



Исследование захваченных колебаний в солнечных вспышках по данным наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне

Каракотов Р.Р., Кузнецов А.А., Анфиногентов С.А.

ФГБУН Институт солнечно-земной физики СО РАН

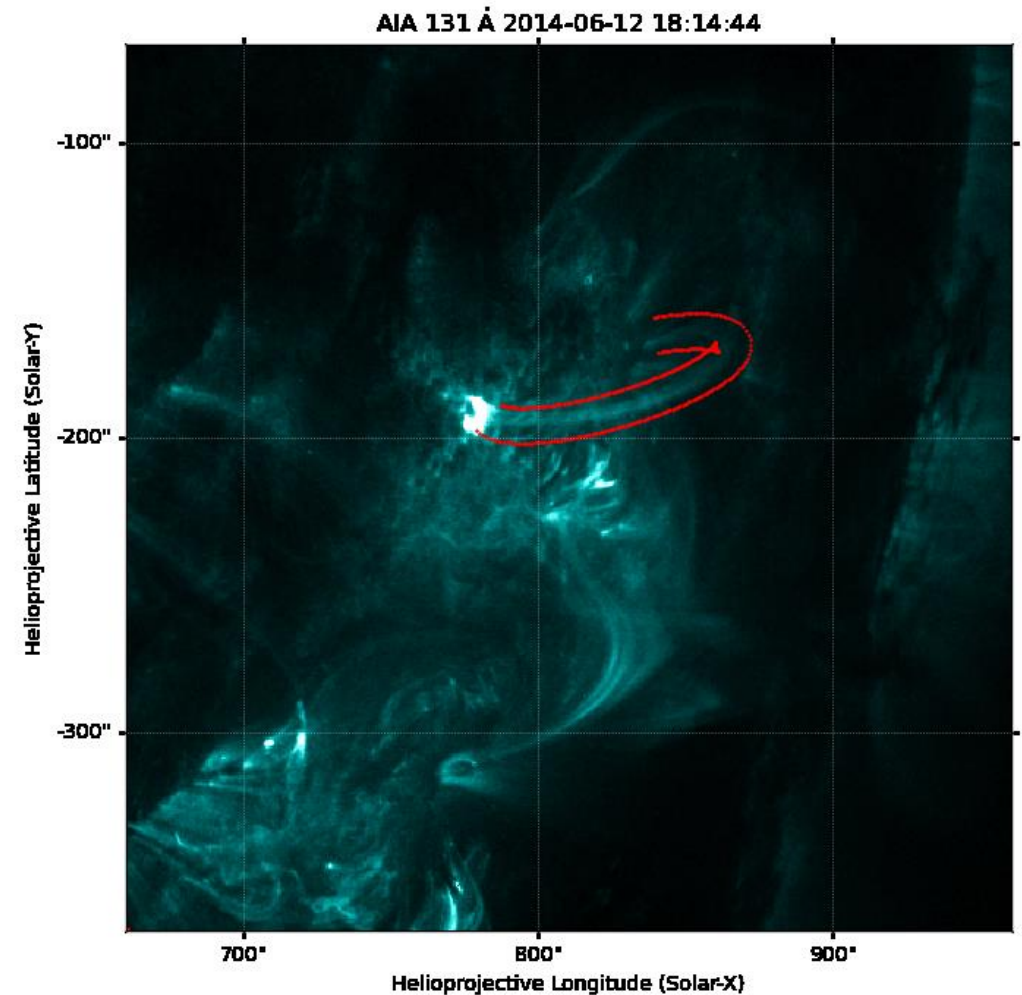
karakrus97@mail.ru

Международная Байкальская молодежная научная школа по фундаментальной физике
«Физические процессы в космосе и околоземной среде»

Колебания типа sloshing

Плещущиеся («sloshing») колебания – медленные волны, перемещающиеся вдоль петли, отражаясь от её оснований.

Являются одним из средств диагностики корональной плазмы путём применения теории магнитной гидродинамики.



