-Рао на расслоении, как привычную метрику гильбертова пространства. Такой подход позволяет метризовать динамические сценарии АО в «топологических» координатах, так что изменения сложности в паре магнитограмм ставится в соответствие некоторый угол на гиперсфере. Полезным свойством такой метрики является ее связь с функционалом Больцмановской энтропии. Таким образом, значительные изменения в метрике на гиперсфере можно интерпретировать как изменение энтропии распределенной системы. Мы иллюстрируем подход на примерах магнитограмм вспышечных АО.

Режимы диффузии нетепловых электронов на турбулентности вистлеров во вспышечных петлях

Мельников В.Ф.¹, Филатов Л.В.²

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

² ФГБОУ Нижегородский архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: filatovlv@yandex.ru

Исследования циклотронной неустойчивости вистлеров в радиационных поясах Земли выявило три режима питч-угловой диффузии энергичных электронов на турбулентности вистлеров: слабую, умеренную (Kennel & Petschek 1966) и сильную (Беспалов и Трахтенгерц 1979). Решение стационарной задачи (с независимой от времени мощностью источника частиц) показало, что каждому режиму соответствуют разные параметры захваченных в ловушке и высыпавшихся из неё частиц. Это относится к концентрации, времени жизни, энергетическому и питч-угловому распределениям частиц. В работах (Bespalov, Zaitsev, Stepanov 1987, 1991) эти режимы были применены к анализу удержания энергичных частиц в солнечных вспышечных петлях. В настоящей работе решена нестационарная задача, в которой учитывается, что нетепловые электроны импульсно, но в течение конечного времени, инжектируются в неоднородную по магнитному полю и плотности плазмы вспышечную петлю. Распределения электронов и турбулентности вистлеров в каждой точке петли находятся в квазилинейном приближении путем согласованного решения нестационарного кинетического уравнения в форме Фоккера-Планка и связанного с ним уравнения для вистлеров. Показано, что при заданном временном профиле мощности инжекции нетепловых электронов все три режима турбулентной диффузии могут реализоваться одновременно. При этом каждому из них соответствует свой энергетический диапазон в спектре электронов. Установлено, что обратное воздействие сформировавшегося спектра турбулентности вистлеров значительно изменяет характеристики пространственного, временного, питч-углового и энергетического распределений электронов. В частности, полученные решения для энергетического спектра частиц могут существенно отличаться от решения для случая стационарной инжекции.

Эволюция источника активной области фотосферы

Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, e-mail: mvl@izmiran.ru

Исследуются эволюционные свойства биполярных магнитных областей фотосферы Солнца. Используются магнитные синоптические карты Kitt Peak за 2007 год обороты CR2055–CR2064. Обнаружено, что скорость вращения магнитной области на начальном этапе развития уменьшается от ≈ 470 нГц до ≈ 450 нГц, а затем возрастает до начального значения. Синхронно со скоростью вращения изменяется расстояние между зонами максимальной напряженности разной полярности. Изменение расстояния происходит от величины 6° до минимума $2^\circ - 3^\circ$ и последующий рост до $14^\circ - 15^\circ$. Эти наблюдаемые особенности интерпретируются как подъем и опускание источника магнитного поля с уровня $0.90 R_{sun}$ до $0.98 R_{sun}$ от центра Солнца. На этапе подъема источник имеет малый размер и значимую октупольную гармонику. На стадии обратного перемещения происходит увеличение размера источника или/и усложняется его магнитная конфигурация.

Условия возникновения нетепловых источников активной области

Мерзляков В.Л.

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, e-mail: mvl@izmiran.ru

Рассматривается ситуация с токовым слоем, возникающим от действия зон локально усиленного магнитного поля. Такие зоны появляются вследствие воздействия на подфотосферное магнитное поле мелкомасштабной конвекции. Вблизи нейтральной линии активной области Солнца эти зоны имеют разную полярность и проявляются на некотором удалении как единый магнитный источник. Дипольная и октупольная гармоники этого источника формируют магнитную особенность X типа. Эта X-особенность представляет собой токовый слой, поскольку вдоль него направлено вихревое электрическое поле. Электрическое поле возбуждается из-за изменений напряженности в зонах локально усиленного магнитного поля. Анализ ситуации в таком токовом слое показал, что эффективное ускорение частиц происходит в короне над нейтральной линией и в хромосфере. В корональной области процесс ускорения ограничивается неустойчивостью Драмменда-Розенблюта. Энергия электронов при такой неустойчивости

может достигать величин ~ 10 кэВ. В хромосфере ускорение электронов тормозят столкновения с протонами. И чем выше температура электронов, тем до больших энергий они могут ускориться. Так, при нагреве электронов до $\approx 10^6$ К они приобретают энергию ~ 100 кэВ.

Широтно-временной анализ долгопериодических вариаций корональных ярких точек

Миненко Е.П.

*Астрономический институт им.Мирзо Улугбека АН РУз.,
Ташкент, e-mail: minenkoekateria@mail.ru*

Были изучены широтно-временные изменения частотных спектров для числа КЯТ с использованием вейвлет-анализа. Найдено, что число КЯТ на разных широтах меняется по-разному. Так, графики суммарного числа КЯТ, в зоне активных областей и на экваторе изменения числа КЯТ не обнаруживают заметной связи с циклом солнечной активности, тогда как в высокоширотной зоне прослеживается антикорреляционная картина/citeSh.

Показано, что распределение спектральной плотности для вариаций суммарного числа КЯТ на всех широтах при использовании вейвлет-функции Морле, показывает ярко выраженную 11-летнюю цикличность и согласованность с течением цикла солнечной активности. В зоне активных областей наблюдается более суженный профиль распределения спектральной плотности и запаздывание начала цикла, с другой стороны, для зоны высоких широт можно наблюдать обратную картину. Частично это может быть следствием сложения двух мод обоих типов КЯТ, где первый тип «ярких» КЯТ дает высокий коэффициент корреляции, а второй тип («тусклые») КЯТ показывает антикорреляционную картину с циклом солнечной активности. Возможно также свою роль играет и эффект видимости.

- [1] С.Т. Sherdanov, Е.Р. Minenko, А.М. Tillaboev, I. Sattarov // Astrophys. Space Sci. Proc. 30,2012,p.197.

Эволюция корональных ярких точек в условиях корональной дыры

Миненко Е.П., Карачик Н.В.

*Астрономический институт им.Мирзо Улугбека АН РУз.,
Ташкент, e-mail: minenkoekateria@mail.ru*

Исследованы избранные случаи эволюции корональных ярких точек, наблюдаемых одновременно на корональных снимках AIA/SDO 193 Å (Atmospheric Imaging Assembly/Solar Dynamics Observatory) и магнитных структур на фотосферных магнитограммах HMI/SDO 6173.3 Å (Helioseismic and Magnetic Imager) в условиях корональной дыры за Кэррингтоновский оборот 2184 (CR 2184). В рамках эволюционного развития случаев выбранных пар — КЯТ и соответствующая биполярная структура, исследованы такие основные параметры эволюции как: механизм возникновения, конвергенция, расщепление, слияние и аннигиляция полярностей. Найдено, что в большинстве случаев причиной исчезновения КЯТ служит предшествующая аннигиляция полярностей в фотосфере. Лишь в небольшом проценте случаев нами не обнаружена аннигиляция потоков, точки разрушаются вследствие расхождения полярностей.

Нелинейные колебания корональных петель

Михалаяев Б.Б., Дертеев С.Б.

*Калмыцкий госуниверситет им. Б. Б. Городовикова, Элиста,
e-mail: bbmikh@mail.ru*

Корональные осцилляции, наблюдаемые в различных волновых диапазонах, часто интерпретируются как МГД-колебания корональных магнитных трубок [1]. Теория корональных осцилляций, применяемая в нуждах корональной сейсмологии, хорошо разработана для случая линейных колебаний. В то же время имеется довольно много примеров наблюдений, например, наблюдения локализованных возмущений или квазипериодические осцилляции, которые требуют применения нелинейного подхода.

Весьма распространенным способом изучения нелинейных эффектов служит разложение по степеням малого параметра, где учтены члены высоких порядков. Учет членов второго и третьего порядков обычно ведет к модельному нелинейному уравнению Шредингера [2]. Его решения могут быть представлены в виде гармонической волны, частота которой имеет поправку, зависящую от амплитуды. Таким способом были получены нелинейные дисперсионные соотношения для изгибной и радиальной моды корональной магнитной трубки [3, 4]. В настоящей работе нелинейное

дисперсионное соотношение радиальной моды используется для исследования свойств радиальных колебаний малой, но конечной, амплитуды в приложении к конкретным практическим условиям.

- [1] Stepanov A.V., Zaitsev V.V. // *Geomagnetism Aeronomy*, 2014, v. 54, p. 969.
- [2] Whitham G.B. *Linear and nonlinear waves*. 1974. John Wiley & Sons. NY, London.
- [3] Ruderman M.S., Goossens M. // *Solar Phys.*, 2014, v. 289, 1999-2020.
- [4] Mikhalyaev B.B., Ruderman M.S. // *J. Plasma Phys.*, 2015, v. 81, 905810611.

Особенности суб-терагерцового излучения вспышечной плазмы атмосферы Солнца

*Моргачев А.С.¹, Цап Ю.Т.², Смирнова В.В.²,
Моторина Г.Г.^{3,4}*

¹ *ННГУ им. Лобачевского, Н.-Новгород, e-mail: a.s.morgachev@mail.ru*

² *Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт.Научный,
e-mail: yur_scao@mail.ru*

³ *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: g.motorina@yandex.ru*

⁴ *Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov,
Czech Republic, e-mail: g.motorina@yandex.ru*

На основе численных расчетов и результатов наблюдений теплового и нетеплового излучения солнечных вспышек проведен анализ временных задержек между максимумами временных профилей в различных диапазонах. Особое внимание уделено задержкам между мягкой рентгеновской (КА GOES, 1-8 ?) и суб-терагерцовой компонентами. Выборка включает 11-ть вспышечных событий, наблюдавшихся на радиотелескопах SST (202 и 405 ГГц) и РТ-7,5 МГТУ им Н.Э. Баумана (93 и 140 ГГц), которые сопровождались ростом плотности потока суб-терагерцового излучения с частотой [1].

Показано, что для большей части событий временные задержки между суб-терагерцовым и мягким рентгеновским излучением можно разделить на два типа: 1 — суб-терагерцовый максимум наступает раньше мягкого рентгеновского; 2 — максимумы совпадают. Исходя из предположения о

связи суб-терагерцовой компоненты излучения с оптически толстым источником на уровне хромосферы и переходной области, сделан вывод, что за нагрев хромосферной плазмы могут быть ответственны как ускоренные электроны, так и тепловые потоки, формируемые в корональной части вспышечных арок. Возможен также значимый вклад тепловых (нетепловых) источников нагрева *in situ*.

Особенности суб-ТГц и мягкого рентгеновского излучения, следующие из численного решения системы уравнений радиационной гидродинамики с помощью программного кода RADYN, описывающего отклик хромосферной плазмы на поток ускоренных электронов, хорошо согласуются с некоторыми результатами наблюдений.

- [1] Morgachev A.S., Tsap Yu.T., Smirnova V.V., Motorina G. G. // *Ge & Ae.*, 2018, v. 58, iss. 8, p. 1113.

Развитие активности и эволюция полярных магнитных полей Солнца в циклах 21–24

Мордвинов А.В.¹, Кичатинов Л.Л.^{1,2}, Голубева Е.М.¹

¹*Институт солнечно-земной физики, Иркутск,
e-mail: avm@iszf.irk.ru*

²*Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория,
С.-Петербург, e-mail: kit@iszf.irk.ru*

Эволюция полярных магнитных полей Солнца изучена в соотношении с развитием активности в циклах в 21–24. Исследованы особенности формирования униполярных магнитных областей (УМО) после распада активных областей. Показано, что меридиональный перенос УМО приводит к образованию серджей, формирующих магнитный поток в полярных областях Солнца. Серджи хвостовых полярностей формируются после распада активных областей, наклоны которых соответствуют закону Джоя. Серджи ведущих полярностей возникают после распада центров активности, которые не соответствовали закону Джоя и характеризовались преобладанием отрицательных углов наклона [1].

Анализ эволюции крупномасштабных магнитных полей выявил трехкратное обращение магнитных полей на полюсах Солнца в цикле 21.

Сложный характер обращения полярных магнитных полей связан с формированием сердцевых хвостовых и ведущих полярностей, их чередованием в период переполюсовки. Результаты исследования объясняют причину многократных обращений магнитных полей на полюсах Солнца. Установлено, что снижение магнитной активности в циклах 21–24 и перенос УМО противоположных магнитных полярностей привели к значительному ослаблению магнитного потока Солнца в его полярных областях.

Циклические изменения крупномасштабных магнитных полей Солнца сопровождается глобальной реорганизацией ансамбля корональных дыр. По мере переноса УМО к полюсам, вблизи них формируются высокоширотные корональные дыры, которые затем превращаются в полярные корональные дыры [2].

- [1] Mordvinov A.V., Kitchatinov L.L. // Solar Phys., 2019, v. 294, p. 21.
[2] Golubeva E.M., Mordvinov A.V. // Solar Phys., 2017, v. 292, p. 190.

**Пространственное распределение нетепловой
и тепловой энергий в холодной солнечной вспышке
5 ноября 2013 года**

Моторина Г.Г.^{1,2}, Флейшман Г.Д.³, Контарь Э.П.⁴

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук, С.-Петербург, e-mail: g.motorina@yandex.ru

² Astronomical Institute of the Czech Academy of Sciences, Ondrejov, Czech Republic,

³ New Jersey Institute of Technology, Newark, USA,

⁴ School of Physics and Astronomy, University of Glasgow, Glasgow, UK

Солнечные вспышки демонстрируют довольно обширное разнообразие в распределении энергии между тепловой, нетепловой и кинетической компонентами. Так называемые "холодные" солнечные вспышки, для которых характерна значительная нетепловая составляющая и лишь небольшая тепловая компонента, особенно хорошо подходят для изучения прямого влияния нетепловых электронов на нагрев плазмы. В данной работе мы анализируем холодную солнечную вспышку SOL2013-11-05T035054, для которой нагрев плазмы может быть полностью объяснен потерями энергии, связанными с ускоренными электронами.

Представленная работа направлена на анализ энергетического баланса между тепловой и нетепловой компонентами во время вспышки. Для оценки тепловой компоненты был проведен подробный DEM анализ SDO/AIA данных. Для оценки компоненты горячей плазмы и нетепловой компоненты были использованы RHESSI данные. Для валидации предположения о морфологии вспышки, мы построили 3D-модель с помощью GX симулятора на основе SDO/HMI данных, микроволнового (NoRP, RSTN, SRS) и рентгеновского (RHESSI) излучения. Полученные результаты показывают, что геометрия вспышки согласуется с морфологией двух петель, в которых произошел эпизод ускорения электронов; высвободившаяся магнитная энергия преобразуется только в нетепловую энергию ускоренных электронов, которая впоследствии преобразуется в тепловую энергию плазмы; вклад нетепловой энергии в течение импульсной фазы вспышки соответствует тепловой энергии, распределенной по двум петлям.

