



МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет, г. Москва

«Статистика ионосферных возмущений по данным спутниковой миссии Swarm в 2014 – 2015гг.»

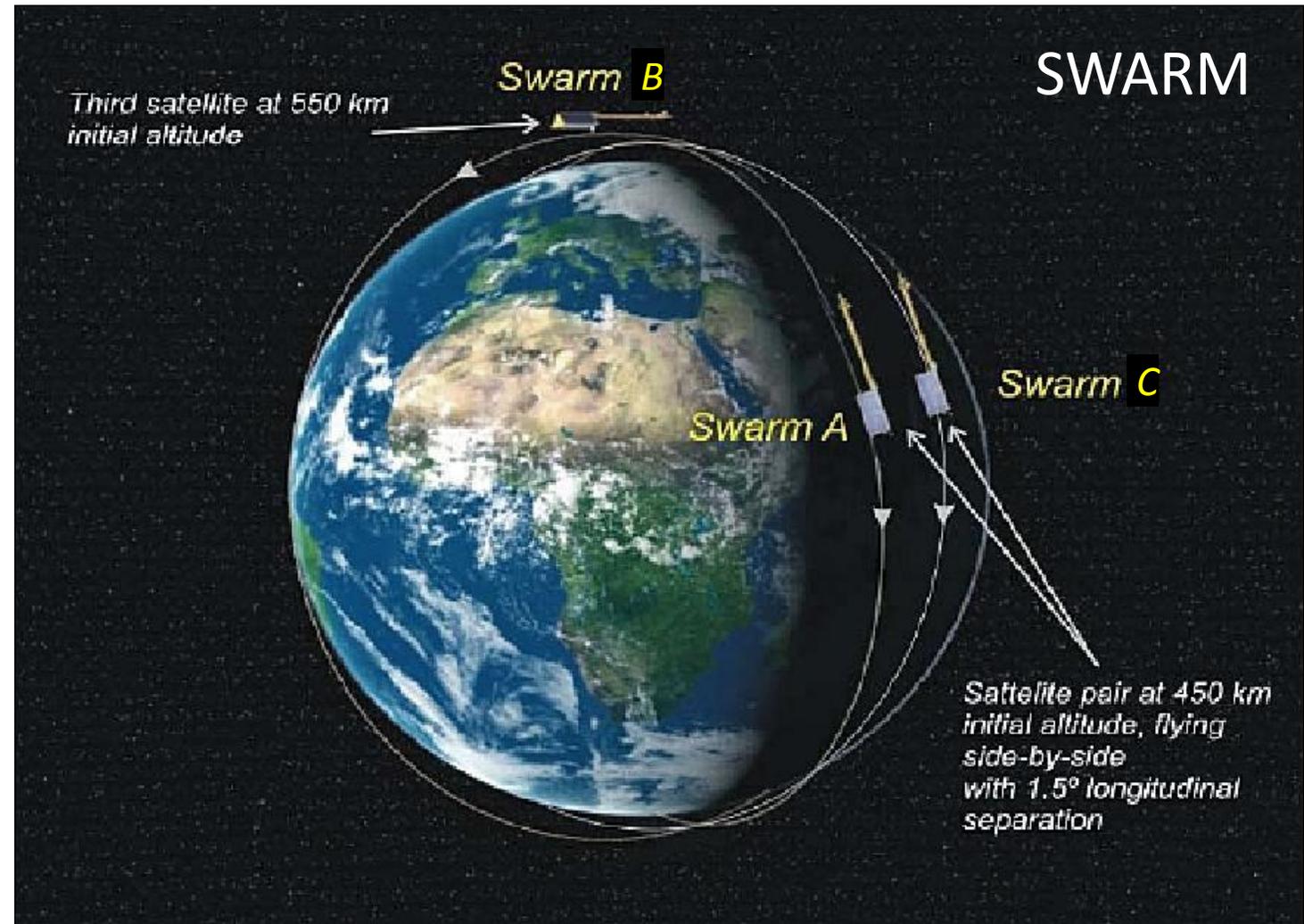
Волобоев Л.А., Захаров В.И.