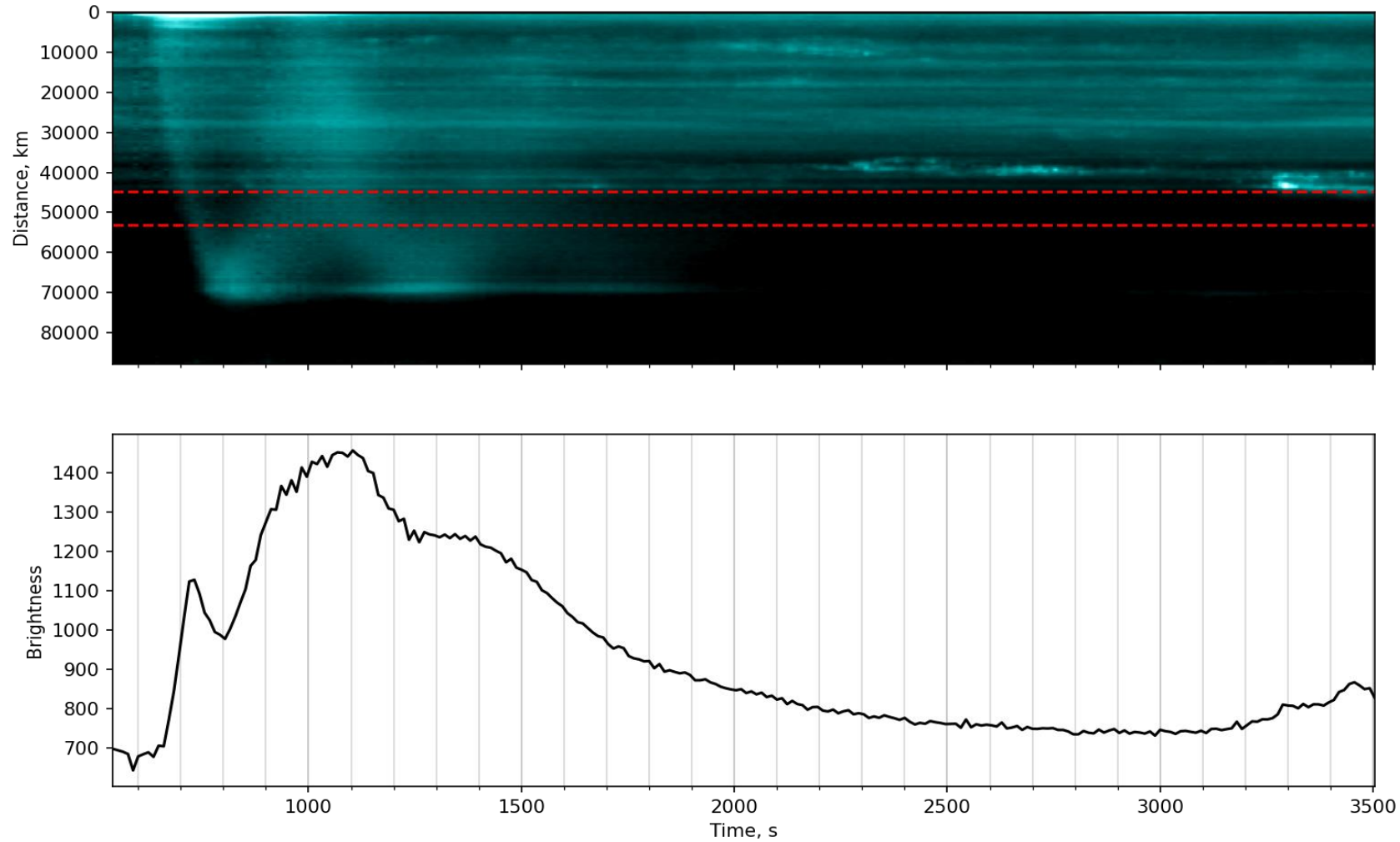
Анимация колебания типа sloshing в корональной петле во время вспышки 2014-06-12, красным выделен контур петли

Цель работы

Проанализировав наблюдения солнечной короны при помощи SDO/AIA, составить каталог событий, известных как «плещущиеся» (sloshing) колебания.

Для каждого события определить его параметры (длина петли, в которой наблюдалось колебания, период колебания и т.д.), определить возможные связи между ними и дать интерпретацию полученным результатам.

Колебания типа sloshing



Sloshing-колебание в корональной петле во время вспышки 2014-06-12 (сверху), красным выделена область, в которой были взяты срезы, далее усреднены. Усредненный временной профиль яркости приведен снизу.

Sloshing-колебания за период 2013-2014

В ходе анализа солнечных вспышек класса М, С за период 2013-2014 гг. было найдено 17 событий sloshing-колебаний.

Были определены параметры колебания, дана оценка температуры плазмы в предположении перемещения возмущения со скоростью звука.

Оценка температуры является достаточно неточной, поскольку опирается на значения периода (а там большая погрешность измерений) + показатель адиабаты $\gamma = 1$ для горячих петель.

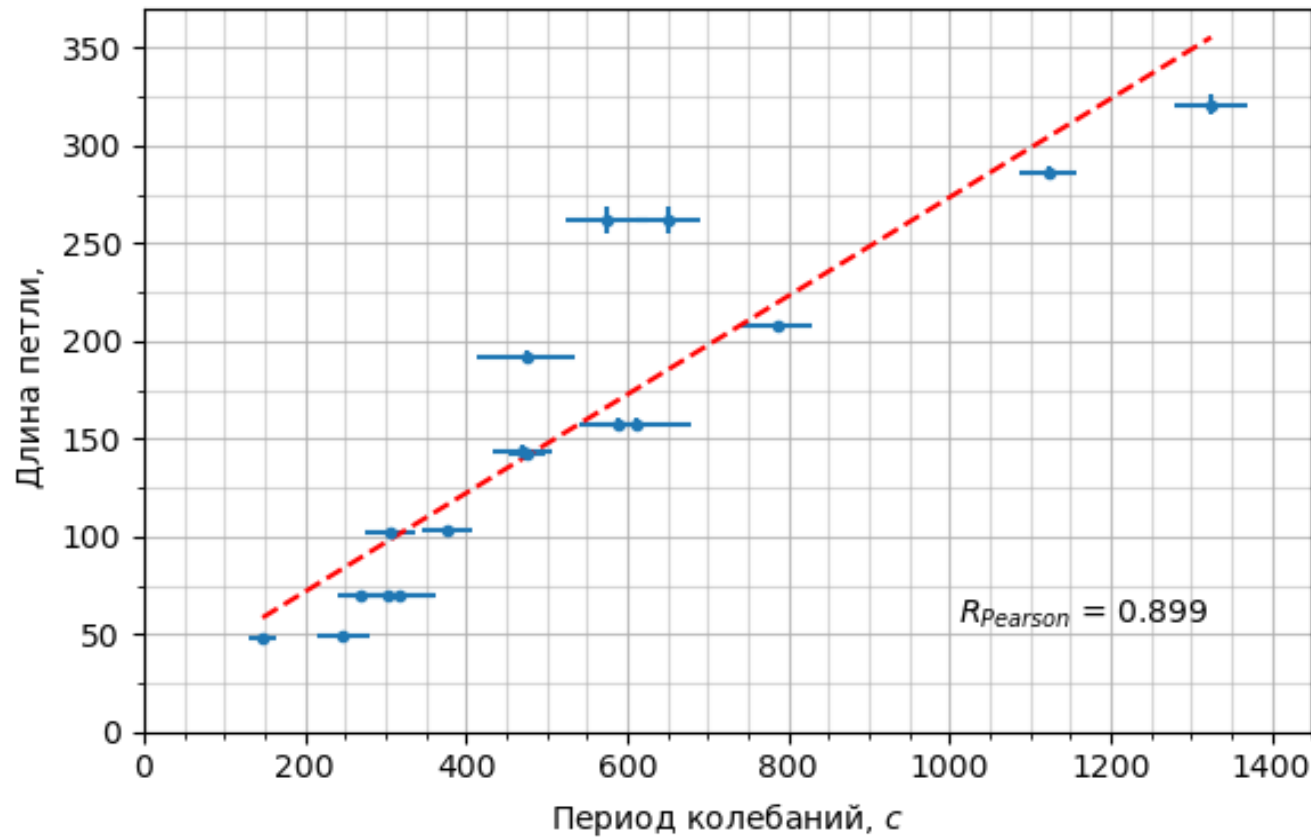
Таблица 3. Параметры sloshing-колебаний и оценка температуры корональной плазмы