Quasilinear analysis for stability of linear wave modes in a magnetic cylinder

Naga Varun Y.

*Special astrophysical observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, Russia
e-mail: naga.varuny@gmail.com*

In the original work of Edwin and Roberts (1983), the entire range of magnetoacoustic modes was discussed by introducing linear analysis. But no mention was made as to the stability of these modes. In the present work we implement quasilinear analysis, which we use to obtain an auxiliary dispersion like equation that can be used to understand the stability of the magnetoacoustic modes. We call the method quasilinear as we use the solution set obtained in the linear analysis to obtain the auxiliary equation which is quadratic. The obtained auxiliary equation is then plotted along with the dispersion equation and the stability of these modes is discussed.

**Observational evidence of a soliton like feature
in the active region NOAA 8214 and its modeling using
the nonlinear Schroedinger equation**

Naga Varun Y.¹, Solovev A.A.², Mikhalyaev B.B.³

¹*Special astrophysical observatory of RAS, Nizhny Arkhyz, Russia
e-mail: naga.varuny@gmail.com*

²*Central astronomical observatory, St. Petersburg, Russia*

³*Kalmyk state university, Elista, Russia*

We analyze the TRACE event that took place on 1998-05-09 at 13:09 UT and lasted until 13:13 UT in the active region NOAA 8214. The event is a C 6.6 class flare as recorded and classified by YOHKOH and GOES space observatories. This event which lasted for around 4 minutes shows a propagating soliton at the end phase of the flaring event. The velocity of the soliton is determined to be around 1700 km/s, which corresponds to that of a fast M.H.D mode. Earlier nonlinear fast sausage modes were modeled using nonlinear Schroedinger equation (NLS). We have demonstrated that a large amplitude initial wave that exponentially decays with time and distance indeed results in a soliton like formation for certain nonlinear parameters of the NLS. Also an attempt has been made to estimate the magnetic field at the site of the event.

**Особенности распределения радиояркости по диску
Солнца на мм волнах: модели и наблюдения**

*Нагнибеда В.Г.¹, Топчило Н.А.¹, Лукичева М.А.^{1,2},
Рыжов В.С.³, Чобану М.И.¹*

¹*СПбГУ, С.-Петербург, Россия, e-mail: topchilona@yandex.ru*

²*СПбФ САО РАН, С.-Петербург, Россия,*

³*МГТУ им.Баумана, Москва, Россия*

В настоящее время представляется, что исследования в миллиметровом диапазоне длин волн являются эффективным инструментом для изучения структуры солнечной хромосферы в широком диапазоне высот как в наблюдательной, так и в теоретическо-модельной области.

На прошлогодней конференции нами были продемонстрированы результаты применения численного моделирования миллиметрового излучения небольшого участка солнечной атмосферы к объяснению наблюдаемого распределения радиояркости в прилиम्бовой зоне Солнца и величины радиорайуса [1]. Была использована 3D-неоднородная модель

VIFROST_en024048_hion, характерная для области с повышенной активностью. Полученные результаты показали, что превышение радиорadiusа над оптическим для моделей значительно меньше наблюдаемых значений.

В данной работе использована подобная модель атмосферы VIFROST_ch024031_by200bz005, характерная для участков спокойного Солнца. Представлены первые результаты расчетов, выполненных по методике, аналогичной [1] и сравнение их с результатами наблюдения солнечного затмения 21.06.2020 г., проведенного на радиотелескопах ИПА РАН [2]. В период затмения активность Солнца была исключительно низка, и затмение явилось идеальным тестом для проверки моделей спокойного Солнца. Результаты затмения позволяют сравнить не только величину радиорadiusа, но и распределение радиоизлучения по высоте.

1. Топчило Н.А. и др. "Радиорadius Солнца в мм диапазоне и современные модели хромосферы" // Труды ССЗФ-2019, с.403-406.

2. Топчило Н.А. и др. "Солнечное затмение 21.06.2020 г. по наблюдениям на радиотелескопах ИПА РАН (первые результаты)" // текущая конференция.

Закон Джоя и две популяции групп солнечных пятен

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Певцов А.А.³

¹ ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

² ГУАП, Санкт-Петербург, Россия

³ NSO, USA

На основе данных Каталога солнечной деятельности Р.С. Гневышевой рассмотрено изменение угла наклона к экватору осей групп солнечных пятен в 1954-1989. Приведены аргументы в пользу того, что для вычисления тилт-угла β нужно учитывать изменение гелиографической сетки с широтой. Предложен новый подход к экспериментальному нахождению зависимости $\beta = f(\varphi)$, основанный на вычислении различных оценок типичного или «среднего в широком смысле» значения β в избранных интервалах широт φ . Показано, что для использованных данных по всем группам пятен классический — линейный — закон Джоя представляет собой лишь первое приближение и только для широт от -25° до $+25^\circ$. За их пределами он нелинеен, что подтверждает вывод других авторов, сделанный по данным Маунт-Вилсон. Основной результат проведенного исследования: рассмотрение отдельно крупных долгоживущих групп LLG и мелких короткоживущих SSG показало, что зависимость $\beta = f(\varphi)$ имеет

у них кардинально различающийся характер. Крутизна линейных участков также значительно отличается, (наклон LLG больше). Все это говорит о реальном различии свойств групп двух популяций.

Крупные долгоживущие и мелкие короткоживущие группы солнечных пятен

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Певцов А.А.³

¹*ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия*

²*ГУАП, Санкт-Петербург, Россия*

³*NSO, USA*

В 60–80-х годах прошлого века впервые было сообщено, что группы солнечных пятен образуют две различные популяции. В последние десять лет интерес к этой теме возрос. В частности, было показано, что популяции составляют мелкие короткоживущие группы (время жизни меньше 5 дней, средняя площадь ~ 20 м.д.п.) SSG и большие долгоживущие (время жизни строго больше 5 дней, средняя площадь ~ 250 м.д.п.) LLG. По целому ряду свойств группы популяций различаются. Приведен обзор результатов, подтверждающих это заключение. В качестве гипотезы высказывается предположение о разной локализации зон образования LLG и SSG в рамках распределенного динамо.

**Метод количественного описания пространственного
распределения северо-южной асимметрии
солнечной активности**

Бадалян О.Г., Обриджо В.Н.

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения
радиоволн РАН им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия,
e-mail: badalyan@izmiran.ru, e-mail: obridko@izmiran.ru*

Продолжено исследование пространственного распределения северо-южной асимметрии по данным о яркости зеленой корональной линии 530.3 нм Fe XIV за 1943-2001 гг. Асимметрия определяется как $A = (N - S)/(N + S)$, где N и S — яркость зеленой линии в северном и южном полушариях, соответственно. Рассмотрение последовательности синоптических карт индекса A в 784 кэррингтоновских оборотах показывает, что широтно-долготные области, в которых доминирует северное или южное полушарие, образуют своеобразные «структуры» различной формы [1, 2]. В основном, это вертикально (вдоль широты) или горизонтально (вдоль кэррингтоновской долготы) ориентированные широтно-долготные области. Предложен метод количественной оценки формы и пространственного расположения структур северо-южной асимметрии. Последующий анализ проведенных расчетов показал что выявляется циклическая зависимость в образовании вертикально ориентированных структур. Наиболее выраженные вертикальные структуры возникают на ветви спада в цикле активности, после прохождения ее середины. В этот период на Солнце наблюдаются восточная и западная части, в каждой из которых в целом регистрируется или положительная (северное полушарие ярче), или отрицательная (южное полушарие ярче) асимметрия. Северо-южная асимметрия является особой, очень информативной характеристикой солнечной активности. Индекс A при этом служит свидетельством и мерой несинхронности работы двух полушарий Солнца.

- [1] О.Г. Бадалян. В сб. *Солнечная и солнечно-земная физика – 2010* Тр. Всероссийской ежегодн. конф., ред. А.В. Степанов, Ю.А. Наговицын, С.-Петербург, ГАО РАН, 2010, с. 27.
- [2] Бадалян О. Г. Письма в Астрон. журн.. **38**, 54 (2012).

Форма солнечных циклов и промежуточный масштаб колебаний солнечной активности

Обридко В.Н.¹, Питин В.В.², Соколов Д.Д.^{1,3},
Шибалова А.С.^{1,3}

¹ИЗМИРАН, Калужское шоссе 4, Троицк, Москва, 108840

²ИСЗФ СО РАН, Иркутск, 664033

³Физический факультет, МГУ, Москва, 111992.

Эволюция солнечной активности включает, помимо хорошо известного 11-летнего цикла, различные временные масштабы, от месяцев до вторичных циклов, известных как среднесрочные колебания. Его природа заслуживает физического объяснения. В этой работе мы рассмотрели колебания от 5 до 6 лет, полученные как по солнечным пятнам, так и по временным рядам солнечного магнитного диполя. Используя модель солнечного динамо, мы пришли к выводу, что эти вариации могут быть проявлением нелинейностей динамо и негармонической формы циклов солнечной активности. Мы пришли к выводу, что наблюдаемые среднесрочные колебания связаны с нелинейным насыщением динамо-процессов в недрах Солнца.

Долговременные вариации интенсивности галактических космических лучей по данным о содержании ^{44}Tl в метеоритах

Огурцов М.Г.^{1,2}

¹Физико-Технический институт им. Иоффе, С.-Петербург,
e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru

²Главная Астрономическая обсерватория, Пулковое, С.-Петербург

Космогенный изотоп ^{44}Tl образуется в метеоритах под действием энергичных (>70 МэВ) частиц космических лучей (КЛ). В то время, как содержание космогенных изотопов ^{14}C и ^{10}Be в естественных архивах существенно зависит от ряда земных факторов (метеорология, климат, геомагнитное поле), активность ^{44}Tl в упавших на Землю метеоритах несёт прямую информацию о потоке КЛ в прошлом, свободную от земных влияний. Поэтому данные по ^{44}Tl используются для верификации информации о прошлом интенсивности КЛ, полученной при помощи ^{14}C и ^{10}Be . Анализ активности ^{44}Tl , измеренной в 20 метеоритах, упавших с 1766 по 2001 г., показал, что: (а) угол наклона долговременного тренда и (б) амплитуда

квазивекового цикла Глейссберга в активности 44T_i существенно расходятся с теоретическими оценками, полученными при помощи 14C и 10Be. Особенно необычной выглядит значительная флуктуация активности 44T_i во второй половине 19-го – первой половине 20-го веков. Обсуждены возможные причины имеющихся расхождений.

Длительные ряды «образующих» индексов солнечной активности

Наговицын Ю.А.^{1,2}, Осипова А.А.¹, Наговицына Е.Ю.¹

¹ ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

² ГУАП, Санкт-Петербург, Россия

Проведено исследование «образующих» индексов солнечной активности, которые в отличие от традиционных «видимых» показателей характеризуют продуктивность динамо-процесса, а не текущее состояние солнечной активности. На основе значений образующих индексов площадей A и числа групп пятен C для Гринвичской Королевской обсерватории RGO (1875–1976) и Кисловодской горной астрономической станции KMAS (1955–2017) созданы единые 145-летние ряды этих индексов. Индекс A является наиболее надежным для исследований солнечной активности, и системы измерения его у RGO и KMAS совпадают. Показано, что гринвичские значения индекса C на 10% выше кисловодских для больших долгоживущих групп LLG и на 16% для малых короткоживущих SSG. Наряду с основными образующими индексами A и C были получены парциальные индексы как значения индексов A и C для популяций LLG и SSG отдельно для северного и южного полушарий.

**История стратосферных и наземных наблюдений
фотосферы Солнца с высоким угловым разрешением
в 70-х годах XX века в Пулковской обсерватории**

Парфиненко Л.Д.

ГАО РАН, С.-Петербург, e-mail: parfinenko@mail.ru

В 70-х годах прошлого века в СССР под руководством Пулковской обсерватории была создана стратосферная солнечная обсерватория «Сатурн». Фотографии и спектры, полученные с ее помощью, более 45 лет оставались рекордными по угловому разрешению. Затем для наземных наблюдений тонкой структуры Солнца в горах восточного Памира на высоте 4,2 км был установлен и 11 лет успешно работал Пулковский 50-сантиметровый мобильный телескоп открытого типа. Эффективность памирского телескопа признана научной общественностью, освещена в обзорах, например, во втором издании классической монографии «Solar Granulation» R.Bray, H.Lougheda and C.Durrant (1984). Эти работы стали важным шагом в развитии технологий высокого пространственного разрешения в гелиофизике. Однако на сегодняшний день подробности этих исследований остаются малоизвестными научному сообществу. В данной работе делается попытка частично восполнить этот пробел.

**Цикличность космического климата за последние
1000 лет с учетом влияния магнитного момента Земли**

Птицына Н.Г., Демина И.М.

*Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН
(СПбФИЗМИРАН), г. Санкт-Петербург*

Мы рассмотрели с помощью вейвлет-анализа цикличность числа солнечных пятен SN, числа полярных сияний N и магнитного момента MM Земли за период 1000-2000 г.г. SN реконструировано на основе данных нашего каталога N. При этом мы учли, что на движение космических частиц вызывающих полярные сияния, оказывает влияние геомагнитный экран, который также подвергается временным вариациям. В спектре SN получено наличие двух доминирующих составляющих: околосолнечной цикл Глейсберга, состоящий из двух мод с периодами 60-80 и 90-140 лет, и околосолнечной цикл Зюсса. В исходном спектре N наиболее мощным был цикл Зюсса, интенсивность мод Глейсберга была значительно меньше. В

спектре SN в результате вклада MM амплитуды периодов группы Глейсберга усиливаются по сравнению с исходным спектром N, по интенсивности они приближаются к интенсивности вариации Зюсса. Обнаружены длинноволновые амплитудная и частотная модуляции циклов Глейсберга и Зюсса с периодом от 1300 до 1700 лет. Для циклов Глейсберга выявлена также частотная модуляция с периодом 216 лет, т.е. модуляция периодов циклов Глейсберга циклом Зюсса.

Генерация МГД-ударных волн в нижних слоях короны Солнца

Романов К.В.¹, Романов Д.В.¹, Романов В.А.²

¹*Красноярский государственный педагогический университет,
Красноярск*

²*Саратовский государственный университет, Саратов,
e-mail: kvromanov@mail.ru*

Исследуется аномальный разогрев нижних слоёв короны Солнца МГД-ударными волнами. По данным наблюдений фиксируется резкое несоответствие размеров местной шкалы высот с диапазоном глубин опрокидывания акустических волн с переходом в слабые ударные волны в верхних слоях хромосферы Солнца.

