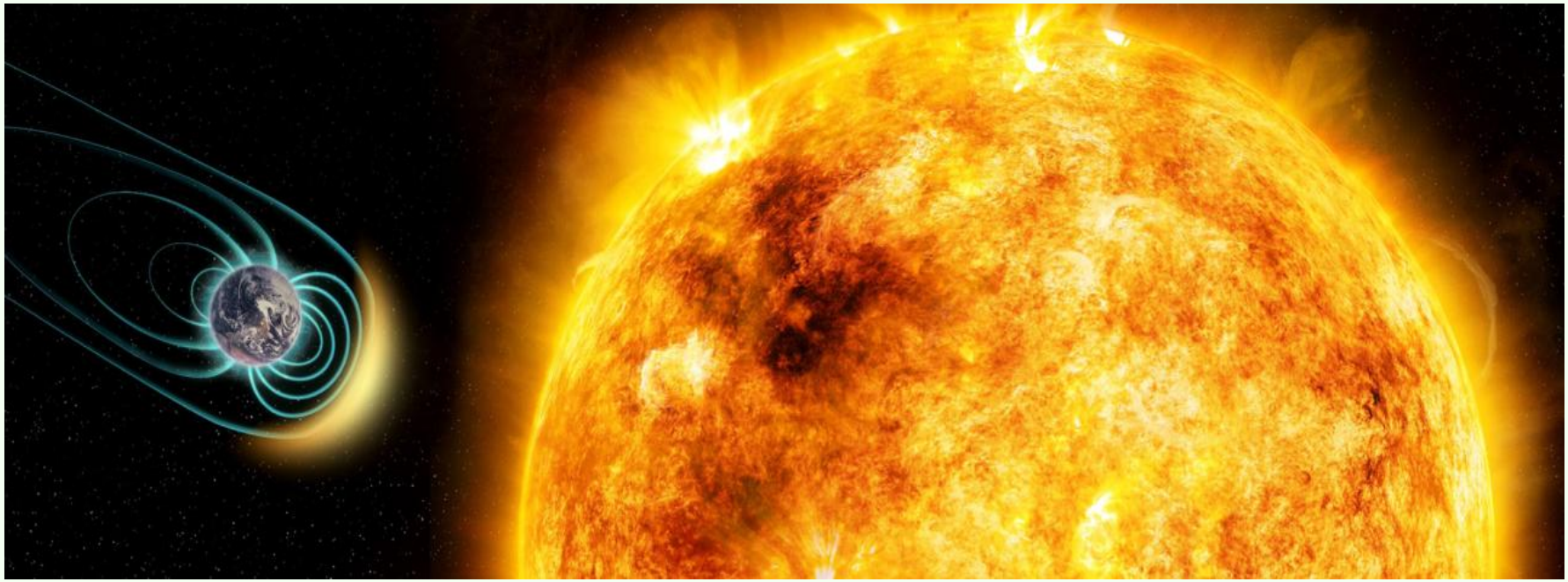
Прогноз солнечных геоэффективных явлений в различные эпохи солнечной активности: современное состояние

В.Н. Ишков

ИЗМИРАН, г. Москва, Троицк, Россия, ishkov@izmiran.ru

2023: 4-ой год развития 25 цикла СА, фаза роста, – 2-ого цикла II эпохи пониженной СА

«…Устроены так люди, желают знать, *желают знать*, желают знать, что будет!!!»
Л. Дербенёв



N	T_0	W^*_m	T_M	T_e	W^*_M	$T_Y\uparrow$	$T_Y\downarrow$	T_Y	$T1_Y$	$T2_Y$	Sp_{less}
25~	2020.0	1.3	*2024.6*	*2032.0*	*110*	*4*	*8*	*12*	*6*	*6.5*	*900*

2-я эпоха пониженной СА после СЦ25 продлится ещё 3 СЦ, примерно до середины 70 годов XXI века, СЦ29 – переходной к эпохе повышенной СА

О чём пойдёт речь:

Солнечные геоэффективные явления (СГЯ), что понимается под их прогнозом, временные интервалы возможных прогнозов.

Долгосрочный прогноз СА (эпохи, циклы, годы): эпохи СА– зависимость от фонового уровня общего магнитного поля Солнца.

Краткосрочный прогноз СА (минуты, часы, дни) **:**

Физические и наблюдательные принципы краткосрочного прогноза эволюционной (образование пятен, групп пятен, корональных дыр) и вспышечной активности на Солнце;

Солнечные вспышечные события: определение, классификация, зависимость от эпох СА;

Выводы

http://sidc.be/silso/spotless

Прогноз – 2023, ИЗМИРАН

1. СГЯ принято считать все активные явления в солнечной атмосфере, которые оказывают физическое воздействие на состояние **ОКП**, области, начинающейся с высот 50–60 км от Земли и простирающейся на расстояние в 10-ки земных радиусов, в которой вещество (естественная плазма), все еще больше связано с Землёй, а не с Солнцем или каким-либо другим астрономическим телом.

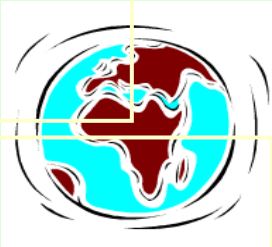
Геоэффективность воздействия СГЯ на ОКП **впрямую** зависит от характера **пятнообразовательной активности – режима генерации магнитных полей** в **пятнообразовательной зоне Солнца**, который определяются величиной **фоновых значений общего магнитного поля** Солнца и **отображаются в эпохах СА**.

Возмущения ОКП в реальном времени полностью зависят от **распространения** во внутренней гелиосфере и **взаимодействия ВСП**, **выбросов** солнечной плазмы и межпланетных **УВ**, источниками которых являются либо **корональные дыры**, либо **значимые солнечные вспышечные события (СВС)**.

Солнечно-земные связи:

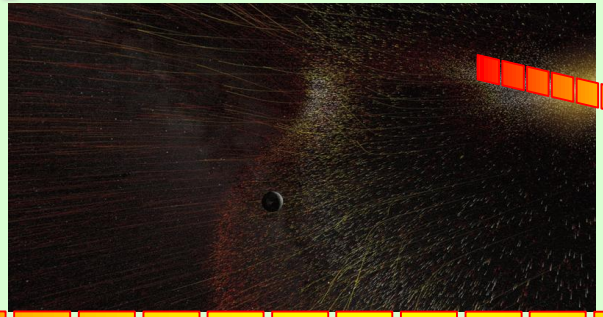
Прямое воздействие

1. Солнечное излучение, (измененчивость ~0.1% за СЦ);
2. Электромагнитный удар (R)



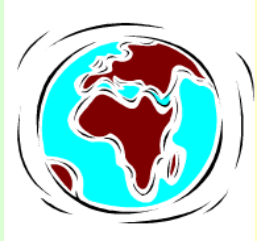
Не прямое воздействие

ММП (СВ: УВ, СМЕ, ВСП)



ГКЛ

СКЛ



ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ УДАР

Оценка по рентгеновскому излучению (1 - 12.5 кэВ), баллу солнечной вспышки:

1. малое ≥ M1 (10^{-5})Вт/м^2
2. умеренное ≥ M5 ($5x10^{-5}$)
3. большое ≥ X1 (10^{-4})
4. очень большое ≥ X10 (10^{-3})
5 экстремальное ≥X20 ($2x10^{-3}$)

ПРОТОННЫЕ СОБЫТИЯ

Оценка по потоку протонов с E≥10МэВ в максимуме события

1. малое ≥ 10 pfu
2. умеренное ≥ 100
3. большое ≥ 1000
4. очень большое ≥ 10 000
5 экстремальное ≥ 100 000

ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ

Оценка по геомагнитным индексам

1. малое ≥ 48 nT Кр 5
2. умеренное ≥ 80 nT Кр 6
3. большое ≥ 140 nT Кр 7
4. очень большое ≥ 240 nT Кр 8
5 экстремальное ≥ 400 nT Кр 9