Время события	Период колебания, с	Длина петли, Мм	Скорость перемещения возмущения, км/с		Температура плазмы, МК	
			min	max	min	max
2013-10-22T00:12:00	247±33	49±1.4	340	470	5	9,6
2013-10-22T01:03:00	270±29	70±2.7	448	601	8,8	15,8
2013-10-22T01:15:00	318±44	70±2.7	371	529	6	12,2
2013-10-22T01:40:00	304±55	70±2.7	373	581	6,1	14,7
2013-10-25T21:10:00	474±62	192±2.8	706	944	21,7	38,9
2013-11-15T03:07:00	786±44	207±2.6	493	566	10,6	14
2013-11-23T03:35:00	652±40	262±6.5	737	876	23,8	33,5
2013-11-23T03:51:00	573±51	262±6.5	817	1027	29,2	46
2014-02-02T06:35:00	306±32	102±1.8	592	758	15,3	25,1
2014-02-02T09:44:00	377±32	103±1.6	495	605	10,7	16
2014-02-14T17:11:00	588±28	158±3.2	501	573	11	14,3
2014-02-14T18:01:00	611±69	158±3.2	453	593	9	15,4
2014-06-12T09:33:00	470±36	143±3.3	552	673	13,3	19,8
2014-06-12T18:16:00	476±23	143±1.6	564	636	13,9	17,6
2014-06-12T10:04:00	148±18	48±1.8	561	769	13,8	25,8
2014-12-13T05:56:00	1123±36	286±3.5	488	533	10,4	12,4
2014-12-14T19:58:00	1325±46	321±5.3	460	510	9,2	11,4

Из скорости звука можно определить температуру плазмы в петле:

$$c_s = \sqrt{\frac{\gamma k_b T}{\widehat{\mu}_p m_p}}, \text{ где } \widehat{\mu}_p = 0.6, \gamma = \frac{5}{3}$$

Sloshing-колебания за период 2013-2014



Линейная зависимость
между длиной петли L и
периодом зафиксированных
колебаний t

$$\frac{2dL}{dt} = v = 504 \pm 63 \text{ км/с}$$

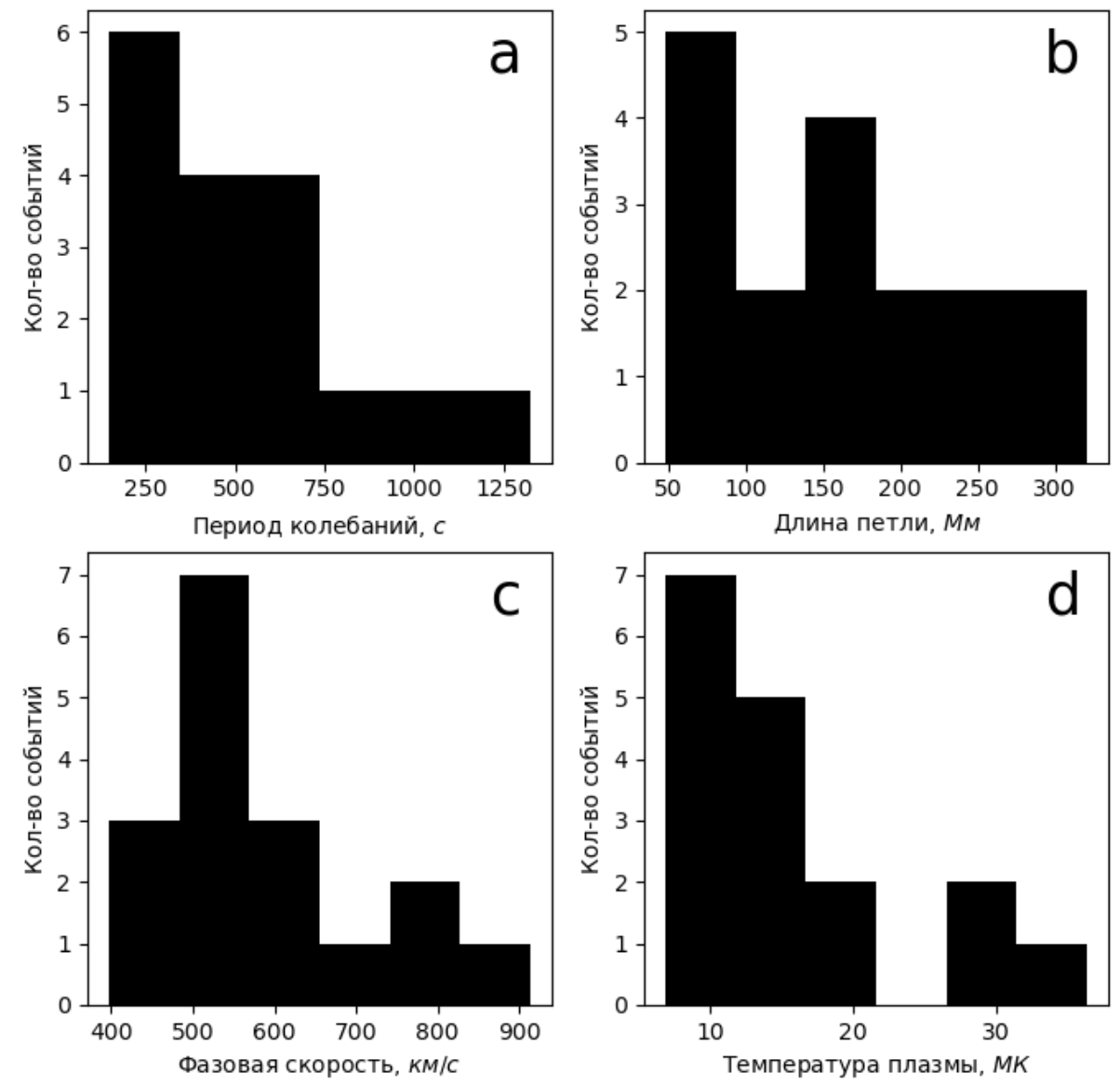
Зависимость длины петли от периода зафиксированных захваченных колебаний (синие точки) и построенный линейный тренд (красная линия)