«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» ИКИ РАН

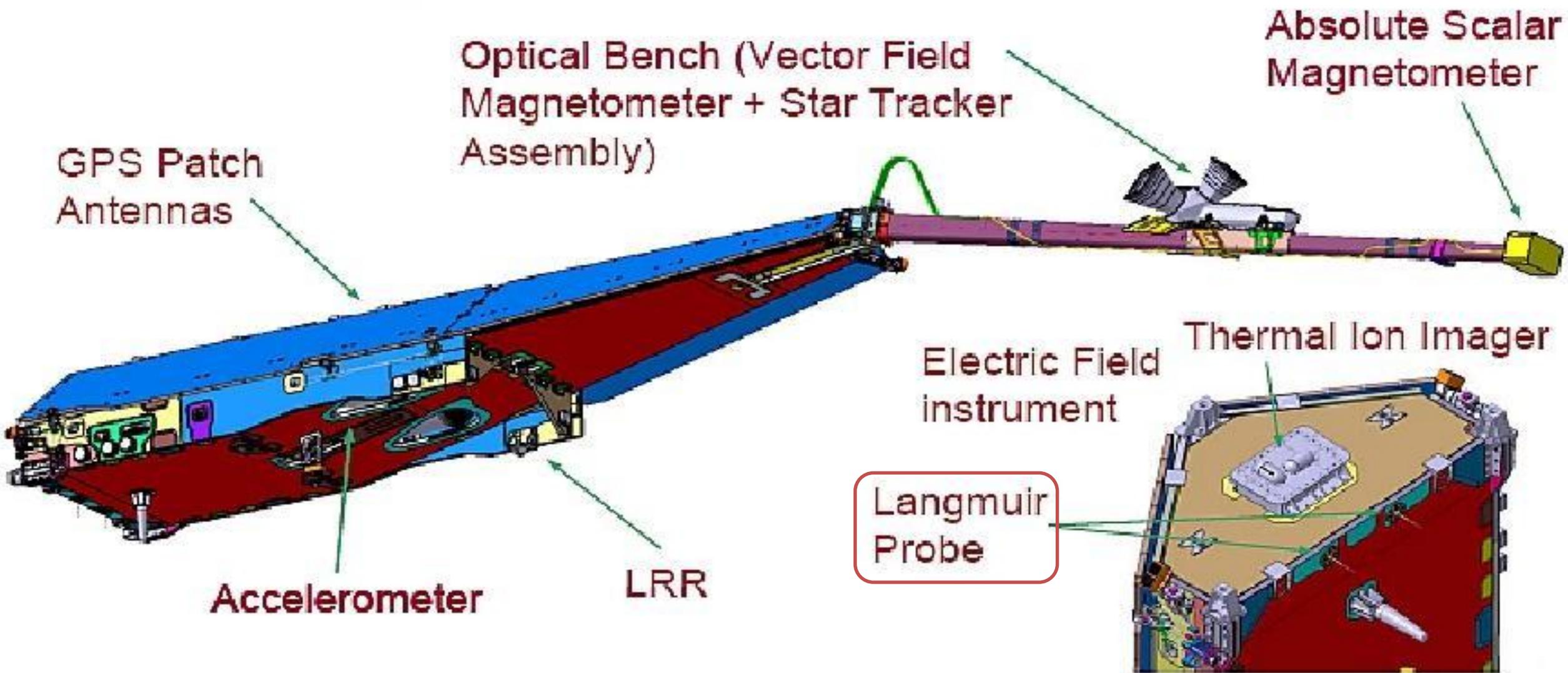
16 – 20 ноября 2020 г.

Организация и характеристики спутниковой системы.

- Swarm — спутниковая миссия Европейского Космического Агентства (ЕКА), предназначенная для изучения магнитного поля Земли.
- Миссия состоит из трёх спутников на различных полярных орбитах высотой от 460 до 530 км. Масса каждого спутника — 472 килограмма. Первоначально два спутника выведены на орбиту высотой 460 километров, затем они будут постепенно снижаться до 300 километров. Третий спутник выведен на более высокую орбиту высотой 530 километров.
- Запуск был осуществлён 22 ноября 2013 г. при помощи ракеты-носителя «Рокот».



Оборудование.