ВНИМАНИЕ!: ОЦЕНКА ПО ИНТЕНСИВНОСТИ В МАКСИМУМЕ СОБЫИЯ

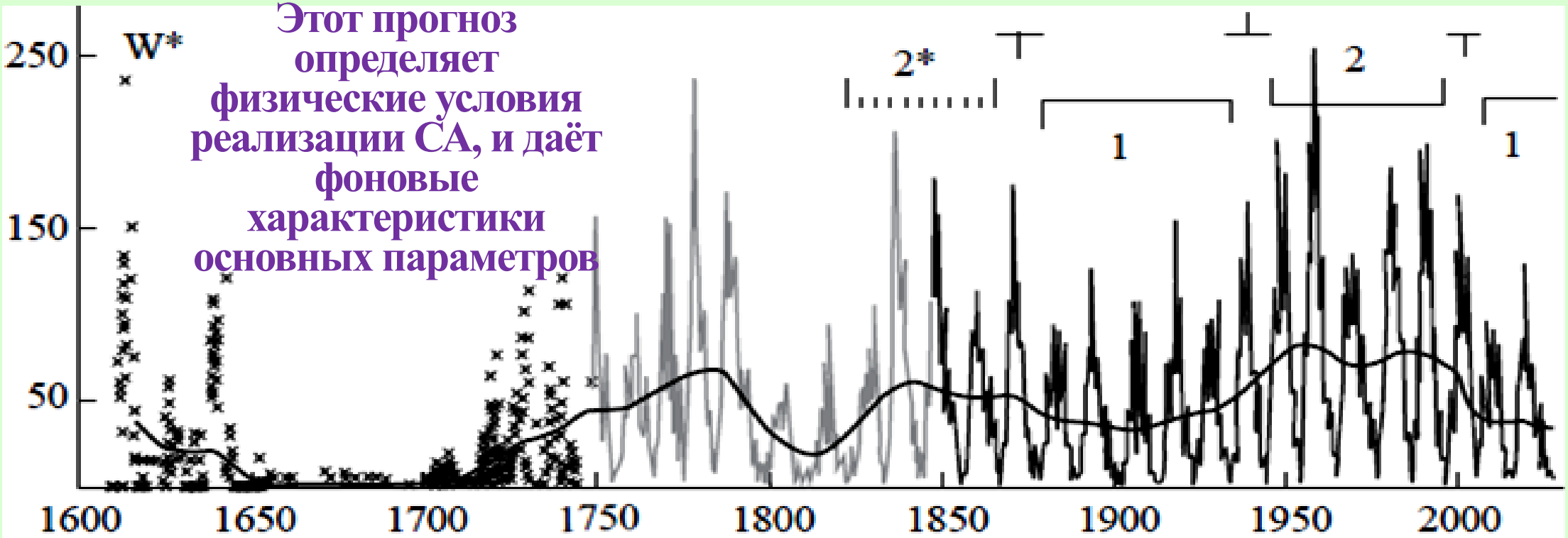
2. Под **прогнозом ГСЯ** здесь понимается **совокупность всех видов прогнозов**, в задачу которых входит **расчет развития** процессов и явлений, **происходящих** в солнечной атмосфере и непосредственно **влияющих** на корпускулярную, магнитную и радиационную **обстановку в ОКП** на **заданные интервалы времени**

Прогноз **геоэффективных** солнечных явлений:

– **долгосрочный** (*годы, СЦ*, эпохи СА).

– **краткосрочный:** временной интервал (мин, час, дни);

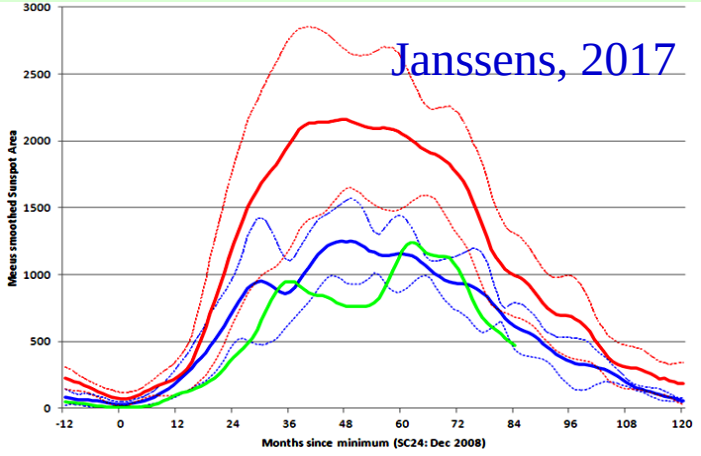
3. Долгосрочный прогноз определяет условия реализации **уровня СА**, **границы мощности и частоты** проявления **солнечных активных явлений**. **Интервал времени**, на который должен действовать **долгосрочный** прогноз, **определяется** наблюдаемыми **сценарием** развития цикличности СА и **закономерностями и правилами** развития СЦ.

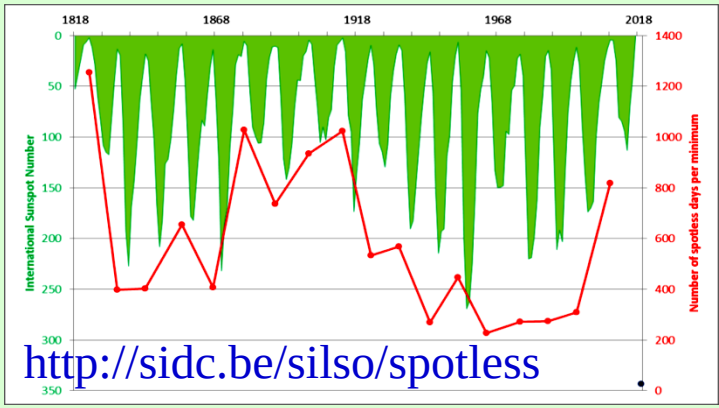


3. Долгосрочный прогноз: Наблюдательные основания

По **достоверному** ряду **наблюдений солнечных пятен** выявлена структура и сценарий солнечной цикличности: периодическая смена эпох **повышенной (СЦ→*8*–10 и 18–22)** и **пониженной (СЦ 12–16 и 24→*28*) СА**.^ Смена эпох определяется периодическими изменениями фоновых значений общего магнитного поля (МП) Солнца, через **переходные СЦ (11, 23 и 17)** – периоды, во время которых меняется характер пятнообразовательной активности (Ишков, 2013).

Перестройка общего МП к уровню эпохи пониженной СА в 23 СЦ **изменила МП** всех структур на Солнце, а отсюда и в характеристиках солнечных активных явлений.





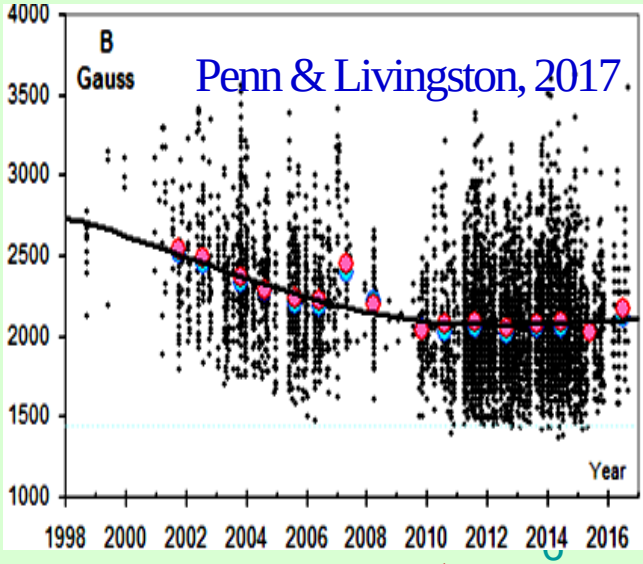
Понимание тенденции сценария СА позволяет строить долгосрочный прогноз поведения СА.

–в **эпохи повышенной СА** значимо увеличивается количество магнитных потоков с быстрой эволюцией (Головко,1986), что ведёт к появлению больших ВАО, наблюдается **полный набор мощных событий** на Солнце и в ОКП;

?**запрет? на низкие СЦ;**

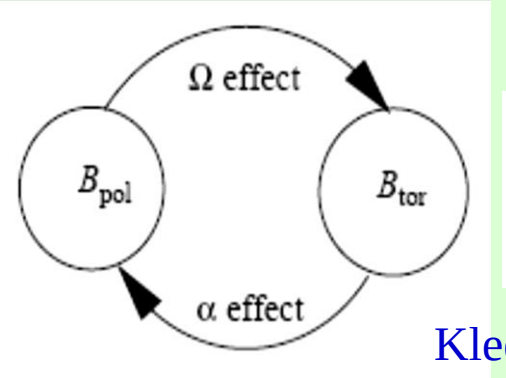
– **эпохи пониженной СА** характеризуются большей долей небольших спокойных групп пятен и, отсюда, пониженной вспышечной активностью: **значимо** < количество и мощность значимых СВС.

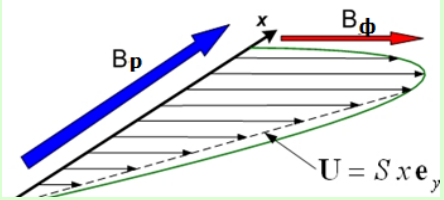
?**запрет? на высокие СЦ**;



Внутри эпох все наблюдательные правила развития циклов строго работают

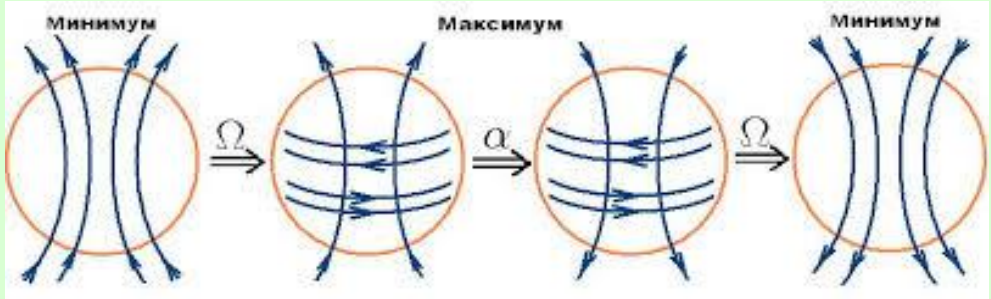
3. Долгосрочный прогноз Теоретические основания: Солнечное динамо





Kleeorin et al. (2016, 2021)

Мелкомасштабное и локальное αΩ-динамо: ограничено относительным количеством энергии доступной в режиме конвекции.



