



УДК 550.388.2

ДЕТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ЧАСТОТЫ СЛОЯ $F2$ ПЕРЕД МАГНИТНЫМИ БУРЯМИ. 8. ИНТЕНСИВНОСТЬ ПРЕДВЕСТНИКОВА. Д. Данилов¹, А. В. Константинова¹¹Институт прикладной геофизики им. акад. Е.К. Федорова, Москва, Россия

Продолжен анализ поведения отклонений критической частоты $foF2$ от спокойных условий в дни, предшествующие магнитной буре, начатый в серии предыдущих публикаций авторов. Анализируется зависимость от интенсивности предстоящей бури и солнечной активности амплитуды указанных отклонений. В качестве анализируемого параметра рассматривается отношение $N(>30)/N$ количества отклонений с амплитудой, большей и или равной 30%, к общему количеству отклонений (событий). Получено, что это отношение растет с ростом интенсивности бури и падает с ростом солнечной активности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГЕОМАГНИТНАЯ БУРЯ, СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ, ИОНОСФЕРНЫЙ СЛОЙ $F2$.

DOI 10.5425/2304-7380_2022_34_3

<https://elibrary.ru/hnmwll>**1. ВВЕДЕНИЕ**

Во многих ионосферных исследованиях отмечался тот факт, что в течение 2-3 дней перед магнитными бурями наблюдаются возмущения критической частоты слоя $F2$ ионосферы – отклонения от спокойных условий. Подробное обсуждение проблемы можно найти в обзорных работах авторов [Danilov and Konstantinova, 2019; Данилов и Константинова, 2019]. Отметим здесь лишь кратко, что эти отклонения в среднем составляют 30-40%, однако в некоторых случаях могут достигать фактора 2 и более. Некоторые авторы (см., например, Благовещенский и Калишин [2009]; Vlagoveshchensky et al. [2017]) высказывали предположение, что эти возмущения можно рассматривать, как своего рода предвестники предстоящей геомагнитной бури.

Авторами был выполнен детальный анализ поведения критической частоты $foF2$ в течение трех дней, предшествующих магнитной буре, по наблюдениям методом вертикального зондирования на станции Slough (Chilton) [Константинова и Данилов, 2020]. Аналогичный анализ был выполнен по данным ст. Juliusruh [Константинова и Данилов, 2021].

В предыдущих работах данной серии [Данилов и Константинова, 2020а, б; 2021а, б, в] были подробно рассмотрены зависимости количества событий (отклонений $foF2$ от величин в спокойных условиях) от пяти параметров предстоящей бури: ее интенсивности, местного времени начала бури LT

Электронная почта авторов для переписки:

Данилов Алексей Дмитриевич, e-mail: adanilov99@mail.ru
Константинова Анна Владимировна, e-mail: anna@tabulata.ruАдрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

SO, времени от данного события до SO (ΔT), сезона и солнечной активности. Три первых зависимости представляют наибольший интерес с точки зрения концепции предвестников, поскольку в случае случайных отклонений $foF2$, или так называемых Q-возмущений, рассматриваемые события не могут зависеть от параметров предстоящей бури.

Представляет интерес вопрос об интенсивности рассматриваемых отклонений. В указанных работах рассматривались положительные и отрицательные отклонения $foF2$ с амплитудами 20-30%, 30-40% и >40%. Количество отрицательных отклонений меньше, чем количество положительных. События с амплитудой минус 20-30% и <-40% встречаются довольно редко, поэтому провести статистический анализ не представляется возможным. Положительные отклонения с амплитудой >40% также встречаются достаточно редко. Но есть возможность проанализировать количество положительных отклонений с амплитудой в 30% и больше в общем количестве событий. Поскольку в указанных предыдущих публикациях рассматривались как вариации полного числа событий $N(\text{tot})$, так и отдельно числа отклонений при сравнении с магнитно-спокойным днем $N(q)$ и с моделью для спокойных условий $N(m)$, в данной работе рассматриваются доля всех событий с амплитудой $A \geq 30\%$ в общем количестве событий $N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$ и доля событий с $A \geq 30\%$ в количестве событий по q и m опциям ($N(q > 30) / N(q)$ и $N(m > 30) / N(m)$, соответственно).

2. ЗАВИСИМОСТЬ $N(>30) / N$ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ БУРИ

Как и в предыдущих исследованиях, мы в качестве индикатора интенсивности предстоящей магнитной бури использовали наибольшее отрицательное значение индекса Dst , зарегистрированное во время этой бури.

Чтобы по возможности устранить влияние зависимости числа событий от солнечной активности (индекса $F10.7$, подробнее см. [Данилов и Константинова 2020в]) на зависимость, приведенных выше отношений от Dst , их анализ проводился для достаточно узких интервалов $F10.7$ ($\Delta F10.7 = 65-79, 80-99, 100-119, 120-139, 140-159, 160-179$ и $180-210$). Этот метод уже применялся нами в двух предыдущих публикациях [Данилов и Константинова, 2022а, б]. Результаты для величин $N(>30)/N$ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость $N(>30)/N$ от интенсивности бури.