Индекс сцинтилляций S_4

$$S_{4t} = \sqrt{\frac{\langle N_e^4 \rangle_t - \langle N_e^2 \rangle_t^2}{\langle N_e^2 \rangle_t^2}},$$

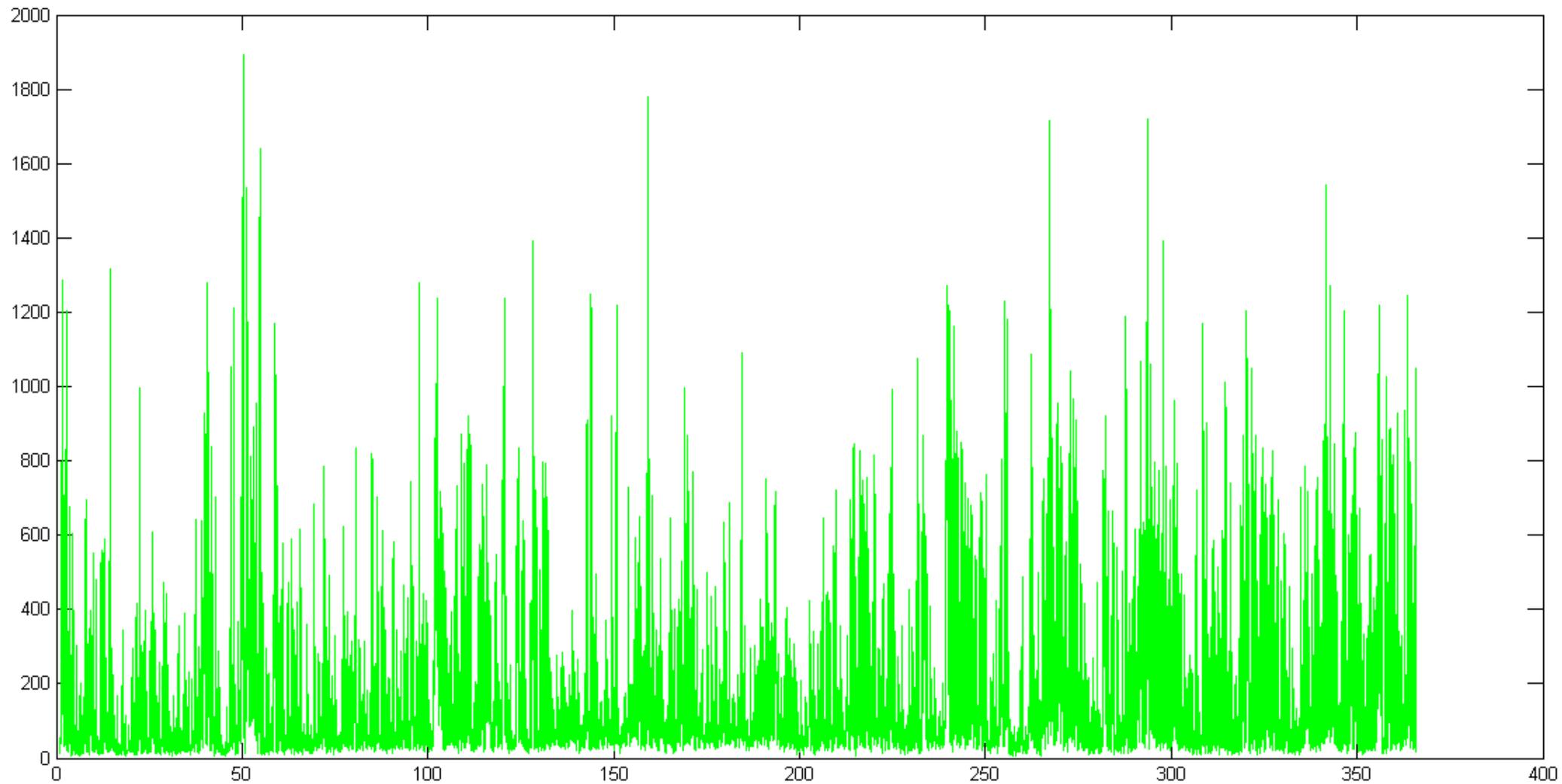
$t = 10\text{c} (\sim 74\text{км})$.