Крупномасштабное и глобальное Babcock-Leighton динамо:

B_{pol} ⟶ **Дифференциальное вращение** ⟶ B_{tor}

r – θ) Всплытие и распад наклонных АО φ

⟵

Солнечное **динамо** – физический **процесс**, ответственный за генерацию магнитных полей на **Солнце.** В фотосфере и нижележащих слоях Солнца **выделяют две типологически различные системы солнечных МП: тороидальную B_{tor} и полоидальную B_{pol}**. Эти две системы связаны между собой дифференциальным вращением и конвекцией. **К тороидальной ветви** солнечных МП относятся АО с солнечными пятнами, средне- и низкоширотные униполярные магнитные области и т. д. **К полоидальной** – высокоширотные КД, крупномасштабные униполярные магнитные области…

Считается, что **генерация МП** происходит в сравнительно узкой области вблизи границы конвективной и лучистой зон Солнца, на глубине около $2 \cdot 10^5$ км под фотосферой Солнца (тахоклине), где скорость вращения резко меняется.

Кичатинов, Пипин (СибИЗМИР), Соколов со товарищи, Кузанян (ИЗМИРАН, МГУ), Клиорин со товарищи (Унив. Бен Гурион, УГУ…)

3. Долгосрочный прогноз: Двухуровневое солнечное динамо (достоверный ряд пятен)

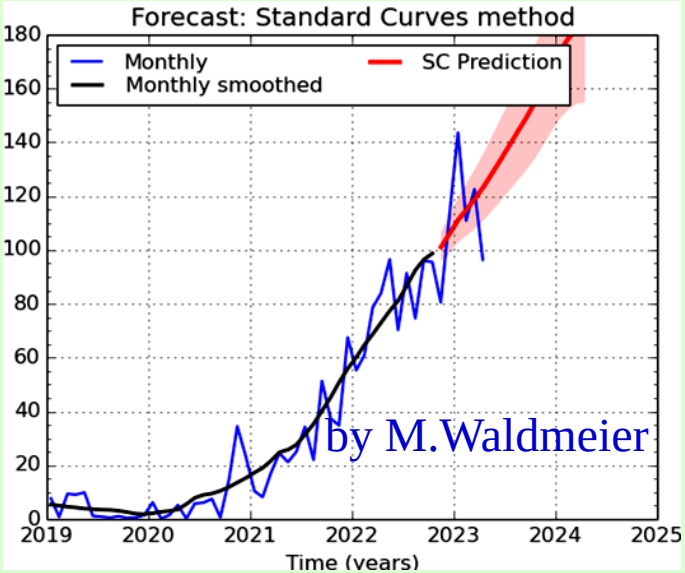
Таким образом, СА развивается в строгих границах наблюдаемых изменений общего МП Солнца, которое отображается и в среднем, и в полярном МП, **регулярно изменяясь** в ~2 раза через каждые 5 СЦ (примерно 50–55 лет) через **переходные периоды** (1–1.5 СЦ) Ишков, 2022.

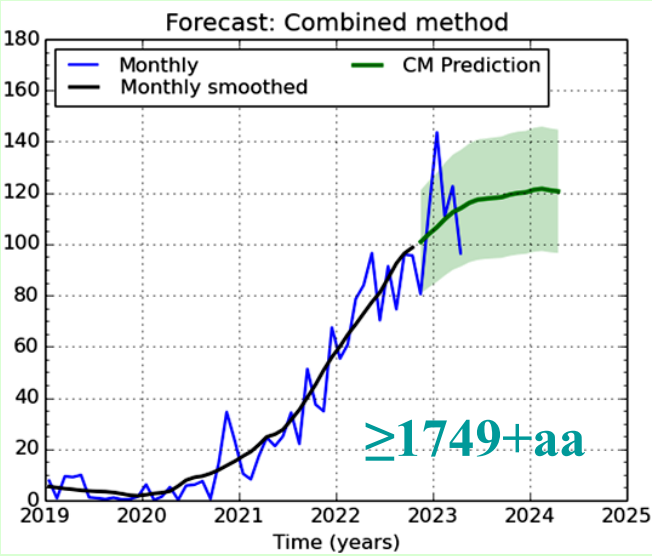
Начальный **СЦ новой эпохи СА** начинается **с** соответствующего (более низкого или более высокого) **фонового уровня общего МП**, который сохраняется на протяжении всей **эпохи**. Для эпохи повышенной СА это ~25 μT, а для эпохи пониженной СА – ~12 μT. Сам динамо-процесс развивается по классической схеме, **т.е.**, для каждой из эпох, **с разных начальных условий.** Этим наблюдательным фактом и обеспечивается **двухуровневый динамо-процесс, что показали наблюдения перехода от эпохи повышенной (СЦ18–22) к пониженной (СЦ23) СА.**

Т.о. реальный сценарий СА прямо приводит к заключению, что **образование солнечных пятен осуществляется в трёх разных режимах**, которые и определяют характер пятнообразовательной активности, давая возможность преобладать либо **небольшим группам пятен с пониженной вспышечной активностью**, либо образовывать **высокоактивные группы пятен сложной магнитной конфигурации.** (Ишков, 2013, 2023) .

3а. Прогноз развития солнечного цикла (среднесрочный?)

Хуже обстоят дела с прогнозом отдельного СЦ, что прямо показал прогноз развития текущего 25 СЦ – опять тот же парад полного набора параметров наступающего цикла: (T^{min}_{1}+1), через T^{max} до (T^{min}), времён наступления фаз, **высоты** и **ΔT,** импульсов наибольшей вспышечной активности.

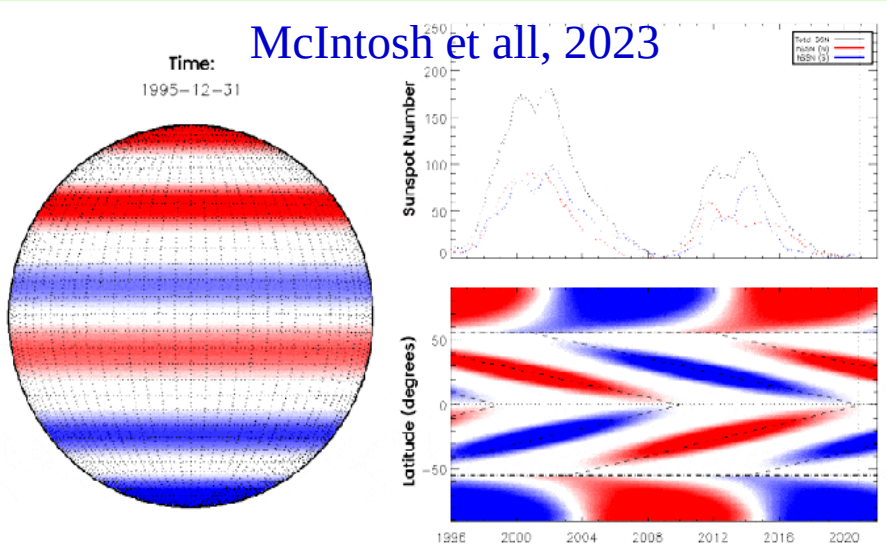


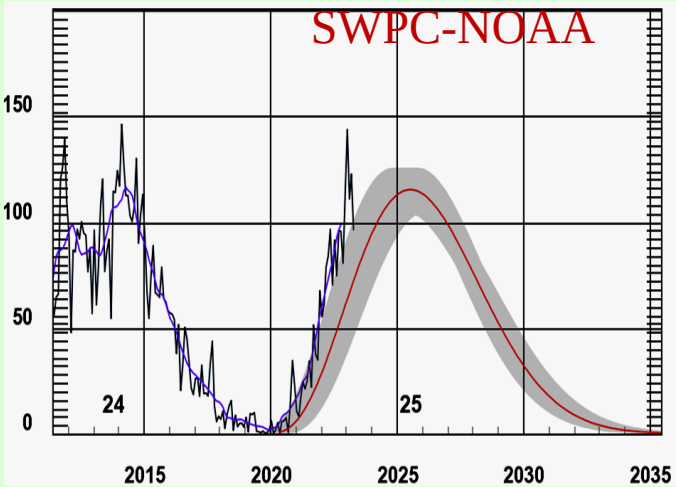


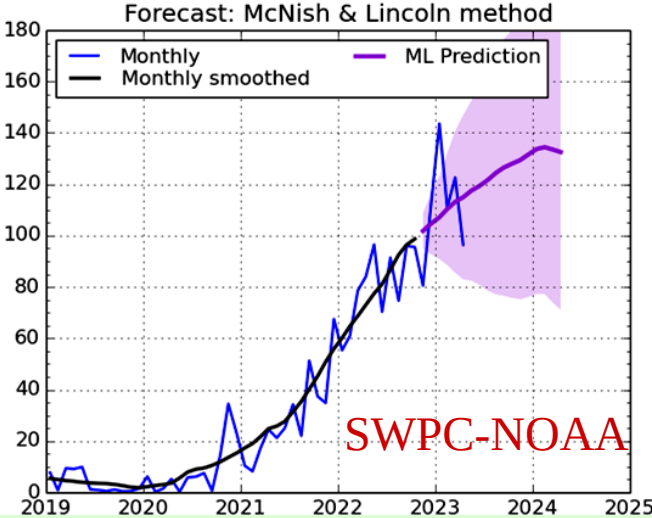
McNish A.G. & Lincoln J.V. 1949

Termination Event

23, 24 → 25 (W*~115-120) СЦ







Вопросы развития отдельных СЦ и их характеристик: ИЗМИРАН (Обридко, Кузанян, Шибаев, Ишков), ГАО, Пулково (Наговицин, Милецкий, Иванов, Волобуев), ИГУ, СибИЗМИР, ГЦ РАН, ГРАЦ…

4. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГСЯ: СОСТОЯНИЕ НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

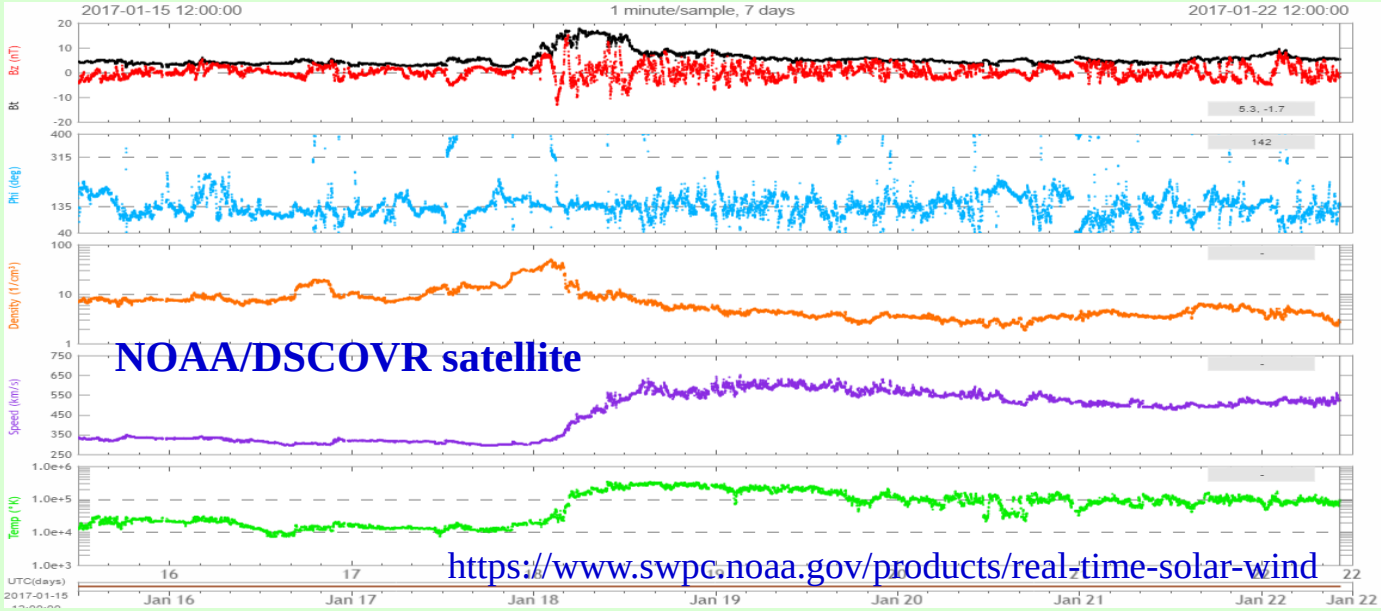
Интервал времени, на который возможен прогноз СГЯ, **определяется**:
– физическими процессами **всплытия** новых магнитных потоков и их **взаимодействия** с уже существующими МП;
– **закономерностями** появления и эволюции солнечных структур, в которых происходят геоэффективные явления, или которые сами (корональные дыры – **КД**) влияют на состояние ОКП.

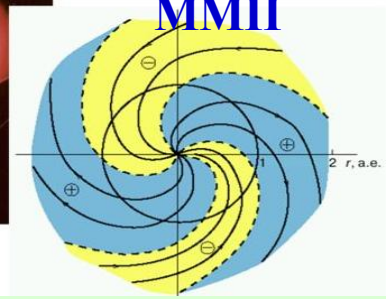
Сейчас мы понимаем, что все значимые **КРАТКОСРОЧНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ ОКП** вызваны исключительно 2-мя видами СГЯ:
СПОРАДИЧЕСКИЕ ЭРУПТИВНЫЕ– Солнечными Вспышечными Событиями, РЕКУРРЕНТНЫЕ– областями в короне Солнца с открытым в межпланетное пространство магнитным полем (**КД**). Стало понятным, что **вспышечные процессы (!без исключения!)** возникают как **следствие взаимодействия новых всплывающих магнитных потоков с уже существующими МП**: – в пределах АО → **солнечные вспышки**; – **вне их** → беспятенные (**хайдеровски**е, вспышки и **выбросы солнечных волокон [**Ишков, 1998**].**

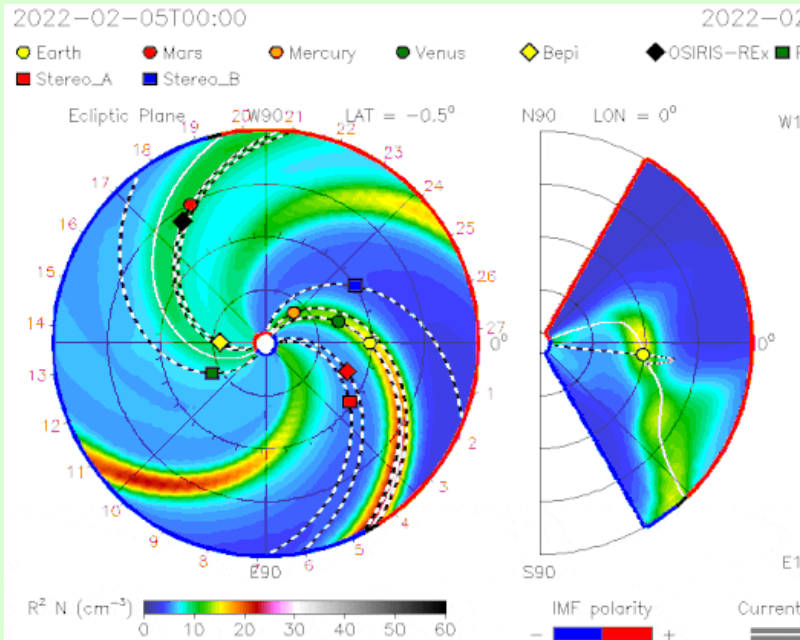
Основными агентами распространения возмущения от СВС в короне Солнца и в межпланетном пространстве, являются:
– **корональные выбросы вещества (КВВ–CME)**, характеристики которых позволяют **оценить** возможные возмущения геомагнитного поля, возможный **рост потоков** частиц больших энергий в ОКП. **Наблюдение CME при отсутствии вспышечного события говорит только об одном – источник CME за лимбом.**
– Высокоскоростные потоки солнечного ветра (**HSS**) от вспышечных событий и КД (**HSS CH**).

4. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ГСЯ: СОСТОЯНИЕ НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

Прогноз откликов ОКП на возмущения от ГСЯ, таких как **магнитные и ионосферные возмущения, СПС, потоков электронов с E>2 МэВ** непосредственно **зависит** от **успешного прогноза** состояния СА, от надежного прогноза солнечных активных явлений – **геоэффективных СВС и КД** и от **надёжной диагностики распространения** возмущённых структур по межпланетному пространству до ОКП







Отсюда вырисовывается современная реальная схема осуществления краткосрочного прогноза начала возмущений в ОКП и их длительности – прогноз геоэффективных ГСЯ, с учётом их распространения во внутренней гелиосфере и текущего состояния ОКП.

4. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СВС: СОСТОЯНИЕ НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

За последнее десятилетие было опубликовано масса статей по этой теме : Qahwaji and Colak (2007); Colak and Qahwaji, 2009; Huang et al., 2012; Ahmed et al., 2013; Huang et al., 2013; Huang andWang, 2013; Bobra and Couvidat, 2015; Barnes et al., 2016; Huang et al., 2018; Florios et al., 2018; Leka et al., 2018; Leka and Barnes, 2018; **Leka et al., 2019a, Leka et al., 2019b**; Liu et al., **2019;Chen et al**., 2019; Campi et al., 2019; Wang et al., 2020; Jiao et al., 2020; Cinto et al., 2020; Park et al., 2020; Sun et al., 2021; Nishizuka et al., 2021; Georgoulis et al., 2021; Sun et al., 2022; Liu et al., 2022 и ссылки к ним.

Количество опубликованных подходов с использованием наблюдений за МП (до 26 параметров) постоянно растёт, при этом утверждается, что каждый из них работает по-разному. Из-за различных методов анализа и используемых наборов данных практически невозможно сравнивать результаты из литературы. Эта проблема усугубляется низкой частотой осуществления значимых солнечных вспышек (средних и больших). Однако ни один автор не решился создать соответствующий сайт и реально делать прогноз вспышек, кроме вероятностных прогнозов NOAA и группы K.D. Leka (NW RA Inc).