$N(q>30)/N(q)$				$N(m>30)/N(m)$			$N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$		
Слау									
$\Delta F10.7$	R^2	P	ΔDst	R^2	P	ΔDst	R^2	P	ΔDst
65-79	0.61	14	30-310	0.72	14	30-310	0.73	15	30-310
80-99	0.51	5	80-130	0.89	5	80-130	0.84	5	80-130
100-119	0.81	10	30-130	0.46	9	30-130	0.74	9	30-140
120-139		нет			нет			нет	
140-159	0.72	5	30-180	0.42	12	30-240	0.47	6	30-240
160-179	0.94	8	30-120	0.39	7	30-100	0.53	9	30-140
180-218	0.55	6	30-90	0.72	6	30-90	0.34	9	30-140
Юлиусру									
65-79	0.91	10	30-320	0.42	10	30-280	0.72	10	30-280
80-99	0.70	10	30-140	0.75	5	80-140	0.39	10	30-140
100-119	0.85	9	30-120	0.90	5	30-80	0.71	10	30-140
120-139	0.20	9	30-140	0.18	6	30-120	0.47	6	30-220
140-159	0.47	6	30-220	0.82	6	30-220	0.89	6	30-220
160-179		нет		0.65	9	30-140		нет	
180-207	0.45	6	100-320	0.35	14	30-320	0.68	8	85-320

В этой таблице приведены: интервал $\Delta F_{10.7}$, в котором анализируется зависимость, коэффициент определенности по F-тесту Фишера полученной зависимости R^2 , количество точек P и интервал ΔDst в нТл, в котором эта зависимость наблюдается. Как видно из таблицы 1, из 42 рассмотренных ситуаций только в пяти не наблюдается значимой зависимости (роста величин $N(>30)/N$ с ростом интенсивности бури).

Рассмотрим полученные результаты подробнее. Примеры хорошо выраженных и статистически значимых зависимостей для Slough и Juliusruh приведены на рис. 1 и 2, соответственно. Существование зависимостей для всех рассмотренных точек с высокими величинами R^2 является доказательством того, что эти зависимости действительно существуют и величины $N(>30)/N$ действительно увеличиваются с ростом отрицательной величины Dst (т. е. с усилением бури).

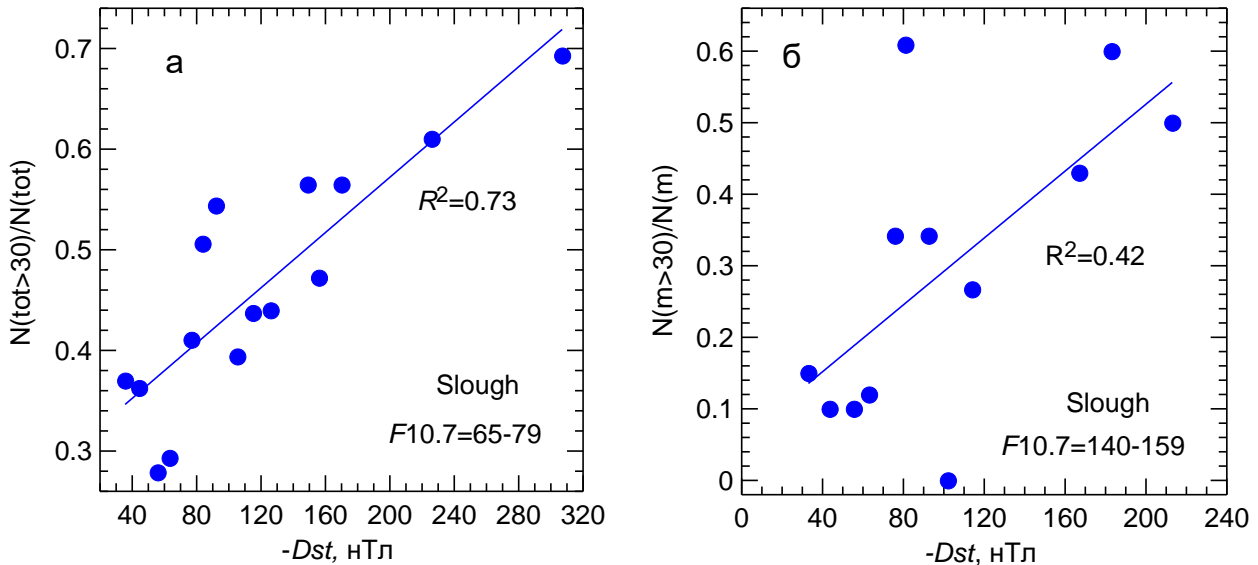


Рис. 1. Зависимость $N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$ для $\Delta F_{10.7}=65-79$ (а) и $N(m>30)/N(m)$ для $\Delta F_{10.7}=145-159$ (б) для Slough.