В работе изучаются особенности генерации быстрых и медленных альфвеновских волн в нижних слоях короны Солнца. Получено решение на ударном разрыве для обоих типов ударных волн и показано, что основная роль в формировании аномального прогрева принадлежит и слабым МГД-ударным волнам, не имеющим нижней границы скорости по опрокидыванию начальных акустических возмущений

Об уникальности свойств 24 цикла солнечной активности

Рябов М.И., Сухарев А.Л., Собитняк Л.И.

*Одесская обсерватория «УРАН-4» Радиоастрономического
института НАНУ*

При анализе частотно-временных свойств различных солнечных индексов на основе расширенного применения вейвлет анализа трудно говорить о типичности солнечных циклов. В каждом из них есть свойства отличающие их от других. Наиболее очевидным образом эти различия видны при рассмотрении проявлений активности отдельно в северном и южном полушариях. Продолжительность 24-ого цикла солнечной активности определено с 2009 по 2019 год. Максимум активности северного полушария отмечался в 2011 году, а южного полушария в 2014 году. Более продолжительной была активность северного полушария Солнца. В докладе кроме традиционных индексов представляющих раздельное представление активности северного и южного полушарий (числа Вольфа, суммарная площадь группы пятен, число безпятенных дней) рассмотрены свойства интегральных индексов 24-го цикла таких как поток излучения F10.7 см., поток в лайман альфа, изменения солнечной постоянной. Проведено сопоставление свойств 24 цикла с предшествующим ему 22-23 циклами.

О характере проявлений космической погоды в зоне Одесской магнитной аномалии

*Рябов М.И.¹, Орлюк М.И.², Собитняк Л.И.¹,
Комендант В.Г.¹, Галанин В.В.¹*

¹*Одесская обсерватория «УРАН-4» Радиоастрономического
института НАНУ*

²*Институт геофизики НАНУ имени Субботина .*

На радиотелескопе «УРАН-4» с момента ввода его в эксплуатацию в 1987 году проводится мониторинг потоков мощных космических радиоисточников Кассиопея А, Лебедь А, Телец А и Дева А в декаметровом диапазоне. Обзор обеспечивает получение данных при различных состояниях солнечной и геомагнитной активности. Исследуются вариации потоков радиоисточников на различных временных интервалах и их кратковременные мерцания. Вместе с тем, недалеко от место положения радиотелескопа располагается магнитная обсерватория «Одесса», которая проводит непрерывную регистрацию вариаций основных компонент магнитного

поля. Особенностью проведенных радиоастрономических и геомагнитных наблюдений является то, что они проводятся вблизи зоны региональной Одесской магнитной аномалии обладающей специфическими свойствами реакции на изменения космической погоды. На основе данных геомагнитной обсерватории «Одесса» составлен каталог магнитных бурь за период мониторинга на РТ «УРАН-4» с 1987 по 2009 год. Результаты его анализа показывают систематически большую продолжительность магнитных бурь в зоне магнитной аномалии по сравнению с данными каталога ИЗМИРАН. С 2017 по 2019 гг. на магнитометре института геофизики НАНУ непосредственно в центре одесской аномалии в подвальном помещении Одесской астрономической обсерватории были проведены измерения геомагнитных вариаций с регистрацией в 1 сек. Они показали существование быстрых вариаций во время магнитных бурь отличающихся от данных магнитной обсерватории «Дымер» под Киевом. Полученные данные свидетельствуют о наличии особых свойств в проявлениях магнитной аномалии в условиях повышенной солнечной и геомагнитной активности, представляющих интерес при решении прикладных и фундаментальных задач солнечно-земных связей.

Spectral characteristic of mid-term quasi-periodicities in sunspot data

Sokoloff D.¹, Frick P.², Stepanov R.², Pipin V.³, Usoskin I.⁴

¹*Moscow State University and IZMIRAN, Moscow
e-mail: sokoloff.dd@gmail.com*

²*ICMM, Perm*

³*Institute for Solar-Terrestrial Physics, Irkutsk*

⁴*Universitet Oulu, Oulu, Finland*

Numerous analyses suggest the existence of various quasi-periodicities in solar activity. The power spectrum of solar activity recorded in sunspot data is dominated by the ≈ 11 -yr quasi-periodicity, known as the Schwabe cycle. In the mid-term range (1 month – 11 yr) a pronounced variability known as a quasi-biennial oscillation is widely discussed. In the shorter time-scale a pronounced peak, corresponding to the synodic solar rotation period (≈ 27 d), is observed. Here we revisit the mid-term solar variability in terms of statistical dynamics of fully turbulent systems, where solid arguments are required to accept an isolated dominant frequency in a continuous (smooth) spectrum. For this, we first undertook an unbiased analysis of the standard solar data, sunspot numbers and the F10.7 solar radio flux index, by applying a wavelet tool, which allows one to perform a frequency-time analysis of the

signal. Considering the spectral dynamics of solar activity cycle by cycle, we showed that no single periodicity can be separated, in a statistically significant manner, in the specified range of periods. We examine whether a model of the solar dynamo can reproduce the mid-term oscillation pattern observed in solar data. We found that a realistically observed spectrum can be explained if small spatial (but not temporal) scales are effectively smoothed. This result is important because solar activity is a global feature, although monitored via small-scale tracers like sunspots.

New magnetostatic solutions and dissipative evolution of magnetic structures with the force-free internal field

Solov'ev A.A., Kirichek E.A.

Central (Pulkovo) Astronomical Observatory, Academy of Science of Russia, St-Petersburg, e-mail: solov@gao.spb.ru

Well-known Chandrasekhar-Prendergast's (1956) magnetostatic solution for a spherical magnetic vortex with axial symmetry, embedded in potential external magnetic field, is discussed. This structure is of great interest both for description of global magnetic field of a star and for modeling of solar active phenomena (flares, coronal spiders and other). The C-P's solution is generalized here for the case of uniform gravity. In contrast to the C-P's model, the dependence of plasma density on magnetic flux takes place in new solution. It enlarges very much the class of equilibria under consideration and allows to propose new scenarios of energy release in solar flares and coronal spiders.

We consider also the dissipative evolution of the magnetic vortex with force-free internal field (Chandrasekhar's model) in the resistive medium. The force-free magnetic field into a sphere is a set of magnetic toroids, confined in spherical layers. A new exact MHD solution, describing a uniform radial compression of the magnetic spheroid with density and pressure growing inside it, is derived. Formally, the magnetic ball shrinks to zero in finite time (the dissipative magnetic collapse). The characteristic time of compression may be relatively small, within a few days, even for the ball with a radius of several Mm, if its magnetic helicity (proportional to the number of magnetic toroids in the volume of the ball), is large enough. The magnetic system is open along the axis of its symmetry. On this axis, both the magnetic and electric field are strictly radial and alternate the sign along the radius of the ball. Therefore, the plasma of compressed magnetic ball will be ejected along the axis of its symmetry outward in both directions (jets!) at a rate much higher than

the diffusion one, and charged particles are accelerated effectively, creating a regular bursts of X-rays.

Similarly, the dissipative solution is obtained for the magnetic flux rope with force-free internal field (Lundquist's solution).

The applications of new MHD-solutions to solar flares mechanism are discussed.

Шлемовидная структура короны 2019 года как индикатор 25 солнечного цикла

Старкова Л.И.

ИЗМИРАН, Москва, г. Троицк, e-mail: starkova@izmiran.ru

Исследуются условия генерации в эпоху минимума 24/25 солнечных циклов. С этой целью анализируется шлемовидная структура короны затмения 2 июля 2019 года. Было установлено, что свойства изучаемой структуры оказались схожими с ситуацией по коронам в минимумах XIX и XX веков. В таком случае естественно ожидать для изучаемого периода такой же связи между ситуацией в полярной зоне в минимуме и амплитудой последующего солнечного цикла, какая имела место в XIX и XX веках. Используя наблюдаемые данные по напряженности магнитного поля полярной зоны Солнца и указанную взаимосвязь, был оценен максимум 25 солнечного цикла в 125 единиц числа Вольфа (версия 2.0). Найденная величина незначительно ($\approx 7\%$) превышает амплитуду 24 солнечного цикла, что означает переход генерации магнитного поля Солнца на новый режим пониженной мощности.

Исследование зависимостей физических параметров факельных образований на Солнце

Стрекалова П.В.¹, Смирнова В.В.², Наговицын Ю.А.^{1,3}

¹ ГАО РАН, *auriga-lunx@yandex.ru*, Санкт-Петербург

² Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пгт. Научный

³ Санкт-Петербургский Государственный Университет
Аэрокосмического Приборостроения, Санкт-Петербург

На основе данных инструмента HMI космического аппарата SDO о магнитном поле и интенсивности в континууме проведен анализ зависимостей и распределений физических параметров факельных образований (ФО), хорошо видимых в фотосфере Солнца.

Размер исследуемых выборок варьировался от 75 до 1000 объектов. Предположено существование двух популяций ФО. Показано отсутствие зависимости наблюдаемого магнитного поля объектов от координат. Предложена возможная физическая интерпретация полученных зависимостей и распределений.

Ускорение КВМ и солнечных энергичных частиц в нижней короне во вспышках с выраженной импульсной фазой

Струминский А.Б.¹, Григорьева И.Ю.², Логачев Ю.И.³,
Садовский А.М.¹

¹ Институт космических исследований РАН, Москва,
e-mail: astrum@iki.rssi.ru

² Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург,
e-mail: irina.2014.irina@mail.ru

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики им. Д.В.
Скобельцина, Москва *e-mail: logachev@srd.sinp.msu.ru*

Рассматриваются три эруптивные солнечные вспышки с ярко выраженной импульсной фазой: X9.7 (S18W63) 06.11.1997, X6.9 (N17W69) 09.08.2011 и X1.1 (S13W59) 06.07.2012. В импульсной фазе этих вспышек с длительностью менее 5 мин (от начала μ -излучения на 15.4 ГГц до максимума мягкого рентгеновского (SXR) излучения) наблюдались всплески жесткого рентгеновского (HXR) и μ -излучения с большой амплитудой и длительностью менее 1 мин. В момент этих всплесков возникали эффективный нагрев и испарение хромосферной плазмы, что выразалось в

малом (менее 2 мин) времени запаздывания максимума меры эмиссии относительно максимума температуры вспышечной плазмы. Сопоставимое ускорение корональных выбросов массы (КВМ) происходило вблизи максимума SXR ± 2.5 мин (7.30 (SOHO LASCO C1), 6.93 и 5.87 км/с² (AIA SDO)), а в момент первого появления LASCO C2 их скорость была, соответственно, 1556, 1610 и 1828 км/с.

На орбите Земли наблюдался всплеск потока релятивистских электронов (SOHO ERNIN), ускоренных в импульсной фазе, длительностью около 20 мин, а после него — длительный одновременный рост потоков солнечных протонов > 100 МэВ (GOES) и релятивистских электронов (SOHO ERNIN) с подобными временными профилями. Максимальные интенсивности потоков электронов и протонов в межпланетной среде не коррелировали с характеристиками КВМ, SXR, HXR μ -излучения. Таким образом, всплески нетеплового излучения в импульсной фазе и ударная волна КВМ имели только косвенное отношение к ускорению солнечных протонов и большинства релятивистских электронов. По всей видимости, условия для длительного стохастического ускорения релятивистских электронов и протонов формировались на постэруптивной фазе вспышек уже после максимального ускорения КВМ.

Перспективы численной реконструкции параметров атмосферы радиоисточника в равновесной плазме

Ступишин А.Г.¹, Кальтман Т.И.²

¹СПбГУ, С.-Петербург, e-mail: agstup@yandex.ru

²САО РАН, С.-Петербург, e-mail: arles@mail.ru

Работа посвящена развитию метода восстановления высотных профилей температуры над активными областями (АО) по многочастотным радионаблюдениям.

В работе [1] был предложен итерационный метод реконструкции высотного профиля температуры на основе моделирования радионаблюдений циклотронного излучения в реконструированном магнитном поле. Метод показывает высокое качество восстановления параметров атмосферы на реалистичных моделях. Однако нами были найдены недостатки, способы устранения которых мы представляем в настоящем докладе.

Введена система уравнений для поиска температуры на различных высотах с дополнительными регуляризирующими уравнениями, связывающими температуры на близких высотах. Т.к. использование одной модели атмосферы на всю АО может приводить к “размыванию” переходной зоны по высоте, разработана возможность ввести в алгоритм разные

атмосферы над разными зонами АО и использовать наблюдения в разных точках скана. Приведены примеры применения для модели диполя для разных точек смоделированного скана и для разных атмосфер (над тенью и полутенью), а также результаты применения к данным наблюдений на РАТАН-600 конкретных АО. Проанализирована чувствительность алгоритма к точности наблюдательных данных, оценена ошибка в определении высоты переходной зоны, дискутируется необходимость и возможность учета тормозного излучения. Рассмотрена возможность использования наблюдений в разных азимутах РАТАН-600, использование других инструментов с двумерной диаграммой направленности.

Работа поддержана грантами РФФИ 18-32-20165, 18-29-21016 и 18-02-00045.

[1] A.G. Stupishin, T.I. Kaltman, V.M. Bogod, and L.V. Yasnov. // Solar Phys., 2018, 293:13.

Возможность оценки влияния космической погоды на циркуляцию атмосферы

Ступишина О.М.¹, Головина Е.Г.²

¹СПбГУ, С.-Петербург, e-mail: olgastupishina@yandex.ru

²РГГМУ, С.-Петербург, e-mail: goloveg@yandex.ru

Основной задачей работы являлся поиск перспективных направлений исследования космических факторов, способных оказать воздействие на земные процессы.

Представленный доклад содержит описание характеристик Космической Погоды (КП), зарегистрированных в начальные моменты установления Сверхдолгоживущих (более 10 дней) Барических Образований (СБО) в двух различающихся по географической широте точках. Такие долгоживущие барические образования представляют интерес по причине способности длительных антициклонов блокировать барические поля. Различные широтные точки наблюдения: (1) Санкт-Петербург (59°57' с.ш., 30°19' в.д.) и (2) Тамбов (52°43' с.ш., 41°27' в.д.). Временные рамки наблюдений: 2007–2013 гг. (24-й цикл солнечной активности). Удалось выявить только 13 СБО на территории Санкт-Петербурга и в 2 раза больше — 26 СБО на территории Тамбова за 7 лет.

Параметры КП, использованные в работе: (1) индексы глобальных вариаций солнечной активности (СА); (2) характеристики вспышечной компоненты СА в различных диапазонах электромагнитного спектра; (3) характеристики околоземного космического пространства; (4) характеристики геомагнитного поля.

Сравнивались характеристики КП при следующих событиях: начало СБО vs. начало Естественного Синоптического Периода (ЕСП) (5–7 дней).