Индекс RODI (Rate of Change of Density Index)

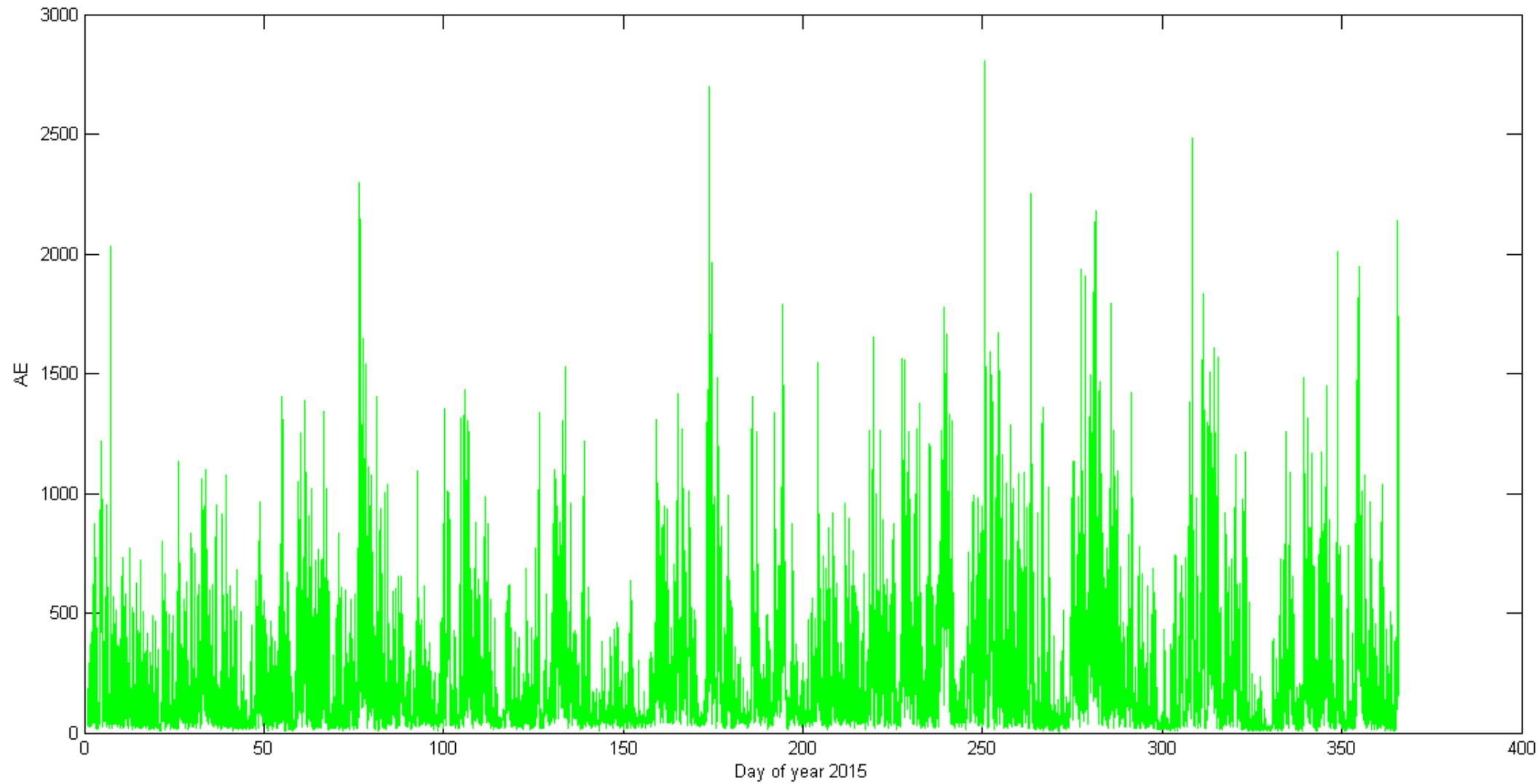
$$ROD(t) = \frac{N_e(t + \delta t) - N_e(t)}{\delta t}, \quad \delta t = 0.5 \text{ s} \quad (1)$$

$$RODI(t) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{t_i=t-\Delta t/2}^{t_i=t+\Delta t/2} \|ROD(t_i) - \overline{ROD}\|^2}, \quad (2)$$

$$\overline{ROD} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t_i=t-\Delta t/2}^{t_i=t+\Delta t/2} ROD(t_i)}. \quad \Delta t = 10 \text{ s} \quad (3)$$