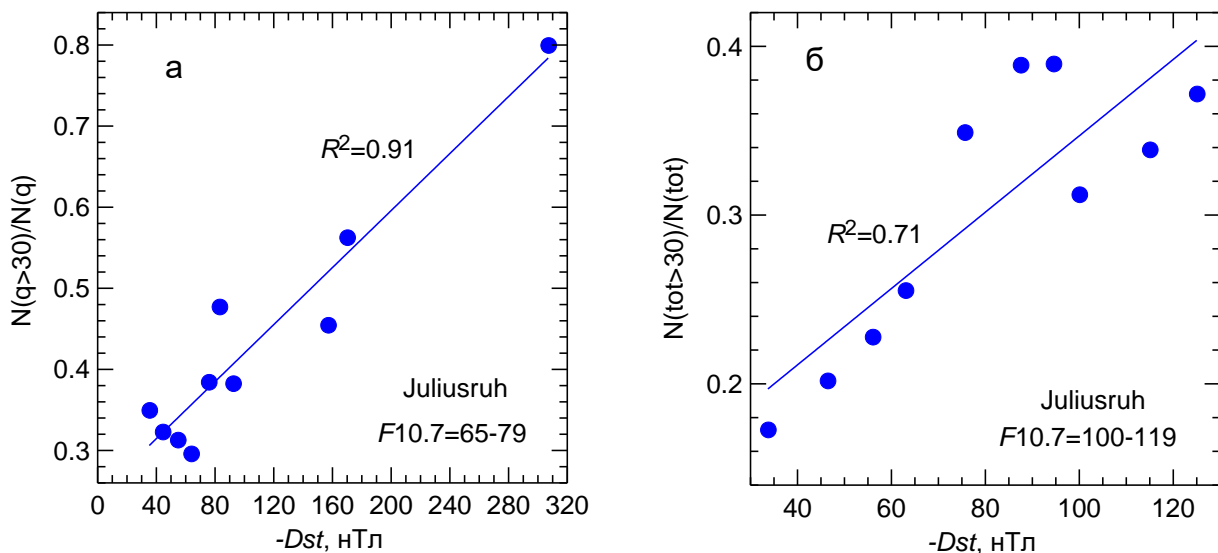


Рис. 2. Зависимость $N(q>30)/N(q)$ для $\Delta F_{10.7}=65-79$ и $N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$ для $\Delta F_{10.7}=100-119$ для Juliusruh

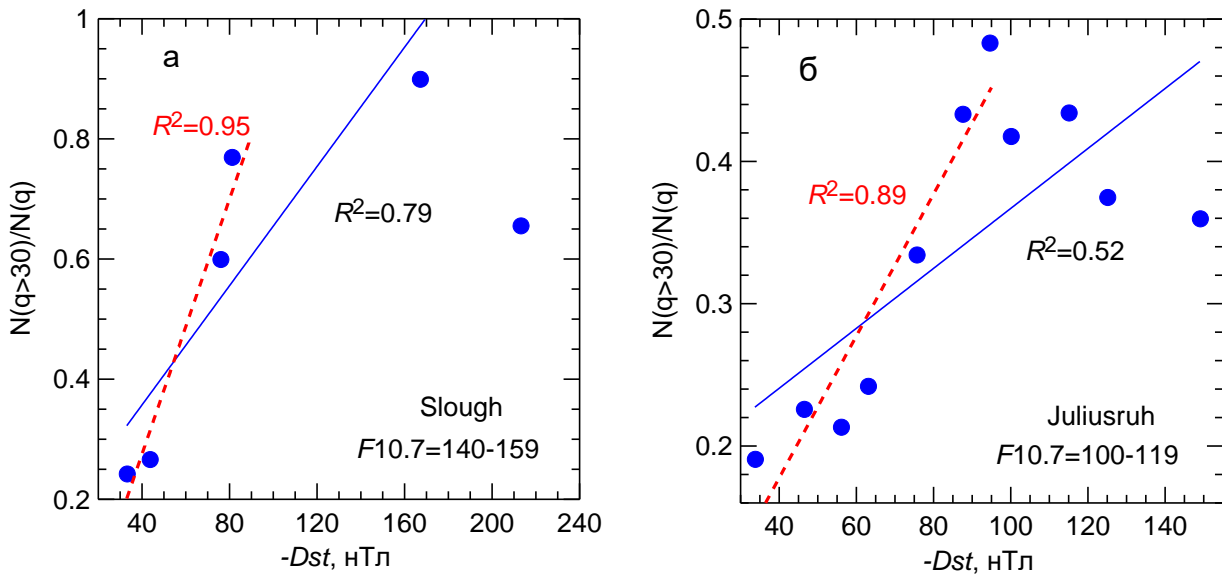


Рис. 3. Зависимость $N(q>30)/N(q)$ от Dst для $\Delta F10.7=140-159$ (Slough) и $\Delta F10.7=100-119$ (Juliusruh)

Как видно из таблицы 1, в ряде случаев хорошо выраженная зависимость наблюдается не для всех точек интервала. Дело в том, что каждая точка на рис. 1 и 2 представляет собой среднее значение по всем бурям, попавшим в данный интервал Dst . Усреднение производится по интервалам шириной в 10 нТл (30-40, 40-50, 50-60 нТл и т.д.). Каждая точка наносится для значения Dst среднего для попавших в данный интервал бурь. В некоторые интервалы, особенно для высоких Dst , может попасть всего одна буря. И случайное отклонение анализируемой величины во время этой бури может существенно нарушить получаемую зависимость.

Примеры такой картины приведены на рис. 3. Как видно из рис. 3а, в случае анализа $N(q>30)/N(q)$ для Slough для $Dst < -90$ нТл получается очень хорошо выраженная зависимость с $R^2 = 0.95$. Добавление точки для $Dst = -167$ нТл ухудшает величину R^2 ($R^2 = 0.79$), но все еще сохраняет значимую зависимость. А добавление точки для бури с $Dst = -213$ нТл фактически уничтожает зависимость, или делает ее статистически малозначимой. Точно такая же картина наблюдается и на рис. 3б для ст. Juliusruh. Для $Dst < -120$ нТл наблюдается хорошо выраженная зависимость с высоким значением $R^2 = 0.89$, а добавление точек для $Dst = -(100-160)$ нТл значительно ухудшает получаемую зависимость ($R^2 = 0.52$).