Установлено различие характеристик КП, соответствующих указанным выше событиям, наблюдавшихся в различные календарные сезоны и различные фазы СА. Удалось отыскать такие комбинации календарных сезонов и фаз солнечного цикла, при которых повторяются характеристики КП, проявляющиеся определенным образом при конкретных событиях из указанного выше списка и противоположным образом — при событиях, альтернативных им. Результаты работы могут рассматриваться как основа для детального исследования особенностей солнечно-земных связей.

Вариации связи индекса солнечных пятен и радиоизлучения 10,7 см на разных фазах цикла солнечной активности

Тлатов А.Г.

*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН,
e-mail: tlatov@mail.ru*

Индекс потока радиоизлучения на волне 10,7 см широко используется как аналог индекса солнечных пятен. В том числе и для ревизии индекса солнечных пятен на длительном интервале времени. Вместе с тем такой подход, возможно, таит в себе свои ошибки. Индекс солнечных пятен, характеризует количество солнечных пятен и меняется в диапазоне значений от 0 до ~ 300 . Индекс потока радиоизлучения 10,7 см меняется в диапазоне от ~ 65 до ~ 300 солнечных единиц потока радиоизлучения. В целом при усреднении за весь период совместных наблюдений связь близка к линейной: $R_{10,7} = 58,52 + 0,926\Delta SN$ [1]. Однако наш анализ показывает, что на разных фазах солнечной активности это связь, как правило, не линейна и существенно различна. Для фазы роста солнечной активности связь можно представить в виде: $R_{10,7} = 68,5 + 0,457 \cdot SN + 4,8 \cdot 10^{-4} \cdot SN^2$, а для фазы спада $R_{10,7} = 70,02 + 0,632 \cdot SN - 1,69 \cdot 10^{-4} \cdot SN^2$. Таким образом, при характерных значениях $R_{10,7} \sim 100$ s.f.u различия значений аппроксимации может достигать 15-20 единиц SN. Также, несмотря

на коррекцию за счет геометрических факторов, индекс R10,7 имеет сезонные вариации на уровне 5%. В работе исследуются причины различия связи индексов SN и R10,7 от фазы цикла солнечной активности.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-02-00098-а.

- [1] Hathaway D.H., Wilson R.M., Reichmann E.J. //Solar Phys., 2002, v. 211, 357-370.

Анализ факторов возникновения электрического отклика Антарктической стратосферы на солнечное протонное событие 20-го января 2005 года

Тонев П. Т.

ИКИТ БАН, г. София, Болгария

На основе анализа результатов балонных измерений (в рамках кампании MINIS) электрических характеристик в Антарктической стратосфере во время мажорного солнечного протонного события 20-го января 2005 года — при передвижении балона за сутки с координат (70.9S, 10.9W) на высоте 30.9 km в начале события в 6.51 UT, до (71.4S, 21.5W) на высоте 33.2 km в конце суток — ищется возможная интерпретация некоторых хорошо выраженных особенностей этих результатов. Результаты балонных измерений показывают ряд специфических особенностей вариаций как электрической проводимости, так и компонент электрического поля E и плотности тока J на протяжении суток. Наряду с большими возрастаниями проводимости (~ 20 раз после начала события) возникают нетипичные (по величине, по временной продолжительности, и по знаку) вариации вертикальной компоненты электрического поля E_z и тока J_z . Имеют место также резкие скачки E_z и J_z , совпадающие по времени с быстрыми изменениями параметров солнечного ветра, проводящими к вариациям параметров продольных токов в авроральной ионосфере. Другая особенность — резкое изменение поведения E_z до и после начала события по величине краткосрочных вариаций (наблюдается сглаживание E_z после начала). В качестве факторов, которые, гипотетически могут быть ответственны за эти особенности на исследуемый период, рассматриваются, во первых, вариации проводимости в средней атмосфере, возникающие в результате: а) повышенной ионизации во время события; б) формирования и динамика распределения аэрозольных слоев в стратосфере и выше. Во вторых, это взаимодействие глобальной атмосферной электрической цепи с электродинамикой авроральной ионосферы с учетом вариаций. Получены модельные оценки влияния верхних факторов на поведение E_z и J_z .

Солнечное затмение 21.06.2020 г. по наблюдениям на радиотелескопах ИПА РАН (первые результаты)

*Топчило Н.А.¹, Андреева Т.С.², Дьяков А.А.²,
Ерофеев Д.В.², Ипатов А.В.², Иванов Д.В.², Ильин Г.Н.²,
Олифирова В.Г.², Петерова Н.Г.³, Рахимов И.А.²,
Хвостов Е.Ю.²*

¹ СПбГУ, С.-Петербург, Россия, e-mail: topchilona@yandex.ru

² ИПА РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: rahimov@iaaras.ru

³ САО РАН, С.-Петербург, Россия, e-mail: peterova@yandex.ru

Приведены первые результаты наблюдений микроволнового излучения Солнца во время частного затмения 21.06.2020 г. (фаза $\sim 0,17-0,24$) с помощью полноповоротных радиотелескопов РТ-32, РТ-13 и РТ-2, расположенных в обсерваториях «Зеленчукская» на Северном Кавказе, «Бадары» в Бурятии и «Уссурйск» на Дальнем Востоке. Это седьмой случай исследований Солнца методом солнечных затмений с использованием инструментов, принадлежащих ИПА РАН. Метод считается наилучшим благодаря применению квазиузлового способа регистрации сигнала путем использования радиотелескопов с достаточно высоким пространственным разрешением (несколько угл. мин.), ограничивающим вклад спокойного Солнца. Именно с помощью РТ-32 впервые был достигнут теоретический предел эффективного углового разрешения затменных наблюдений $\sim (1 - 3)''$ на микроволнах.

Наблюдения солнечного затмения 21.06.2020 г. на РТ-13 и РТ-32 выполнялись на волнах 1.0 см, 3.5 см, 6.2 см и 13 см с анализом круговой поляризации, на РТ-2 – на волне 10.7 см в интенсивности. Задачи наблюдений определялись астрономическими обстоятельствами – Солнце находилось в стадии глубочайшего минимума, что в отличие от предыдущих случаев выдвинуло на первый план исследование слабых деталей структуры изображения Солнца, таких как распределение радиояркости вблизи лимба, корональные дыры, радиогрануляция, до сих пор недостаточно изученные. Приведены оригинальные записи и результаты первичной обработки, а также предварительного отождествления отдельных деталей структуры источников микроволнового излучения путем сопоставления с наблюдениями Солнца в других диапазонах (УФ и X-ray).

Вариации циклов солнечной активности в ритмах озерных ленточных глин позднего плейстоцена

Тясто М.И.¹, Дергачев В.А.², Дмитриев П.Б.²

¹ Санкт-Петербургский филиал ИЗМИРАН, С.-Петербург,
e-mail: mtyasto@mail.ru

² ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: v.dergachev@mail.ioffe.ru

Похолодание позднего дриаса около 12700 лет назад — одно из самых резких изменений климата, обнаруженных в палеоклиматических данных северного полушария Земли. В подобных случаях ленточные глины — слоистые отложения приледниковых озер идеально подходят для изучения динамики таких резких климатических изменений. Эти глины состоят из многократно повторяющихся, ежегодно оседающих тонких слоев ледниковой мути, которая содержит летом в основном тонкозернистый песчаный материал, а зимой — глинистый. По толщине таких пар годичных отложений — так называемых варвов, мощность которых достигает от долей миллиметра до нескольких сантиметров, можно судить об интенсивности таяния ледника, и тем самым, об изменении климата в то далекое доисторическое время. Благодаря исследованиям многочисленных образцов ленточных глин в их структурах были обнаружены циклические, указывающие на возможную связь с солнечной активностью (СА).

Поэтому в настоящей работе для изучения характера возможного изменения СА в тот далекий переходный климатический период резкого похолодания были исследованы два образца ленточных глин, один из которых относится к периоду этого похолодания (образец озера Meerfelder Maar, Western Germany, 12878-11636 лет ВР), а другой до него (образец озера Hitchcock, New England, 17500-13500 лет ВР) [1]. В исходных данных при помощи метода построения комбинированной спектральной периодограммы были обнаружены циклические структуры, которые можно отнести к современным циклам СА, причем особое внимание было уделено изучению вариаций значений выявленных квазипериодических компонентов путем построения нормированной спектральной плотности исследуемых данных в скользящем временном окне величиной до 500 лет.

[1] <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/paleoclimatology-data>

Новый эффект продолжительного пониженного поглощения в местные утренние часы в явлениях ПППШ

Ульев В.А.¹, Рогов Д.Д.¹, Абунин А.А.², Абучина М.А.²

¹ ФГБУ «Арктический и Антарктический
Научно-исследовательский институт», г. Санкт-Петербург,
Россия, e-mail: vauliev@yandex.ru

² ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

По риометрическим наблюдениям на станциях в центральной части южной полярной шапки в явлении поглощения типа полярной шапки (ППШ) 11–15 сентября 2017 г. впервые обнаружен новый эффект, заключающийся в следующем: 13 сентября в местные утренние часы наблюдался аномально продолжительный период (около 6-ти часов) пониженного поглощения по сравнению с аналогичными периодами в остальные дни данного события. Этот период назван эффектом утреннего пониженного (УП) поглощения.

В результате анализа экспериментальных материалов регистрации явлений ПППШ на ряде станций в полярных шапках северного и южного полушарий за период 1995–2017 гг. обнаружено неоднократное проявление этого эффекта. В данной работе рассмотрены основные факторы, вызывающие данное явление, а также получена зависимость появления УП от сезона года.

Дальнейшее исследование данного эффекта позволит разработать методику составления пространственных высокоширотных карт интенсивности ПППШ с наличием секторов пониженного поглощения. Это может иметь практическое применение при выборе оптимальных параметров условий работы различных КВ радиотехнических систем (связь, загоризонтная радиолокация) в зоне полярных шапок Земли.

Анализ вариаций разной физической природы в полном потоке солнечной радиации

Фёдоров В.М.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, e-mail: fedorov.msu@mail.ru*

Важнейшей характеристикой приходящего к Земле солнечного излучения является TSI (Total solar irradiance). Изменчивость приходящего к Земле солнечного излучения, определяется двумя причинами, имеющими

различную физическую природу. Одна из них связана с изменением физической активности Солнца. Другая причина, связана с изменением расстояния Солнце – Земля в результате возмущающего действия ближайших небесных тел на орбитальное движение Земли. Исследования вариаций TSI связанных с солнечной активностью получили широкое развитие. В тоже время, многолетние и межгодовые вариации TSI, связанные с изменением расстояния Солнце – Земля исследованы недостаточно.

В результате исследований определено, что межгодовая изменчивость приходящего к Земле солнечного излучения по физической природе представляет собой дуплекс с переменными, в зависимости от временного разрешения, соотношениями составляющих вариаций разной физической природы по амплитуде. Проведенный анализ показывает, что амплитуда многолетней изменчивости интенсивности излучения на 95% определяется вариациями, связанными с изменением активности Солнца. При годовом разрешении преобладающей по амплитуде является составляющая, определяемая активностью Солнца (около 80%). При месячном разрешении ведущей по амплитуде составляющей дуплекса является вариация, определяемая небесно-механическими процессами (около 55%). Межгодовые вариации, определяемые небесно-механическими процессами, таким образом, являются ведущими в межгодовой изменчивости приходящего солнечного излучения в диапазоне изменения по сезонам года. Полученные результаты указывают на необходимость дифференцированного использования значений межгодовой изменчивости разной физической природы приходящего к Земле полного потока солнечного излучения в климатических моделях, в связи с зависимостью их весовых соотношений от временного разрешения.

Особенности удельной энергии облучения тонких слоёв атмосферы

Фёдоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М.

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, e-mail: fedorov.msu@mail.ru*

Разбиение атмосферы на тонкие слои позволяет изучать их облучение через характеристики облучения срединных поверхностей этих слоёв, приподнятых над земным эллипсоидом. Наиболее важные характеристики облучения приподнятой поверхности (ПП) – удельные энергии облучения (УЭО) самой ПП и её широтных частей в тропических годах и их частях. Средние многолетние УЭО обозначаются УЭО(СМ). У каждой ПП есть

северная половина (СП) и южная половина (ЮП). Модуль разности УЭО СП (ЮП) ПП в полугодиях именуется сезонностью СП (ЮП) ПП.

Годовые и месячные УЭО(СМ) нескольких ПП с высотами от 0 до 60 км, а также полугодовые УЭО(СМ) СП и ЮП этих ПП, были вычислены для промежутка с 3000 года до н.э. по 2999 год н.э., исходя из эфемерид НАСА DE-406. Поглощение и рассеяние лучей в атмосфере, рельеф и приливные деформации Земли не учитывались. Значение TSI (Total Solar Irradiance) принималось равным 1361 Вт/м^2 .

Согласно расчётам годовая УЭО(СМ) ПП линейно растёт вместе с высотой ПП. Высоте 0 км соответствует значение $1,07298\text{E}+10 \text{ Дж/м}^2$, высоте 60 км $1,09292\text{E}+10 \text{ Дж/м}^2$ (на 1,86% больше). Рост объясняется тем, что кроме лучей, направленных к Земле, ПП пронизывают транзитные лучи, направленные мимо Земли.

Для каждой ПП график месячных УЭО(СМ) напоминает букву М с максимумами в моменты солнцестояний и минимумами в моменты равноденствий. Максимумы больше минимумов на 0,043% на высоте 0 км и 0,042% на высоте 60 км. Буква М объясняется годичным феноменом при облучении земного эллипсоида, уменьшение контраста с высотой – увеличением транзитного облучения ПП.

Средняя многолетняя сезонность СП (ЮП) ПП убывает с высотой ПП. На высоте 0 км она равна $2,75266\text{E}+09 \text{ Дж/м}^2$, на высоте 60 км $2,74935\text{E}+09 \text{ Дж/м}^2$ (на 0,12% меньше). Убывание объясняется несимметричным транзитным облучением СП и ЮП ПП.

Исследование природы фонового микроволнового излучения и микровспышек в молодой АО 12635 с 8 по 9 февраля 2017 года

Федотова А.Ю., Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Мышьяков И.И.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
e-mail: fedotovanastya@iszf.irk.ru, altyntsev@iszf.irk.ru*

В работе рассмотрены механизмы повышенного фонового микроволнового излучения и последовательности микровспышек рентгеновского класса В и С в молодой активной области 12635, образовавшейся на диске Солнца в минимуме солнечной активности. Интервал повышенного фонового излучения в мягком рентгеновском, ультрафиолетовом и микроволновом излучении, наблюдавшийся в течение 10 часов 9 февраля 2017 г.,

соответствует времени с повышенными вертикальными токами обеих направлений. Из изображений в крайнем ультрафиолетовом излучении следует, что причиной повышенного энерговыделения в атмосфере активной области является взаимодействие корональных петель. В мягком рентгеновском излучении, в канале GOES 1–8 Å, всплески представляют собой импульсы длительностью 6–10 мин с плавным ростом и спадом. В жестком рентгеновском и микроволновом излучении выделяются импульсная и гладкая компоненты. Импульсная компонента генерируется гиросинхротронным механизмом в диапазоне частот до 10 ГГц во время короткого импульса ускорения небольшой популяции электронов до энергий в сотни кэВ. Появление гладкой компоненты всплесков вызвано генерацией тормозного микроволнового излучения вследствие нагрева плазмы до температуры ~ 10 МК в местах взаимодействия корональных петель.