Keyword	Description	Formula
TOTUSJH	Total unsigned current helicity	$H_{c_{\text{total}}} \propto \sum \lvert B_z \cdot J_z \rvert$
TOTBSQ	Total magnitude of Lorentz force	$F \propto \sum B^2$
TOTPOT	Total photospheric magnetic free energy density	$\rho_{\text{tot}} \propto \sum \left(\boldsymbol{B}^{\text{Obs}} - \boldsymbol{B}^{\text{Pot}}\right)^2 dA$
TOTUSJZ	Total unsigned vertical current	$J_{z_{\text{total}}} = \sum \lvert J_z \rvert dA$
ABSNJZH	Absolute value of the net current helicity	$H_{c_{\text{abs}}} \propto \left\lvert \sum B_z \cdot J_z \right\rvert$
SAVNCPP	Sum of the modulus of the net current per polarity	$J_{z_{\text{sum}}} \propto \left\lvert \sum^{B_z^+} J_z dA \right\rvert + \left\lvert \sum^{B_z^-} J_z dA \right\rvert$
USFLUX	Total unsigned flux	$\Phi = \sum \lvert B_z \rvert dA$
AREA_ACR	Area of strong field pixels in the active region	$\text{Area} = \sum \text{Pixels}$
TOTFZ	Sum of z-component of Lorentz force	$F_z \propto \sum (B_x^2 + B_y^2 - B_z^2) dA$
MEANPOT	Mean photospheric magnetic free energy	$\overline{\rho} \propto \frac{1}{N} \sum \left(\boldsymbol{B}^{\text{Obs}} - \boldsymbol{B}^{\text{Pot}}\right)^2$
R_VALUE	Sum of flux near polarity inversion line	$\Phi = \sum \lvert B_{LoS} \rvert dA$ within R mask
EPSZ	Sum of z-component of normalized Lorentz force	$\delta F_z \propto \frac{\sum (B_x^2 + B_y^2 - B_z^2)}{\sum B^2}$
SHRGT45	Fraction of Area with shear > 45°	Area with shear > 45° / total area
MEANSHR	Mean shear angle	$\overline{\Gamma} = \frac{1}{N} \sum \arccos\left(\frac{\boldsymbol{B}^{\text{Obs}} \cdot \boldsymbol{B}^{\text{Pot}}}{\lvert B^{\text{Obs}} \rvert \lvert B^{\text{Pot}} \rvert}\right)$
MEANGAM	Mean angle of field from radial	$\overline{\gamma} = \frac{1}{N} \sum \arctan\left(\frac{B_h}{B_z}\right)$
MEANGBT	Mean gradient of total field	$\overline{\lvert \nabla B_{\text{tot}} \rvert} = \frac{1}{N} \sum \sqrt{\left(\frac{\partial B}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B}{\partial y}\right)^2}$
MEANGBZ	Mean gradient of vertical field	$\overline{\lvert \nabla B_z \rvert} = \frac{1}{N} \sum \sqrt{\left(\frac{\partial B_z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B_z}{\partial y}\right)^2}$
MEANGBH	Mean gradient of horizontal field	$\overline{\lvert \nabla B_h \rvert} = \frac{1}{N} \sum \sqrt{\left(\frac{\partial B_h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial B_h}{\partial y}\right)^2}$
MEANJZH	Mean current helicity (B_z contribution)	$\overline{H_c} \propto \frac{1}{N} \sum B_z \cdot J_z$
TOTFY	Sum of y-component of Lorentz force	$F_y \propto \sum B_y B_z dA$
MEANJZD	Mean vertical current density	$\overline{J_z} \propto \frac{1}{N} \sum \left(\frac{\partial B_y}{\partial x} - \frac{\partial B_x}{\partial y}\right)$
MEANALP	Mean characteristic twist parameter, α	$\alpha_{\text{total}} \propto \frac{\sum J_z \cdot B_z}{\sum B_z^2}$
TOTFX	Sum of x-component of Lorentz force	$F_x \propto -\sum B_x B_z dA$
EPSY	Sum of y-component of normalized Lorentz force	$\delta F_y \propto \frac{-\sum B_y B_z}{\sum B^2}$
EPSX	Sum of x-component of normalized Lorentz force	$\delta F_x \propto \frac{\sum B_x B_z}{\sum B^2}$

4. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СВС: СОСТОЯНИЕ НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

«**A COMPARISON OF FLARE FORECASTING METHODS**» – серия семинаров и **workshops**, начиная с межведомственного семинара по прогнозам вспышек, состоявшегося в Болдере, в 2009 г., была посвящена **сравнению и оценке** традиционных **методов прогноза** вспышечных событий Цели этого проекта заключалась в том, чтобы **1) установить** эталонные показатели и методологии сравнения для оперативных средств прогноза вспышек, и **2) начать понимать**, какие конкретные методологии прогнозирования обеспечивают наилучшие результаты. Эффективность большинства существующих методов алгоритмов сравнивалась по общим данным, в частности, по изображениям и характеристиках продольного магнитного поля и доплеровских скоростей с последующими определениями того, как меняет начальные данные последующее вспышечное событие. Для оценки прогнозов был выбран интервал **2016.01.01–2017.12.31**. В проекте участвовало 14 обсерваторий, 4 итоговых статьи.

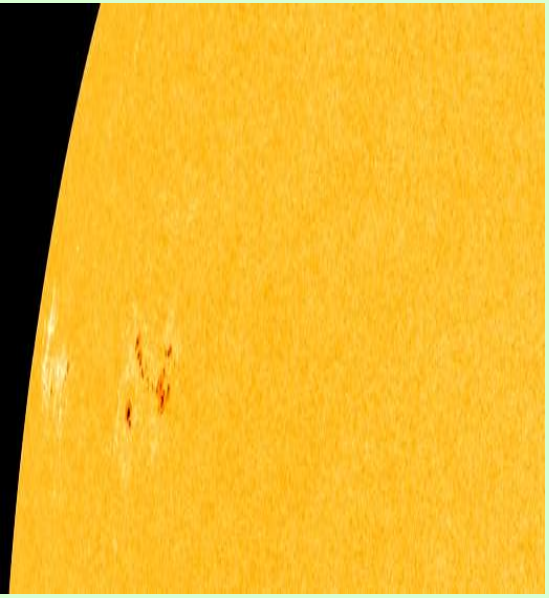
– A COMPARISON OF FLARE FORECASTING METHODS. **I II, III, IV**. RESULTS FROM THE "ALL-CLEAR" WORKSHOP, The Astroph. J., 829:89 (32pp), 2016.; – **II.** The Astroph. J. Supplement Series, 243:36 (15pp), 2019. **III** – The Astroph. J . 881(2):101; **IV** – The Astroph. J., 890:124 (22pp), 2020.

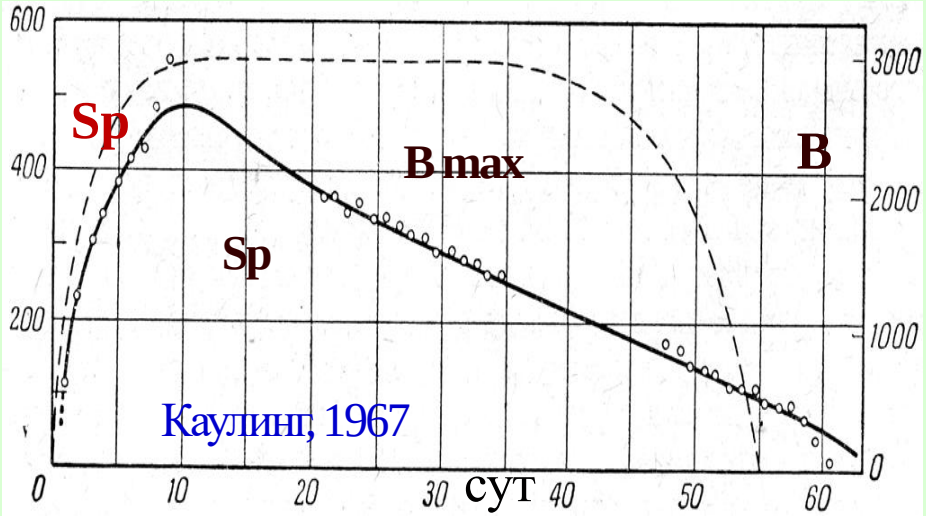
[Abramenko 2005; McAteer et al. 2005a; Jing et al. 2006; Leka & Barnes 2007; Schrijver 2007; Barnes & Leka 2008; Mason & Hoeksema 2010; Yu et al. 2010; Yang et al. 2013; Al- Ghraibah et al. 2015; Boucheron et al. 2015, климатологические (Woodcock 1976; Jolliffe & Stephenson 2003]

ВЫВОД: Когда сравнение проводилось таким образом, ни один метод явно не превосходил все остальные, что отчасти может быть из-за сильных корреляций между параметрами, используемыми разными методами для характеристики АО.
Ни один участвующий метод не оказался значительно лучше, чем **климатологические прогнозы.**

4. КРАТКОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ СВС: СОСТОЯНИЕ НА НАСТОЯЩИЙ МОМЕНТ

4а. Физические и наблюдательные принципы прогноза солнечных активных явлений на Солнце – динамические процессы **всплытия** магнитных потоков, **динамика** их развития и **взаимодействие** друг с другом. В зависимости от их **скорости всплытия**, их мощности и локализации относительно уже существующих МП, **магнитные потоки обеспечивают всё разнообразие активных структур на Солнце** [**Ишков, 1998**]





Скорость всплытия (<10^9 Вб/с)

– весь спектр активных областей (АО) с пятнами и без пятен: эфемерных АО ($S \leq 373$ Мм^2, $\Phi = 3 \cdot 10^{12}$ Вб и $\tau \leq 1$–$6^{сут}$ (для 75%–<$1^{сут}$), $V_{ВМП} = 3.4 \cdot 10^8$ Вб/с по (**Harvey, 1993**);

– Типичные малые АО, живут 1–$5^{сут}$, и с Sp ~50 мдп. [Куклин,1973].