Приведенные рисунки призваны пояснить, что определение зависимостей $N(>30)/N$ от интенсивности бури представляет собой сложную задачу. В некоторых случаях встречаются бури, для которых эта зависимость нарушается. Скорее всего, это связано со случайными отклонениями $foF2$ (например, «загрязнением» числа предвестников отклонениями $foF2$, не связанными с предстоящей магнитной бурей, скажем Q-возмущениями). Когда такая буря попадает в определенный интервал Dst , она нарушает зависимость, или во всяком случае, резко снижает ее статистическую значимость. Наиболее часто это случается для сильных бурь (т.е. для интервалов больших отрицательных Dst). Именно поэтому в большинстве рассмотренных случаев для слабых и умеренных бурь (для $Dst < -100$ нТл) рост всех трех параметров ($N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$, $N(q>30)/N(q)$ и $N(m>30)/N(m)$) с ростом отрицательной величины Dst хорошо выражен и статистически значим, даже если число анализируемых точек невелико.

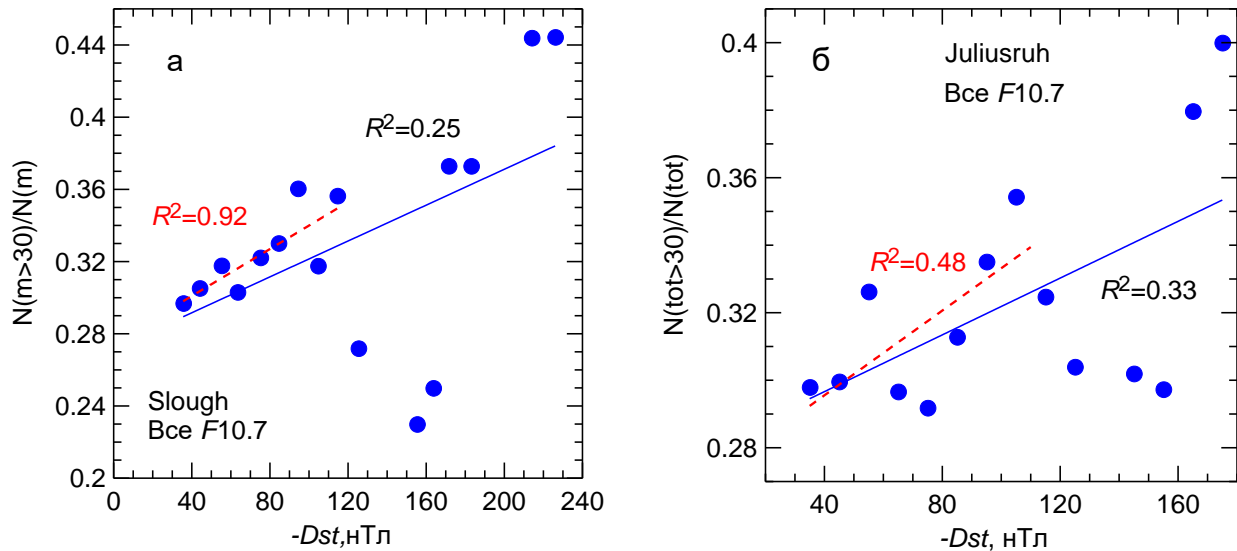


Рис. 4. Зависимость $N(m>30)/N(m)$ (Slough) и $N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$ (Juliusruh) при использовании всех бурь (всех значений $F10.7$)

Реже встречаются обратные ситуации: хорошо выраженный рост $N(>30)/N$ начинается не с $Dst = -30$ нТл, а со значений этого индекса с более высокой отрицательной амплитудой. Такая ситуация встречается трижды (см. таблицу 1) – для $\Delta F10.7 = 80-99$ (Slough), $\Delta F10.7 = 80-99$ (Juliusruh), и $\Delta F10.7 = 180-207$ (Juliusruh).

Для дополнительной проверки полученных результатов были проанализированы те же три отношения ($N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$, $N(q>30)/N(q)$ и $N(m>30)/N(m)$) для полных массивов данных для каждой станции, аналогично тому, как это делалось при анализе величин N в предыдущих работах данной серии [Данилов и Константинова, 2020а, б; 2021а, б, в]. В силу влияния зависимости числа событий от солнечной активности (индекса $F10.7$) разброс получаемых точек, естественно, в таком случае оказывается гораздо сильнее, чем при работе в узких интервалах $F10.7$, как это делается в данной работе. Тем не менее, статистически значимые зависимости все-таки получаются. Примеры для обеих станций приведены на рис. 4. Видно, что из-за разброса точек для сильных бурь (большие отрицательные Dst) величина R^2 невелика (хотя получаемые зависимости имеют статистическую значимость S около 90%), однако для слабых и умеренных бурь зависимость выражена лучше (величины R^2 выше).

Резюмируя полученные результаты, можно утверждать, что имеется хорошо выраженная тенденция увеличения доли анализируемых событий (отклонений $foF2$) с большими амплитудами ($A \geq 30\%$) в общем количестве событий при переходе от более слабых бурь к более сильным. Для бурь с $Dst < 100$ нТл такая зависимость наблюдается почти всегда. Анализ бурь с более высокими величинами Dst в большинстве случаев затруднен, поскольку сильные бури встречаются реже и статистическая обеспеченность данных становится низкой. Тем не менее, те случаи, когда данных для всего рассматриваемого интервала Dst было достаточно (например, Juliusruh для $\Delta F10.7 = 65-79$), дают также хорошо выраженный и статистически значимый рост $N(>30)/N$ с ростом интенсивности бури во всем этом интервале.