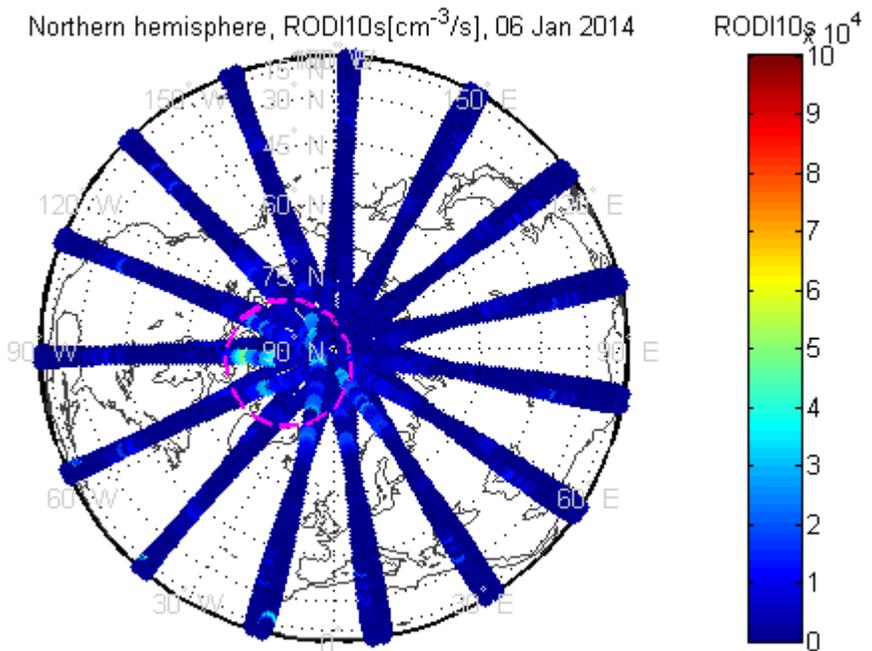
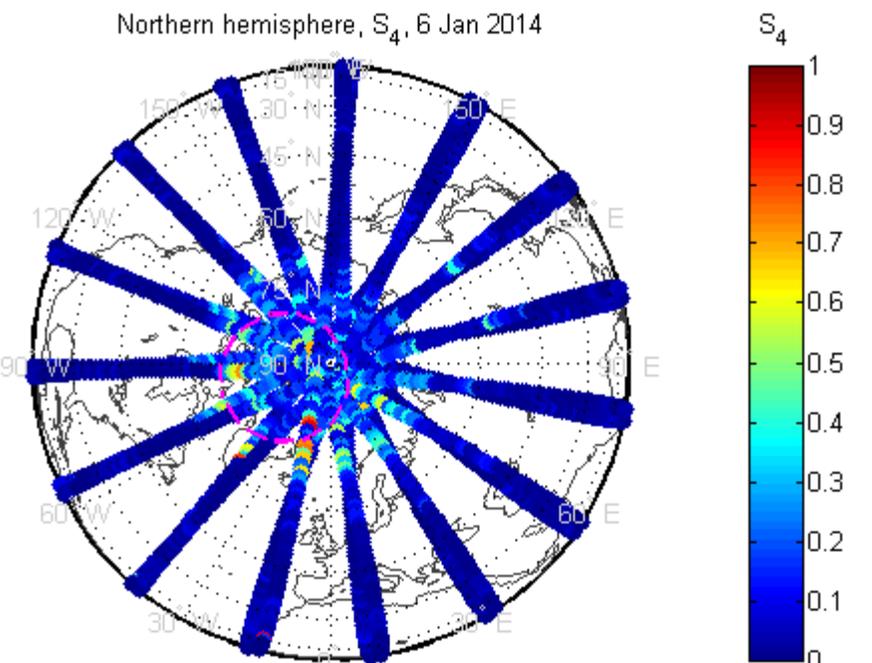
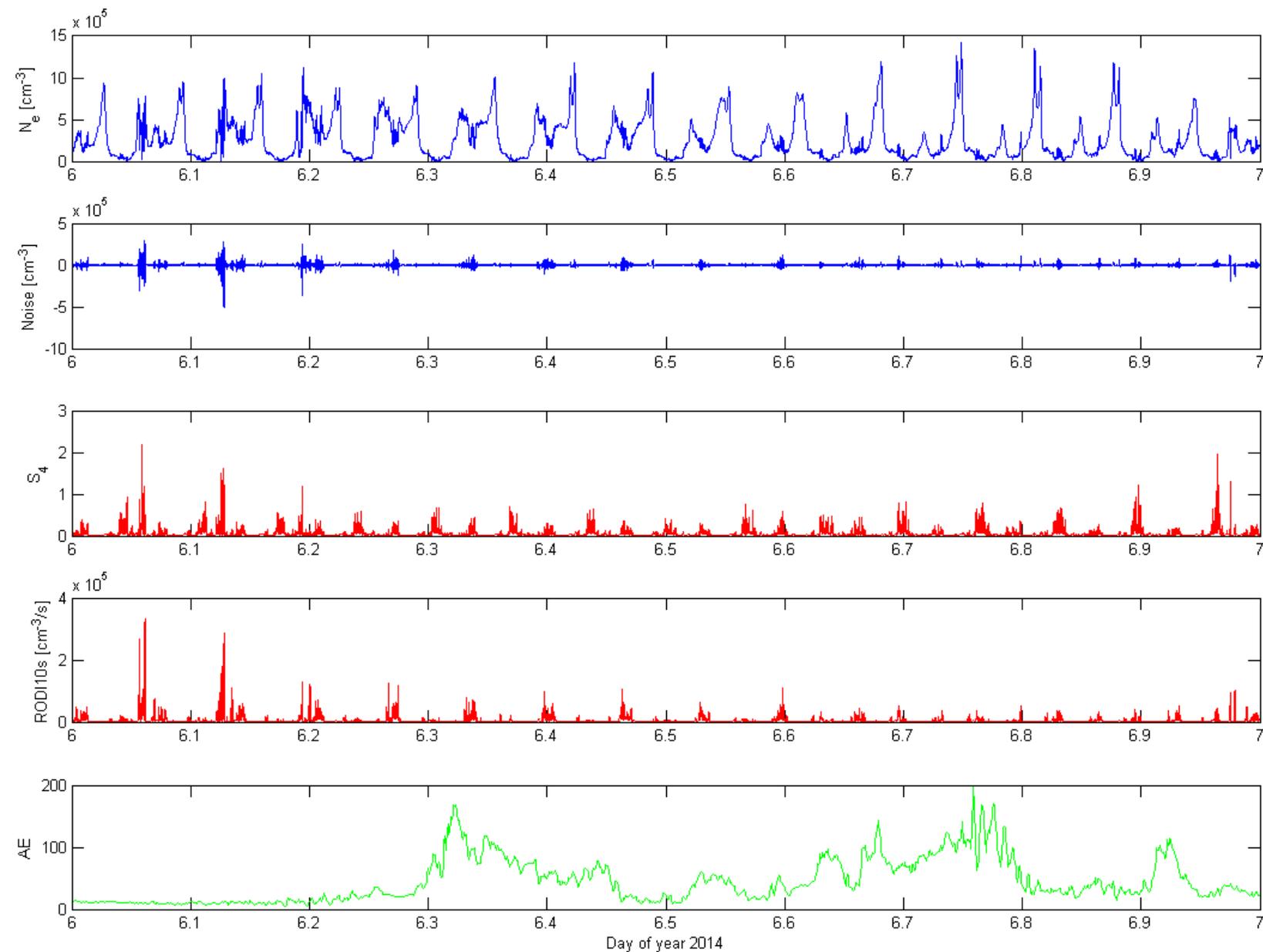


