

ЗАГОРИЗОНТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ ИСТОЧНИКА АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ ПО ЭФФЕКТУ «ГАЛО» В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

В.И. Козлов, Крымский Г.Ф.

Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера, СО РАН,
г. Якутск, cosmoprognoz@mail.ru

АННОТАЦИЯ

Нелокальность космических лучей в окрестности фронта ударной волны, проявляется в коррелированности или фокусировке частиц в анизотропные «пучки»: эффект «гало» в космических лучах. Подобные пучки частиц являются, по сути - предвестниками ударной волны. Наиболее ярко эффект «гало» в космических лучах проявляется при выявлении источника активности выходящего или заходящего за край солнечного диска. Задачу обнаружения в реальном времени мощного залимбового источника активности на Солнце мы решаем дистанционным методом диагностики околоземного космического пространства (<http://www.forshock.ru/pred.html>) посредством созданной нами роботизированной экспертной системы Cyber-FORSHOCK на базе существующей мировой сети (высокоширотных) станций космических лучей (<http://www.nmdb.eu>).

"BEHIND HORIZON" DETECTION OF A POWERFUL SOURCE OF ACTIVITY ON THE SUN BY EFFECT "HALO" IN COSMIC RAYS

V.I. Kozlov, Krymsky G.F.

Yu. G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SD RAS,
Yakutsk, Russia, cosmoprognoz@mail.ru

ABSTRACT

Non-locality of cosmic rays, due to the fractal nature of magnetic field in the vicinity of the shock wave, is manifested in the correlation of fluctuations or focusing particles with the formation “beams” of particles: the effect "halo" in cosmic rays. Such particle beams are, in fact – predictors of a shock wave. The “halo” effect in cosmic rays is most pronounced when an activity source is detected in time for emerging or going of activity source the edge of Sun disk. Problem of detecting in real-time powerful source of activity behind edge of Sun disk we solve by distance method of diagnosing near-Earth space with use created by us robotic expert system Cyber-FORSHOCK (<http://www.forshock.ru/pred.html>) on the base of the existing world network of high-latitude cosmic ray stations: <http://www.nmdb.eu>.

ТЕЛЕФОН для связи: 8(999)8463269

ВВЕДЕНИЕ.

Первые эксперименты по ранней диагностике межпланетных ударных волн по данным наземного мониторинга космических лучей были проведены в Полярной обсерватории Тикси. Уже тогда была отмечена возможность обнаружения мощного источника активности еще на стадии его выхода на видимую часть солнечного диска. Прежде всего, имеются в виду такие уникальные события, как 3-5 августа 1972 г. и 13-15 июля 1982 г., а также событие в апреле 1984 г. С учетом важности полученных результатов, в последние годы была поставлена задача верификации не только способов анализа флуктуаций космических лучей, но и общей методологии их исследования. Известно, что эффективность любого физического исследования достигается тогда, когда метод изучения адекватен физике явления.

Все возрастающая зависимость современной цивилизации от высокотехнологичных систем жизнеобеспечения в космосе, в воздухе и на Земле делает нас, по сути, заложниками научно-технического прогресса. Основанного, в частности, на спутниковых технологиях, в первую очередь подверженных разрушающему воздействию экстремальных проявлений Космической погоды: прежде всего, «штормовых» частиц предвещающих приход на орбиту Земли вспышечной ударной волны. Ниже, предлагается подход, который в некоторой степени решает проблему заблаговременного обнаружения мощного источника активности еще до его выхода на видимую часть диска Солнца, или когда подобный источник уже скрылся за «линией горизонта».

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА В ОКРЕСТНОСТИ ФРОНТА УДАРНОЙ ВОЛНЫ.

В последнее время появились указания на то, что непредсказуемый, «катастрофический» характер экстремальных проявлений активности Солнца обусловлен возможной реализацией на Солнце состояния «самоорганизованной критичности», см. например, [1]. С другой стороны, из вероятностной теории разрушения сплошных сред (и теории надежности) известно, что обобщенная функция распределения Вейбулла-Гнеденко описывает выход системы на предельный критический режим [2] перед условной «катастрофой». Таковым можно считать, в нашем случае, переходный режим в окрестности фронта крупномасштабного возмущения солнечного ветра – ударной волны.

На языке этой вероятностной теории проблема сводится к задаче определения функции интенсивности отказов системы, выработавшей свои ресурсы. Максимум

функции интенсивности отказов, или максимум функции Риска, есть, по сути – вероятность достижения критического значения анализируемой переменной, в данном случае, интенсивности космических лучей [3-4]. Отношение плотности функции распределения Вейбулла к «функции надежности» и есть искомая вероятность (функция Риска) или параметр флуктуаций ГКЛ [5].

Далее, остается только выделить сигнал-предвестник из Гауссова шума: Гауссов шум содержится, проще говоря, в «до критической» линейной области функции Риска, а искомый сигнал-предвестник в «за критической» нелинейной. Искомая, нелинейная компонента сигнала-предвестника формируется при превышении степени (вероятности) процесса критического значения, т.е. при $P > P_{кр}$. ТЕСТИРОВАНИЕ предложенного способа на контрольном ряде, представляющего собой случайный ряд чисел показало, что значения вероятности (далее, параметр флуктуаций) лежащие ниже уровня $P \leq 0,65$ можно уверенно (на уровне значимости 90%) отнести к гауссовскому шуму.

ЗАГОРИЗОНТНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ МОЩНОГО ИСТОЧНИКА АКТИВНОСТИ НА СОЛНЦЕ ПО ЭФФЕКТУ «ГАЛО» В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Очевидно, что отождествление источника активности по космическим лучам желательно проводить при единственной и мощной активной области. Как это, например, наблюдалось нами в Полярной обсерватории Тикси в июле 1982 г. Тогда это был первый случай обнаружения предвестника от единственного и мощного источника активности, выходящего 7 июля на восточный край солнечного диска, по эффекту «гало» в космических лучах. В виду важности полученного результата, тогда же, в 1982 г. был проведен контрольный расчет по 2 разнесенным по долготе высокоширотным станциям космических лучей Тикси и Апатиты. Результаты взаимного спектрального анализа подтвердили вывод о заблаговременном обнаружении по космическим лучам мощного источника активности на Солнце, т.е. на стадии его выхода 7 июля 1982 г. на видимую часть диска Солнца. Очевидно, что подобные благоприятные условия для идентификации мощного источника активности, должны выполняться на геоэффективной фазе начала ветви спада 11-летнего цикла. В это время число пятен уже значительно меньше, чем в максимуме 11-летнего цикла, а вероятность доминирования мощной и единственной активной области еще достаточно велика.

Просто идеальные условия для надежного отождествления источника активности сложились с августа на сентябрь 2005 г., когда максимум 11-летнего цикла (2000-2001 гг.) был уже пройден. Причем, эволюцию активной области № 798 удалось проследить с

момента ее зарождения 19 августа (на, практически, чистом диске Солнца) с последующим ее проявлением в виде форбуш-понижения в интенсивности ГКЛ 24-25 августа и ее уходом 25 августа на невидимую часть диска Солнца. Примечательно, что (<http://spaceweather.com/archive.php?day=03&month=09&year=2005&view=view>) еще до следующего выхода на видимую часть диска Солнца активность указанного источника (<http://spaceweather.com/archive.php?day=06&month=09&year=2005&view=view>) только возрастала. В начале сентября наблюдались большие вспышки, сопровождаемые СМЕ. 3 сентября был зарегистрирован предвестник в космических лучах (рис. 1). Причем важно, что других потенциальных источников активности в виде активных групп пятен и корональных дыр в это время не наблюдалось. Выход источника на восточный лимб (<http://spaceweather.com/archive.php?day=08&month=09&year=2005&view=view>) Солнца 7 сентября сопровождался гигантской вспышкой класса X17. Систематическое понижение параметра флуктуаций вплоть до регистрации низких, т.е. диагностических значений 7-9 сентября (на фоне начавшегося предпонижения в интенсивности ГКЛ), завершилось предвестником 10 сентября, с последующей регистрацией большого эффекта Форбуша 11-12 сентября.

Аналогичная благоприятная ситуация сложилась также в первой половине декабря 2006 г. Действительно, начиная с третьей декады ноября 2006 г., после ухода (21 ноября) крупной, но неактивной области № 923 на невидимую с Земли часть солнечного диска, поверхность Солнца в течение недели оставалась, практически, вообще без пятен. Лишь в последнюю неделю ноября появилось две неактивных группы пятен (926 и 927). Активность в третьей декаде ноября определяли только корональные дыры, давая лишь незначительный вклад в модуляцию интенсивности ГКЛ в это время (рис. 2).

Возвращение (неактивной на предыдущем солнечном обороте) области № 923, но уже под новым номером № 930, ознаменовалось усилением активности еще до ее выхода с 4 на 5 декабря на видимую восточную часть солнечного диска, когда была зарегистрирована мощная рентгеновская вспышка класса X9. Действительно, с 2 декабря началась серия усиливающихся по мощности (до класса C) рентгеновских вспышек, которая 5-7 декабря завершилась большими и очень большими вспышками класса M и X. Монотонный характер роста усиления вспышечной активности с 2-7 декабря и сама серийность событий позволяет говорить, что источник был единым. В данном случае, это АО № 930: <http://spaceweather.com/archive.php?day=05&month=12&year=2006&view=view>. В то же время, неактивный характер области 926 по данным солнечных наблюдений,

отмечается на том же сайте по Космической погоде. О неактивном характере двух других областей (АО 927 и 928) говорилось выше.

Таким образом, событие в начале декабря 2006 г. также удовлетворяет условиям надежной идентификации источника активности. Значимый предвестник был зарегистрирован 2 декабря 2006 г., т.е. за время ≈ 2 суток до выхода мощной АО 930 на видимую часть диска Солнца с 4 на 5 декабря (рис. 2). Активная область 930 в момент ее выхода на видимую восточную часть солнечного диска с 4 на 5 декабря, уже была экстремально активной: со 2-7 декабря регистрировалась серия растущих по мощности рентгеновских вспышек класса C, M и X, сопровождавшихся штормовыми частицами космических лучей в достаточно широком интервале энергий (от 100 КэВ до 100 МэВ).

Дальнейшее развитие событий происходило следующим образом: с 7-12 декабря началось продолжительное форбуш-понижение интенсивности ГКЛ и геомагнитные бури. 10-12, и 13 декабря были зарегистрированы предвестники с последующим эффектом Форбуша 14-17 декабря с амплитудой $\approx 7\%$, сопровождавшимся мощной геомагнитной бурей ($K_p=8$). Данное усиление активности связывается с большими вспышками класса X (<http://spaceweather.com/archive.php?day=14&month=12&year=2006&view=view>), возрастанием штормовых частиц 13-15 декабря, а также наземным возрастанием СКЛ 13 декабря, т.е. частиц с энергией порядка ~ 1 ГэВ (заштрихованная область на рис. 2).

Очевидно, что наиболее благоприятные условия для отождествления залимбаового источника по космическим лучам складываются в период глубокого минимума 11-летнего цикла, т.е. при практическом отсутствии солнечных пятен на видимой части диска Солнца. Например, в 2008 г. – «самый белый» год, когда было зарегистрировано максимальное число дней в году без пятен. Важно заметить, что характер «Космического шума» в этот период явно хаотический. Очевидно, это связано с хаотической природой повышенного радиационного фона галактических космических лучей, обусловленного пониженным уровнем активности Солнца в период минимума 11-летнего цикла: зависимость корреляционной (фрактальной) размерности от размерности вложенного фазового пространства в период минимума 11-летнего цикла имеет характерную, для случайного процесса, монотонную зависимость $d(n) \sim n$ [6-7]. Единственный предвестник был зарегистрирован 1 января 2008 г. (рис. 3), при полном отсутствии солнечных пятен на диске Солнца. В предшествующие сутки 31 декабря на невидимой с Земли стороне Солнца по данным космического аппарата “Stereo-A” наблюдались две больших рентгеновских вспышки класса C8, сопровождающиеся выбросами корональной массы (<https://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=31&month=12&year=2007>). Возможным

источником этих рентгеновских вспышек могла быть гигантская активная область № 978 - единственная активная область, наблюдаемая на предыдущем солнечном обороте. Низкие значения параметра флуктуаций ГКЛ зарегистрированные 4 ноября указывают на регистрацию возмущения от серии СМЕ в космических лучах.

Для надежной идентификации источника активности было бы желательно исключить рекуррентные высокоскоростные потоки или «струи» солнечного ветра. Как это было, например, в начале сентября 2005 г. Подобный редкий случай представился также в сентябре 2011 г., когда активизация мощного источника активности (АО 1302) на невидимой с Земли стороне Солнца проходила в отсутствие корональных дыр (<http://spaceweather.com/archive.php?day=22&month=09&year=2011&view=view>). Активная область 1302 заметно проявилась в регистрации больших вспышек класса М и Х, сопровождавшихся серией СМЕ, начиная с 19 сентября и далее, по мере выхода на видимую часть диска Солнца 22 сентября. При дальнейшем ее продвижении к центральному меридиану, с 25 на 26 сентября в космических лучах был зарегистрирован эффект Форбуша (рис. 4). Вариации параметра флуктуаций ГКЛ в конце сентября и в начале октября отражают проявление «афтершоковой» активности того же источника. Предвестник в космических лучах был зарегистрирован 19 сентября, т.е. за 2-3 дня до выхода указанной активной области на восточный край диска Солнца. И в данном случае, низкое, т.е. диагностическое значение 26 сентября является маркером эффекта Форбуша в интенсивности ГКЛ. Это подтверждается результатами моделирования, проведенного в Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах США, Stereo-A и Stereo-B (Приложение 1): мощная ударная волна от выброса корональной массы (СМЕ) регистрируется на орбите Земли также 26 сентября (Земля показана справа от диска Солнца в центре, желтым кружком на горизонтальной оси).