Полученный результат представляется важным по двум причинам. Во-первых, он является еще одним аргументом в пользу того, что анализируемые отклонения $foF2$ в предбуревые дни связаны с предстоящей бурей, т.е. являются ее предвестниками. Если бы эти отклонения представляли собой так называемые Q-возмущения (дискуссия по поводу этих возмущений подробно описана Даниловым [2022]), они не могли бы демонстрировать значимых зависимостей их интенсивности от характеристик бури (в том числе от ее интенсивности).

Во-вторых, обнаруженное увеличение количества более сильных отклонений $foF2$ в предбуревые дни с увеличением интенсивности бури может стать важным обстоятельством при попытках использовать предбуревые эффекты в слое $F2$ для предсказания предстоящей бури и ее характеристик.

3. ЗАВИСИМОСТЬ $N(>30)/N$ ОТ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Аналогичный анализ был выполнен и для зависимости $N(>30)/N$ от солнечной активности. Чтобы избавиться в меру возможности от эффекта влияния интенсивности бури, рассмотренного в предыдущем параграфе, анализировалась зависимость $N(q)$, $N(m)$, и $N(tot)$ от $F10.7$ внутри достаточно узких интервалов Dst .

Результаты рассмотрения для обеих станций приведены в таблице 2. Эта таблица по своему формату несколько отличается от таблицы 1. Поскольку при анализе зависимости $N(>30)/N$ от солнечной активности в большинстве интервалов Dst статистически значимая зависимость от $F10.7$ наблюдалась для всего интервала $F10.7$, мы приводим в таблице величины R^2 именно для нее. А на соответствующих рисунках приводим наиболее яркие случаи, когда для ограниченного интервала $F10.7$ зависимость была выражена гораздо лучше (более высокие R^2). Величины P в таблице 2, как и ранее, показывают количество точек в рассматриваемом интервале Dst .

Для ст. Slough (левая половина таблицы 2) удалось проанализировать все интервалы Dst . Для ст. Juliusruh в интервалы $\Delta Dst = 110-129$ и >130 нТл попадает менее 10 точек, поэтому построить надежные зависимости $N(>30)/N$ от $F10.7$ не представлялось возможным.

Таблица 2. Зависимость интенсивности событий от солнечной активности

ΔDst , нТл	Slough						Juliusruh					
	q		m		tot		q		m		tot	
	R^2	P	R^2	P	R^2	P	R^2	P	R^2	P	R^2	P
30-49	0.31	14	0.30	14	0.31	30	0.52	12	0	13	0.33	12
50-69	0.23	14	0.12	14	0.18	14	0.59	13	0.64	13	0.82	13
70-89	0.28	14	0.73	14	0.59	14	0.53	13	0	13	0.63	13
90-109	0.11	11	0.53	12	0.65	12	0.49	11	0.30	11	0.62	11
110-129	0.30	11	0.92	11	0.77	12						
>130	0.60	11	0.30	11	0.53	11						

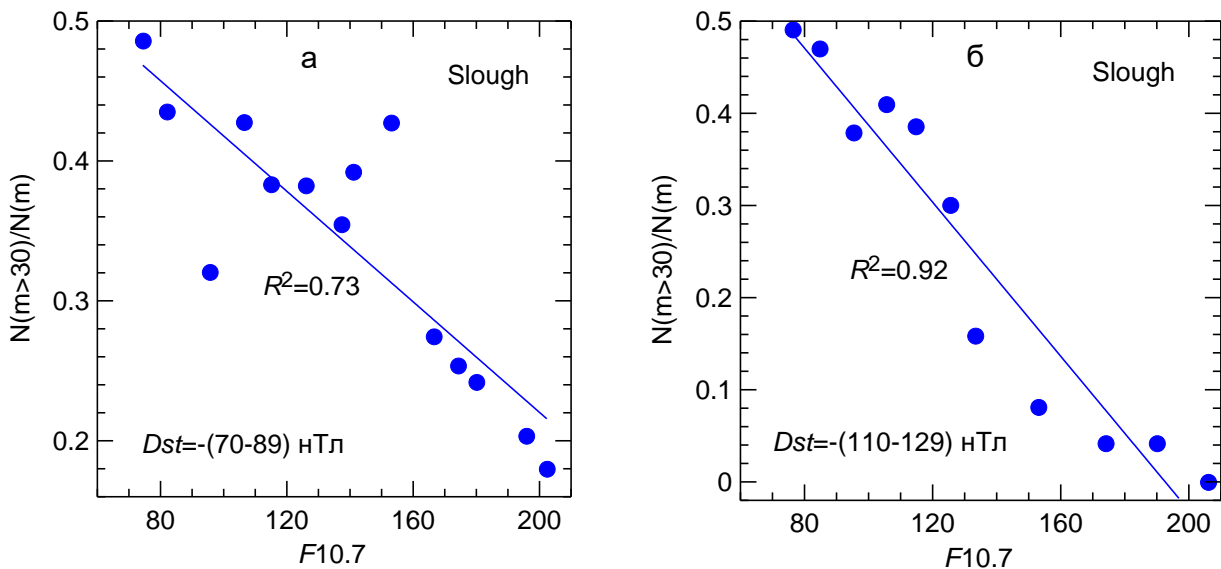


Рис. 5. Зависимость $N(m>30)/N(m)$ от $F10.7$ для Slough для $Dst = -(70-89)$ (а) и $-(110-129)$ (б) нТл

Как видно из таблицы 2, во всех случаях кроме двух (Juliusruh, $N(m)$, $\Delta Dst = -(30-49)$ и $-(70-89)$ нТл) для всех точек в данном интервале ΔDst получаются выраженные и статистически значимые зависимости $N(>30)/N$ от солнечной активности. Во всех этих случаях указанные величины падают с ростом $F10.7$. Примеры наиболее хорошо выраженных зависимостей приведены на рис. 5 и 6.