Sloshing-колебания за период 2013-2014

Колебания с меньшими периодами наблюдаются чаще, чем колебания с большими периодами.

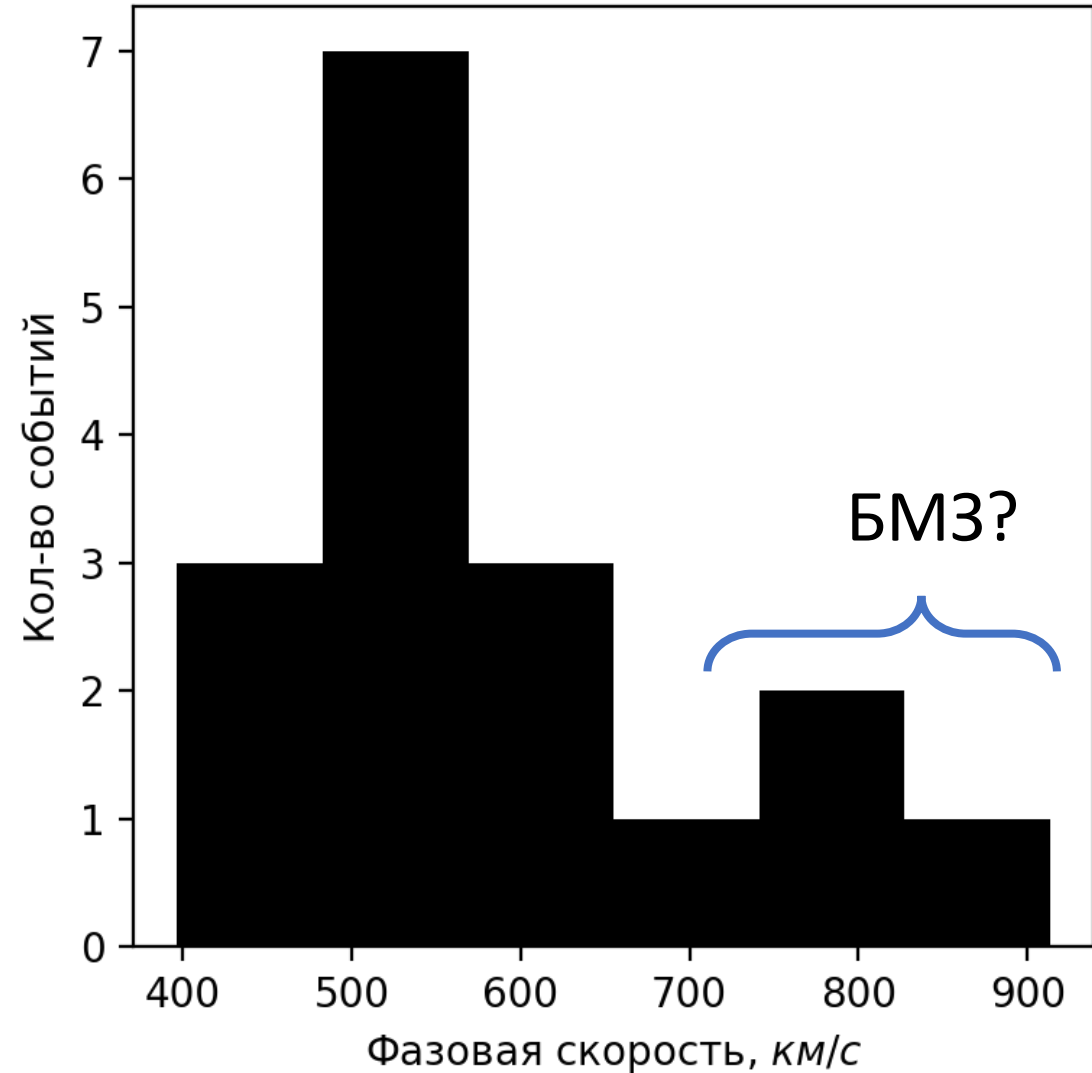
Распределение по длинам петель не показывает определённого тренда, вероятность возникновения колебаний в петлях с разной длиной более-менее постоянная

Распределение событий по температуре показывает падение встречаемости с ростом температуры плазмы