– Пределы изменения магнитных потоков для АО пятенных КА– ($1.2 \cdot 10^{12}$–$8 \cdot 10^{14}$) Вб [McIntosh, 1981].

Всё эволюционное многообразие «спокойных» магнитных образований от эфемерных АО до комплексов активности можно рассматривать как следствие всплытия магнитных потоков, скорости которых определяют размеры и времена их жизни. Реальное приращение магнитного потока (скорость всплытия) для эволюционных не вспышечных магнитных структур составляет $\Phi/\tau \leq 1.7 \cdot 10^{12}$ Вб/сут.

4а. При **скорости всплытия** (**≥10^9 Вб/с, быстрые магнитные потоки**, (Головко 1986) создаются условия осуществления СВС **со всеми** сопровождающими их **явлениями во всех диапазонах** электромагнитного и корпускулярного излучений – **плазменных динамических структур** (вспышечных арочных систем (**AFFS, LPS**), **возвратных выбросов**), **транзиентных структур** в том числе :

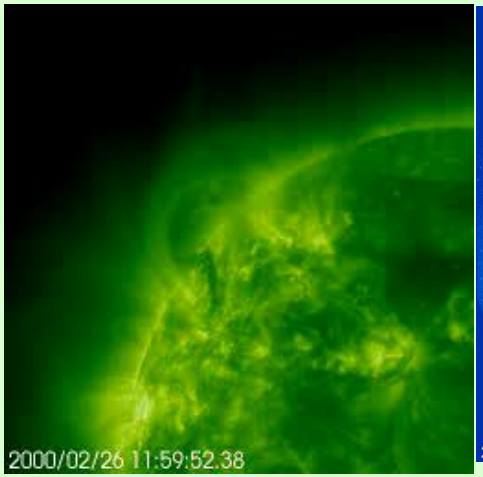
*__корональных выбросов вещества__ (КВВ-CME), наиболее впечатляющего составляющего вспышечного процесса,

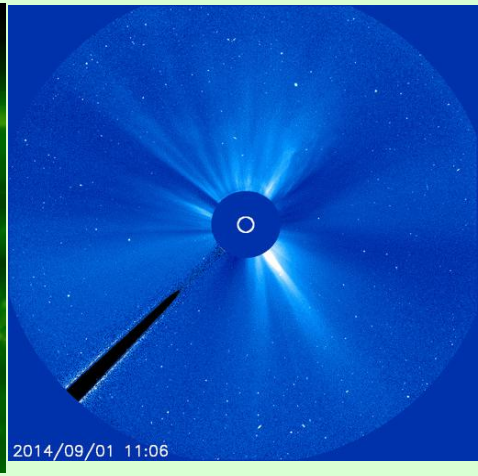
*наблюдаемых **динамических возмущений,** УВ, волн Мортона, EUV–поверхностных волн,

что и определяет понятие

СОЛНЕЧНОЕ ВСПЫШЕЧНОЕ СОБЫТИЕ

Процесс **осуществления** больших СВС– это **самостоятельный процесс внутри** общего **развития АО**, который производит **ВМП с быстрой эволюцией**. Ограниченный по времени, такой процесс всплытия нового магнитного потока **может ускорить** эволюцию АО, **однако**, в общем случае, **такое влияние** можно считать **несущественным,** т.к. **АО продолжает существовать** за счёт внутренних эволюционных изменений.





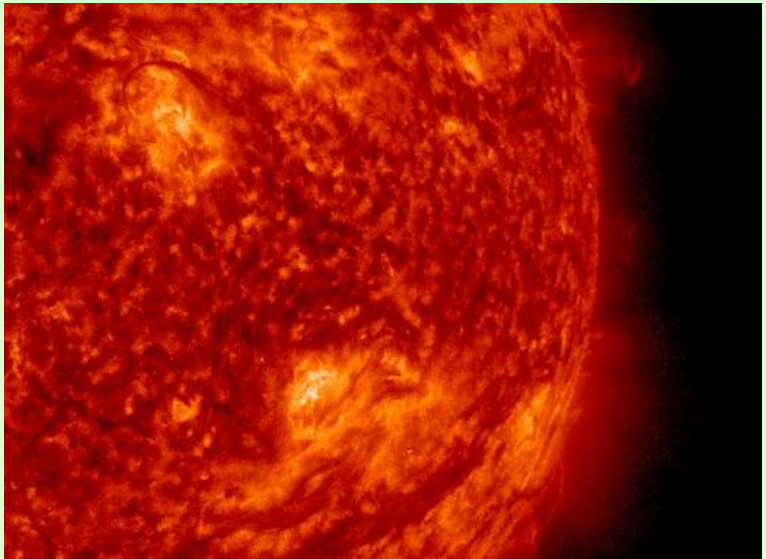
Важно!: новый магнитный поток приносит в АО всю энергию, нужную для реализации всех значимых СВС в ограниченное время

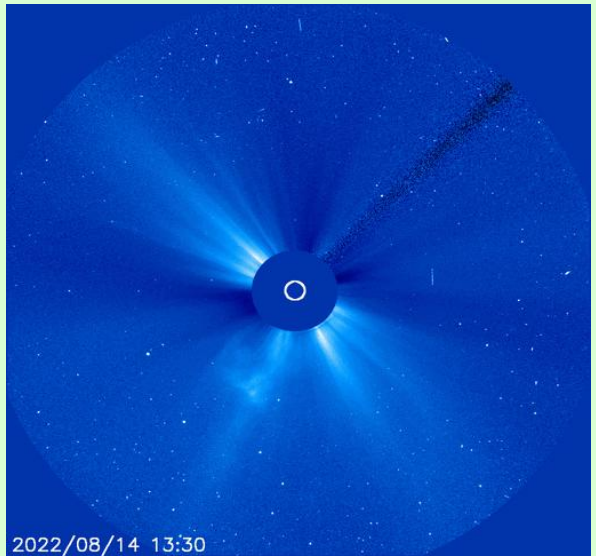
4а. Физические и наблюдательные принципы прогноза солнечных активных явлений на Солнце

СВС, как показывают наблюдения с высоким разрешением во всём диапазоне э/м волн – это совокупность **вспышечных узлов** (ряда простых вспышек), генетически связанных общим процессом энерговыделения, что обеспечивает длительный, дискретный (иногда квазипериодический) характер выхода вспышечной энергии в различных частях АО в разное время во временном интервале развития вспышки. Их **энергетика находится в прямой зависимости от величины МП в месте их возникновения**, и каждый акт выхода энергии вызывает всю цепочку явлений, присущих данному процессу.

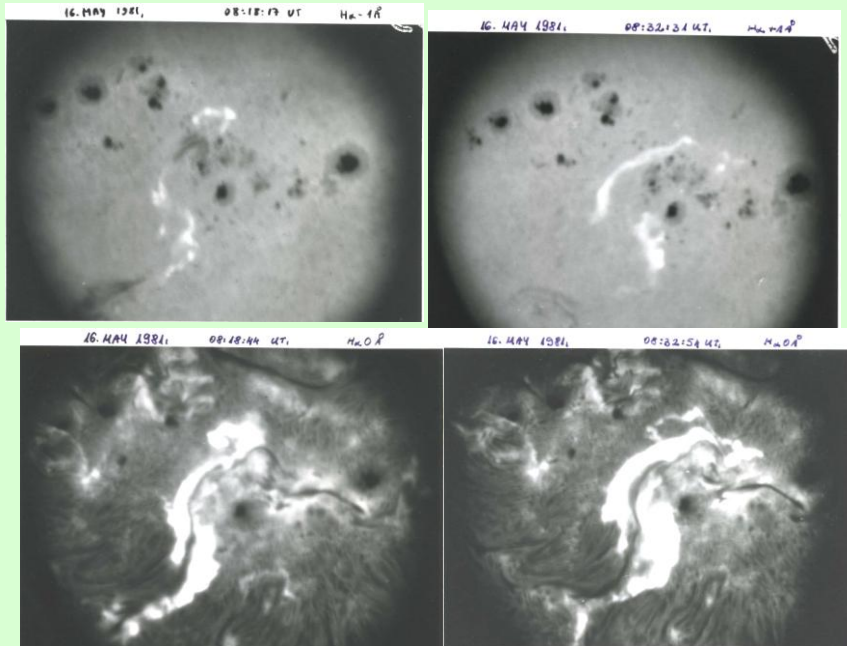
Пример выброса солнечного волокна – солнечные вспышечные события

20220814 1133 1150 1146 B9.0/DSF S10W33 13079 CME





Двухстадийная вспышка 16.05 1982 г.