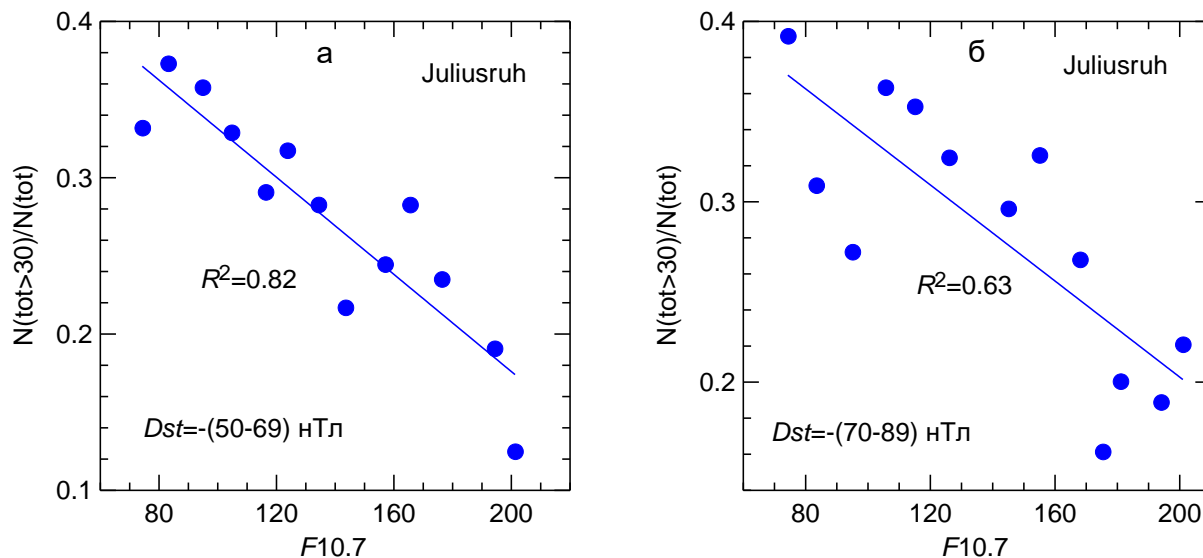


Рис. 6. Зависимость $N(\text{tot}>30)/N(\text{tot})$ от $F10.7$ для Juliusruh для $Dst = -(50-69)$ (а) и $-(70-89)$ (б) нТл

Как и в случае анализа зависимости $N(>30)/N$ от интенсивности бури в предыдущем параграфе, при анализе зависимости от солнечной активности встречались случаи, когда одна, или 2-3 точки выпадали из общей зависимости и резко уменьшали величину R^2 при формальном анализе всех точек. Соответствующие примеры для ст. Slough приведены на рис. 7.

На рисунке 7 ясно видно, что первые 8 точек (для $F10.7 < 160$) демонстрируют хорошо выраженную зависимость от $F10.7$ с достаточно высокими величинами R^2 . Точки при высокой солнечной активности ($F10.7 > 160$) резко выпадают из этой зависимости, что и приводит к значительно меньшим величинам R^2 при анализе всех точек, приведенным в таблице 2.

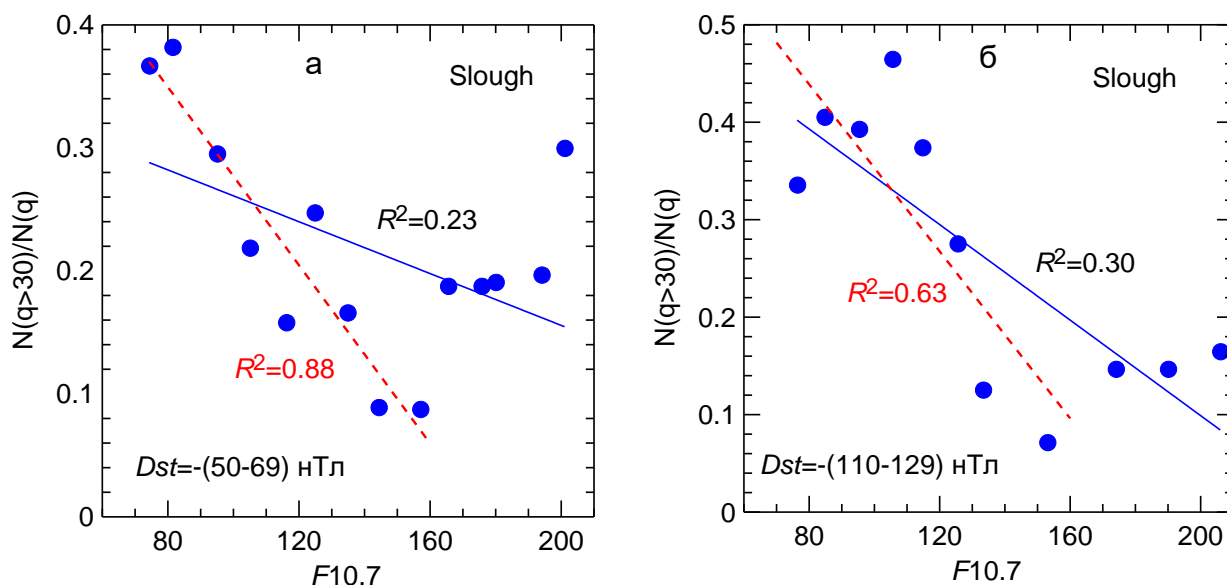


Рис. 7. Зависимость $N(q>30)/N(q)$ от $F10.7$ для Slough для $Dst = -(50-69)$ (а) и $-(110-129)$ (б) нТл