Зависимость встречаемости от фазовой скорости

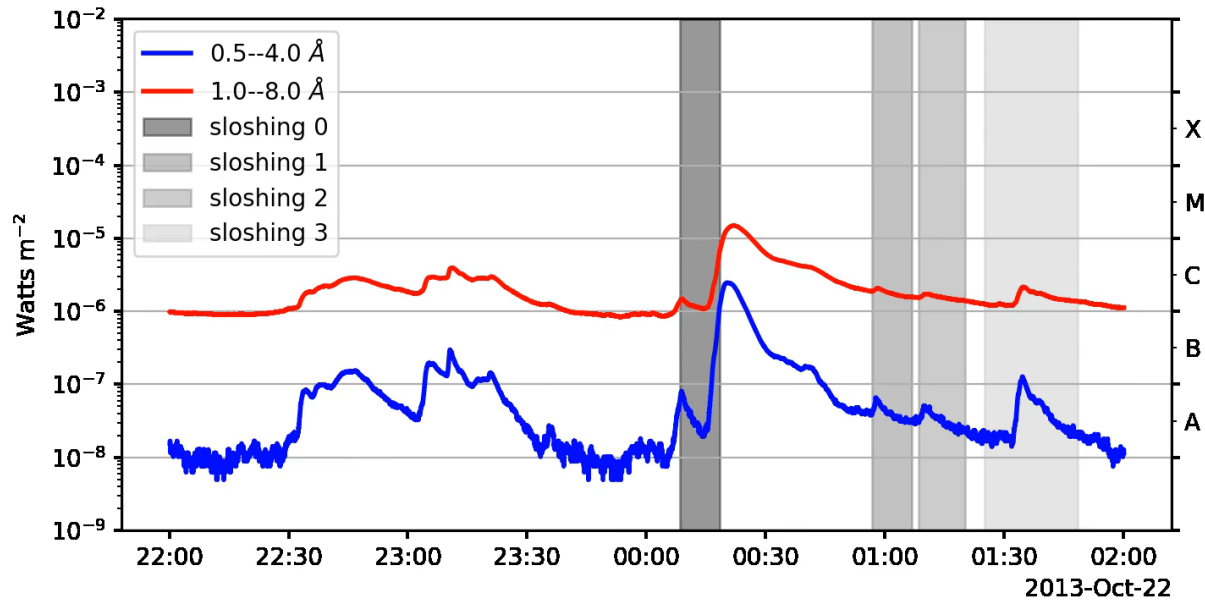
Sloshing-колебание ассоциируется прежде всего с медленным магнитозвуковой волной, однако, в ходе наблюдений получены скорости больше ~ 700 км/с.



Сопоставление слошингов и вспышек

Таблица 4. Сопоставление слошингов и вспышек из различных каталогов

Время sloshing события	Класс вспышки по НЕК	RHESSI flare catalogue		Flare class (GOES)
		ID	Time	
2013-10-22T00:12:00	C1.0	13102205	2013-10-22T00:13:52	C1.5
2013-10-22T01:03:00	M1.0	-	-	C2.0
2013-10-22T01:15:00	M1.0	13102210	2013-10-22T01:15:00	C1.7
2013-10-22T01:40:00	C1.4	13102211	2013-10-22T01:30:12	C2.1
2013-10-25T21:10:00	M1.9	-	-	M2.6
2013-11-15T03:07:00	C1.7	-	-	C2.4
2013-11-23T03:35:00	C3.1 (или M1.1)	13112306	2013-11-23T03:38:08	C3.6
2013-11-23T03:51:00	C3.1 (или M1.1)	13112307	2013-11-23T03:41:08	C4.4
2014-02-02T06:35:00	M2.6	14020230	2014-02-02T06:30:40	M3.9
2014-02-02T09:44:00	M4.4	-	-	M6.4(?)
2014-02-14T17:11:00	M1.0	14021460	2014-02-14T16:38:32	C3.0
2014-02-14T18:01:00	C3.6	14021460	2014-02-14T16:38:32	C3.5
2014-06-12T09:33:00	M1.8	14061228	2014-06-12T09:38:40	M2.6
2014-06-12T18:16:00	C6.7	-	-	M1.9
2014-06-12T10:04:00	M1.8	14061230	2014-06-12T09:59:12	C3.7
2014-12-13T05:56:00	M1.5	-	-	-
2014-12-14T19:58:00	C4.7	14121473	2014-12-14T19:45:40	C6.7

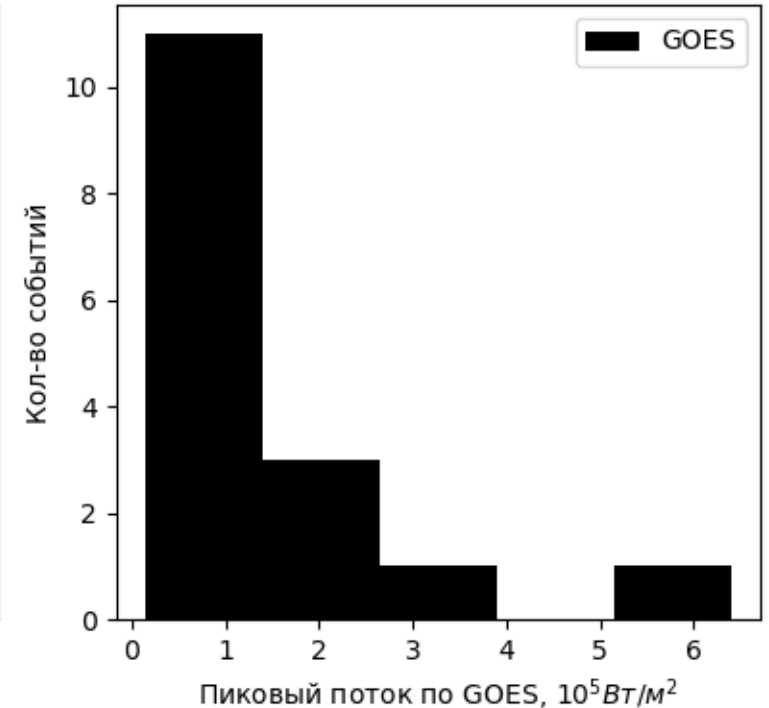
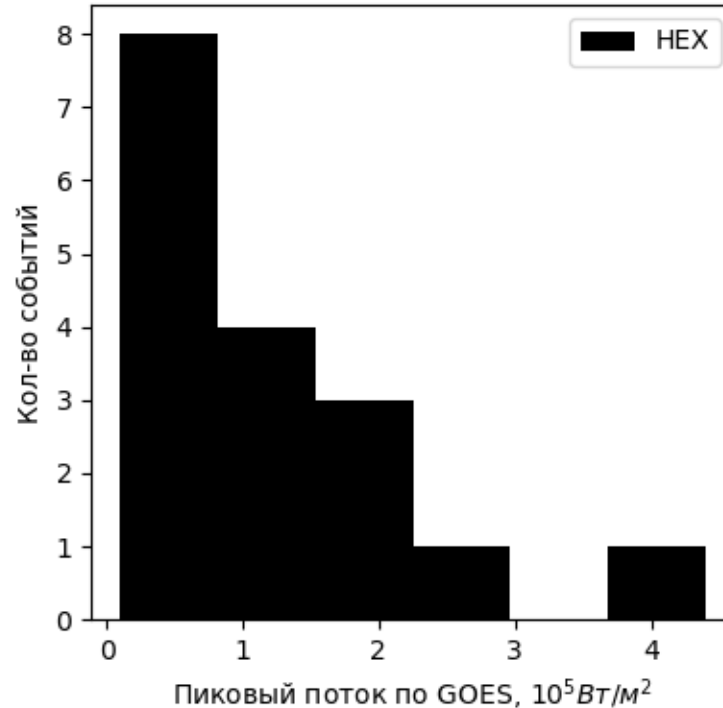