Не менее благоприятные условия для идентификации источника активности сложились в начале марта 2012 года. Единственное и неактивное солнечное пятно вблизи центрального меридиана, средние значения скорости солнечного ветра и значения геомагнитного индекса $K_p=4$ указывали на слабо возмущенные условия в солнечном ветре. С другой стороны, АО 1429 уже была активной, когда 3 марта она появилась (<http://spaceweather.com/archive.php?day=03&month=03&year=2012&view=view>) на восточном краю диска Солнца. Активизация источника началась в начале месяца: 2 марта 2012 г. была зарегистрирована большая залимбовая вспышка класса М3, сопровождающаяся корональным выбросом – СМЕ. В космических лучах это проявилось в регистрации предвестника 1-2 марта 2012 г. (рис. 5), а с 3-8 марта регистрировались уже

низкие, т.е. диагностические значения параметра флуктуаций ГКЛ с гигантским эффектом Форбуша 7-9 марта. Чередование высоких и низких значений параметра флуктуаций (с 3-8 марта) отражает вариации степени неоднородности ММП. В это время регистрировались большие вспышки (класса M2 и X5) сопровождавшиеся серией СМЕ (<http://spaceweather.com/archive.php?day=07&month=03&year=2012&view=view>).

Продолжающаяся активность того же источника 9-10 марта 2012 г. (<http://spaceweather.com/archive.php?day=09&month=03&year=2012&view=view>) явилась причиной резкого (повторного) понижения в интенсивности ГКЛ с 11 на 12 марта 2012 г., что согласуется с низким диагностическим значением параметра флуктуаций ГКЛ 11-12 марта (рис. 4). Это подтверждается результатами моделирования, проведенного в Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах США, Stereo-A и Stereo-B (Приложение 2). Ударная волна от СМЕ регистрируется на орбите Земли, которая показана желтым кружком на горизонтальной оси справа от диска Солнца, также с 11 на 12 марта 2012 г., т.е. низкое диагностическое значение параметра флуктуаций ГКЛ действительно является маркером прихода ударной волны на орбиту Земли. Предвестник данного повторного понижения интенсивности ГКЛ с 11 на 12 марта был зарегистрирован 10-11 марта (рис. 5).

Область 1429 оставалась активной и в момент ее выхода 15 марта на западный край диска Солнца. Предвестник был зарегистрирован 14 марта (рис. 5). И только местоположение активной области на (западном) краю солнечного диска не позволило ей должным образом проявиться в интенсивности ГКЛ. Предвестник 14 марта, в данном случае сыграл роль маркера небольшого понижения в интенсивности ГКЛ 15 марта, сопровождавшегося резким спадом параметра флуктуаций с 14 на 15 марта (рис. 4). Данное понижение обусловлено приходом на орбиту Земли ударной волны от СМЕ из АО 1429, практически, уже зашедшей за западный лимб Солнца: изображение АО «в фас» сменилось <http://spaceweather.com/archive.php?day=15&month=03&year=2012&view=view> изображением «в профиль». Несмотря на то, что воздействие от сильной ударной волны было касательным, регистрация на Земле ударной волны сопровождалась геомагнитной бурей с величиной $K_p=6$. Наличие подобного маркера-предвестника с 22 на 23 марта (рис. 5) позволяет утверждать о сохранении активности и на «обратной» стороне Солнца. Действительно, только с 23 по 26 марта было зарегистрировано не менее 4-х мощных (<http://spaceweather.com/archive.php?day=24&month=03&year=2012&view=view>) СМЕ.

Повторное обнаружение того же мощного источника активности из АО 1429 в космических лучах за восточным краем солнечного диска (Приложение 3) проявилось в

регистрации предвестника через один оборот Солнца 27 марта (рис. 5). В период с 24-27 марта на видимой части солнечного диска не было зарегистрировано ни активных групп пятен, ни больших солнечных вспышек, ни активных корональных дыр. И, наоборот, перед выходом АО 1429 на видимую часть солнечного диска 26 марта было (<http://spaceweather.com/archive.php?day=27&month=03&year=2012&view=view>) зарегистрировано очередное мощное, 11-е по счету СМЕ. В данном случае, роль маркера того же источника активности из АО 1429 (перед его выходом на видимую часть солнечного диска) сыграли высокие значимые значения параметра флуктуаций ГКЛ в виде предвестника от 27 марта.

Наиболее интересный случай обнаружения залимбового источника активности по космическим лучам за западным краем солнечного диска, имел место в третьей декаде июля того же 2012 года. Предыстория развития данного, своего рода - уникального события, такова: начиная со второй декады июля 2012 г., на видимой части солнечного диска доминировала мощная активная область 1520. Отсутствовали и корональные дыры, как потенциальные источники проявлений солнечной активности. Первое понижение со своим предвестником от 3.07.2012 г., было обусловлено (<https://spaceweather.com/archive.php?day=02&month=07&year=2012&view=view>) прохождением центрального меридиана Солнца активной области 1515, сопровождавшимся большими вспышками класса М3-М5. Второе форбуш-понижение с 7 на 8 июля, явилось следствием вспышечной активности (класс М6) той же области 1515 (<https://spaceweather.com/archive.php?day=05&month=07&year=2012&view=view>), сопровождавшейся серией выбросов корональной массы СМЕ. Предвестник был зарегистрирован с 5-7 июля (рис. 6). И в этом случае, низкие диагностические значения параметра флуктуаций с 7 на 8 июля являются маркерами регистрации прихода ударных волн на орбиту Земли (Приложение 4).

Выход новой активной области 1520 и ее последующее продвижение к центральному меридиану сопровождался большими вспышками класса М и X: <https://spaceweather.com/archive.php?day=12&month=07&year=2012&view=view>. Предвестник в космических лучах был зарегистрирован 12 июля 2012 (рис. 6). Эффект Форбуша в интенсивности ГКЛ начался с 14 июля. На что указывают низкое, т.е. диагностическое значение параметра флуктуаций ГКЛ 14 июля, которое играет роль маркера прихода ударной волны на орбиту Земли (рис. 6). Это в очередной раз подтверждается результатами моделирования, проведенного в Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B (Приложение 5):

ударная волна от СМЕ вблизи центрального меридиана регистрируется на орбите Земли также 14 июля 2012 г.

Низкие значения параметра флуктуаций 18-20 июля отражают факт регистрации затянутого понижения в интенсивности ГКЛ, обусловленного прохождением орбиты Земли нескольких замедленных (“slow explosion”) выбросов корональной массы Солнца (<http://spaceweather.com/archive.php?day=18&month=07&year=2012&view=view>). И в этом случае низкое диагностическое значение параметра флуктуаций с 19 на 20 июля сыграло роль маркера небольшого понижения в интенсивности ГКЛ – с 19 на 20 июля (рис. 6). Это подтверждается и результатами моделирования по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B: ударная волна от «замедленных» СМЕ на орбите Земли регистрируется также с 19 на 20 июля (Приложение 6). Небольшая величина понижения в интенсивности ГКЛ обусловлена тем, что источник активности находился уже далеко от центрального меридиана. Точнее, вблизи западного края солнечного диска, в результате чего Земля оказалась в зоне лишь касательного воздействия ударной волны (от серии «замедленных» СМЕ).

Так случилось, что наиболее экстремальные проявления активности Солнца наблюдались в начале третьей декады июля 2012 г. В это время активная область № 1520 уже скрылась за западный край солнечного диска. Тем не менее, в космических лучах она все же проявилась в виде предвестников в параметре флуктуаций ГКЛ - 20 и 22 июля (рис. 6). Активных групп пятен с большими вспышками и геоэффективных корональных дыр на видимой части солнечного диска 21-22 июля зарегистрировано не было. Следовательно, мы имеем дело с проявлением нелокальных свойств космических лучей от мощного залимбового источника активности, который на момент регистрации предвестника 20 июля уже определенно скрылся за западный край солнечного диска: (<http://spaceweather.com/archive.php?view=1&day=19&month=07&year=2012>). Регистрация через сутки второго предвестника 22 июля означает заблаговременное обнаружение (<http://spaceweather.com/archive.php?day=23&month=07&year=2012&view=view>) повторного мощного выброса СМЕ. Это следует и по данным моделирования в Goddard Space Weather Lab (Приложение 7). Так в параметре флуктуаций ГКЛ был зарегистрирован предвестник самой мощной ударной волны, и не только в текущем 24 цикле! Согласно известной диаграмме встречаемости скоростей в солнечном ветре, подобные экстремальные ударные волны со скоростями от ≈ 3000 км/с и выше, очень редкое событие (Extremely Rare events). Регистрация двух предвестников 20 и 22 июля означает, что в указанный период имела место регистрация, как минимум, пары мощных

СМЕ с интервалом 1-2 суток, с последующим «слиянием» пары ударных волн в одну мощную ударную волну: уникальное, по своим характеристикам, событие 23-24 июля 2012 г. (Приложение 8).

Действительно, по мнению ряда авторов, уникальное событие 23-24 июля 2012 г. относится к уровню супершторма, подобно известному «событию Кэррингтона» 1859 г. [8]. Таким образом, в 21 веке нашей цивилизации повезло, как минимум, дважды. В начале ноября 2003, когда гигантская вспышка от 4 ноября класса X28 произошла, фактически, сразу после пересечения активной областью западного края солнечного диска и в начале третьей декады июля 2012 г., когда очередная активизация источника из активной области 1520 случилась уже на невидимой с Земли стороне Солнца. Но поскольку уповать на подобное «везение», по меньшей мере, наивно, сама возможность осуществления прогноза, точнее, заблаговременного обнаружения экстремальных, в том числе, залимбовых событий Космической погоды по эффекту «гало» в космических лучах представляется весьма своевременной.

Вероятность наступления «залимбовых» событий должно быть больше в максимуме солнечного цикла. Это и наблюдалось в феврале и в августе-сентябре 2014 г. 25 февраля 2014 г. выход активной области № 1990 сопровождался мощной вспышкой класса [\(<https://spaceweather.com/archive.php?day=25&month=02&year=2014&view=view>\)](https://spaceweather.com/archive.php?day=25&month=02&year=2014&view=view) X5 и серией выбросов корональной массы СМЕ. Причем, АО 1990 была достаточно активной [\(<https://spaceweather.com/archive.php?day=25&month=02&year=2014&view=view>\)](https://spaceweather.com/archive.php?day=25&month=02&year=2014&view=view) за 3 дня до ее выхода на видимую часть солнечного диска. Корональные дыры, как потенциальные источники возмущений солнечного ветра в этот период отсутствовали. «Залимбовая» активность указанного источника проявилась в регистрации предвестников 22 февраля 2014 (рис. 7), с последующим эффектом Форбуша с амплитудой $\approx 5\%$ и Dst-вариацией до -100 нТ, 27-28 февраля. Низкие, диагностические значения параметра флуктуаций с 27 на 28 февраля являются маркером регистрации ударной волны на орбите Земли в это время.

Не менее интересные события наблюдались в августе 2014 г. 15 августа был зарегистрирован эффект «исчезновения солнечного волокна», сопровождавшийся [\(<https://spaceweather.com/archive.php?day=16&month=08&year=2014&view=view>\)](https://spaceweather.com/archive.php?day=16&month=08&year=2014&view=view) выбросом СМЕ, приход которого на орбиту Земли ожидался в поздние часы 18 августа. Действительно, резкое и низкое диагностическое значение параметра флуктуаций ГКЛ 18-19 августа это подтверждает. Корональных дыр, и активных солнечных пятен, как потенциальных источников возмущений солнечного ветра, в этот период не наблюдалось.

21 августа был зарегистрирован предвестник в космических лучах (рис. 8). Источником (<https://spaceweather.com/archive.php?day=22&month=08&year=2014&view=view>) больших вспышек класса М оказалась залимбовая АО № 2149, находящаяся 21 августа за восточным краем диска Солнца. На видимую часть солнечного диска АО 2149 вышла на следующий день 22 августа. Прохождение активной области до центрального меридиана Солнца, сопровождалось большими вспышками класса М3 и М5. Момент пересечения АО центрального меридиана проявился в регистрации низкого диагностического значения параметра флуктуаций ГКЛ, являющимся маркером прихода ударной волны на орбиту Земли.

Весьма важным, является вопрос о величине заблаговременности обнаружения источника активности на Солнце по эффекту «гало» в космических лучах. Ответ на него связан, очевидно, с потенциальной мощностью, пока (или уже) невидимого с Земли источника активности. В этом плане, интересно рассмотреть результаты мониторинга космических лучей в конце августа и начале сентября 2014 г. В конце августа, потенциально значимых активных областей на Солнце замечено не было. На момент регистрации предвестника 30-го августа (рис. 9) на видимой части солнечного диска активных источников также не наблюдалось. Однако 1 сентября по данным Космического аппарата “Stereo-B” за северо-восточной частью лимба Солнца была обнаружена мощная вспышка в крайней ультрафиолетовой области спектра. Класс этой (<https://spaceweather.com/archive.php?day=02&month=09&year=2014&view=view>) вспышки определить, к сожалению, не удалось, по причине отсутствия на КА “Stereo-A” и “Stereo-B”, рентгеновских датчиков. Тем не менее, на месте этой вспышки был зарегистрирован мощный выброс корональной плазмы СМЕ, с экстремально высокой скоростью ≈ 2000 км/с. Активные области под номерами №№ 2155-2156 и №№ 2157-2158 на видимую часть солнечного диска вышли через 3-4 дня: 4-5 сентября. И только потому, что воздействие на Землю было касательным, форбуш-понижение 5-6 сентября в интенсивности ГКЛ, как и следовало ожидать, было небольшим. Последующие предвестники 7-10 сентября предшествовали эффекту Форбуша 11-13 сентября (рис. 9), который обусловлен серией СМЕ от мощных вспышек класса М и Х зарегистрированных 9-10 сентября.