4. ***Всплытие*** *новых* ***быстрых*** *потоков в зависимости от характеристик локальных магнитных полей приводят:*

– ***в пределах групп пятен*** *→ к периоду осуществления значимых* ***солнечных вспышек****, во всём диапазоне энергий, со всем спектром их проявлений, которые реализуются в ограниченный промежуток времени;*

– ***в беспятенных АО*** *→ к* ***хайдеровским вспышкам*** *(обычно одиночные) с* ***очень большой площадью эмиссии в линии Hα****, но слабой энергетикой в других диапазонах;*

– ***в фоновых полях → к выбросам солнечных волокон (DSF)*** *или их каналов.*

Такой подход позволяет **объединить все СВС** в зависимости от локализации вспышечных узлов в МП, что объединяет их в единую систему (Ишков, 2006)

$МП_{АО}$(Гс)	$M_{кл}$	Явления	Макс. балл		$F_{см}$ сеп	X^h, γ	КВВ	ВАС
<50	–	Уярчения,DSF		≤C7	<50	–	–	+
<500	–	*СВ (бесп)*	4N	*≤M7*	*≤300*	–	+	+
≤2000	γ, δ	СВ; (АО)	3B	>X17.5	>10000	+	+	+
>2500	δ	СВ	1B	≤M5	<5000	+	–	–

Для реального **прогноза** больших СВС **необходимо выявлять и определять характеристики нового ВМП**, чтобы он был **достаточно мощным (≥10^{13} Вб)** и **скорость** его всплытия была **достаточно велика (≥10^9 Вб/сек)**. Значимые СВС появляются **через 0.5–2^d после** начала такого ВМП в АО. **Период вспышечного энерговыделения**, за который осуществляется основная доля значимых вспышек в данной АО, в зависимости от степени её развития, характеристик её МП, мощности и скорости всплытия нового ВМП, **может занимать от 16 до 90^h, в среднем 55±30^h или 16% времени прохождения АО по диску Солнца.**

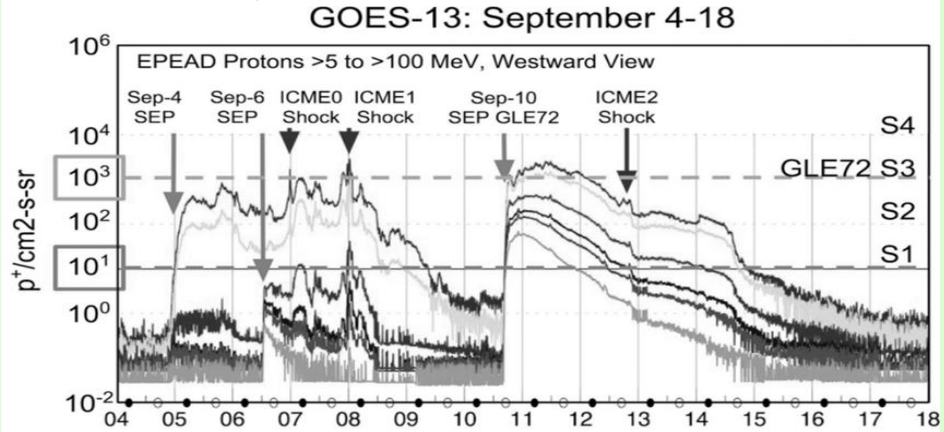
Внутри ПВЭ реализация отдельного СВС (возможно)–тригерный процесс.

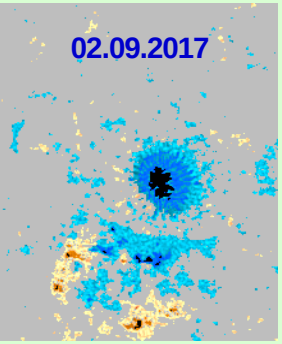
K.Kusano et all, 2020, SCIENCE, DOI: 10.1126/science.aaz2511

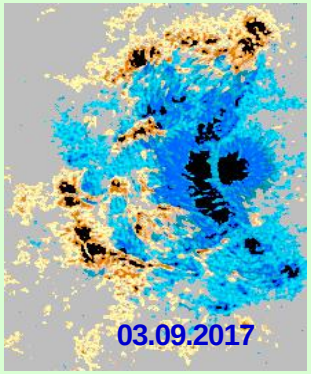
4. Во 2-ой эпохе пониженной СА в 24 СЦ картина заметно изменилась: быстрый, большой ВМП достаточно часто вызывает **уже в первый день реализует большую вспышку (M≥5)**.

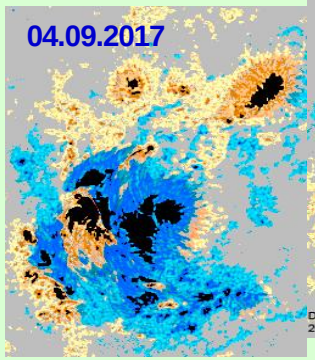
Пример серии СПС в одной АО в момент всплытия трёх мощных и быстрых ВМП:

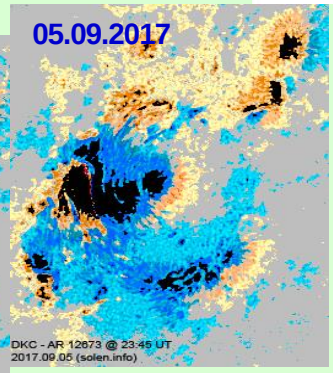
– самая вспышечно-активная АО (3 оборот) предыдущего 24 СЦ, в которой **3.09.2017 (ВМП$_1$)** начал всплывать мощный и быстрый ВМП, увеличивший к концу 4.09 Sp группы пятен почти в четыре раза, а к 8.09 довел её до макс. значения–1060 мдп.

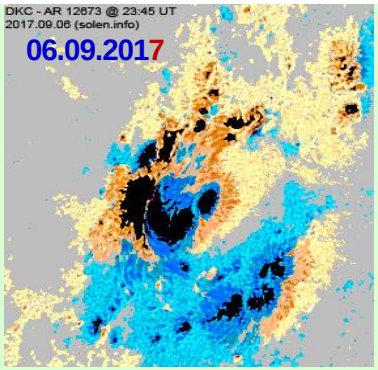


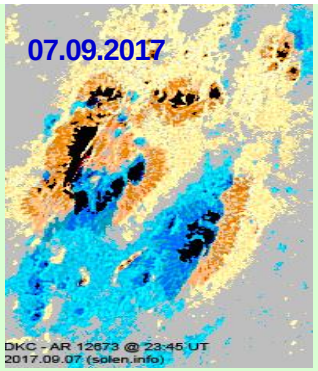


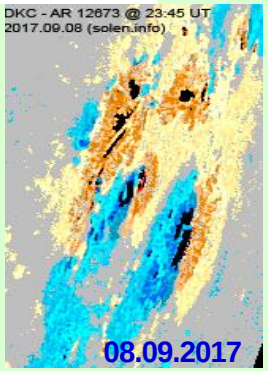






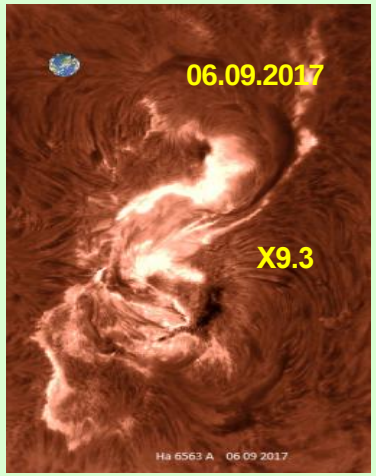






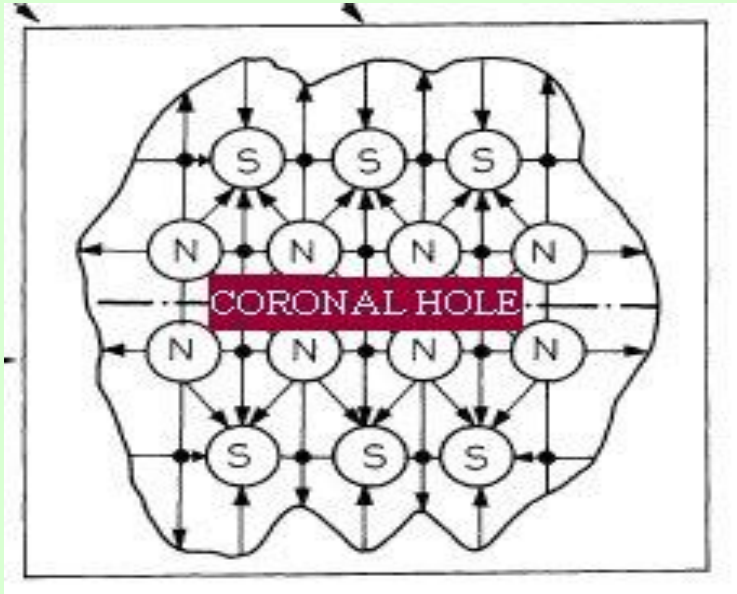
<u>AR12673</u> (S08L117, CMP 04.09.2017, Sp=1060 мдп, DKC, δ), XRI=18.97, $X_5^{9.3}+M_{26}^{8.1}+C_{54}$; $3_2+2_4+1_{13}+S_{84}$
ПВЭ1 (12^h) 4–5.09 – $M_8^{5.5}$;
ПВЭ2 (12^h) 6–8.09 – $X_4^{9.3}+M_{15}^{8.1}$;
ПВЭ3 (17h) 9–10.09 – $X_1^{8.2}+M_1$