Изначально для поиска колебаний использовался вспышечный каталог НЕК. Также был определен класс вспышек по потоку на 1-8 Å на GOES/XRS, установлена связь между слошингом и вспышкой из каталога RHESSI (но не везде).

Сопоставление слошингов и вспышек

Построенные гистограммы показывают преобладание событий вызванных вспышками более низких классов.

Данная зависимость вызвана в том числе и тем фактом, что вспышки с низким классом встречаются чаще, значит, и слошинг колебаний, вызванных такими вспышками, будет больше.



Заключение

В ходе анализа вспыхивающих событий класса М, С было найдено 17 событий sloshing-колебаний. Была произведена попытка привязать данные события к зафиксированным солнечным вспышкам.

Были определены параметры sloshing-колебаний и температура плазмы в петле, где колебания наблюдались. Было замечено, что при характерных длинах корональных петель ~ 100 Мм были замечены колебания в достаточно коротких (~ 40 - 50 , 70 Мм) петлях.

Полученные значения температуры плазмы обладают большой погрешностью, связанной с большой погрешностью определения периода колебаний ($\sim 10\%$), к тому же оценка чувствительна к выбору показателя адиабаты γ .

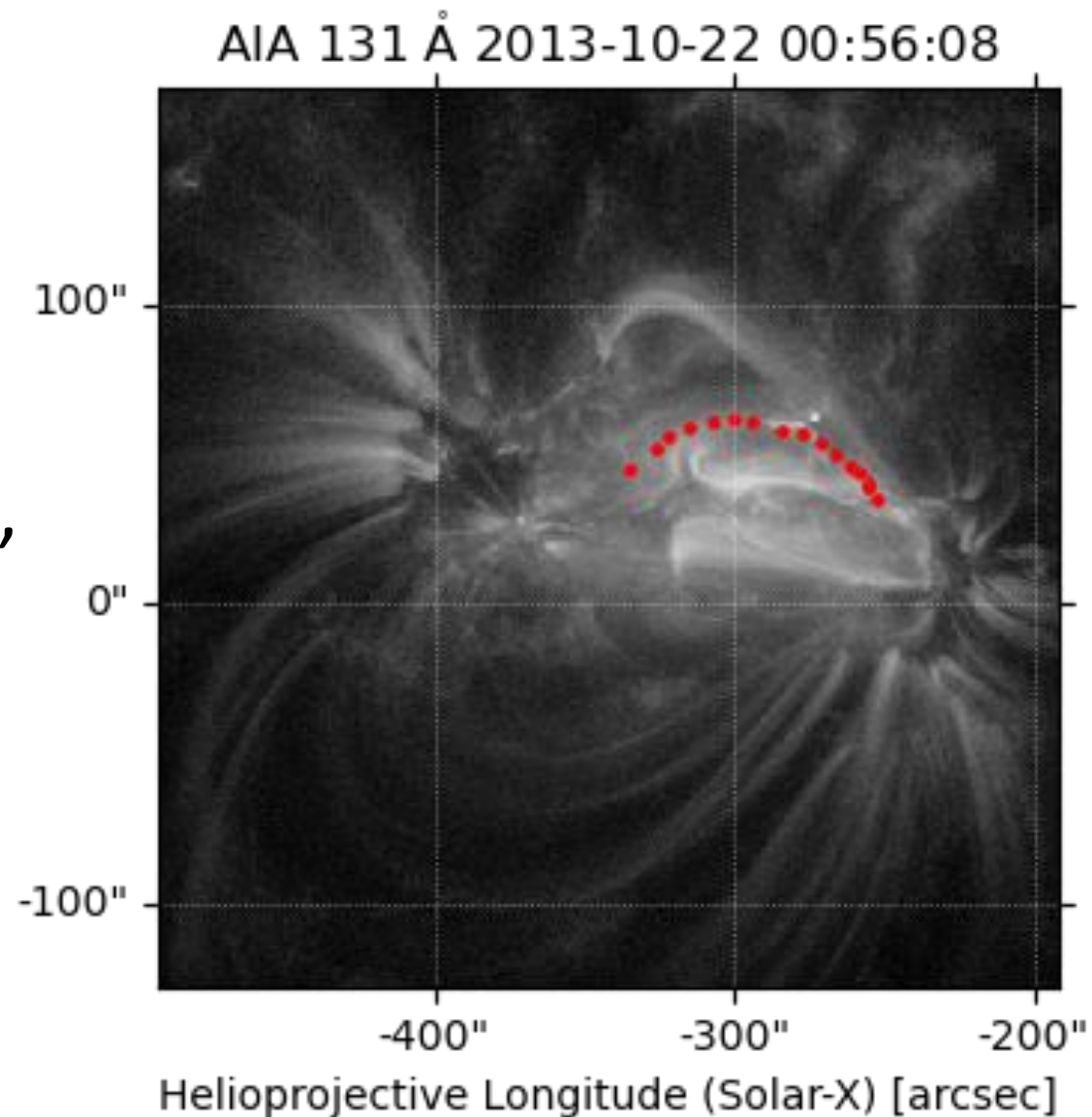
Замечена линейная зависимость периода sloshing-колебаний от длины петли.