Очевидно, что по аналогии с событиями в третьей декаде июля 2012 г., источником большинства экстремальных событий может оказаться кумулятивный эффект, как минимум, от пары взаимодействующих СМЕ. Подтверждением может служить и самая мощная магнитная буря в текущем 24 цикле 17-18 марта 2015 г. (http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/201503/index.html). Ее источник был единственным – это активная

область <http://spaceweather.com/archive.php?day=05&month=03&year=2015&view=view> №2297. Она была источником больших вспышек и серии СМЕ. Причем, еще до ее выхода (<http://spaceweather.com/archive.php?day=06&month=03&year=2015&view=view>) 7 марта на видимую часть солнечного диска: 5 марта – вспышка класса М1, 6 марта - М3 и 7 марта – М9. Повышенная активность источника сохранялась, как в момент выхода, так и далее (<http://spaceweather.com/archive.php?day=11&month=03&year=2015&view=view>), по мере прохождения его по диску Солнца с 9-16 марта. Предвестники в параметре флуктуаций космических лучей были зарегистрированы 2-3 марта (рис. 10), т.е. за те же 3-4 сут. до выхода мощной активной области 2297 на видимую часть солнечного диска 7 марта. В итоге, можно сделать вывод о величине заблаговременности τ «загоризонтного» обнаружения мощного источника активности равной $\tau=3(\pm 1)$ сут. В течение последующей недели, с 9-16 марта вспышки класса от М1-М5, сопровождавшиеся серией СМЕ регистрировались, практически, ежедневно, а 11 марта была зарегистрирована вспышка класса Х2. Предвестники в космических лучах 12 и 14-15 марта предшествовали большому эффекту Форбуша и супер - буре 16-18 марта 2015 г. (рис. 10).

Достаточно неожиданные случаи загоризонтного обнаружения источника активности представились относительно недавно, в июльских и сентябрьских событиях 2017 г. Особенность данного периода в том, что указанный период относится к началу фазы минимума 24 цикла. С 11-14 июля центральный меридиан Солнца пересекала гигантская и единственная активная область № 2665. 13-15 июля были зарегистрированы (<https://spaceweather.com/archive.php?day=14&month=07&year=2017&view=view>) большие рентгеновские вспышки класса С5, С6 и М2, сопровождавшиеся СМЕ. С 14 на 15 июля был зарегистрирован предвестник в космических лучах с последующим эффектом Форбуша 16 июля (рис. 11). С 18 на 19 июля АО 2665 скрылась за лимбом Солнца. Когда указанная активная область была уже на невидимой с Земли стороне Солнца, 20 и 23 июля наблюдалась серия выбросов СМЕ. 21 июля в космических лучах был зарегистрирован предвестник (рис. 11). Поскольку источник активности находился уже за краем солнечного диска, явно выраженного понижения интенсивности ГКЛ не наблюдалось. Напротив, в параметре флуктуаций ГКЛ задний фронт ударной волны от залимбового события 20 июля проявился в виде достаточно резкого понижения параметра флуктуаций 22-25 июля.

Конец августа того же 2017 г., завершился прохождением рекуррентной «струи» (<http://spaceweather.com/archive.php?day=31&month=08&year=2017&view=view>) солнечного ветра, представляющую собой сложную коротирующую область

взаимодействия разно-скоростных потоков. На это указывает регистрация предвестника с 30 на 31 августа. 2-3 сентября 2017 был зарегистрирован значимый предвестник (рис. 12) который, очевидно, связан с буквально «взрывным» (в течение 24 часов) ростом активности источника № 2673. Впоследствии, эта активная область явилась источником двух мощных рентгеновских вспышек класса X9 от 06.09.2017 и X8 от 10.09.2017. Причем, вторая мощная рентгеновская вспышка произошла на невидимой с Земли (<http://spaceweather.com/archive.php?day=10&month=09&year=2017&view=view>) части солнечного диска, находясь 10.09.2017 уже за «линией горизонта». Значимый предвестник проявления этого события в космических лучах был зарегистрирован 9-10 сентября (рис. 12). При этом, значимое снижение параметра флуктуаций с 13 на 14 сентября соответствует времени прохождения орбиты Земли заднего фронта ударной волны от коронального выброса СМЕ. Это подтверждается результатами, представленными в [9], по данным измерений на космическом аппарате Stereo-B (Приложение 9).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

И в заключение, следует отметить следующее обстоятельство: для обнаружения невидимого с Земли источника активности на Солнце США осуществили запуск на специальную орбиту два весьма дорогостоящих космических аппарата Stereo-A и Stereo-B. Ту же самую задачу загоризонтного обнаружения мощного источника активности за лимбом Солнца в режиме реального времени, мы решаем дистанционным методом диагностики околоземного космического пространства, посредством созданной нами роботизированной экспертной системой Cyber-FORSHOCK на базе уже существующей мировой сети (высокоширотных) станций космических лучей [1]. В нашем случае, планета Земля, вместе с работающими на прием космической радиации высокоширотными станциями (порядка ~10), представляет собой единый «прибор»!

ВЫВОДЫ:

1. Нелокальность космических лучей в окрестности межпланетной ударной волны проявляется в кластеризации фазового объема космических лучей, т.е. в регистрации коррелированных флуктуаций в виде пучков частиц: эффект «гало» в космических лучах на ударной волне. Наиболее ярко эффект «гало» проявляется в случае загоризонтного обнаружения мощного источника активности за лимбом Солнца.
2. Предложен способ заблаговременного обнаружения межпланетных ударных волн с заблаговременностью порядка ~1 сут. на базе супермониторинга космических лучей по данным мировой сети (высокоширотных) станций: <http://www.nmdb.eu>. Способ реализован в виде роботизированной экспертной системы «Cyber-FORSHOCK»

(<http://www.forshock.ru/pred.html>), с вероятностью прогноза геоэффективных событий Космической погоды $\approx 80\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов В.И., Козлов В.В. АРИТМИЯ СОЛНЦА. В космических лучах. Якутск: изд-во ФГБУН ИМЗ СО РАН. ИКФИА СО РАН. 214 с. 2019.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин И.Д. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных. М.: изд-во Финансы и статистика. 313 с. 1983.
3. Козлов В.И., Крымский П.Ф. Физические основания прогноза катастрофических явлений. Якутск. ЯНЦ СО РАН – ИКФИА. 164 с. 1993.
4. Козлов В.И., Козлов В.В. «Аномальная» активность Солнца в «слабых» циклах 20 и 23 как проявление инварианта 11-летнего цикла // Солнечно-земная физика. 2008 г. Вып. 12. Т. 1. С. 32-33.
5. Козлов В.И., Козлов В.В. Параметр флуктуаций галактических космических лучей – индикатор степени неоднородности магнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 51. № 2. С. 191-201. 2011.
6. Козлов В.И. Масштабная инвариантность динамики флуктуаций космических лучей на геоэффективных фазах солнечного цикла // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 39. № 1. С. 95-99. 1999а.
7. Козлов В.И. Оценка скейлинговых свойств динамики флуктуаций космических лучей в цикле солнечной активности // Геомагнетизм и аэрономии. Т. 39. № 1. С. 100-104. 1999б.
8. Baker D.N. et al. A major solar eruptive event in July 2012: defining extreme space weather scenarios // Space Weather. Vol. 11, P. 585-591 (<https://doi:10.1002/swe.20097>). 2013.
9. Schwadron N.A., Rahmanifard F., Wilson J. et al. Update on the Worsening Particle Radiation Environment Observed by CRaTER and Implication for Future Human Deep – Space Exploration. First published: 22 February 2018 (<https://doi.org/10.1002/2017SW001803>).

В заключение, авторы выражают глубокую благодарность Вячеславу Валерьевичу Козлову за разработку, создание и программное сопровождение роботизированной экспертной системы прогноза и диагностики геоэффективных событий Космической погоды в режиме реального времени Cyber-FORSHOCK (<http://www.forshock.ru/pred.html>), по 5-мин. данным Европейской БД космических лучей.

Авторы выражают также искреннюю признательность и благодарность Илье Усоскину, Университет г. Оулу, геофизическая обсерватория Соданкила (Финляндия, <http://cosmicrays oulu.fi/>) за любезно предоставленные кондиционные 5 минутные данные измерений нейтронного монитора ст. Оулу за длительный период времени.

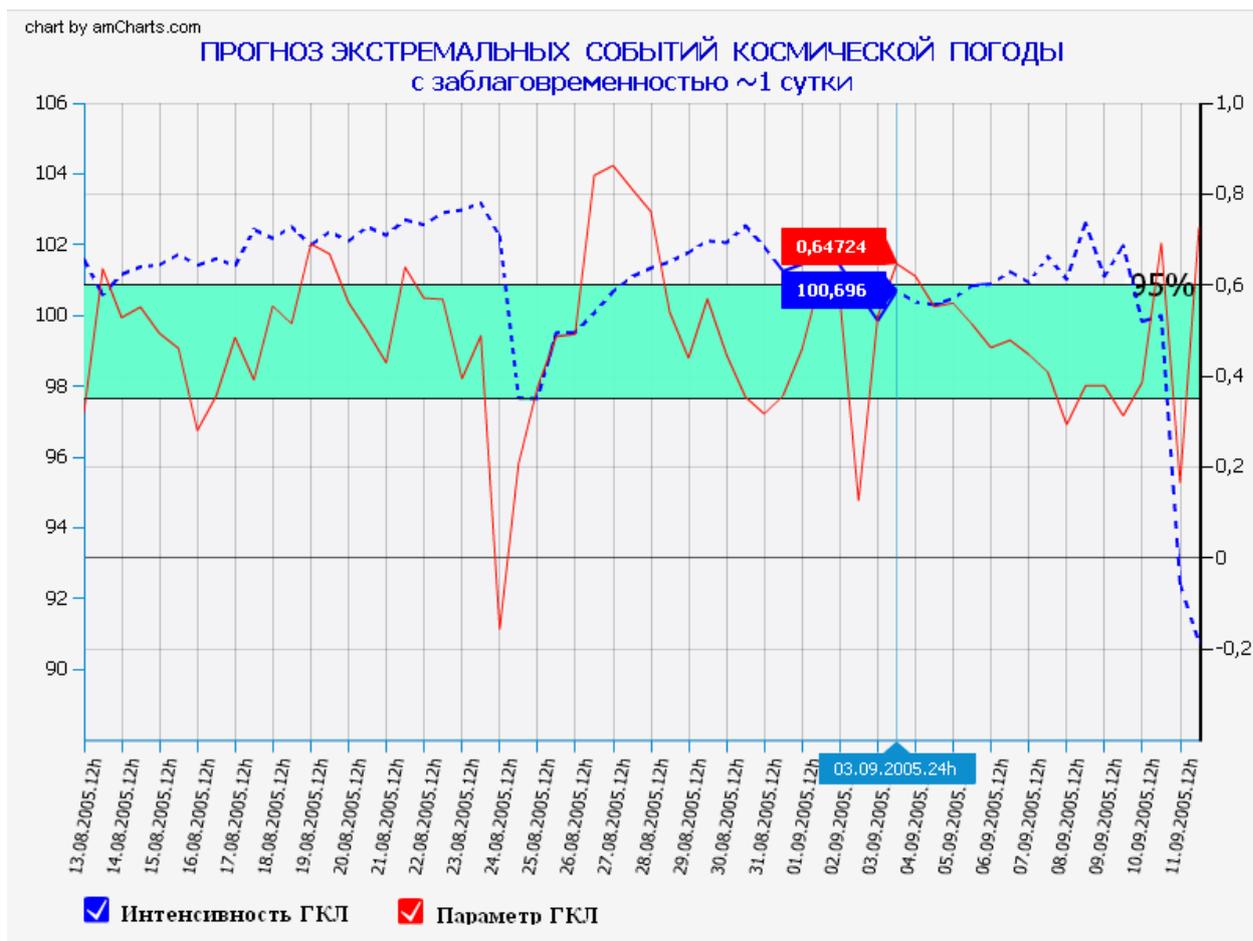


Рис. 1. Результаты расчета параметра флуктуаций в августе–сентябре 2005 г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

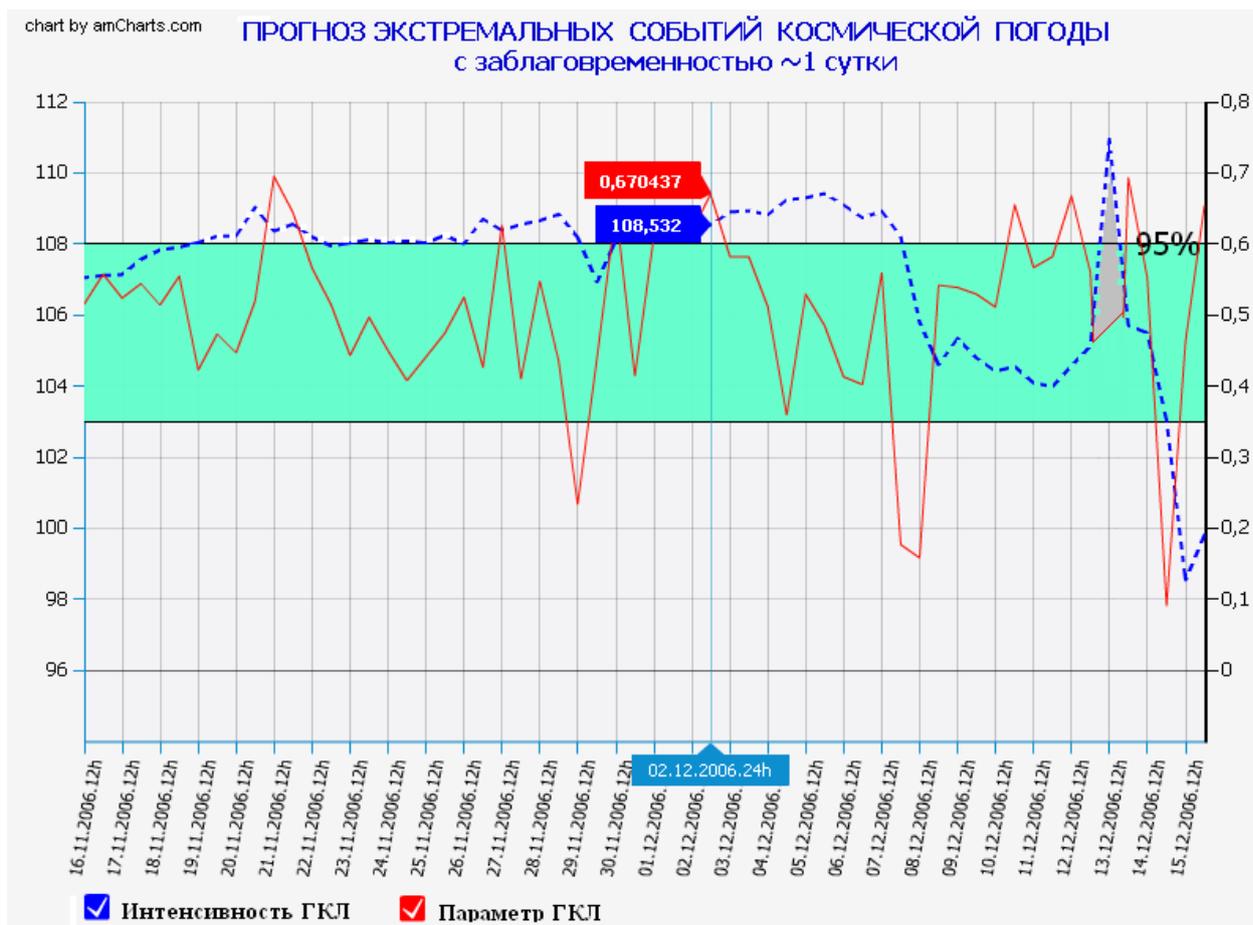


Рис. 2. Результаты расчета параметра флуктуаций в **ноябре-декабре 2006 г.** по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