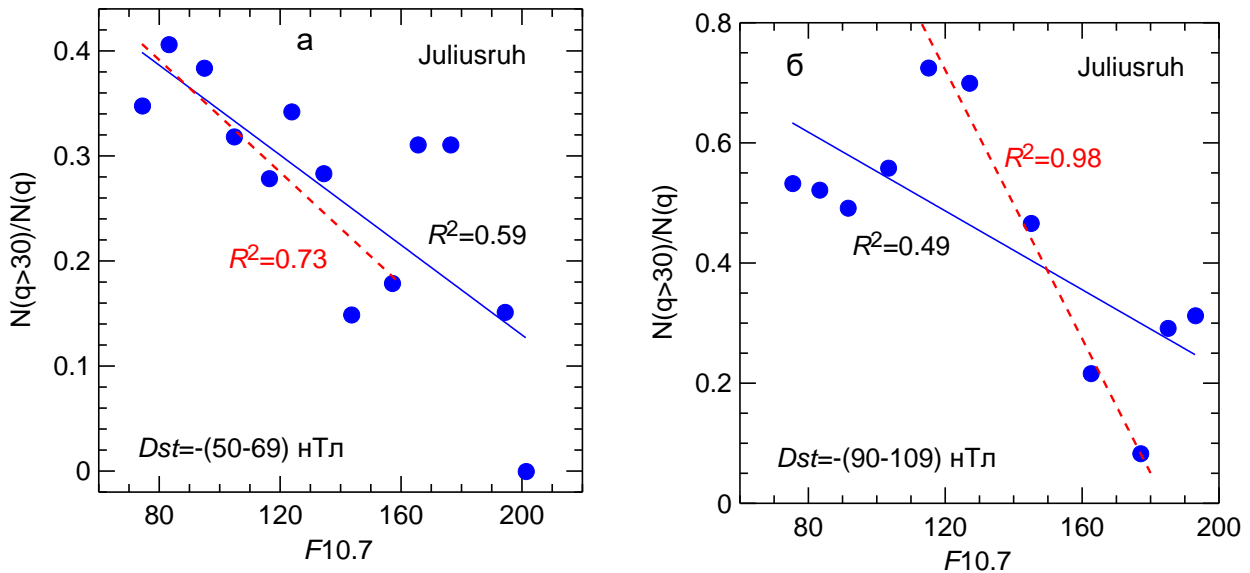


Рис. 8. Зависимость $N(q>30)/N(q)$ от $F10.7$ для Juliusruh для $Dst = -(50-69)$ (а) и $-(90-109)$ (б) нТл

Похожая картина наблюдается и для ст. Juliusruh (рис. 8). На рис. 8а зависимость $N(q>30)/N(q)$ от $F10.7$ достаточно хорошо выражена ($R^2 = 0.73$) для $F10.7 < 160$, тогда как точки для $F10.7 > 160$ демонстрируют большой разброс, что, естественно приводит к более низким величинам R^2 при анализе всех точек. Рисунок 8б представляет собой пример несколько иной ситуации. Пять точек в достаточно широком интервале $F10.7 = 110-180$ расположены почти точно на одной прямой с $R^2 = 0.98$, тогда как точки при низкой и высокой активности от этой зависимости отходят, приводя к более низкому значению $R^2 = 0.49$ при аппроксимации всех точек.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе мы впервые в рамках серии работ, посвященных анализу предвестников магнитной бури по измерениям $foF2$ на станциях Slough и Juliusruh, рассмотрели вопрос о зависимости интенсивности отклонений $foF2$ от спокойных условий (предвестников) от двух основных параметров – интенсивности бури и солнечной активности.

В качестве параметра, характеризующего изменение интенсивности предвестников, анализируется отношение количества отклонений $foF2$ с интенсивностью больше 30% $N(>30)$ к общему количеству отклонений N , причем q и m опции рассматриваются как отдельно ($N(q>30)/N(q)$ и $N(m>30)/N(m)$) так и совместно ($N(tot>30)/N(tot)$).

Поскольку две основные зависимости предвестников, от интенсивности бури и солнечной активности, влияют взаимно на результаты каждой зависимости, мы использовали метод анализа предложенный и реализованный в двух предыдущих работах данной серии [Данилов и Константинова, 2022а, б]. Метод состоит в анализе зависимостей всех трех параметров от интенсивности бури (минимального Dst индекса) в рамках узких интервалов солнечной активности (значений индекса $F10.7 = 60-79, 80-99, 100-119$ и т.д.). Соответственно, зависимость от солнечной активности ищется внутри узких интервалов Dst индекса (30–49, 50–69, 70–89 нТл и т.д.).