Спасибо за внимание!

Построение пространственно-временной диаграммы

Шаг 1:

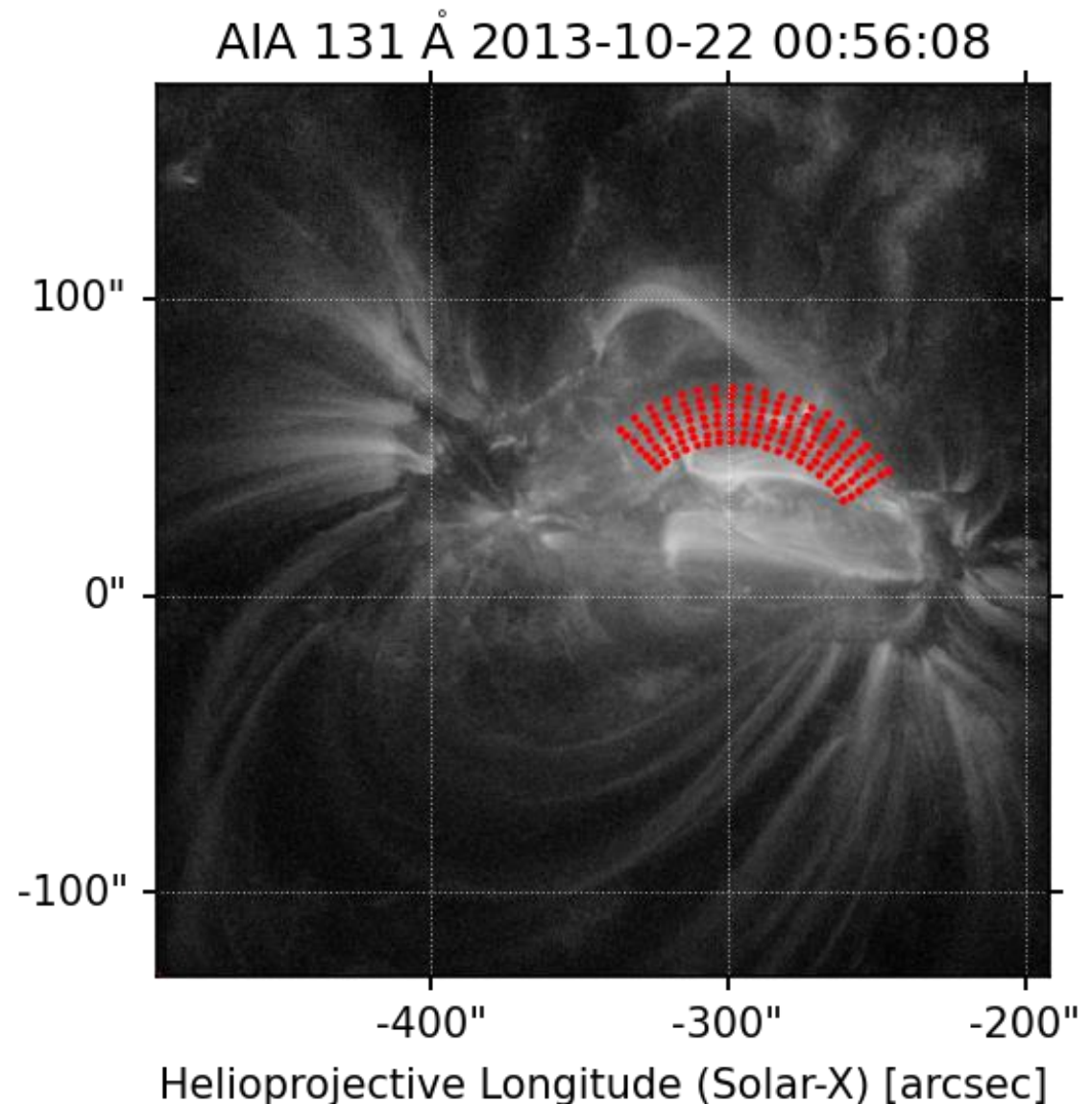
Визуально выделить петлю,
ввести координаты точек



Построение пространственно-временной диаграммы

Шаг 2:

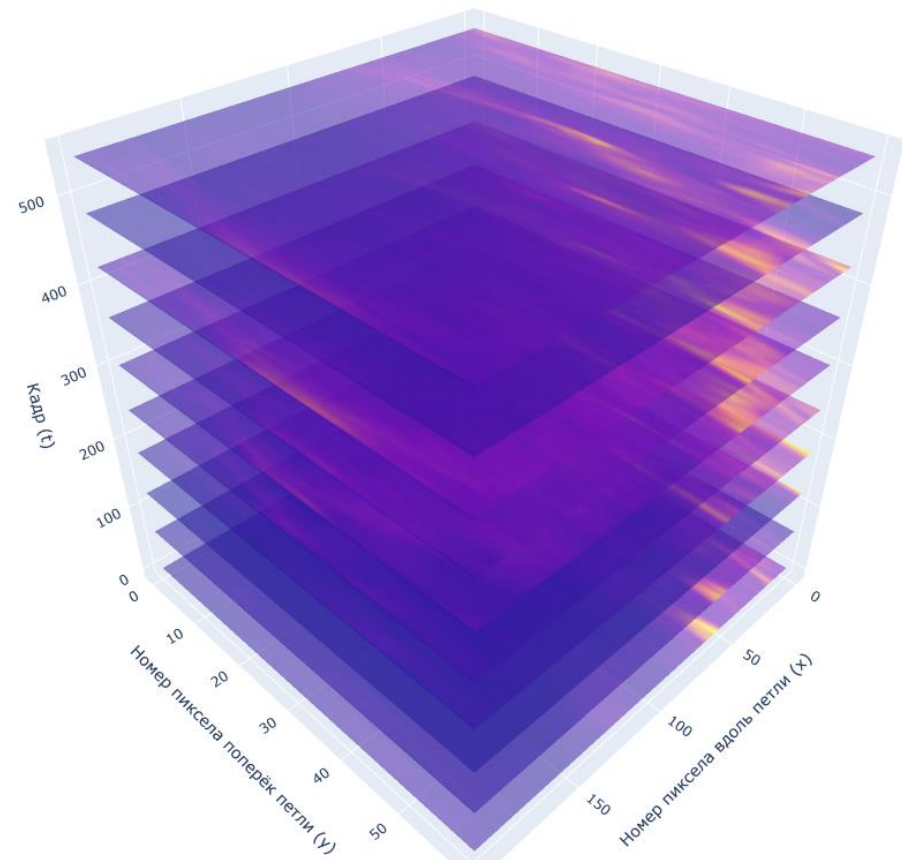
Построить набор точек в криволинейной СК, связанной с петлёй



Построение пространственно-временной диаграммы

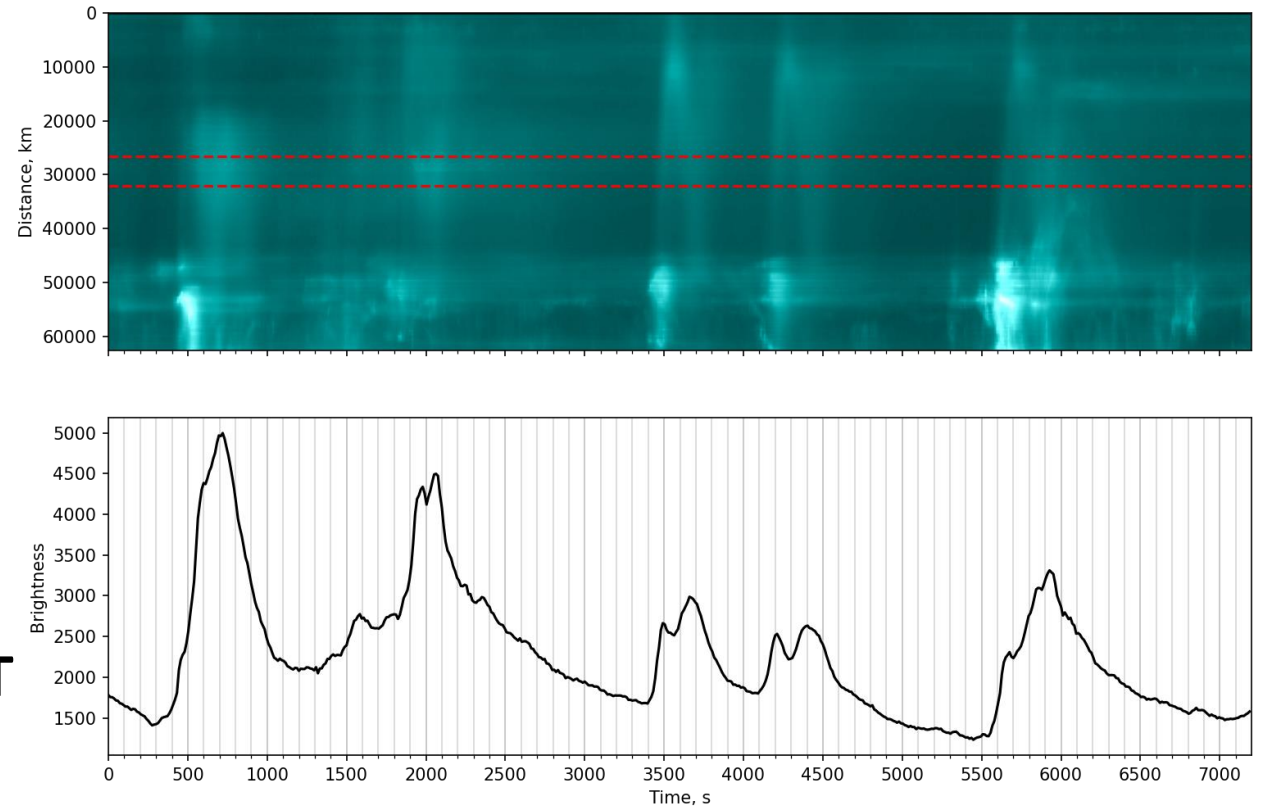
Шаг 3:

Получить распределение интенсивности в виде трёхмерного массива (2 пространственные и 1 временная координата)



Построение пространственно-временной диаграммы

Шаг 4:
Просуммировать по одной
из пространственных
координат (в зависимости от
задачи)



Серия из 4-х sloshing-колебаний, зафиксированных 2014-06-12 (сверху), красным выделена область, в которой были взяты срезы, далее усреднены. Усредненный временной профиль яркости приведен снизу.