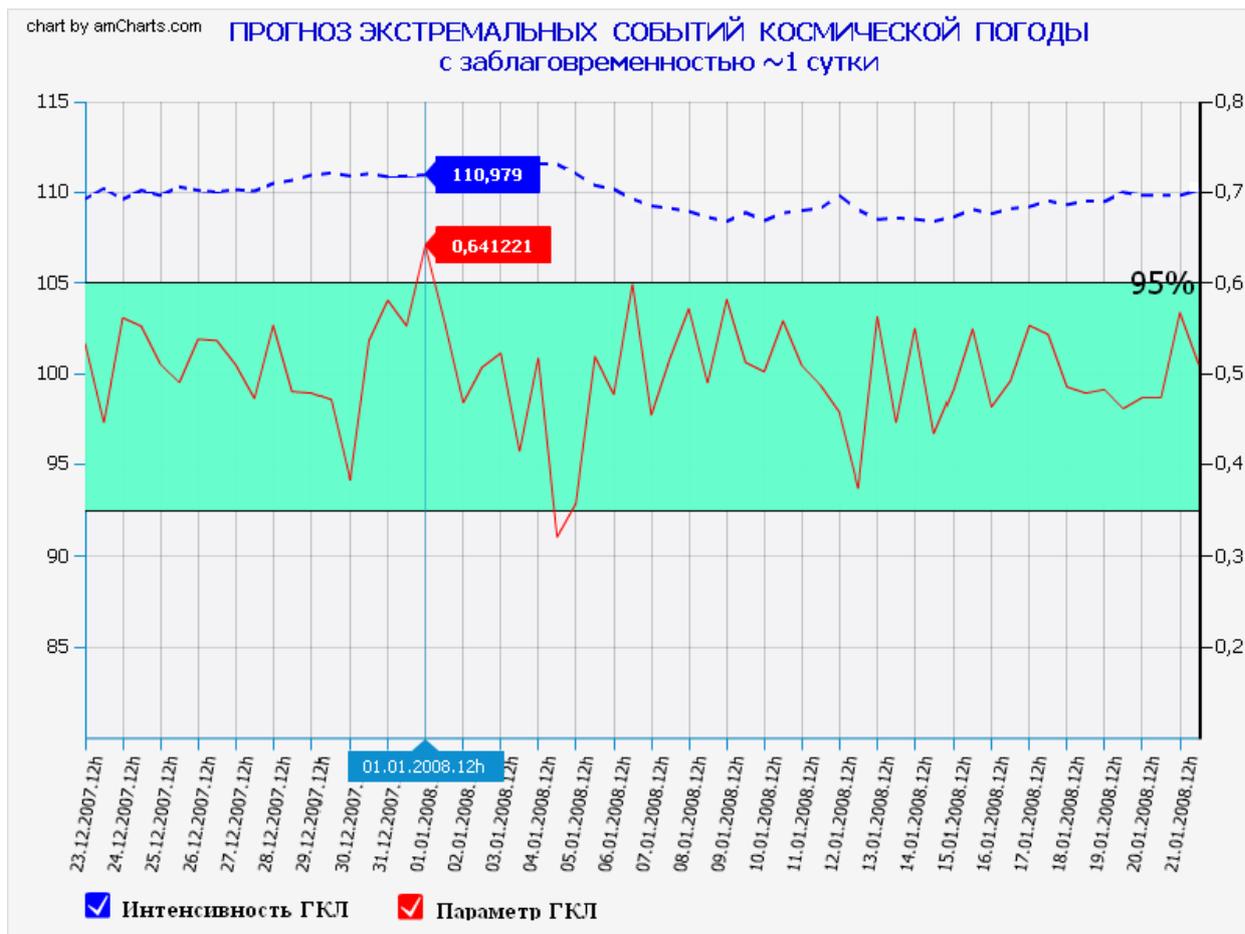


Рис. 3. Результаты расчета параметра флуктуаций в **декабре-январе 2008 г.** по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

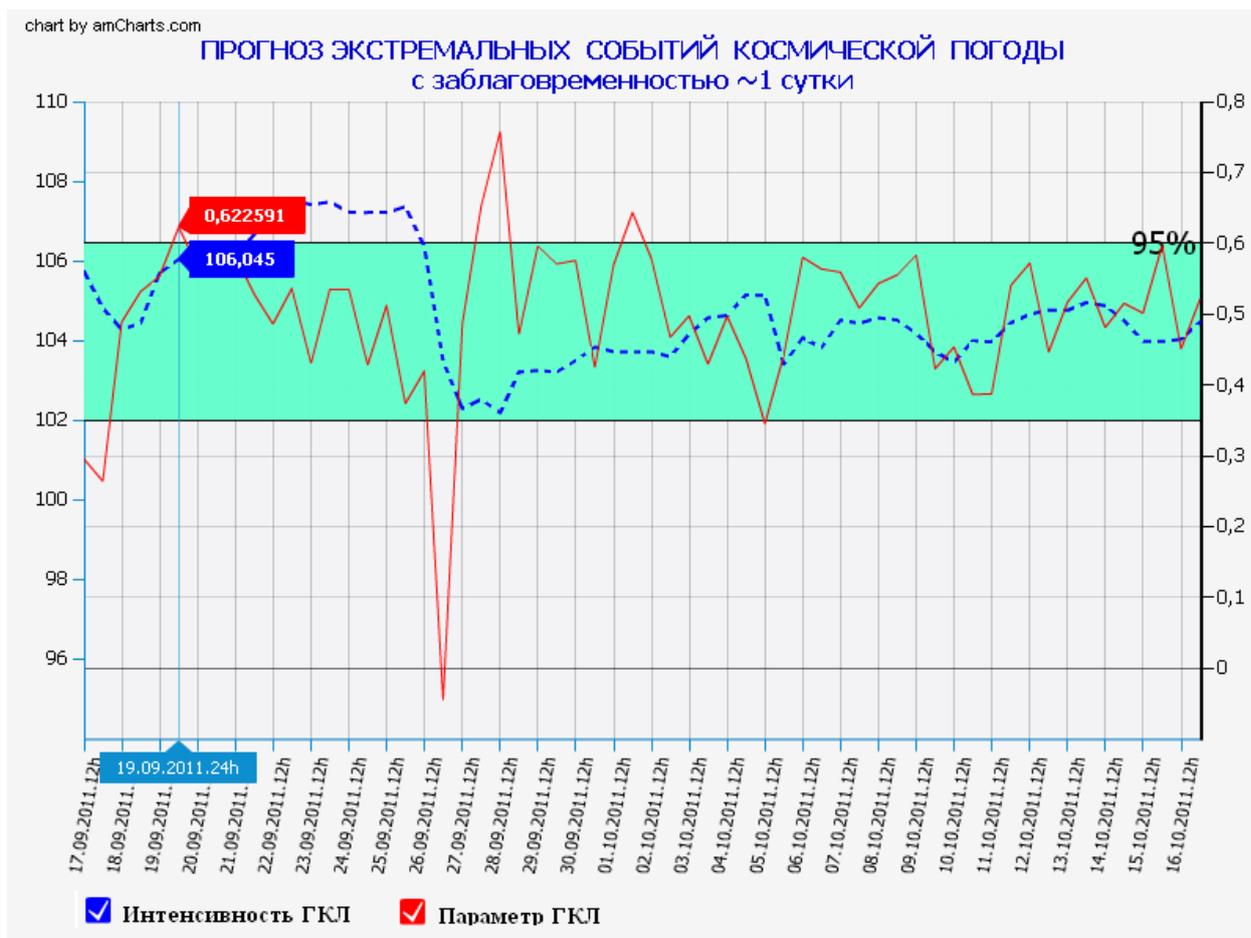


Рис. 4. Результаты расчета параметра флуктуаций в **сентябре-октябре 2011 г.** по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день – час.

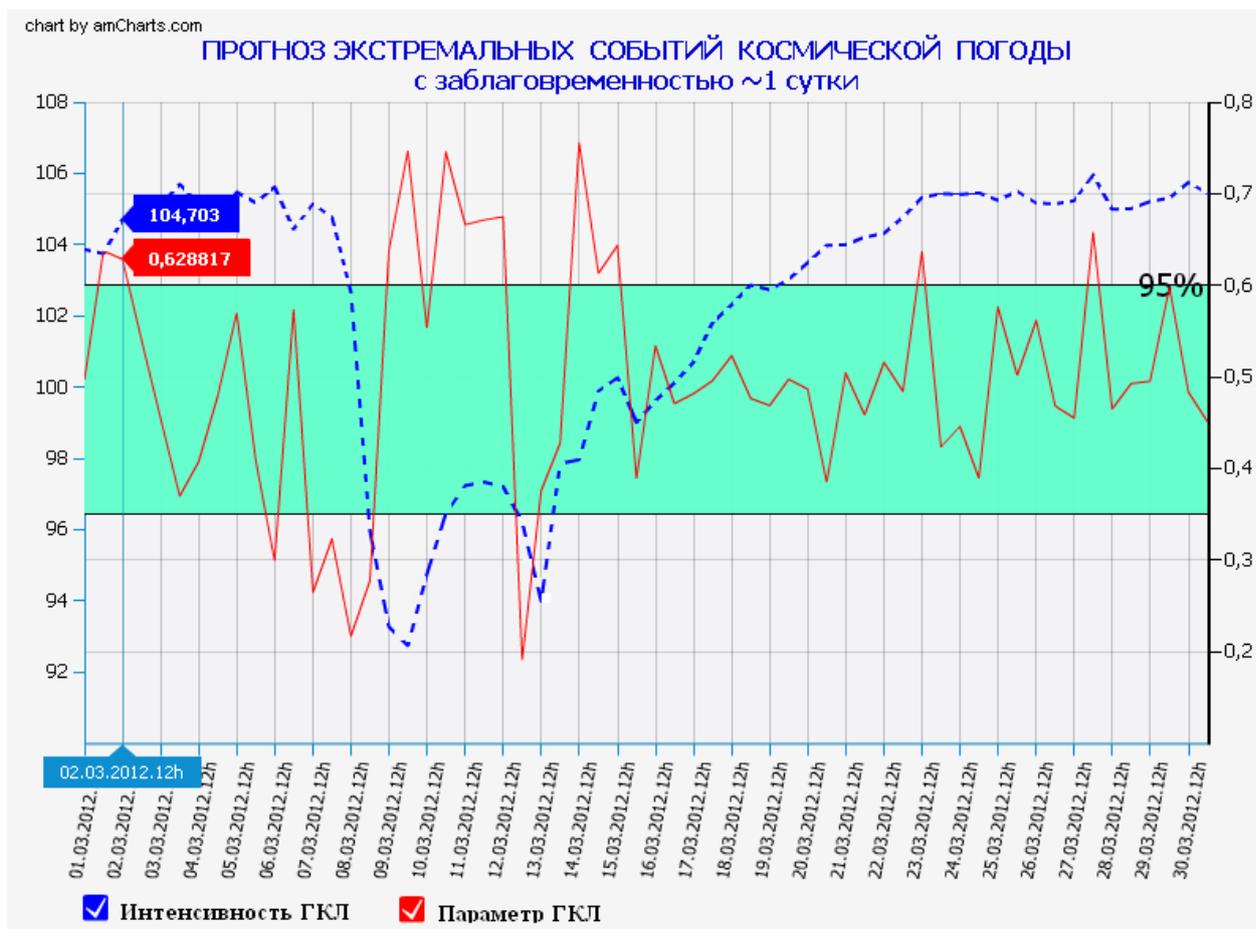


Рис. 5. Результаты расчета параметра флуктуаций в **марте 2012 г.** по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