Роль аномального эффекта Доплера при генерации турбулентности вистлеров во вспышечных петлях

Филатов Л.В.¹, Мельников В.Ф.²

¹ФГБОУ Нижегородский архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, e-mail: filatovlv@yandex.ru

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, e-mail: v.melnikov@gaoran.ru

Известно, что вистлеры (свисты) могут играть важную роль в кинетике нетепловых электронов во вспышечных петлях. Это относится как к процессам рассеяния электронов по питч-углам, так и к процессам их стохастического ускорения на турбулентности вистлеров, источником которой являются возмущения магнитного поля, возникающие при первичном нестационарном энерговыделении. В работе (Filatov & Melnikov, Ge&Ae 2020) мы рассмотрели самосогласованную задачу о резонансном взаимодействии энергичных электронов с вистлерами на нормальном эффекте Доплера. Это взаимодействие происходит, в основном, с вистлерами, распространяющимися вдоль оси магнитной петли. Вместе с тем, во вспышечных петлях возможно и взаимодействие с вистлерами, распространяющимися под большим углом к магнитному полю. Такое взаимодействие происходит на так называемом аномальном эффекте Доплера.

В настоящей работе проведено исследование влияния аномального эффекта Доплера на резонансное взаимодействия быстрых электронов, инжектированных в магнитную ловушку вспышечной петли. Мы рассмотрели его роль в процессах питч-углового рассеяния электронов и в динамике самой турбулентности вистлеров. В зависимости от параметров плазмы

петли и вистлеровской турбулентности, установлена степень влияния нормального и аномального эффектов Доплера на резонансных гармониках при различных углах волнового вектора по отношению к магнитному полю в петле.

Спектральная активность быстровращающегося гиганта FK Com

Козлова О.В., Фурсяк М.И., Алексеев И.Ю.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, 298409, п.
Научный, Республика Крым, Россия, e-mail: mbjhht@yandex.ru*

Представлены результаты спектральных наблюдений ($R=20000$) звезды FK Com, полученных в Крымской астрофизической обсерватории в области линий H-альфа, резонансного дублета натрия NaI D и гелия HeI 5876. Эта звезда является прототипом целой группы звезд (звезды типа FK Com), которые уже ушли с Главной последовательности и находятся на ветви G-K гигантов. Их отличает аномально быстрое вращение, близкое к критическому, а также пятенная, хромосферная и магнитная активность.

В 1976 году Веббинк предположил, что такие объекты могут возникать, как результат эволюции тесной двойной: две звезды постепенно сближаются и, наконец, сливаются в один быстровращающийся объект, окруженный газовым остатком (диск), который затем рассеивается.

Существование такого газового диска у самой FK Com хорошо известно, но его роль в спектральной активности звезды считается несущественной, а наблюдаемая спектральная переменность звезды полностью объясняется эмиссионным вкладом хромосферы. Результаты наших наблюдений показывают, что это не так и околозвездный газовый диск FK Com играет важную роль в наблюдаемой спектральной активности.

**Токовые системы в активных областях разных
магнито-морфологических классов в 24-м цикле
солнечной активности**

Фурсяк Ю.А., Абраменко В.И., Жукова А.В.

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, 298409, п.
Научный, Республика Крым, Россия e-mail: yuriy_fursyak@mail.ru*

Используя магнитограммы компонент вектора магнитного поля в фотосфере, получаемые прибором Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) космического аппарата Solar Dynamics Observatory (SDO), нами были получены карты распределения величины вертикального электрического тока, а также вычислены усредненные за время мониторинга (3-5 суток) параметры тока для 60 различных по характеристикам активных областей (АО) 24-го цикла солнечной активности. Особое внимание уделяется установлению характера взаимосвязи между параметрами вертикального электрического тока в фотосфере, уровнем вспышечной продуктивности АО и магнито-морфологическим типом области.

Работа выполнена при частичной поддержке грантом Российского научного фонда (РНФ) № 18-12-00131 и научно-исследовательской работы (НИР) ОФССС КрАО РАН № 0831-2019-0006 “<Общие и локальные характеристики Солнца>”.

**Об оценке потока энергии альвеновских волн в нижней
атмосфере Солнца по результатам измерений
доплеровских скоростей**

Ханейчук О.В.¹, Цап Ю.Т.²

*1Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, e-mail: stegozavrel@gmail.com*

*2Крымская астрофизическая обсерватория РАН, пос.
Научный, e-mail: yur_crao@mail.ru*

Проведен анализ распространения альвеновских волн в стратифицированной атмосфере в зависимости от их периода T . Показано, что если $T \gg 4\pi H/V_A = 25 - 251$ с, где $H = 2 \cdot 10^7$ см – характерная шкала высот, $V_A = 10^6 - 10^7$ см/с – альвеновская скорость, то часто используемая формула для оценки поток энергии альвеновских волн в хромосфере/фотосфере Солнца $\rho \delta V^2 V_A / 2$, где ρ – плотность плазмы, δV – амплитуда возмущения скорости, может приводить к заметным погрешностям. Обсуждаются следствия полученных результатов.

Быстрые звездные пульсации и локальные магнитные поля

Холтыгин А.Ф.¹, Моисеева А.В.², Якунин И.А.², Циопа
О.А.³, Валеев А.Ф.²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, e-mail: afkholtygin@gmail.com

²Специальная Астрофизическая обсерватория РАН, Нижний
Архыз,

³Главная (Пулковская) обсерватория РАН, Санкт-Петербург

Представлены результаты исследований [1, 2, 3] сверхбыстрой (на минутной и секундной шкалах) переменности профилей линий в спектрах звезд ранних спектральных классов. Спектры программных ОВА звезд были получены на 6-метровом телескопе БТА с помощью многорежимного редуктора SCORPIO и спектрографа ОЗСП с экспозицией 1-150 секунд и полным временем наблюдения 2-3 часа. Проанализирована переменность профилей спектральных линий. Найдены регулярные вариации профилей линий H, HeI, FeII, NiI, OII, SiII в спектрах программных звезд с периодами от 2 до ~90 минут и амплитудами 1-2% от уровня континуума. Частоты гармоник вариаций профилей в спектре некоторых из программных звезд с периодами меньшими 10 минут оказались переменными, причем за время наблюдений частоты короткопериодических компонент могут меняться на ~20% и, возможно, имеют природу, близкую к природе пятиминутных солнечных колебаний. Предлагается гипотеза о связи высоких пульсационных мод на звездах с локальными магнитными полями и генерируемыми ими звездными микро-вспышками. Представлены программа поиска таких микровспышек и методика детектирования локальных магнитных полей на звездах.

- [1] A.F. Kholtygin, S. Hubrig, V.V. Dushin et al., ASP Conf. Ser., **510**, 299 (2017).
- [2] А.Ф. Холтыгин, А.А. Батраков, С.Н. Фабрика, А.Ф. Валеев, И.М. Туманова, О.А. Циопа, Астр. Бюлл. **73**, 498 (2018)
- [3] А.Ф. Холтыгин, А.В. Моисеева, И.А. Якунин, S. Hubrig, Астр. Бюлл. **75**, in press (2020)

Концентрация магнитного поля в короне Солнца и скрученность магнитных жгутов

Цап Ю.Т.¹, Степанов А.В.², Копылова Ю.Г.²

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный,
e-mail: yur_crao@mail.ru

²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
С.-Петербург, e-mail: stepanov@gao.spb.ru

Обсуждается влияние внешней азимутальной компоненты магнитного поля на МГД равновесие корональных магнитных жгутов в зависимости от степени нейтрализации продольных электрических токов. На примере обобщенной модели Голда–Хойла показано, что только сильно скрученные корональные петли, для которых угол закрутки магнитных силовых линий $\Phi \gg 2\pi$, способны обеспечить концентрацию магнитных полей, превышающих фоновые значения в десятки раз.

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект No 18-02-00856)

Предвестники солнечных вспышек: наблюдения и феноменология

Чариков Ю.Е., Шабалин А.Н.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: yuri.charikov@mail.ioffe.ru

В последнее десятилетие возросло внимание к изучению стадии предвестников солнечных вспышек, связанное с возможностью проведения наблюдений с высоким пространственным разрешением в широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения. Привлекательным для анализа является часовой интервал перед вспышкой с целью выявления возможной причинно-следственной связи явлений предвестник - вспышка. Измерения в жестком рентгеновском диапазоне RHESSI, наряду с ультрафиолетовыми данными SDO и данными радиотелескопов, позволяют расширить представления о природе предвестников. Предыдущие исследования основывались на изучении мягкого рентгеновского излучения и потому природа явления была связана с тепловыми процессами, нагревом плазмы. Однако предвестники вспышек в последнее десятилетие регистрируются в жестком рентгеновском излучении и микроволновом диапазоне, которые являются тормозным излучением ускоренных электронов. Локализация предвестников неоднозначна — по данным RHESSI и

Нобуама предвестники регистрировались как в хромосфере, так и в короне. Локализации предвестников и последующих вспышек отличались в пределах десятков угловых секунд (10^8 – 10^9 см). То есть на масштабе от переходного слоя хромосфера–корона к корональной части замкнутой магнитной структуры. УФ – наблюдения на SDO обнаружили связь предвестников с волокнами (filaments), причем локализация предвестника регистрировалась как выше, так и под самим волокном. Tether - cutting механизм может приводить к образованию высокотемпературного токового слоя на стадии рентгеновского предвестника и являться триггером основной фазы вспышки и быстрой эрупции волокна. Феноменологически обсуждается возможная причинно-следственная связь, сводящаяся к последовательности процессов — достаточно слабого возмущения магнитного поля в активной области на фотосфере, приводящего к возникновению предвестника выше в хромосфере и к последующему развитию основной фазы вспышки в корональной части.

Структура рентгеновского излучения солнечных вспышек: миллисекундные спайки и квазипериодические пульсации

***Чариков Ю.Е.¹, Склярова Е.М.¹, Шувалова В.И.^{1,2},
Шабалин А.Н.¹***

¹*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: yuri.charikov@mail.ioffe.ru*

²*Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург*

Высокое временное разрешение аппарата BATSE и многоканальность прибора (5–6 каналов в области 25–100 кэВ) позволяют изучать тонкую структуру спайков и выделять миллисекундные импульсы рентгеновского излучения во время солнечных вспышек на разных энергиях. В докладе анализируется сверхтонкая структура импульсов в пяти энергетических каналах от 32 до 95 кэВ, зарегистрированных во время ряда солнечных вспышек. Если общая длительность вспышки более 163 с, то в процессе регистрации квантов происходила смена временного разрешения: на интервале 0–33 с временное разрешение 16 мс, на интервале 33–163 с разрешение 64 мс и на интервале более 163 с разрешение 2.04 с. В результате проведенного анализа для ряда солнечных вспышек были отчетливо выявлены мс-спайки, длительность которых менялась от 16 мс до сотен миллисекунд. Временные профили спайков характеризовались различной формой - симметричной (треугольной), и с различными временами роста и спада

скорости счета квантов. Спайки регистрировались в разных энергетических каналах с временным сдвигом порядка времени разрешения (16 мс). В некоторых событиях мс-спайки регистрировались в узком диапазоне энергий (практически в одном энергетическом канале). Для этих же событий кроме выявления мс-спайков проводился поиск квазипериодических пульсаций методом быстрого преобразования Фурье. Предварительно из временных кривых вычитался низкочастотный тренд. В исследованных вспышках класса М преобладают высокочастотные гармоники с периодом 0.04–0.08 с, однако появляются и гармоники с периодами > 0.1 с, в основном в средних энергетических каналах. Проводится обсуждение возможных механизмов ускорения электронов, приводящих к формированию импульсов миллисекундной длительности.

Особенности рентгеновского излучения солнечных вспышек в модели коллапсирующих ловушек

Шабалин А.Н.¹, Чариков Ю.Е.¹, Шувалова В.И.^{1,2}

¹ *Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: Shabalin.FTI@yandex.ru*

² *Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург*

В работе рассматривается возможность интерпретации часто наблюдаемой отрицательной корреляции потока жесткого рентгеновского излучения в диапазоне 12–100 кэВ и площади излучающего источника в короне во время вспышек на Солнце. За основу принята модель “коллапсирующей” ловушки в которой происходит относительно быстрое увеличение индукции магнитного поля преимущественно в вершине петли. В процессе “коллапса”, в результате бетатронного и Ферми ускорения, происходит модуляция потока ускоренных электронов при их распространении в магнитной петле, что приводит, в частности, к увеличению концентрации плазмы в корональной части петли одновременно с захватом ускоренных электронов и уменьшением геометрических размеров излучающей области. В результате, оказывается возможной антикорреляция потока жесткого рентгеновского излучения и площади источника и интерпретация этого феномена в рамках указанной модели ловушек.

Кинетика ускоренных электронов и жесткое рентгеновское излучение на начальной стадии солнечной вспышки, стадии предвестника

Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е.

*Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН,
С.-Петербург, e-mail: Shabalin.FTI@yandex.ru*

В ряде солнечных событий наблюдается источник жесткого рентгеновского излучения в диапазоне 18–100 кэВ в корональной части активной области в *начальной* стадии развития вспышки. В работе рассматриваются возможные причины, обуславливающие возникновение подобных источников с позиции распространения ускоренных электронов в магнитных петлях. Показана роль эффекта “испарения” плазмы в первые 20 с вспышки при внедрении ускоренных электронов в плотные слои хромосферы, влияние фронтов с ионно-звуковой турбулентностью, “коллапса” магнитной ловушки (относительно быстрого увеличения индукции магнитного поля преимущественно в вершине петли) на увеличение концентрации плазмы и ускоренных электронов в вершине петли и, как следствие, на эффективность тормозного механизма излучения в области энергий фотонов 30–150 кэВ.

**Временная когерентность NUV297-330 nm
и приземного атмосферного давления
на ст. Новолазаревская (Антарктида)**

Шаповалов С.Н., Афанасьев А.В., Юдин Г.В.