Вариация индекса АЕ в течение 2014 г.

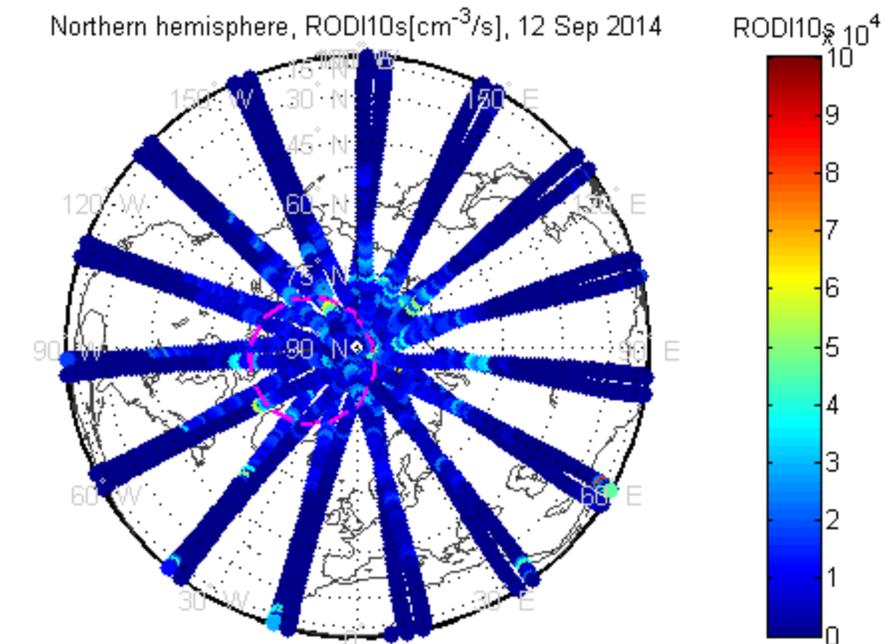