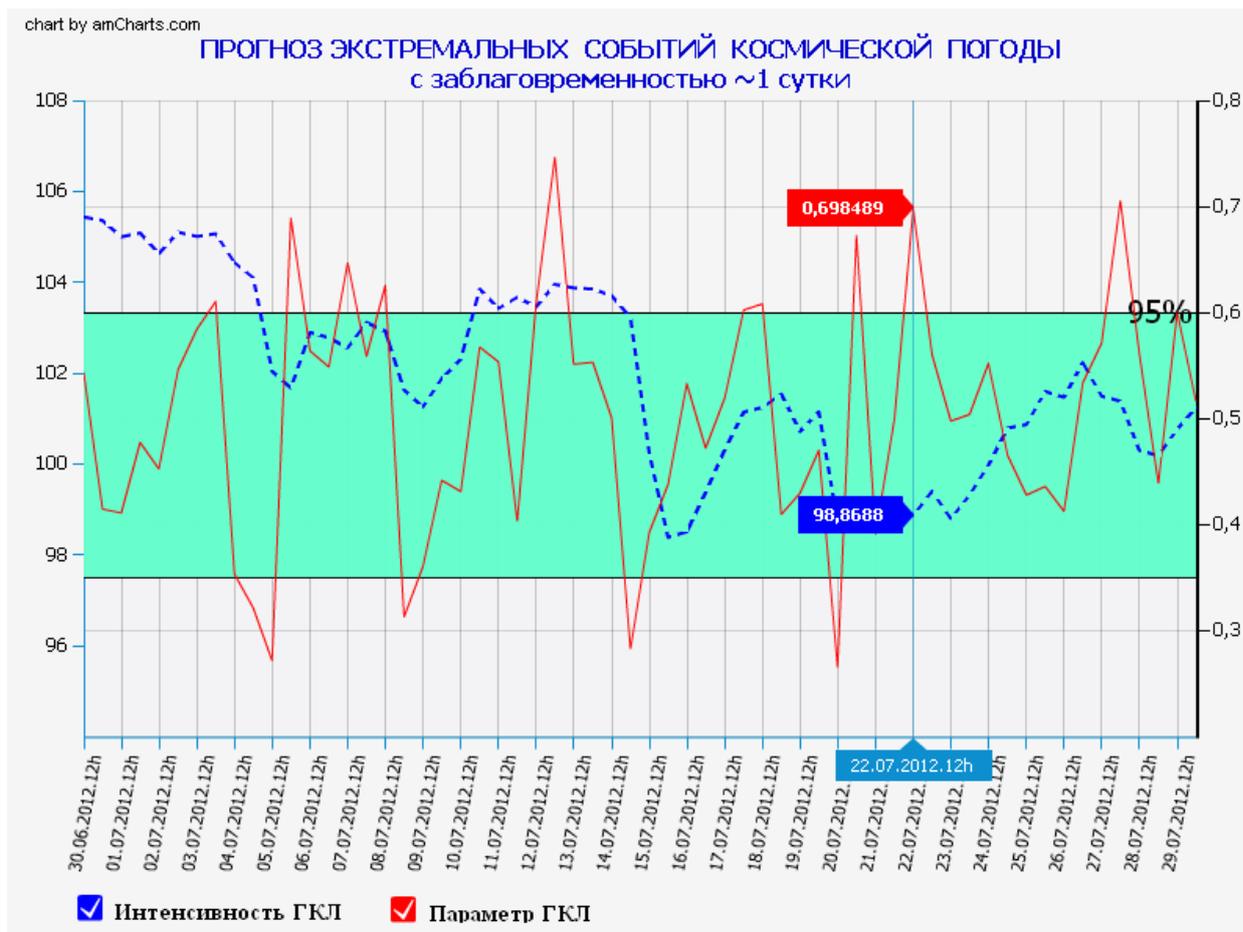


Рис. 6. Результаты расчета параметра флуктуаций в июле 2012 г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

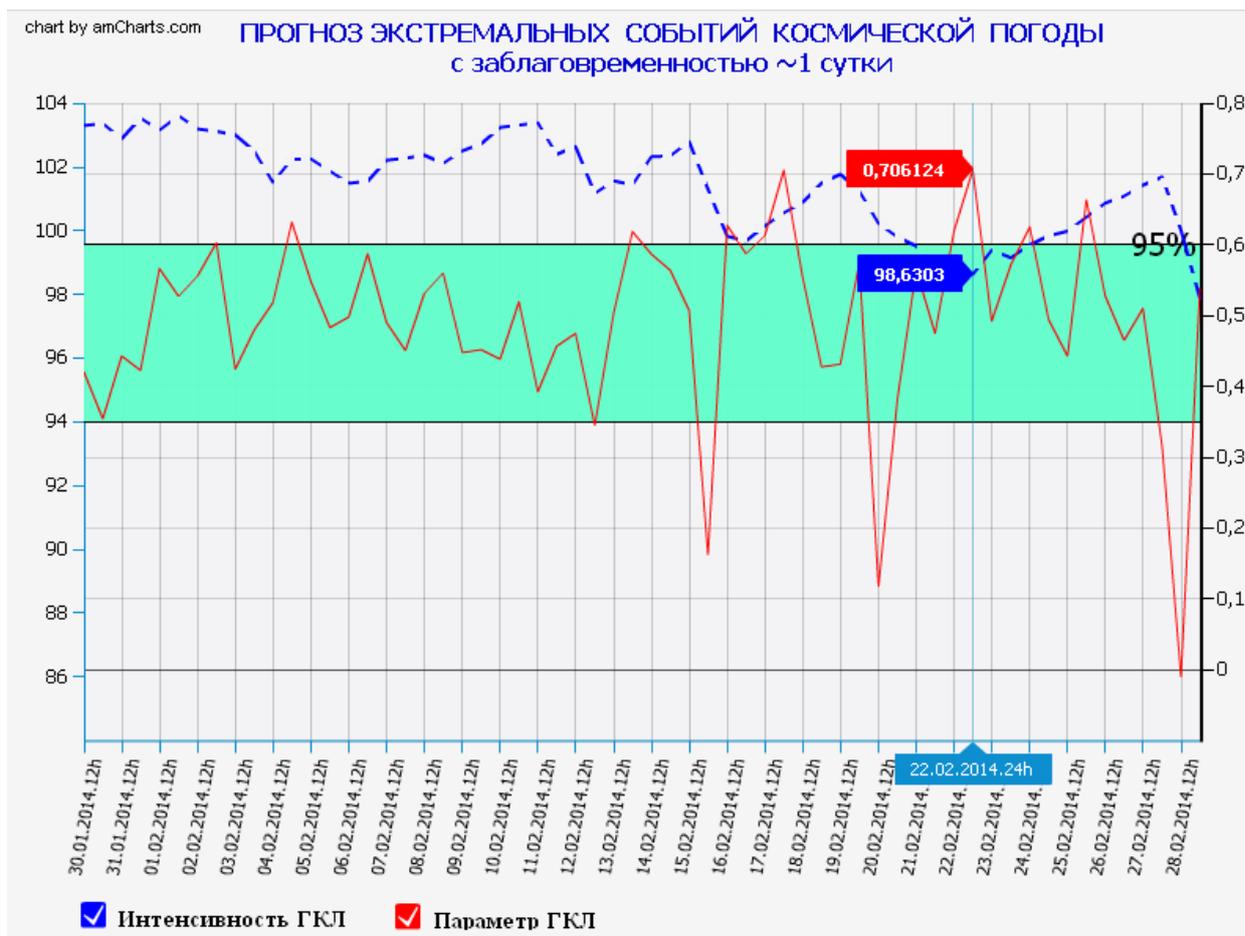


Рис. 7. Результаты расчета параметра флуктуаций в **феврале 2014 г.** по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

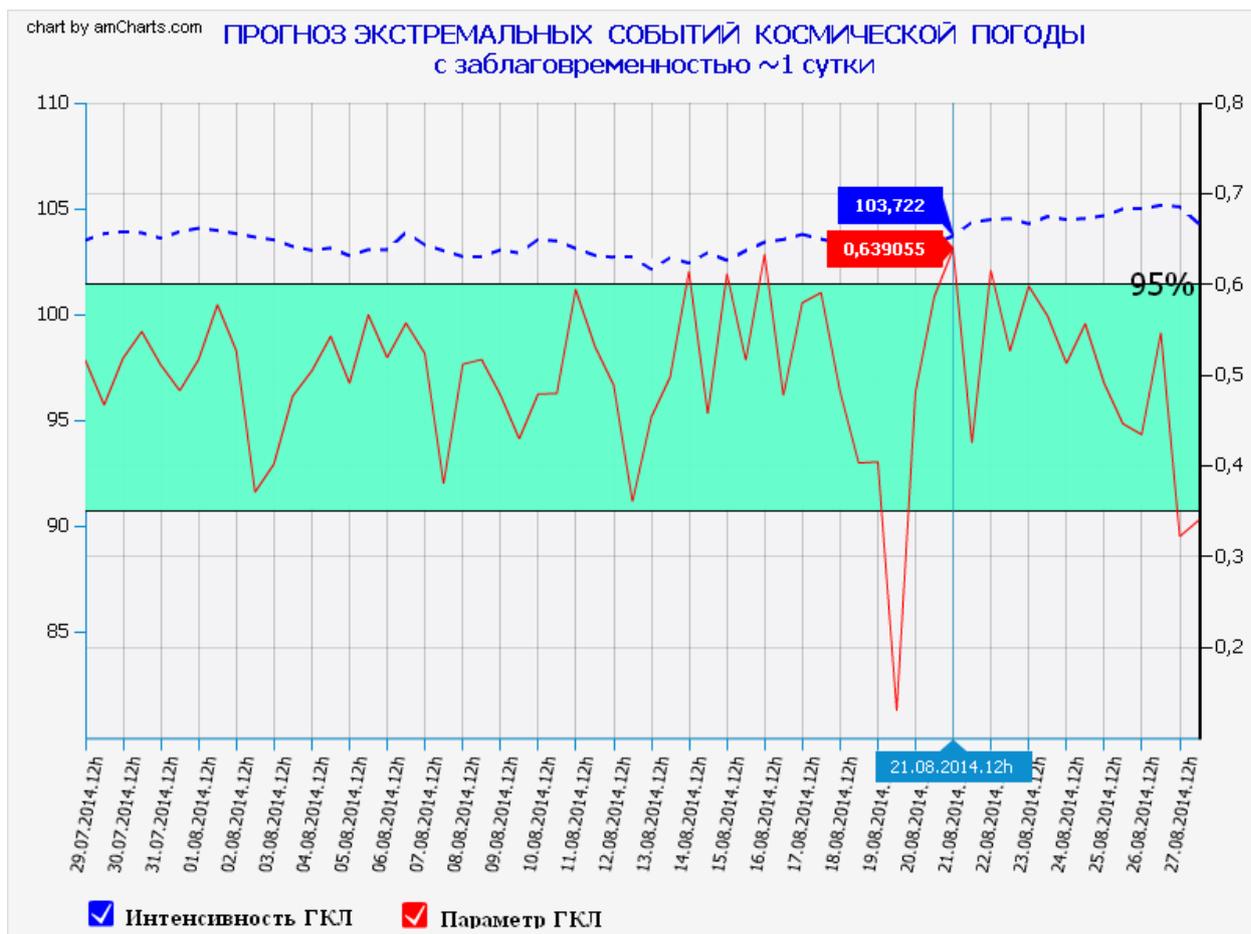


Рис. 8. Результаты расчета параметра флуктуаций в **августе 2014** г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

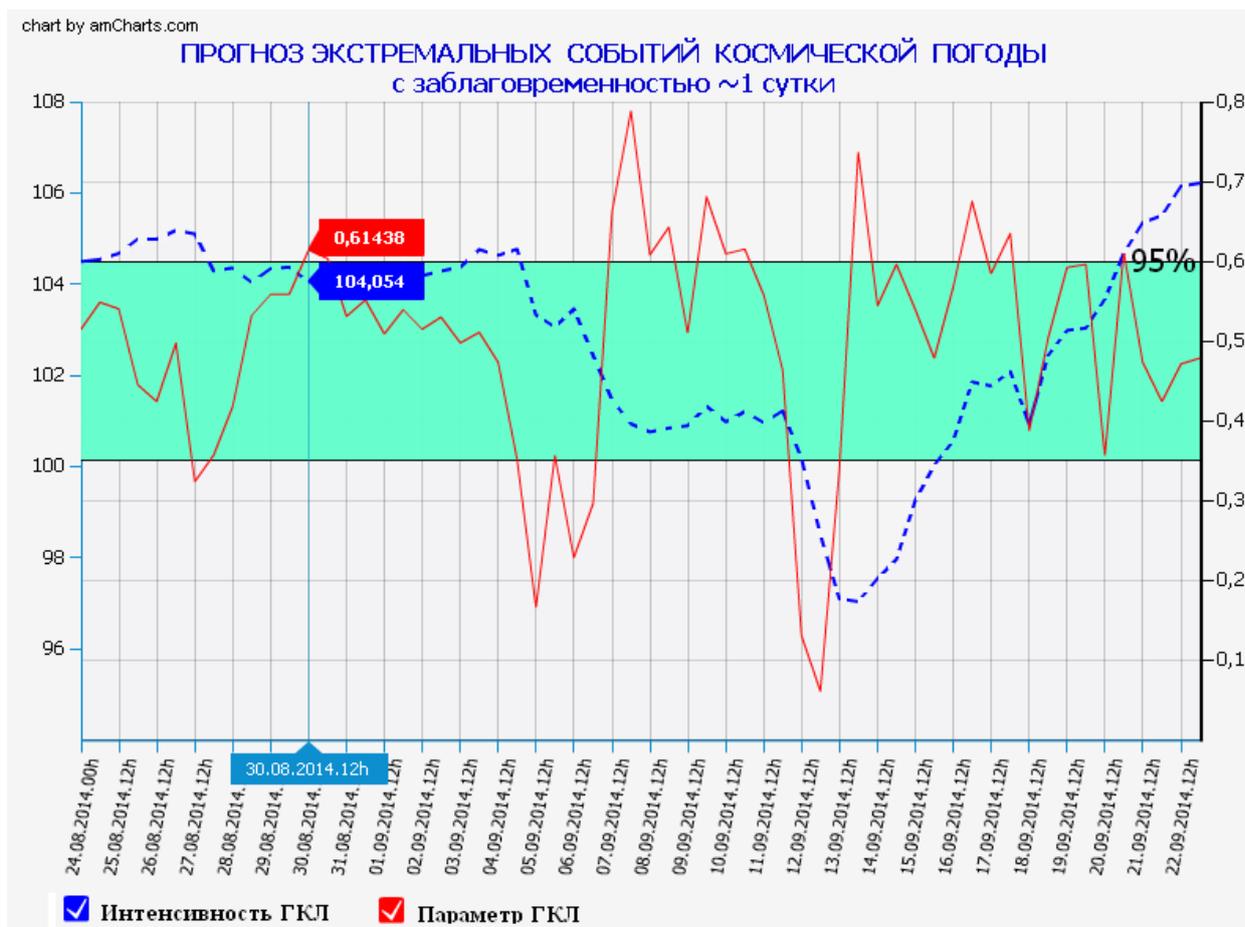


Рис. 9. Результаты расчета параметра флуктуаций в августе-сентябре 2014 г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день – час.