*ФГБУ «ГНЦ РФ Арктический и антарктический НИИ», Россия,
Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, e-mail: shapovalov@aari.ru*

К малоизученным гелио факторам, воздействующим на планетарную атмосферу, относятся колебания Солнца. Спектральные наблюдения солнечной УФ-радиации на ст.Новолазаревская, полученные в 24-ом цикле солнечной активности показали, что флуктуации светимости на участке NUV297-345 nm, в котором выполняются мониторинговые наблюдения общего содержания озона (полоса Хаггинса), практически соответствуют частотному спектру солнечных осцилляций в диапазоне 2.7–3.6 mHz. Из этого следует, что флуктуации в области UVB(280-315 nm)-UVA(315-400 nm) могут влиять на параметры нижней атмосферы, например, приповерхностное давление, в большей степени, чем изменения TSI и солнечной постоянной в 11-летнем цикле.

Представлены результаты Фурье-анализа флуктуаций светимости NUV297-330 nm и вариаций приземного атмосферного давления (hPa) на метеостанции «Новолазаревская» (Антарктида) с 2008 г. по 2019 г. Отмечены значимые ($t > t_{\text{critical}}$) гармоники с доминирующими значениями ~ 5 мин и ~ 10 мин, а также периодические гармоники $\sim 16-18$ мин, $\sim 20-25$ мин, $\sim 30-35$ мин, ~ 40 мин, ~ 60 мин, ~ 90 мин и ~ 110 мин. Итоговым результатом являются периодограммы квадрата когерентности NUV297-330 nm и hPa в даты солнцестояний 21.12., по которым установлена временная идентичность факторов.

Интерпретация гармонической структуры излучения Юпитера в декаметровом диапазоне волн

Шапошников В.Е.¹, Зайцев В.В.¹, Симонова Т.В.²

¹*Институт прикладной физики, Нижний Новгород,
e-mail: sh130@ipfran.ru*

²*Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород*

Радиоизлучение Юпитера в декаметровом диапазоне длин волн представляет собой уникальное явление. Оно обладает исключительно богатой частотно-временной структурой, интерпретации которой посвящено большое количество работ. Недавно была обнаружена новая для декаметрового радиоизлучения Юпитера тонкая частотно-временная структура динамического спектра — квазигармонические эмиссионные полосы. Указанная структура обнаруживает сильную аналогию с так называемой зебра-структурой в солнечном метровом и дециметровом радиоизлучении и широкополосном километровом радиоизлучении Юпитера.

В докладе обсуждается происхождение квазигармонических эмиссионных полос, наблюдавшихся на динамическом спектре декаметрового радиоизлучения Юпитера. Возможная интерпретация наблюдаемой структуры основана на эффекте двойного плазменного резонанса (ДПР) на ионных циклотронных гармониках. Согласно предлагаемой модели, в верхней ионосфере Юпитера в тех областях протяженного источника, где выполнено условие ДПР с одной из гармоник ионной циклотронной частоты, эффективно возбуждаются ионные циклотронные волны на частоте ниже гибридного резонанса. Наблюдаемое электромагнитное излучение с квазигармонической структурой возникает благодаря рассеянию ионных циклотронных волн на надтепловых электронах. На основе модели магнитного поля VIP4 определены долготы, на которых может располагаться источник обсуждаемого всплеска излучения. Полученные оценки плотности плазмы и ее распределения по высоте в источнике, а также энергии

излучающих ионов и рассеивающих электронов находятся в хорошем согласии с данными наблюдений.

**Статистическое исследование вспышек на Солнце
в мягком рентгене в 23–24 циклах**

Шаховская А.Н.¹, Григорьева И.Ю.²

¹*Крымская Астрофизическая Обсерватория, Республика Крым,
пгт.Научный, e-mail: anshakh@yandex.ru*

²*Главная Астрофизическая Обсерватория, Пулковое,
Санкт-Петербург, e-mail: irinadao@gmail.com*

Проведено статистическое исследование рентгеновских вспышек мощностью не менее С5, 23 и 24 солнечного цикла. Построены диаграммы рассеяния для длительности, температуры, меры эмиссии и задержками по времени их пиков. Выявлены корреляции между максимальным потоком в мягком рентгене, мерой эмиссии и температурой вспышек. Длительность рентгеновских вспышек не коррелирует с остальными параметрами, однако, существует ограничение длительности для более мощных вспышек. Обсуждаются возможные причины такого результата.

Проявление внешних факторов в локальных показаниях артериального давления и пульса

Шубаев И.Г.¹, Кукса Ю.И.²

¹ИЗМИРАН, e-mail: *ishib@izmiran.ru*

²ЦГЭМИ ИФЗ РАН

Обычно состояние пациента оценивают по значениям артериального давления (АД) и пульса – частоты сердечных сокращений (ЧСС). Так как их величины достаточно изменчивы, то в предыдущих работах авторов упор делался на анализ длиннопериодных компонент исследуемых рядов и их связи с геофизическими / атмосферными явлениями [1, 2]. Отмечено проявление «лунного» периода ~27.35 дней в спектрах утренних показаний.

Данная работа предлагает описывать состояния пациента через корреляционные связи показаний АД и ЧСС и, классифицируя их, оценивать роль внешних факторов в этих «координатах». Исследуются корреляционные связи в моменты лунного апогея и перигея.

Материалом для исследования служат показания АД и пульса, взятые из дневника самоконтроля пациента. Медицинское обследование, проведенное в начале 1997 года, диагностировало артериальную гипертонию II стадии 2 ступени. С апреля 1997 г., после проведенного амбулаторного лечения, осуществляется ежедневный (утром и вечером) контроль за АД в домашних условиях под наблюдением врача. Длительный и эффективный контроль (более 18 лет) обеспечивает нормальную жизнедеятельность пациента и позволяет исследовать влияние внешних факторов на состояние организма.

- [1] Isaikina O., Yu. Kuksa, I. Shibaev, Estimation of Stability of Arterial Pressure and Pulse at Changes of Geomagnetic Data and Atmospheric Pressure / Annual Research & Review in Biology 9(1): 1-11, 2016, Article no.ARRB.21656 ISSN: 2347-565X, NLM ID: 101632869
- [2] Kuksa Yu, Shibaev I, Isaikina O. Long-Term Monitoring of Arterial Blood Pressure and Pulse: Assessment of Influence of External Factors on Readings // Chapter 7 In: Emerging Research in Medical Sciences, V. 2, 2019, 58 – 68. DOI: 10.9734/bpi/erms/v2

Регулярные и эпизодические события по данным магнитометрического комплекса проекта «Шуман»

Шубаев И.Г.¹, Кукса Ю.И.²

¹ИЗМИРАН, e-mail: *ishib@izmiran.ru*

²ЦГЭМИ ИФЗ РАН

В работа анализируются данные, полученные в рамках проекта «Шуман» [1], который закончился в 2017 году. Проведенные исследования опираются на магнитометрический комплекс, основой которого является трехкомпонентный блок кварцевых датчиков магнитного поля. Комплекс также включает две электрические линии, заканчивающиеся неполяризуемыми электродами. Электрические линии подключаются к измерительному блоку через каналы с гальванической развязкой. В дополнение к электрическим каналам подключены сейсмодатчик (через блок детектирования и выделения сейсмической огибающей) и датчик температуры блока датчиков магнитного поля. Динамический диапазон по всем каналам 22 разряда с периодом квантования 0.5 сек.

Возможности комплекса и качество данных показаны при регистрации как эпизодических событий так и регулярных наблюдений :

- зафиксированы прямые отклики на солнечные вспышки не только класса X, но и класса M, отмечены моменты прохождения грозовых облаков над точкой наблюдения ;
- для протяженных массивов приведены спектры магнитных компонент в различных частотных диапазонах, отмечено влияние длительности светового дня и Луны на динамику суточных гармоник ;
- отмечен эффект «выходного дня» и сезонного поведения в акустических наблюдениях.

[1] Ишков В.Н., Кукса Ю.И., Теодосиев Д., Шубаев И.Г. Непосредственный отклик на солнечные вспышки по данным магнитометрического комплекса: проект «Шуман». / Труды Всероссийской ежегодной конференции по физике Солнца: Солнечная и солнечно-земная физика 2010, Пулково, Санкт –Петербург, 3–9 октября 2010 г., с. 179–182.

**Определение характеристик 27-дневных вариаций
потока космических лучей, наблюдавшихся
в эксперименте PAMELA с 2006 по 2016 год**

Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, e-mail: rfyulbarisov@gmail.com*

С июня 2006 года по январь 2016 года магнитный спектрометр PAMELA [1] проводил прецизионные измерения потоков космических лучей на околоземной орбите. В эксперименте получены суточные дифференциальные энергетические спектры частиц различного типа в широком диапазоне энергий от нескольких десятков МэВ до сотен ГэВ, что позволяет изучать временную динамику их потоков.

В течение 10 лет измерений обнаружены несколько эпизодов возникновения 27-дневных вариаций галактических космических лучей [2]. В работе определены энергетическая и временная зависимости амплитуды вариаций в потоках протонов и гелия. Для определения амплитуды использован вейвлет-анализ, позволяющий работать с нестационарными временными рядами и выделять 27-дневные гармоники в различные моменты времени.

Проведено сравнение полученных амплитудно-энергетических зависимостей, соответствующих разным случаям возникновения вариаций. Показано, что в области высоких энергий (> 1 ГВ) они могут быть описаны степенным законом с различными показателями степени. Обнаружено отклонение от этого закона в интервале 0.4–1 ГВ. Рассмотрение вариаций при низких энергиях (< 0.4 ГВ) по данным других экспериментов подтверждает эффект.

- [1] Picozza P., Galper A.M., Castellini G. et al. PAMELA // *Astropart. Phys.*, 2007, v. 27, p. 296.
- [2] Troitskaya I.K., Mayorov A.G., Malakhov V.V. et al. // *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.*, 2019, v. 83, p. 576.

Солнечные вспышки в УФ и рентгеновском диапазонах по данным SDO и TIMED

Бруевич Е.А., Якунина Г.В.

*Государственный астрономический институт им.
П.К. Штернберга*

*Московский Государственный университет им. М.В.Ломоносова
(ГАИШ МГУ), e-mail: yakunina@sai.msu.ru*

EUV и рентгеновское излучение Солнца — основные факторы, которые существенно меняют свойства верхней атмосферы Земли.

Представлены результаты исследования потоков спектральных линий серии Лаймана и их изменения в 23-м и 24-м циклах солнечной активности. Наблюдения SDO и TIMED в линиях водорода 121.6 нм, 102.57 нм, 97.25 нм и 94.97 нм анализируются одновременно с излучением в рентгеновском диапазоне 0.1-0.8 нм по наблюдениям на спутнике GOES-15.

Вспышки на Солнце являются следствием накопления энергии магнитного поля в солнечной короне. В течение вспышки магнитное поле высвобождает энергию и в результате перестраивается в более простую конфигурацию. EUV-потоки заметно меняются в исследуемых линиях в течение вспышки. Продолжительность вспышек в EUV -диапазоне в линиях водорода различается по времени с продолжительностью вспышек в рентгеновском диапазоне, по-разному изменяются интенсивности линий, их профили и ширина.

Исследуемые вспышки в EUV -диапазоне показывает основной максимум через несколько минут после излучения в SXR, наблюдаемого на GOES-15. Также в этих вспышках выделяется вторичный максимум в EUV-диапазоне через несколько минут после основного (в исследуемых вспышках EUV-максимум смещен на 3-7 мин после максимума основного в SXR, в вторичный EUV-максимум смещен еще на 5 мин).

О предвсплесковой депрессии микроволнового излучения активной области 12371 в событии 21.06.2015 года

Петерова Н.Г.¹, Курочкин Е.А.¹, Топчило Н.А.²

¹ *СПбФ САО РАН, С.-Петербург*

² *СПб ГУ, С.-Петербург*

В исследовании солнечных вспышек одним из наиболее важных вопросов является механизм их образования, в изучении которого значительную

роль играет предвсплесковый период жизни активной области, генерирующей вспышку. Прошедший 24-й цикл солнечной активности отличался очень низким уровнем, что однако предоставляет дополнительные возможности для исследования мощных событий, особенно на предвсплесковой стадии, обеспечивая изолированность изучаемой АО. Здесь мы приводим результаты исследования АО 12371, наблюдавшейся в период максимума 24-го цикла солнечной активности (2013-2015 гг.) по микроволновым данным радиотелескопа РАТАН-600 и радиогелиографа Нобеяма NoRH, а также некоторых других инструментов. Эта АО развивалась достаточно быстро (в течение нескольких дней), возникнув вне активной долготы, имела крупномасштабную биполярную структуру и тонкую структуру в хвостовой части. В отдельных пятнах наблюдалось магнитное поле до 3 КГс, а максимальная яркостная температура по данным NoRH составляла более 1 МК. В итоге, эта АО дала приблизительно 30 вспышек, из которых 5 были классом не ниже M2.0.

О связи горизонтального градиента вертикального магнитного поля с горизонтальным электрическим током на фотосфере в модельной активной области Солнца

Нечаева А.Б.^{1,2}, Шарыкин И.Н.¹, Зимовец И.В.¹, Chen F.³

¹*Институт Космических Исследований РАН, Москва,
e-mail: nechaeva.ab@phystech.edu*

²*Московский Физико-Технический Институт (НИУ), Долгопрудный*

³*Nanjing University, Nanjing, China*

На основе данных, полученных посредством численного моделирования активной области (АО) Солнца с помощью кодов радиационной магнитогидродинамики MURAM, рассчитаны горизонтальный градиент вертикальной составляющей магнитного поля $\nabla_h B_z$ и горизонтальная составляющая плотности электрического тока j_h для участка АО, где происходила вспышка. Расчёт выполнен для трех слоев вблизи фотосферы с шагом 64 км по вертикали и 192 км по горизонтали. Установлено, что $\approx 90\%$ расчетных пикселей содержат j_h и $\nabla_h B_z$ одного порядка, однако эти величины слабо коррелируют. Коэффициент корреляции был вычислен для нескольких групп пикселей, выделенных по величине горизонтального тока и конфигурации магнитного поля. Коэффициенты корреляции для этих случаев не превышали 0.34 для нижнего слоя, и 0.54 для верхнего. Построены контуры сильных j_h и $\nabla_h B_z$, которые также слабо коррелируют. Полученный результат может указывать на то, что нужно

с осторожностью использовать горизонтальный градиент тока в качестве приближения горизонтального тока на фотосфере (в частности при развитии методов прогноза вспышек).

Дополнительно построены распределения плотности вероятности $\text{PDF}(|j_z|/|j_h|)$ в АО, которые демонстрируют, что в модельной области фотосферный горизонтальный ток в среднем в 2 раза больше вертикального. Это согласуется с оценками различных компонент токов в реальных АО Солнца [1] и указывает на необходимость дальнейшего изучения горизонтальных токов.

- [1] Fleishman G.D. and Pevtsov A.A. // Electric Currents in the Solar Atmosphere // GSM, 2018, v. 235, p. 43-65.