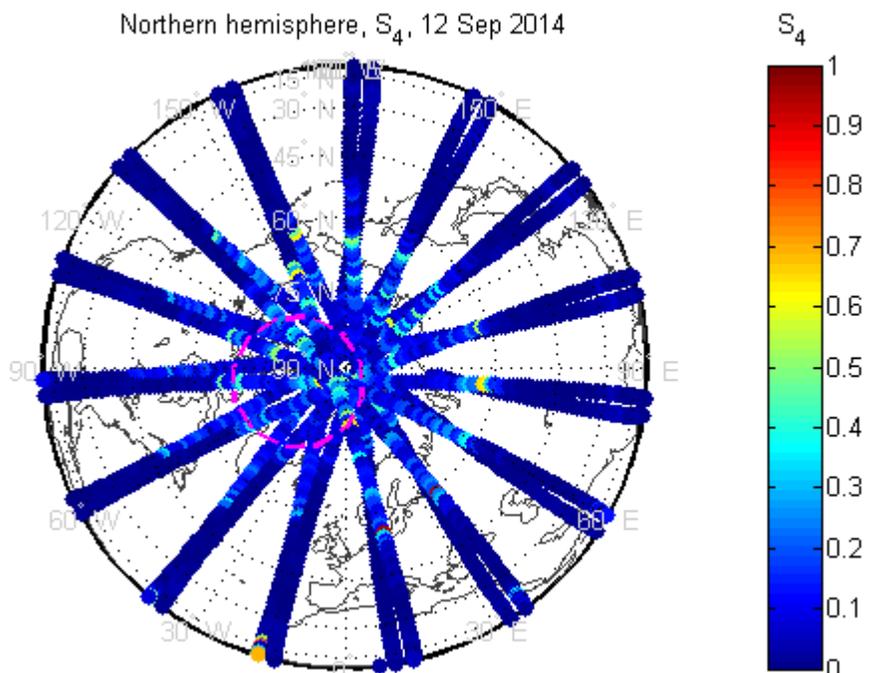
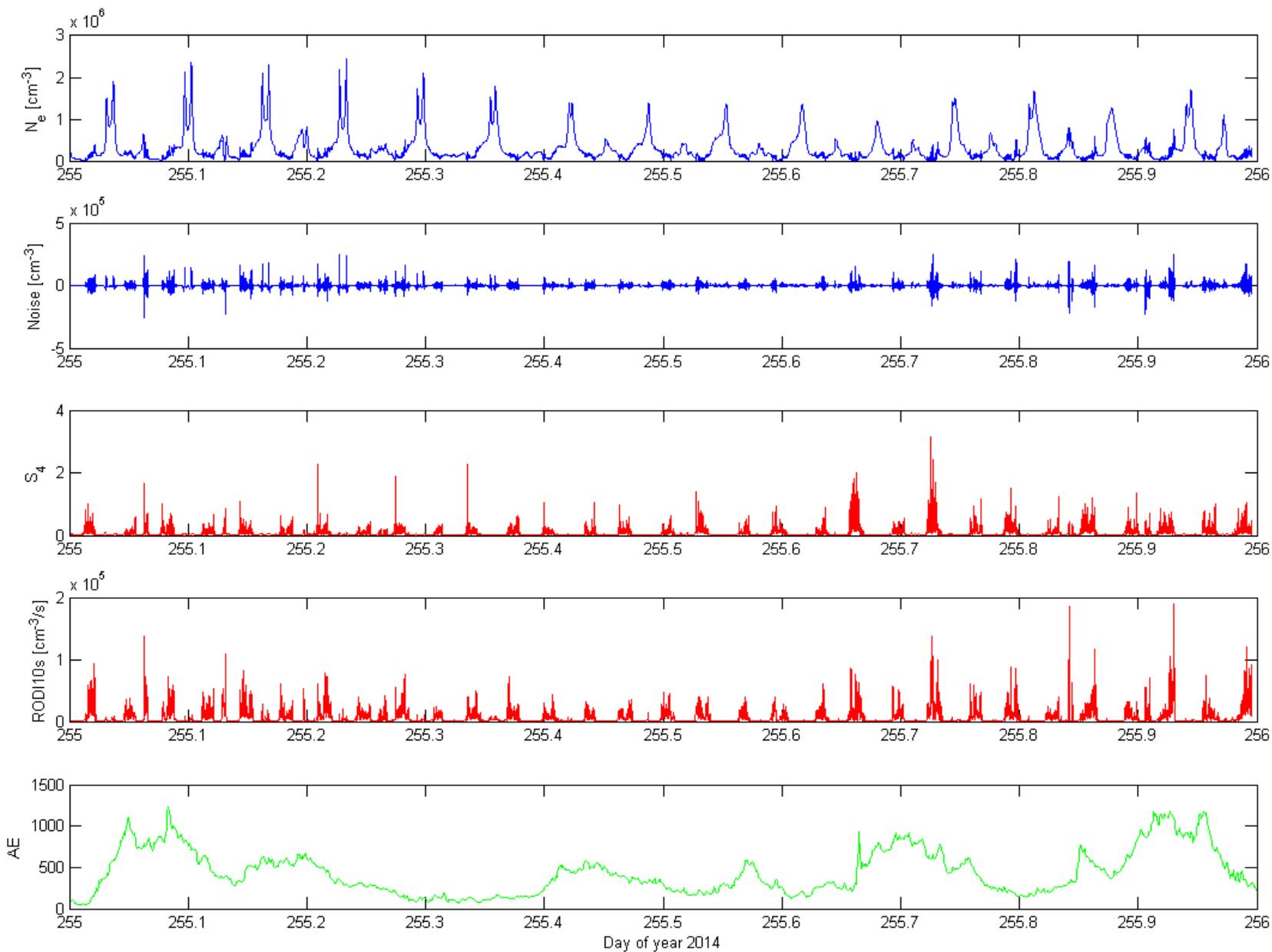