Применение указанного метода имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество очевидно и состоит в том, что мы получаем «более чистые» зависимости от Dst и $F10.7$ свободные от взаимного влияния. Недостаток состоит в том, что при этом уменьшается количество данных, стоящих за каждой точкой анализируемых кривых (т.е. количество бурь в данном узком интервале Dst или $F10.7$). Это приводит при анализе получаемых зависимостей к определенным трудностям, которые подробно рассмотрены в двух предыдущих параграфах.

Не смотря на эти трудности, получены два совершенно определенных вывода: отношение $N(>30)/N$ растет с ростом интенсивности бури, но падает с ростом солнечной активности.

Первый вывод представляется вполне ожидаемым с физической точки зрения. Если анализируемые нами отклонения $foF2$ действительно являются предвестниками предстоящей магнитной бури, то их интенсивности, естественно, должна быть выше для более сильных бурь.

Второй вывод не так очевиден. Вероятно, падение $N(>30)/N$ связано с тем же эффектом, который приводит к падению общего количества предвестников с ростом $F10.7$ (см. Данилов [2022]). Представляется, что в рамках концепции предвестников подобное падение может быть объяснена в рамках простого предположения. Хорошо известно, что критическая частота $foF2$ сильно зависит от солнечной активности – она минимальна при низкой активности и максимальна при высокой. Если абсолютная величина возмущений $foF2$, которые являются «предчувствием» магнитной бури, зависит главным образом от интенсивности предстоящей бури, очевидно, что эти возмущения будут лучше заметны (т. е. иметь большие амплитуды в процентах) на фоне низких спокойных величин $foF2$ (т.е. в период низкой солнечной активности), чем на фоне высоких величин в период высокой активности. Это объяснение представляется как простым, так и достаточно наглядным. И оно «льет воду» на концепцию предвестников.

Полученные в данной работе результаты важны, на наш взгляд, в двух отношениях. Во-первых, они дополняют картину поведения отклонений $foF2$ от спокойных условий в предбуревые дни (предвестников), которая сложилась в результате серии предыдущих работ авторов. Во-вторых, они будут дополнительным важным экспериментальным фактом при построении в дальнейшем физической картины всего явления.

ЛИТЕРАТУРА

- Благовещенский Д. В., Калишин А. С. Механизм возрастания критической частоты ионосферы до начала суббури // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 49. № 3. С. 213–223. 2009.
- Данилов А. Д., Обсуждение проблемы предвестников геомагнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 62. № 1. С. 97–105. 2022.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Ионосферные предвестники геомагнитных бурь. 1. Обзор проблемы // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 59. № 5. С. 594–606. 2019.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 1. Сезонные вариации // Гелиогеофизические исследования. Вып. 28. С. 3–12. 2020а.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 2. Зависимость от времени до начала бури // Гелиогеофизические исследования. Вып. 28. С. 13–21. 2020б.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 3. Зависимость от интенсивности бури // Гелиогеофизические исследования. Вып. 29. С. 24–29. 2021а.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 4. Зависимость от солнечной активности // Гелиогеофизические исследования. Вып. 30. С. 3–8. 2021б.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 5. Зависимость от местного времени начала бури // Гелиогеофизические исследования. Вып. 30. С. 15–21. 2021в.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 6. Разделение эффектов интенсивности бури и солнечной активности (ст. Juliusruh) // Гелиогеофизические исследования. Вып.. С.3-11. 2022а.
- Данилов А. Д., Константинова А. В. Детальный анализ поведения критической частоты слоя $F2$ перед магнитными бурями. 7. Разделение эффектов интенсивности бури и солнечной активности (ст. Slough) // Гелиогеофизические исследования. Вып.. С.12-23. 2022б.

- Константинова А. В., Данилов А. Д. Ионосферные предвестники геомагнитных бурь. 2. Анализ данных ст. Slough // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 60. № 3. С. 329–336. 2020.
- Константинова А. В., Данилов А. Д. Ионосферные предвестники геомагнитных бурь. 3. Анализ данных ст. Juliusruh // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 61. № 3. С. 341–348. 2021.
- Blagoveshchensky D. V., Sergeeva M. A., Kozlovsky A. Ionospheric parameters as the precursors of disturbed geomagnetic conditions // Adv. Space Res. V. 60. N 11. P. 2437–2451. 2017.
- Danilov A.D., Konstantinova A.V. Behavior of the ionospheric F region prior to geomagnetic storms // Adv. Space Res. V. 64. P.1375–1387. 2019.
- Danilov A.D., Konstantinova A.V. Behavior of $foF2$ prior to geomagnetic storms according to Slough and Juliusruh data // Adv. Space Res. V. 67. N 12. P. 4066–4077. 2021.

DETAILED ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE $F2$ -LAYER CRITICAL FREQUENCY PRIOR TO MAGNETIC STORMS. 8. INTENSITY OF THE PRECURSORS

Danilov A. D., Konstantinova A. V.

The analysis of the behavior of the critical frequency $foF2$ deviation from quiet conditions on the days preceding a magnetic storm that has been started in the series of previous publications of the authors is continued. The dependence of the amplitude of these deviations on the intensity of the coming storm and solar activity is analyzed. The ratio $N(>30)/N$ of the number of deviations with an amplitude higher or equal to 30% to the total number of deviations is considered as an analyzed parameter. It is obtained that this ratio increases with an increase in the storm intensity and decreases with an increase in solar activity.

KEYWORDS: GEOMAGNETIC STORM, SOLAR ACTIVITY, IONOSPHERIC $F2$ LAYER.