Prolonged Period of Polar Field Reversal in Solar Cycle 24

Asenovski S.N.

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, e-mail: asenovski@space.bas.bg

The behaviour of the large scale solar magnetic field has been studied based on the solar polarity reversal for the last solar cycles. Several authors investigate the asymmetry in the polar field reversal and unusually prolonged 24 Solar minimum [1, 2, 3]. Some authors estimate that the reversal times of north and south poles differ by almost 16 months. This period is more than 10% of the entire solar cycle. How reversal time, minimum and maximum duration vary in different cycles have been discussed here.

- [1] Pishkalo M.I. // Solar Phys., 2019, v. 10, p. 294.
[2] Janardhan P., Fujiki K., Ingale M., Bisoi S.K., Rout D. // Astronomy & Astrophysics, 2018, v 618, A148.
[3] Sun X., Hoeksema J.T., Liu Y., Zhao J. // The Astrophysical Journal, 2015, v. 798, p. 114.

Long-term variations in the correlation between solar activity and climate

***Kirov B.**¹, **Georgieva K.**²*

¹*Space Research and Technologies Institute - BAS, Sofia, Bulgaria*

²*Climate, Atmosphere and Water Research Institute - BAS,
e-mail: bkirov@space.bas.bg*

After more than 200 years of investigations, the problem of solar activity influences on weather is still controversial. A number of possible mechanisms have been proposed, however none of them explains the instability of the correlation between solar activity and different meteorological parameters. Temperature anomalies are related to atmospheric circulation—the system of atmospheric motions over the Earth on the scale of the whole globe (general atmospheric circulation), or over a certain region with its specific features (local circulation), affecting large areas and even the whole globe. Such phenomena are El Niño/Southern Oscillation (ENSO) and the North Atlantic Oscillation (NAO) determining the climatic pattern over most of the globe. We study the long term variations in the intensity of ENSO and NAO and find that they are closely connected to long-term variations in solar activity. We show that the variations in ENSO and NAO are due to the long-term changes in the intensity and location of the atmospheric centers of action.

Оглавление

<i>Абдусаматов Х.И.</i> Дисбаланс энергии между Землей и космосом диктует климат	3
<i>Абдусаматов Х.И.</i> Рост содержания водяного пара при потеплении приведет к падению чувствительности климата к увеличению концентрации углекислого газа	4
<i>Абраменко В.И., Юрчишин В.Б.</i> Сравнительный анализ магнитного поля невозмущенной фотосферы по данным GST/BBSO и HMI/SDO	5
<i>Абрамов-Максимов В.Е., Бакунина И.А.</i> Предвестники солнечных вспышек в микроволновом диапазоне	5
<i>Абрамов-Максимов В.Е., Опейкина Л.В., Мельников В.Ф., Бакунина И.А., Боровик В.Н.</i> Предвспышечные источники в микроволновом и ультрафиолетовом диапазонах	6
<i>Абрамов-Максимов В.Е., Опейкина Л.В., Боровик В.Н.</i> О характеристиках микроволновых источников, расположенных над нейтральной линией фотосферного магнитного поля	6
<i>Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Тлатов А.Г., Гайдаш С.П., Крякунова О.Н., Прямушкина И.И., Шлык Н.С.</i> Модель поведения релятивистских электронов с энергиями более 2 МэВ на геостационарной орбите	7
<i>Абунин А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Гайдаш С.П., Крякунова О.Н., Николаевский Н.Ф., Прямушкина И.И., Шлык Н.С.</i> Исследование суточного хода потока релятивистских электронов по данным GOES	7
<i>Мелкумян А.А., Абунина М.А., Белов А.В., Абунин А.А., Ерошенко Е.А., Оленева В.А., Янке В.Г.</i> Поведение скорости и температуры солнечного ветра в межпланетных возмущениях, создающих Форбуш-понижения	8
<i>Ахтемов З.С., Цап Ю.Т.</i> О зависимости магнитного поля низкоширотной корональной дыры от её площади	8
<i>Бадалян О.Г.</i> Параметры дифференциального вращения Солнца в цикле активности	9
<i>Бакунина И.А., Мельников В.Ф., Абрамов-Максимов В.Е., Моргачев А.С., Шаин А.В.</i> Особенности пространственной динамики радиояркости активных областей на Солнце перед корональными выбросами	10
<i>Березин И.А., Стрелков М.А., Шрамко А.Д., Тлатов А.Г.</i> Наблюдения солнечной активности патрульными телескопами с регистрацией полного профиля хромосферных спектральных линиях CaIIK и H-альфа	11

<u>Беспалов П.А., Савина О.Н.</u> Сильная плазменная турбулентность в бессиловых конфигурациях магнитного поля солнечной короны	12
<u>Биленко И.А.</u> Вариации солнечных магнитных полей и их влияние на КВМ и радио всплески II типа	12
<u>Бондарь Н.И., Кацова М.М., Шляпников А.А.</u> Поиск оптических всплесков у G, K, M-карликов	13
<u>Бондарь Н.И., Степанов Р.А., Кацова М.М., Соколов Д.Д., Фрик П.Г.</u> Вейвлет анализ долговременной активности V833 Tau	14
<u>Васильев Г.И.</u> Определение спектра протонов по спектрам гамма- квантов во время солнечных вспышек	15
<u>Ватагин П.В., Кудрявцев И.В.</u> Пространственно-временная дина- мика быстрых электронов и плазменной турбулентности во вспы- шечной неоднородной плазме	15
<u>Веретененко С.В.</u> Эффекты высокоэнергичных солнечных протон- ных событий 23-го солнечного цикла в вариациях интенсивности стратосферного полярного вихря	16
<u>Веретененко С.В., Огурцов М.Г., Обридко В.Н., Тлатов А.Г.</u> Дол- говременные изменения площади корональных дыр и повторяе- мость магнитных бурь с постепенным началом	17
<u>Вернова Е.С., Тясто М.И., Баранов Д.Г.</u> Неосесимметричная и осе- симметричная составляющие распределения солнечных пятен в 1874–2016 годах	18
<u>Волобуев Д.М., Макаренко Н.Г.</u> Синхронизация, Причинность и Об- ратимость в Солнечно-Земной Физике	19
<u>Вохмянин М.В., Арльт Р., Золотова Н.В.</u> Солнечная активность по данным наблюдений Сиголи, Галилея, Колонны, Колоньи и Шайнера в 1612–1614 годах	20
<u>Галикян Н.Г., Юлбарисов Р.Ф., Голубков В.С., Майоров А.Г.</u> Моде- лирование характеристик 27-дневных вариаций потоков ГКЛ	21
<u>Гетлинг А.В., Косовичев А.Г.</u> О структуре и динамике лептокллина	22
<u>Голубчина О.</u> Анализ результатов исследования наблюдений поляр- ной корональной дыры на Солнце в широком сантиметровом диа- пазоне длин волн	23
<u>Гопасюк О.С., Барановский Э.А., Таращук В.П., Штерцер Н.И.</u> По- лярные и экваториальные корональные дыры: физические условия	23
<u>Гопасюк О.С., Вольвач А.Е., Якубовская И.В.</u> Вспышка X2.2 6 сен- тября 2017 г.: временные и пространственные характеристики	24
<u>Григорьева И.Ю., Струминский А.Б.</u> Длительные вспышки, не со- провождающиеся солнечными протонными событиями	25
<u>Данилова О.А., Птицына Н.Г., Тясто М.И.</u> Взаимосвязь жестко- сти обрезания космических лучей и параметров магнитосферы во время бури 20 ноября 2003 года: явления гистерезиса	26

<i>Дергачев В.А.</i> Колебания климата в Арктическом регионе в период Голоцена и солнечная активность	27
<i>Дмитриев П.Б.</i> Вращение солнечной короны по наблюдениям радио и рентгеновского излучения Солнца на протяжении 22–24 циклов солнечной активности	28
<i>Живанович И., Соловьев А.А., Риехокайнен А., Ефремов В.И.</i> Связь кривой дифференциального вращения Солнца с гелиосейсмологией и оценка глубины ячеек суперконвекции	29
<i>Жукова А.В., Хлыстова А.И., Абраменко В.И., Соколов Д.Д.</i> Разрешение неоднозначностей при идентификации активных областей с нарушением закона полярностей Хейла	30
<i>Жукова А.В., Кашапова Л.К., Митева Р., Мешалкина Н.С., Жданов Д.А., Мяжкова И.Н.</i> О взаимосвязи событий в СКЛ и их солнечных источников с учетом магнито-морфологической классификации активных областей	31
<i>Загайнова Ю.С., Файнштейн В.Г.</i> Сравнение осцилляций магнитных характеристик тени солнечных пятен в активных областях с различными типами эруптивных событий	32
<i>Зайцев В.В., Степанов А.В., Кронштадтов П.В.</i> О возможности нагрева солнечной короны потоками тепла из корональных магнитных структур	33
<i>Ибрагимов И.А., Миненко Е.П.</i> Оценка основных параметров корональных ярких точек в рамках модели взаимодействия индуцированных токовых систем	34
<i>Иванов В.Г.</i> Связи между продолжительностью, формой и амплитудой 11-летнего цикла солнечной активности	34
<i>Илларионов Е.А., Косовичев А.Г., Тлатов А.Г.</i> Выделение корональных дыр на изображениях солнечного диска и синоптических картах методами машинного обучения	35
<i>Калинин А.А., Лямова Г.В., Никифорова Т.П., Соболев А.М., Шагабутдинов А.И., Калинина Н.Д.</i> 55 лет наблюдений сильных магнитных полей солнечных пятен по программе Служба Солнца в Коуровской обсерватории	36
<i>Калинин А.А., Калинина Н.Д.</i> О текущем минимуме солнечной активности	37
<i>Кальтман Т.И., Ступишин А.Г., Анфиногентов С.А.</i> О методике выделения джетов в однородных временных сериях изображений Солнца	37
<i>Кальтман Т.И., Накаряков В.М., Ступишин А.Г., Анфиногентов С.А., Лукичева М.В.</i> Наблюдательные параметры плазменных струй в короне Солнца и разработка методов диагностики их физических параметров	38

<i>Кацова М.М., Обридко В.Н., Соколов Д.Д., Лившиц И.М.</i> О супер- вспышках на Солнце и звёздах	39
<i>Василенко Т.А., Добнич М.М., Кириллов А.К., Мендрий Я.В.</i> Пространственно-временной анализ аварийных ситуаций в уголь- ных шахтах. Космофизические аспекты. II	40
<i>Князева И.С.</i> Байесовский подход в прогнозировании солнечных вспышек	41
<i>Королькова О.А., Соловьев А.А.</i> Трёхмерное моделирование спо- койных солнечных протуберанцев	42
<i>Костюченко И.Г.</i> Долготное распределение и скорость вращения активных областей в текущем минимуме солнечной активности	43
<i>Котов В.А.</i> Циклы Солнца и отношение Архимеда 22:7	44
<i>Крамьнин А.П., Михалкина Ф.А.</i> Активные долготы в максимумах солнечных циклов	44
<i>Кудрявцев И.В., Кальтман Т.И.</i> Спектральная диагностика ленг- мюровской турбулентности корональной плазмы на основе радио- излучения на двойной плазменной частоте	45
<i>Кудрявцев И.В.</i> О генерации ионно-звуковых волн в солнечной плаз- ме при разрыве токового слоя	45
<i>Кудрявцев И.В.</i> Климатические изменения и различные реконструк- ции солнечной активности на основе космогенных изотопов	46
<i>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А.</i> Солнечная активность и изменение климата Земли в эпоху окончания ледникового периода и перехо- да к Голоцену	47
<i>Кудрявцев И.В., Дергачев В.А.</i> Скорость генерации космогенного изотопа ^{14}C , гелиосферный модуляционный потенциал и вари- ации климата Земли в Среднем Голоцене	48
<i>Кашапова Л.К., Брумол А.-М., Ларионова А.И., Куприянова Е.Г., Мотыж И.Д.</i> Морфология усредненного профиля фазы спада солнечной вспышки по наблюдениям нижней солнечной атмосферы	49
<i>Куприянова Е.Г., Кальтман Т.И., Брумол А.-М., Мехта Т.</i> Тести- рование методов распознавания мультимодальных КПП	50
<i>Макаренко Н.Г., Князева И.С., Рыбинцев А.С.</i> Вычислительная то- пология вспышечных АО	51
<i>Мельников В.Ф., Филатов Л.В.</i> Режимы диффузии нетепловых электронов на турбулентности вистлеров во вспышечных петлях	52
<i>Мерзляков В.Л., Старкова Л.И.</i> Эволюция источника активной об- ласти фотосферы	53
<i>Мерзляков В.Л.</i> Условия возникновения нетепловых источников ак- тивной области	53
<i>Миненко Е.П.</i> Широтно-временной анализ долгопериодических ва- риаций корональных ярких точек	54

<u>Миненко Е.П., Карачик Н.В.</u> Эволюция корональных ярких точек в условиях корональной дыры	55
<u>Михальев Б.Б., Дертеев С.Б.</u> Нелинейные колебания корональных петель	55
<u>Моргачев А.С., Цап Ю.Т., Смирнова В.В., Моторина Г.Г.</u> Особенности суб-терагерцового излучения вспышечной плазмы атмосферы Солнца	56
<u>Мордвинов А.В., Кичатинов Л.Л., Голубева Е.М.</u> Развитие активности и эволюция полярных магнитных полей Солнца в циклах 21–24	57
<u>Моторина Г.Г., Флейшман Г.Д., Контарь Э.П.</u> Пространственное распределение нетепловой и тепловой энергий в холодной солнечной вспышке 5 ноября 2013 года	58
<u>Naga Varun Y.</u> Quasilinear analysis for stability of linear wave modes in a magnetic cylinder	59
<u>Naga Varun Y., Solovev A.A., Mikhalyaev B.B.</u> Observational evidence of a soliton like feature in the active region NOAA 8214 and its modeling using the nonlinear Schroedinger equation	60
<u>Нагнибеда В.Г., Топчило Н.А., Лукичева М.А., Рыжов В.С., Чобану М.И.</u> Особенности распределения радиояркости по диску Солнца на мм волнах: модели и наблюдения	60
<u>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Певцов А.А.</u> Закон Джоя и две популяции групп солнечных пятен	61
<u>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Певцов А.А.</u> Крупные долгоживущие и мелкие короткоживущие группы солнечных пятен	62
<u>Бадалян О.Г., Обридко В.Н.</u> Метод количественного описания пространственного распределения северо-южной асимметрии солнечной активности	63
<u>Обридко В.Н., Питин В.В., Соколов Д.Д., Шибалова А.С.</u> Форма солнечных циклов и промежуточный масштаб колебаний солнечной активности	64
<u>Огурцов М.Г.</u> Долговременные вариации интенсивности галактических космических лучей по данным о содержании ^{44}Tl в метеоритах	64
<u>Наговицын Ю.А., Осипова А.А., Наговицына Е.Ю.</u> Длительные ряды «образующих» индексов солнечной активности	65
<u>Парфиненко Л.Д.</u> История стратосферных и наземных наблюдений фотосферы Солнца с высоким угловым разрешением в 70-х годах XX века в Пулковской обсерватории	66
<u>Птицына Н.Г., Демина И.М.</u> Цикличность космического климата за последние 1000 лет с учетом влияния магнитного момента Земли	66