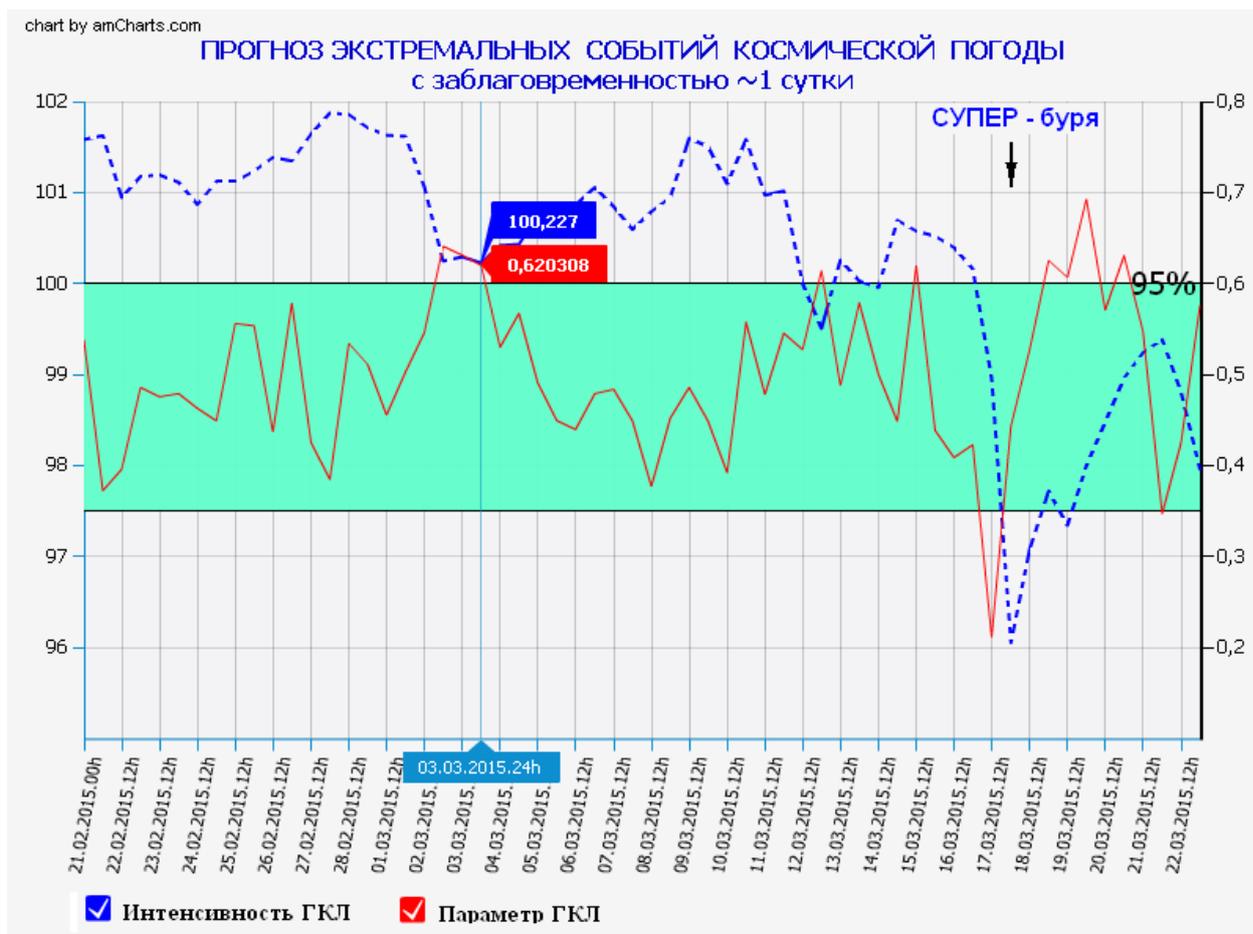


Рис. 10. Результаты расчета параметра флуктуаций в **марте 2015** г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

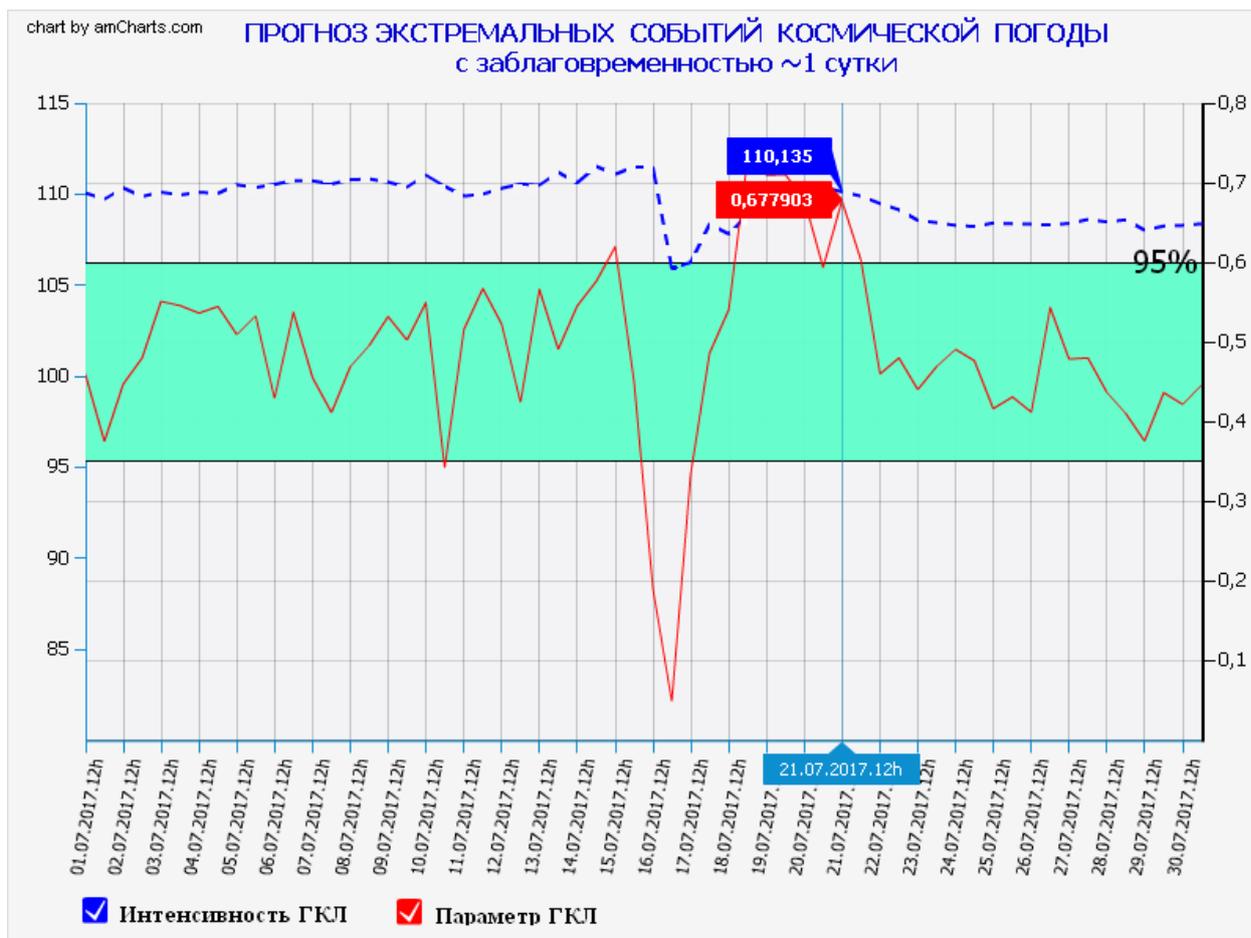


Рис. 11. Результаты расчета параметра флуктуаций в июле 2017 г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

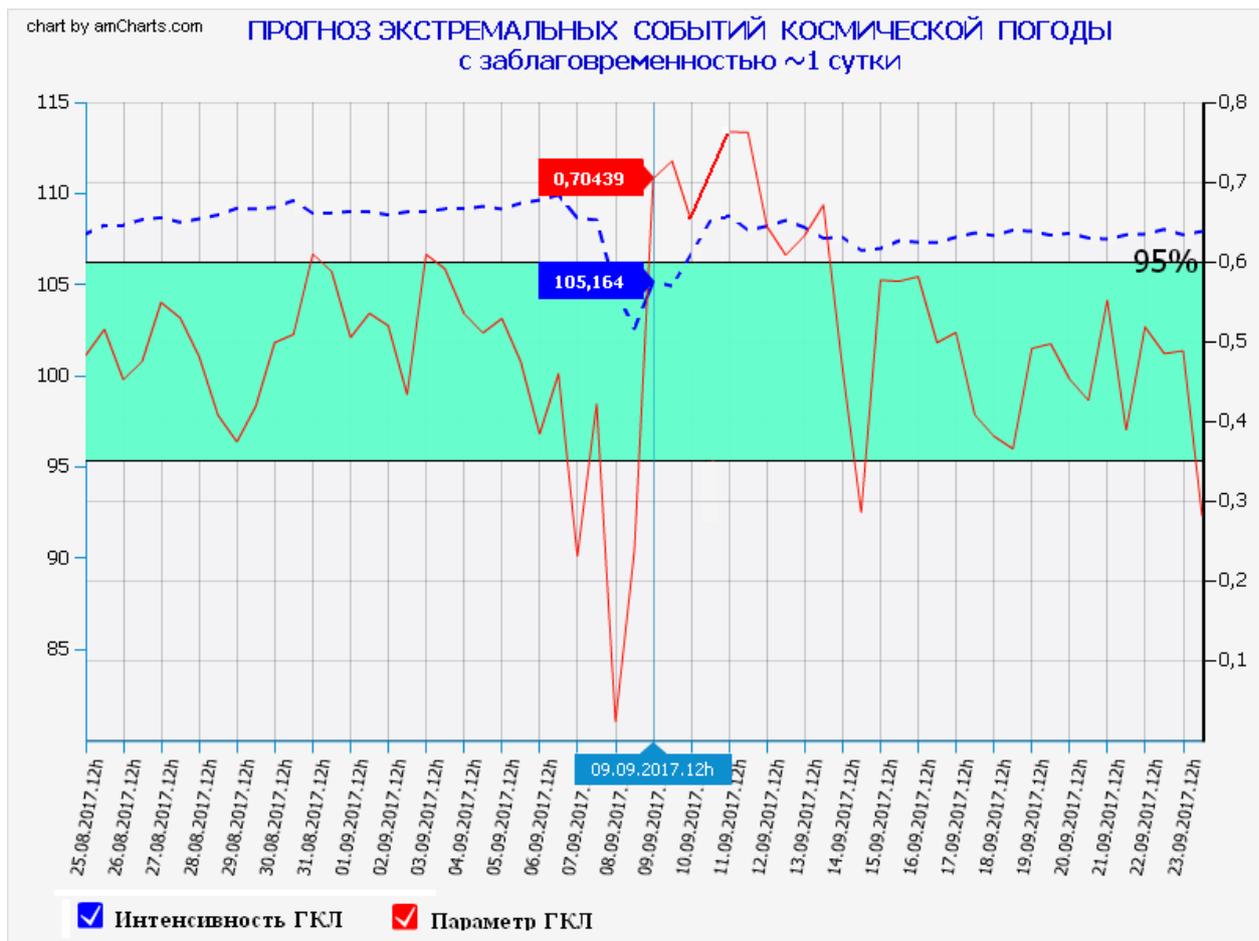
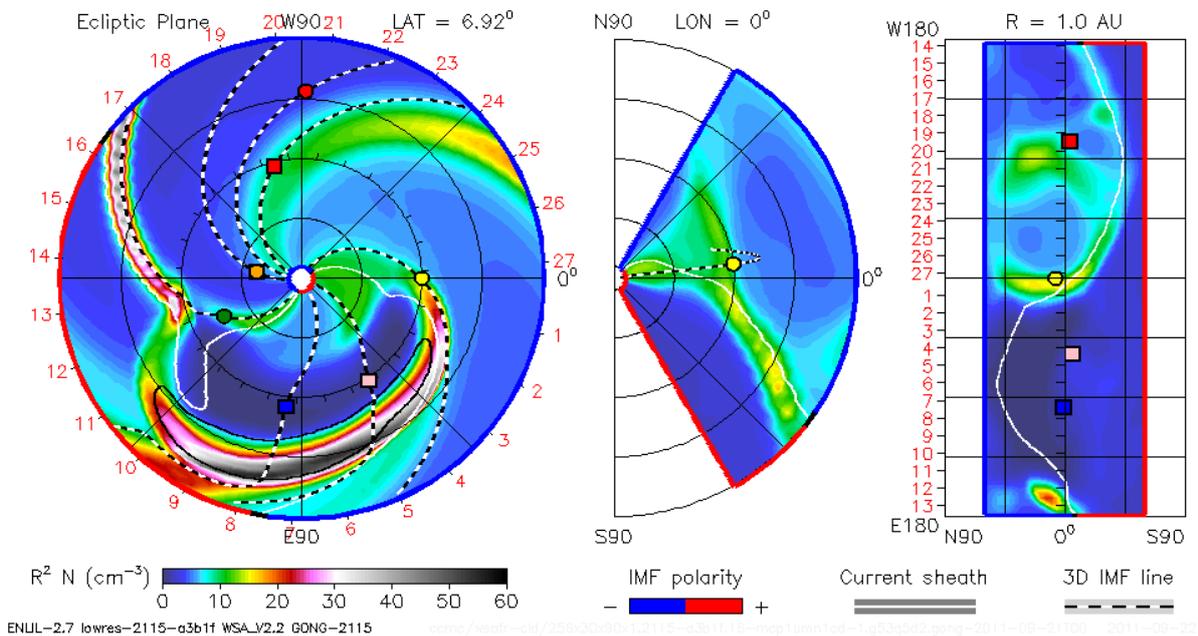


Рис. 12. Результаты расчета параметра флуктуаций в **августе-сентябре 2017** г. по 5-мин. данным высокоширотных станций космических лучей из Европейской БД (<http://www.nmdb.eu>) посредством роботизированной экспертной системы: <http://www.forshock.ru/pred.html> Cyber-FORSHOCK. По оси ординат: шкала справа (сплошная кривая) – значения вероятности или параметра флуктуаций; шкала слева (пунктирная кривая) – скорость счета в импульсах за 5 минут (усредненная за 12 часов) по данным нейтронного монитора станции Оулу (Финляндия). Значения параметра заключенные в интервале: $0,35 < P < 0,60$ – область «Космического шума». По оси абсцисс – дата: год – месяц – день - час.