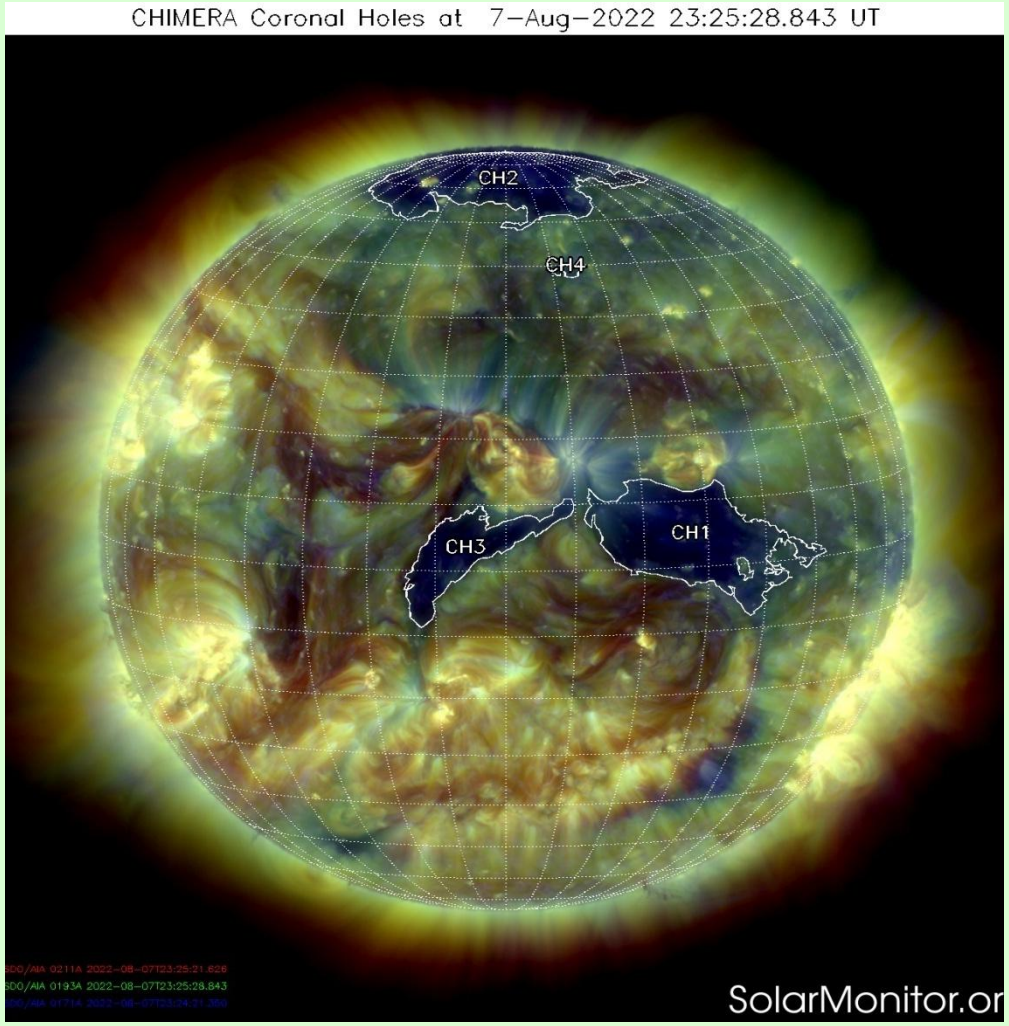
В процессе взаимодействия новых ВМП с собственным МП АО (6–8.09) осуществились 4 события классов X2.2, **X9.3**, X1.7 6.09, X1.3 7.09 и 6 больших вспышек класса M. Всплытие следующего нового магнитного потока (9–10.09) привело ещё к одному событию класса **X8.2** (10.09)



4. Появление КД определяются:

– динамикой крупномасштабных МП (образование униполярных магнитных структур) – образование и взаимодействие крупномасштабных магнитных потоков → КД). Их геоэффективность определяется площадью, средней величиной их МП и условиями распространением их ВСП в межпланетном МП.



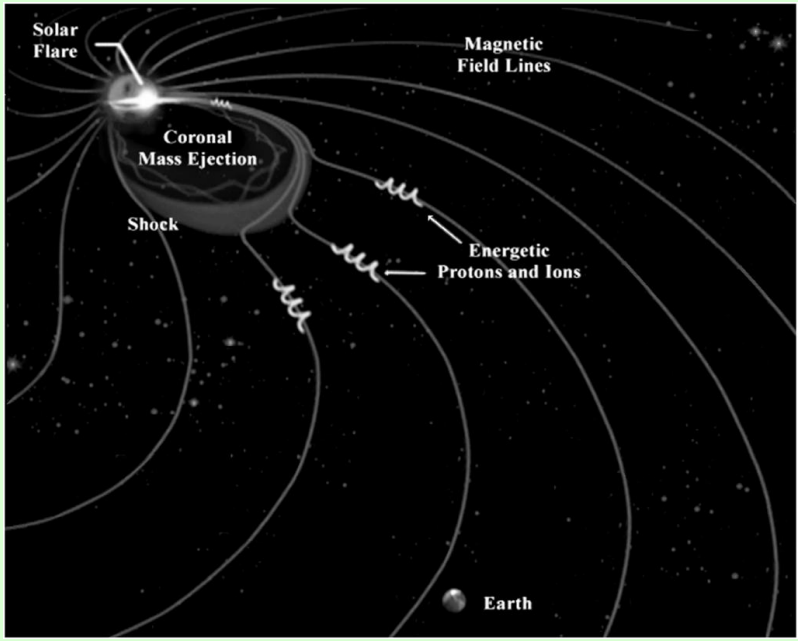


	Centroid [Heliocentric]	*Width [°]*	*Area [%]*	*B [G]*	*< Φ > [Mx]*
1	**W30N06**	**W11-W52**	**3.3**	**2.2**	**1.3e21**
	Kp=1 2 3 **4 4 4 4 6 5 5 5 4** Kmsc=1 2 2 3 **4 4 4 5 3 4 4 5**				
2	E00**N72**	E49-W72	2.1	1.3	9.8e20
3	W12N05	W00-W24	1.5	2.0	4.5e20
4	E20**S51**	E27-E13	0.1	6.3	2.3e20
5	W10**N58**	W01-W18	0.2	1.5	3.2e20
6	E35S25	E38-E31	0.1	1.6	4.0e19
7	E35N02	E37-E33	0.1	-0.6	-1.1e19

4б. Прогноз СКЛ: Возможность выхода солнечных протонов в реализуемом СВС определяется реальной мощностью СВС, параметрами КВВ, угловой шириной выхода последнего из области вспышки, соотношением энергетики СВС в разных диапазонах излучения и локализацией ВСВ на Солнце.

СВС – **<u>единственный</u> источник высокоэнергичных протонов**, как непосредственно от самого процесса энерговыделения, так и от динамических явлений, сопровождающих взрывной процесс, в первую очередь КВВ и УВ (быстрый мощный выброс – спрей, волна Мортона). **Прогноз СПС,** возможности выхода высокоэнергичных частиц **по средним характеристикам АО** какой бы сложной ни была её эволюционная и магнитная структура, **не представляется возможным – не существует особых «протонных» областей**;

Во время осуществления ПВЭ при реализации большого СВС **возможна оценка вероятности** выхода СПС **по локализации АО, по рентгеновскому классу (баллу), параметрам р/излучения, характеристикам КВВ** [Kahler et.al,2007; Balch, 2008; Belov, 2009; Laurenza et al. 2009], но это уже диагностика СПС. И настоящее время **строятся модели** *прогноза* **(диагностики) развития СПС по приходу первых частиц различных энергий** в околоземное космическое пространство [Posner, 2007; Núñez, Núñez, 2009; Núñez, 2011, 2015] .



Реальна только диагностика развития СПС по приходу первых частиц различных энергий в ОКП

5. Выводы:

– **Прогноз геоэффективных солнечных вспышечных событий** в настоящее время возможен как **прогноз периода осуществления серии значимых вспышек**, которые с вероятностью до 90% обязательно осуществятся в интервале времени **12^h (для эпохи пониженной СА), 24^h– 72^h** от времени появления первых признаков значимого по мощности и скорости всплытия нового магнитного потока**.** За этот ПВЭ **принесённая ВМП в АО энергия полностью реализуется и осуществятся практически все значимые СВС. Следующий ПВЭ возможен только при появлении нового ВМП.** *Дать прогноз порядка осуществления больших вспышек, мощность, класс и характер СВС в ПВЭ не представляется возможным, т.к. внутри ПВЭ работает* ***случайная тригерная схема*** *начала реализации последующих СВС;*

– **прогноз СПС по характеристикам АО,** какой бы сложной ни была её эволюционная, магнитная и вспышечная структура, **не представляется возможным – нет особых «протонных» АО**;

– **во время осуществления ПВЭ** при реализации большого СВС **возможна оценка вероятности** выхода СПС **по локализации АО, по рентгеновскому классу (баллу), параметрам р/излучения, характеристикам КВВ,** но это уже диагностика СПС. В настоящее время строятся модели **прогноза (диагностики) развития СПС по приходу первых частиц различных энергий** в околоземное космическое пространство [Posner, 2007; Núñez, Núñez, 2009; Núñez, 2011, 2015]

Итак:

– **Любое всплытие** нового магнитного потока в границах уже существующего магнитного образования **обязательно ведёт к возникновению вспышечной активности**. Её **уровень** целиком зависит от **величины и скорости всплытия** нового потока. В то же время **геоэффективность** событий **определяется структурой** уже **существующего МП**, **параметрами СВС, условиями выхода СМЕ, близостью КД** .

Такое понимание механизма подготовки и осуществления вспышечных процессов привело к созданию методики составления краткосрочных **прогнозов периодов больших вспышечных событий**, которая была успешно опробована на космических аппаратах **ГРАНАТ, ГАММА, КОРОНАСы**.

БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!!!