<u>Романов К.В., Романов Д.В., Романов В.А.</u> Генерация МГД-ударных волн в нижних слоях короны Солнца	67
<u>Рябов М.И., Сухарев А.Л., Событняк Л.И.</u> Об уникальности свойств 24 цикла солнечной активности	68
<u>Рябов М.И., Орлюк М.И., Событняк Л.И., Комендант В.Г., Галанин В.В.</u> О характере проявлений космической погоды в зоне Одесской магнитной аномалии	68
<u>Sokoloff D., Frick P., Stepanov R., Pipin V., Usoskin I.</u> Spectral characteristic of mid-term quasi-periodicities in sunspot data	69
<u>Solov'ev A.A., Kirichek E.A.</u> New magnetostatic solutions and dissipative evolution of magnetic structures with the force-free internal field	70
<u>Старкова Л.И.</u> Шлемовидная структура короны 2019 года как индикатор 25 солнечного цикла	71
<u>Стрекалова П.В., Смирнова В.В., Наговицын Ю.А.</u> Исследование зависимостей физических параметров факельных образований на Солнце	72
<u>Струмминский А.Б., Григорьева И.Ю., Логачев Ю.И., Садовский А.М.</u> Ускорение КВМ и солнечных энергичных частиц в нижней короне во вспышках с выраженной импульсной фазой	72
<u>Ступишин А.Г., Кальтман Т.И.</u> Перспективы численной реконструкции параметров атмосферы радиоисточника в равновесной плазме	73
<u>Ступишина О.М., Головина Е.Г.</u> Возможность оценки влияния космической погоды на циркуляцию атмосферы	74
<u>Тлатов А.Г.</u> Вариации связи индекса солнечных пятен и радиоизлучения 10,7 см на разных фазах цикла солнечной активности	75
<u>Тонев П.Т.</u> Анализ факторов возникновения электрического отклика Антарктической стратосферы на солнечное протонное событие 20-го января 2005 года	76
<u>Топчило Н.А., Андреева Т.С., Дьяков А.А., Ерофеев Д.В., Ипатов А.В., Иванов Д.В., Ильин Г.Н., Олифирова В.Г., Петерова Н.Г., Рахимов И.А., Хвостов Е.Ю.</u> Солнечное затмение 21.06.2020 г. по наблюдениям на радиотелескопах ИПА РАН (первые результаты)	77
<u>Тясто М.И., Дергачев В.А., Дмитриев П.Б.</u> Вариации циклов солнечной активности в ритмах озерных ленточных глин позднего плейстоцена	78
<u>Ульев В.А., Рогов Д.Д., Абунина А.А., Абунина М.А.</u> Новый эффект продолжительного пониженного поглощения в местные утренние часы в явлениях ПППШ	79

<i>Фёдоров В.М.</i> Анализ вариаций разной физической природы в полном потоке солнечной радиации	79
<i>Фёдоров В.М., Костин А.А., Фролов Д.М.</i> Особенности удельной энергии облучения тонких слоёв атмосферы	80
<i>Федотова А.Ю., Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Мышьяков И.И.</i> Исследование природы фонового микроволнового излучения и микровспышек в молодой АО 12635 с 8 по 9 февраля 2017 года	81
<i>Филатов Л.В., Мельников В.Ф.</i> Роль аномального эффекта Доплера при генерации турбулентности вистлеров во вспышечных петлях	82
<i>Козлова О.В., Фурсяк М.И., Алексеев И.Ю.</i> Спектральная активность быстровращающегося гиганта FK Com	83
<i>Фурсяк Ю.А., Абраменко В.И., Жукова А.В.</i> Токовые системы в активных областях разных магнито-морфологических классов в 24-м цикле солнечной активности	84
<i>Ханейчук О.В., Цап Ю.Т.</i> Об оценке потока энергии альвеновских волн в нижней атмосфере Солнца по результатам измерений доплеровских скоростей	84
<i>Халтыгын А.Ф., Моисеева А.В., Якунин И.А., Циона О.А., Валеев А.Ф.</i> Быстрые звездные пульсации и локальные магнитные поля	85
<i>Цап Ю.Т., Степанов А.В., Копылова Ю.Г.</i> Концентрация магнитного поля в короне Солнца и скрученность магнитных жгутов .	86
<i>Чариков Ю.Е., Шабалин А.Н.</i> Предвестники солнечных вспышек: наблюдения и феноменология	86
<i>Чариков Ю.Е., Склярлова Е.М., Шувалова В.И., Шабалин А.Н.</i> Структура рентгеновского излучения солнечных вспышек: миллисекундные спайки и квазипериодические пульсации	87
<i>Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е., Шувалова В.И.</i> Особенности рентгеновского излучения солнечных вспышек в модели коллапсирующих ловушек	88
<i>Шабалин А.Н., Чариков Ю.Е.</i> Кинетика ускоренных электронов и жесткое рентгеновское излучение на начальной стадии солнечной вспышки, стадии предвестника	89
<i>Шаповалов С.Н., Афанасьев А.В., Юдин Г.В.</i> Временная когерентность NUV297-330 nm и приземного атмосферного давления на ст. Новолазаревская (Антарктида)	89
<i>Шапошников В.Е., Зайцев В.В., Симонова Т.В.</i> Интерпретация гармонической структуры излучения Юпитера в дециметровом диапазоне волн	90
<i>Шаховская А.Н., Григорьева И.Ю.</i> Статистическое исследование вспышек на Солнце в мягком рентгене в 23–24 циклах	91
<i>Шибанов И.Г., Кука Ю.И.</i> Проявление внешних факторов в локальных показаниях артериального давления и пульса	92

<i>Шибяев И.Г., Кукса Ю.И.</i> Регулярные и эпизодические события по данным магнитометрического комплекса проекта «Шуман» . . .	93
<i>Юлбарисов Р.Ф., Майоров А.Г.</i> Определение характеристик 27-дневных вариаций потока космических лучей, наблюдавшихся в эксперименте РАМЕЛА с 2006 по 2016 год	94
<i>Бруевич Е.А., Якунина Г.В.</i> Солнечные вспышки в УФ и рентгеновском диапазонах по данным SDO и TIMED	95
<i>Петерова Н.Г., Курочкин Е.А., Топчило Н.А.</i> О предвсплесковой депрессии микроволнового излучения активной области 12371 в событии 21.06.2015 года	95
<i>Нечаева А.Б., Шарыкин И.Н., Зимовец И.В., Chen F.</i> О связи горизонтального градиента вертикального магнитного поля с горизонтальным электрическим током на фотосфере в модельной активной области Солнца	96
<i>Asenovski S.N.</i> Prolonged Period of Polar Field Reversal in Solar Cycle 24	97
<i>Kirov B., Georgieva K.</i> Long-term variations in the correlation between solar activity and climate	98
Оглавление	99
Список авторов	107

Список авторов

- Абдусаматов Х.И., 3, 4
Абраменко В.И., 5, 30, 84
Абрамов-Максимов В.Е., 5, 6, 10
Абунин А.А., 7, 8, 79
Абунина М.А., 7, 8, 79
Алексеев И.Ю., 83
Алтынцев А.Т., 81
Андреева Т.С., 77
Анфиногентов С.А., 37, 38
Арлт Р., 20
Афанасьев А.В., 89
Ахтемов З.С., 8
Бадалян О.Г., 9, 63
Бакунина И.А., 5, 6, 10
Баранов Д.Г., 18
Барановский Э.А., 23
Белов А.В., 7, 8
Березин И.А., 11
Беспалов П.А., 12
Биленко И.А., 12
Бондарь Н.И., 13, 14
Боровик В.Н., 6
Бруевич Е.А., 95
Брумол А.-М., 49, 50
Валеев А.Ф., 85
Василенко Т.А., 40
Васильев Г.И., 15
Ватагин П.В., 15
Веретененко С.В., 16, 17
Вернова Е.С., 18
Волобуев Д.М., 19
Вольвач А.Е., 24
Вохмянин М.В., 20
Гайдаш С.П., 7
Галанин В.В., 68
Галикян Н.Г., 21
Гетлинг А.В., 22
Головина Е.Г., 74
Голубева Е.М., 57
Голубков В.С., 21
Голубчина О., 23
Гопасюк О.С., 23, 24
Григорьева И.Ю., 25, 72, 91
Данилова О.А., 26
Демина И.М., 66
Дергачев В.А., 27, 47, 48, 78
Дертеев С.Б., 55
Дмитриев П.Б., 28, 78
Довбнич М.М., 40
Дьяков А.А., 77
Ерофеев Д.В., 77
Ерошенко Е.А., 8
Ефремов В.И., 29
Жданов Д.А., 31
Живанович И., 29
Жукова А.В., 30, 31, 84
Загайнова Ю.С., 32
Зайцев В.В., 33, 90
Зимовец И.В., 96
Золотова Н.В., 20
Ибрагимов И.А., 34
Иванов В.Г., 34
Иванов Д.В., 77
Илларионов Е.А., 35
Ильин Г.Н., 77
Ипатов А.В., 77
Калинин А.А., 36, 37
Калинина Н.Д., 36, 37
Кальтман Т.И., 37, 38, 45, 50, 73
Карачик Н.В., 55
Кацова М.М., 13, 14, 39
Кашапова Л.К., 31, 49
Кириллов А.К., 40
Киричек Е.А., 70
Кичатинов Л.Л., 57
Князева И.С., 41, 51
Козлова О.В., 83

Комендант В.Г., 68
 Контарь Э.П., 58
 Копылова Ю.Г., 86
 Королькова О.А., 42
 Косовичев А.Г., 22, 35
 Костин А.А., 80
 Костюченко И.Г., 43
 Котов В.А., 44
 Крамынин А.П., 44
 Кронштадтов П.В., 33
 Крякунова О.Н., 7
 Кудрявцев И.В., 15, 45–48
 Кукса Ю.И., 92, 93
 Куприянова Е.Г., 49, 50
 Курочкин Е.А., 95
 Ларионова А.И., 49
 Лившиц И.М., 39
 Логачев Ю.И., 72
 Лукичева М.А., 60
 Лукичева М.В., 38
 Лямова Г.В., 36
 Майоров А.Г., 21, 94
 Макаренко Н.Г., 19, 51
 Мелкумян А.А., 8
 Мельников В.Ф., 6, 10, 52, 82
 Мендрий Я.В., 40
 Мерзляков В.Л., 53
 Мехта Т., 50
 Мешалкина Н.С., 31, 81
 Миненко Е.П., 34, 54, 55
 Митева Р., 31
 Михалина Ф.А., 44
 Михальев Б.Б., 55, 59
 Моисеева А.В., 85
 Моргачев А.С., 10, 56
 Мордвинов А.В., 57
 Моторина Г.Г., 56, 58
 Мотык И.Д., 49
 Мышьяков И.И., 81
 Мягкова И.Н., 31
 Нага Варун Е., 59
 Нагнибеда В.Г., 60
 Наговицын Ю.А., 61, 62, 65, 72
 Наговицына Е.Ю., 65
 Накаряков В.М., 38
 Нечаева А.Б., 96
 Никифорова Т.П., 36
 Николаевский Н.Ф., 7
 Обридко В.Н., 17, 39, 63, 64
 Огурцов М.Г., 17, 64
 Оленева В.А., 8
 Олифинов В.Г., 77
 Опейкина Л.В., 6
 Орлюк М.И., 68
 Осипова А.А., 61, 62, 65
 Парфиненко Л.Д., 66
 Певцов А.А., 61, 62
 Петерова Н.Г., 77, 95
 Пипин В.В., 64, 69
 Прямушкина И.И., 7
 Птицына Н.Г., 26, 66
 Рахимов И.А., 77
 Риехокайнен А., 29
 Рогов Д.Д., 79
 Романов В.А., 67
 Романов Д.В., 67
 Романов К.В., 67
 Рыбинцев А.С., 51
 Рыжов В.С., 60
 Рябов М.И., 68
 Савина О.Н., 12
 Садовский А.М., 72
 Симонова Т.В., 90
 Склярова Е.М., 87
 Смирнова В.В., 56, 72
 Собитняк Л.И., 68
 Соболев А.М., 36
 Соколов Д.Д., 14, 30, 39, 64, 69
 Соловьев А.А., 29, 42, 59, 70
 Старкова Л.И., 53, 71
 Степанов А.В., 33, 86
 Степанов Р., 69
 Степанов Р.А., 14

Стрекалова П.В., 72
 Стрелков М.А., 11
 Струминский А.Б., 25, 72
 Ступишин А.Г., 37, 38, 73
 Ступишина О.М., 74
 Сухарев А.Л., 68
 Таращук В.П., 23
 Тлатов А.Г., 7, 11, 17, 35, 75
 Тонев П.Т., 76
 Топчило Н.А., 60, 77, 95
 Тясто М.И., 18, 26, 78
 Ульянов В.А., 79
 Усокин И., 69
 Файнштейн В.Г., 32
 Федотова А.Ю., 81
 Филатов Л.В., 52, 82
 Флейшман Г.Д., 58
 Фрик П.Г., 14
 Фролов Д.М., 80
 Фурсяк М.И., 83
 Фурсяк Ю.А., 84
 Фёдоров В.М., 79, 80
 Ханейчук О.В., 84
 Хвостов Е.Ю., 77
 Хлыстова А.И., 30
 Холтыгин А.Ф., 85
 Цап Ю.Т., 8, 56, 84, 86
 Циопа О.А., 85
 Чариков Ю.Е., 86–89
 Чобану М.И., 60
 Шабалин А.Н., 86–89
 Шагабутдинов А.И., 36
 Шаин А.В., 10
 Шаповалов С.Н., 89
 Шапошников В.Е., 90
 Шарькин И.Н., 96
 Шаховская А.Н., 91
 Шибаев И.Г., 92, 93
 Шибалова А.С., 64
 Шлык Н.С., 7
 Шляпников А.А., 13
 Шрамко А.Д., 11
 Штерцер Н.И., 23
 Шувалова В.И., 87, 88
 Юдин Г.В., 89
 Юлбарисов Р.Ф., 21, 94
 Юрчишин В.Б., 5
 Якубовская И.В., 24
 Якунин И.А., 85
 Якунина Г.В., 95
 Янке В.Г., 8
 Asenovski S.N., 97
 Chen F., 96
 Frick P., 69
 Georgieva K., 98
 Kirov B., 98