2011-09-26T00:00

2011-09-21T00 +5.00 days

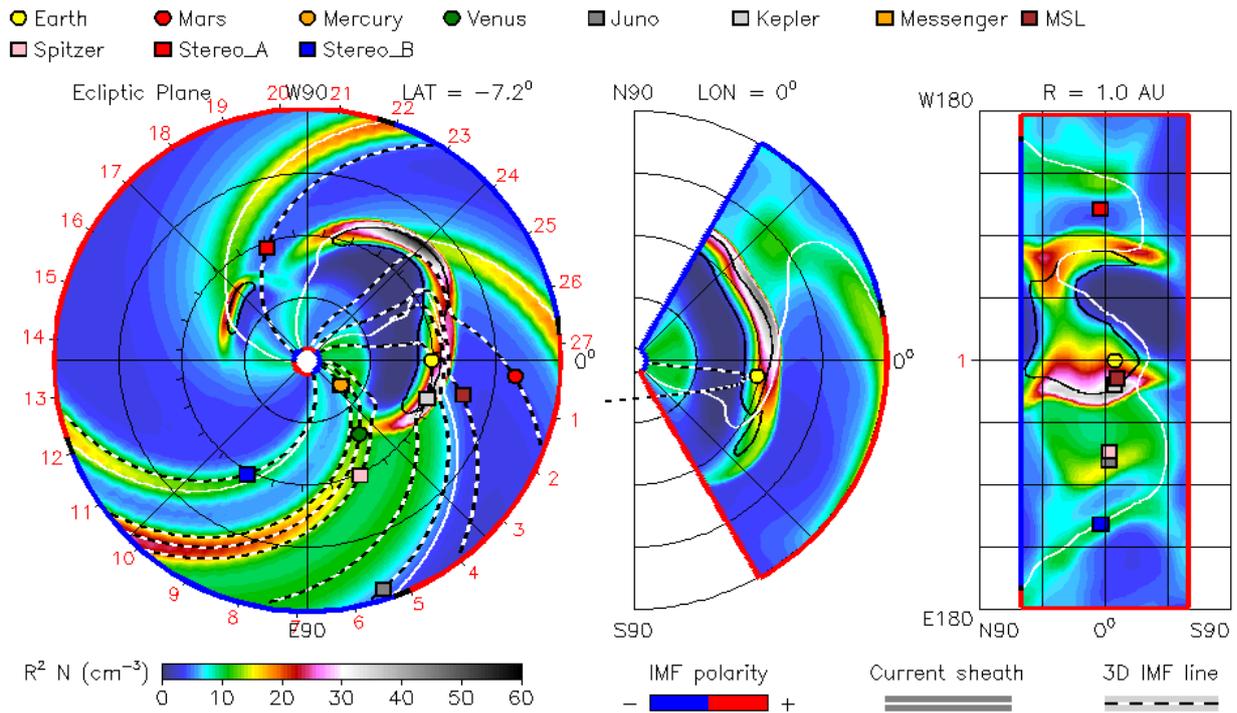
● Earth ● Mars ● Mercury ● Venus ■ Messenger ■ Spitzer ■ Stereo_A ■ Stereo_B



Приложение 1. Анимационная схема динамики экстремального события **25-26 сентября 2011 г.**, на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Мощная ударная волна от CME (<https://spaceweather.com/archive.php?day=22&month=09&year=2011&view=view>) зарегистрирована на орбите Земли 25-26 сентября. Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-03-11T18:00

2012-03-08T00 +3.75 days

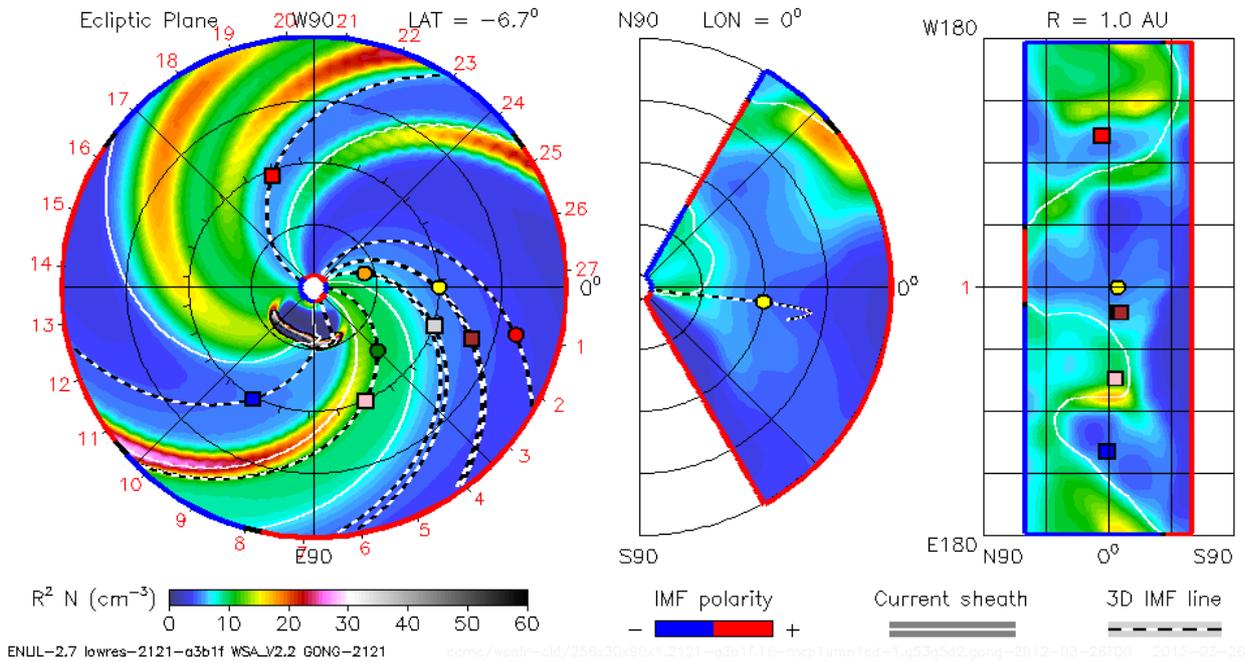


Приложение 2. Анимационная схема динамики экстремального события **12 марта 2012 г.**, на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах **Stereo-A** и **Stereo-B**. Мощная ударная волна от CME зарегистрирована на орбите Земли **11-12 марта 2012 г.** Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-03-27T18:00

2012-03-26T00 +1.75 days

- Earth ● Mars ● Mercury ● Venus □ Kepler ■ MSL □ Spitzer ■ Stereo_A
- Stereo_B

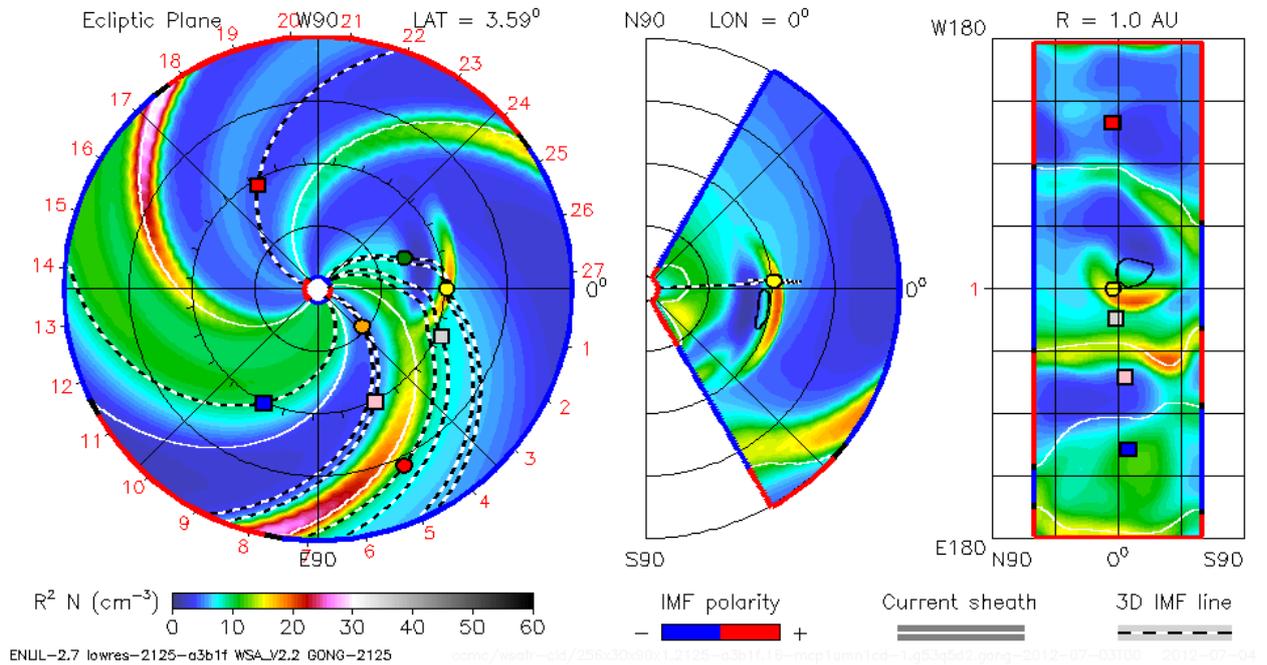


Приложение 3. Анимационная схема динамики экстремального «залимбового» события 27 марта 2012 г., зарегистрированного за восточным краем солнечного диска на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Земля обозначена желтым кружком на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-07-07T12:00

2012-07-03T00 +4.50 days

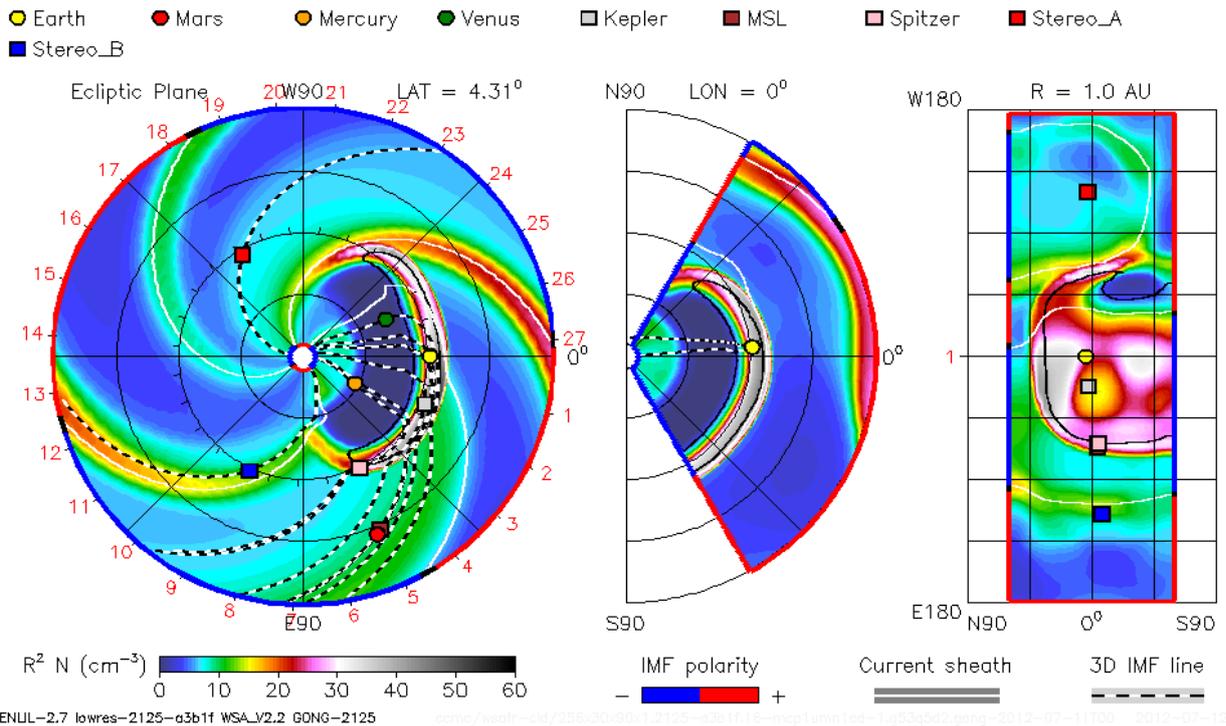
● Earth ● Mars ● Mercury ● Venus □ Kepler □ Spitzer ■ Stereo_A ■ Stereo_B



Приложение 4. Анимационная схема динамики экстремального события **7 июля 2012** от активной области из района *центрального* меридиана Солнца на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-07-14T18:00

2012-07-11T00 +3.75 days

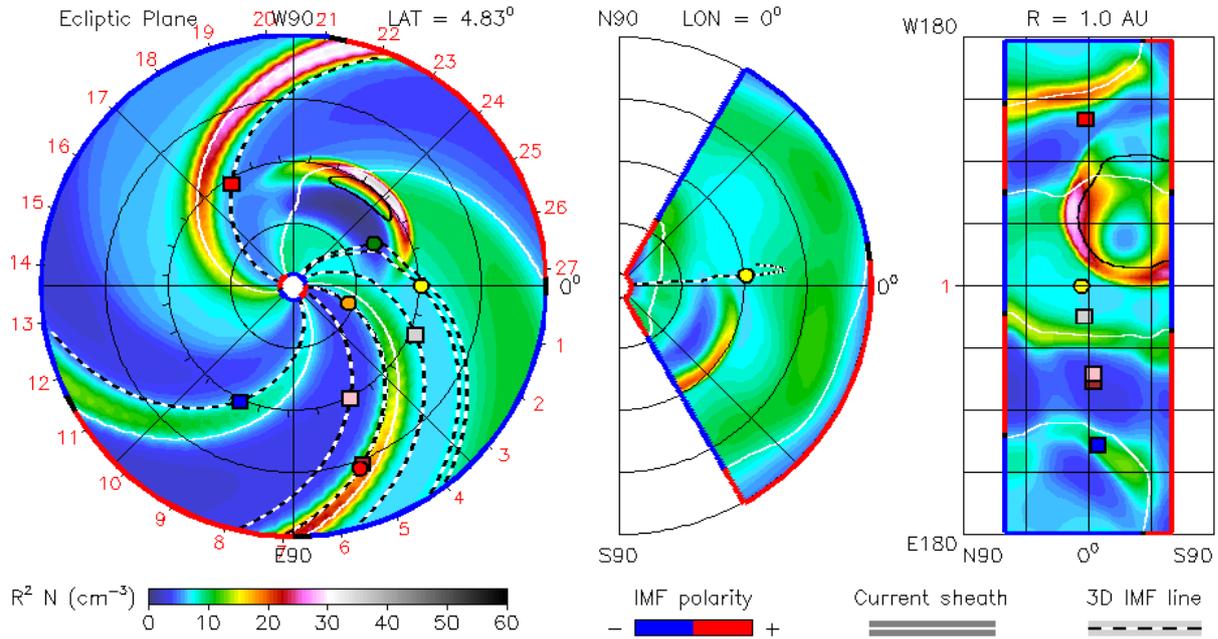


Приложение 5. Анимационная схема динамики экстремального события **14-15 июля 2012** от активной области из района *центрального* меридиана Солнца на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-07-20T06:00

2012-07-16T00 +4.25 days

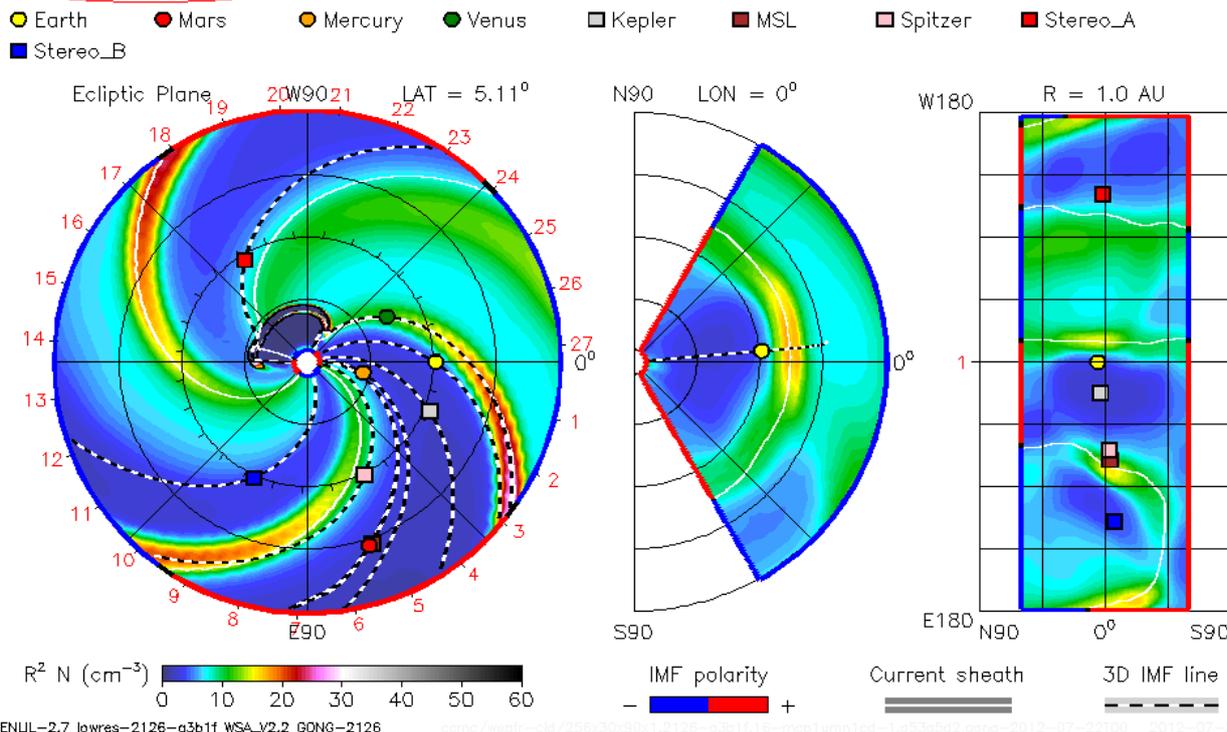
- Earth ● Mars ● Mercury ● Venus □ Kepler ■ MSL □ Spitzer ■ Stereo_A
- Stereo_B



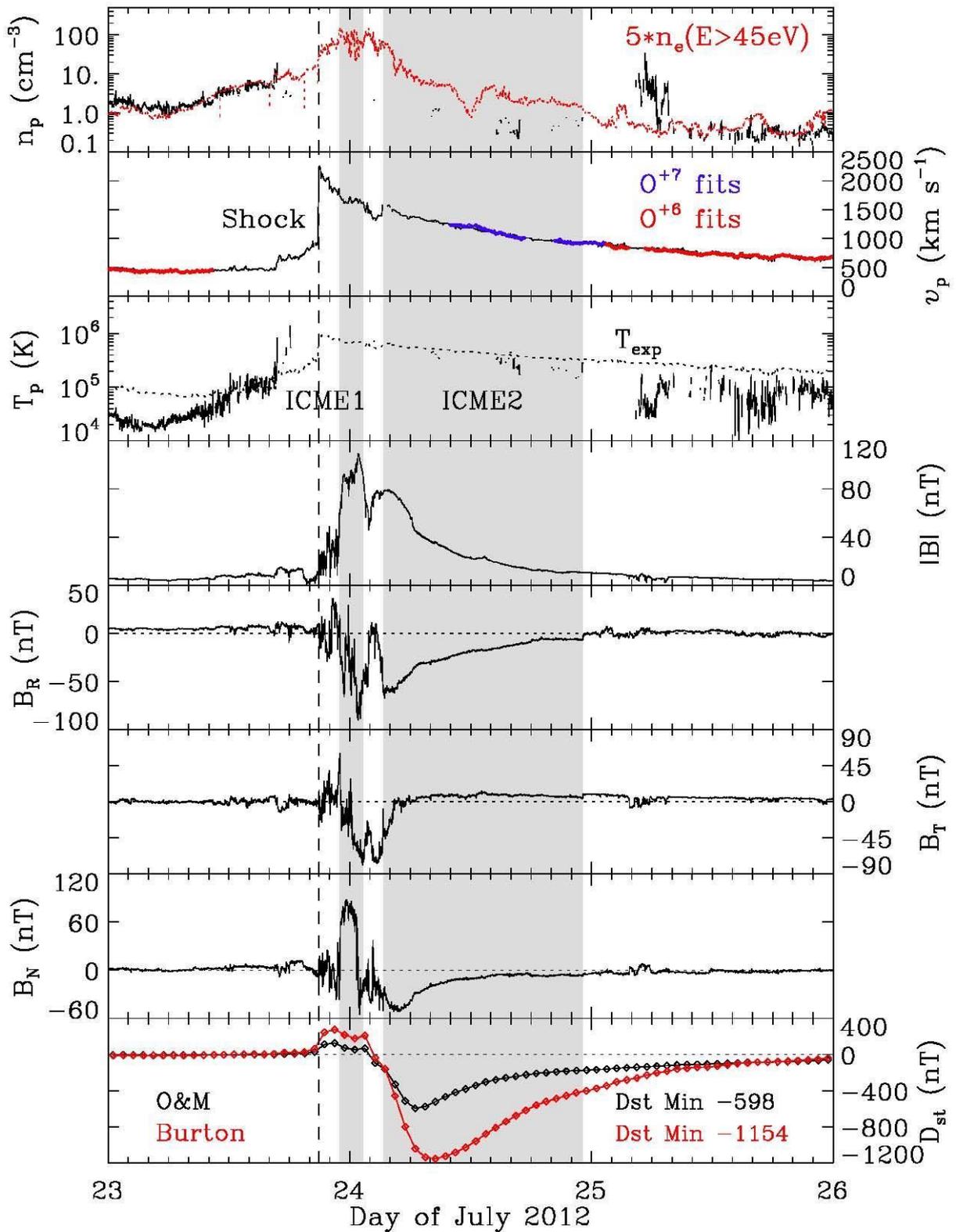
Приложение 6. Анимационная схема динамики события **19-20 июля 2012 г.** от активной области, вышедшей на *западный край* солнечного диска Солнца на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.

2012-07-23T12:00

2012-07-22T00 +1.50 days

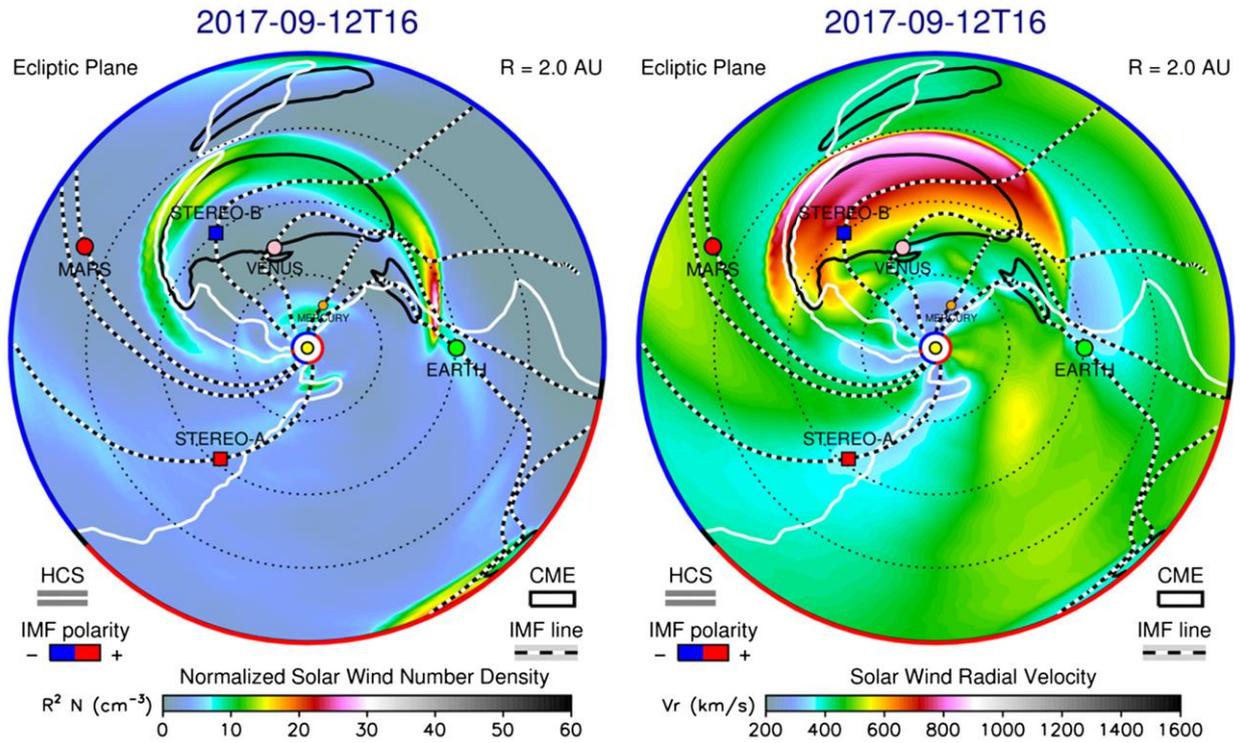


Приложение 7. Анимационная схема динамики гигантского «залимбового» события **22-23 июля 2012 г.**, зарегистрированного за западным краем солнечного диска на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-A и Stereo-B. Земля обозначена **желтым кружком** на горизонтальной оси справа от диска Солнца.



<http://www.srl.caltech.edu/ACE/ASC/level2/>

Приложение 8. Данные прямых измерений параметров солнечного ветра для СУПЕР-события 23-25 июля 2012 г., зарегистрированного ЗА западным краем солнечного диска, самое экстремальное событие нового 24 цикла.



Приложение 9. Анимационная схема динамики экстремального «залимбового» события в **10-14 сентября 2017 г.**, на основе модельных расчетов Goddard Space Weather Lab по данным измерений на космических аппаратах Stereo-А и Stereo-В. Земля обозначена зеленым кружком на горизонтальной оси справа от диска Солнца.