Вариация индекса АЕ в течение 2015 г.

Вычисления, случай со спокойной обстановкой, 6 января 2014, Кр 1-2, Swarm C

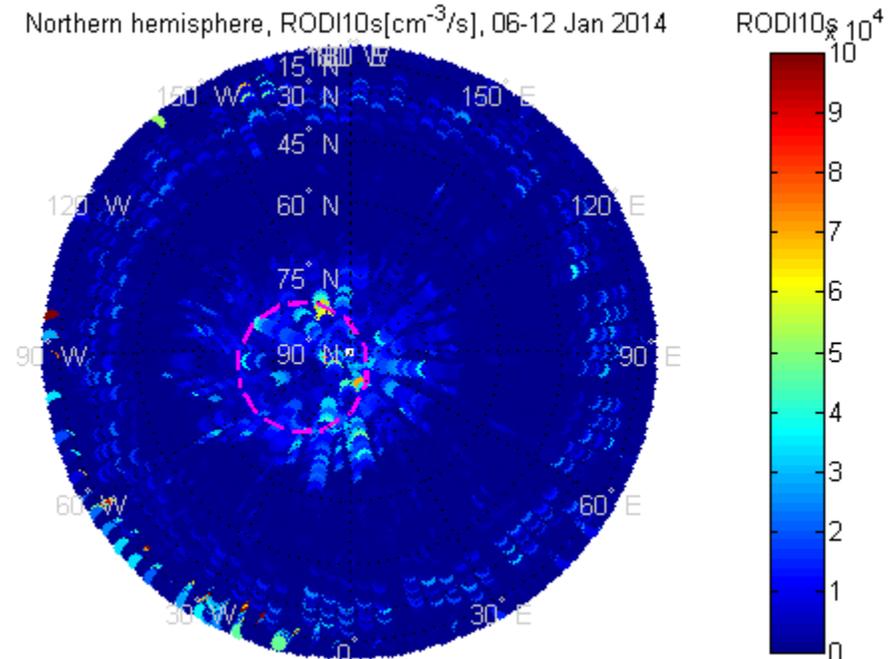
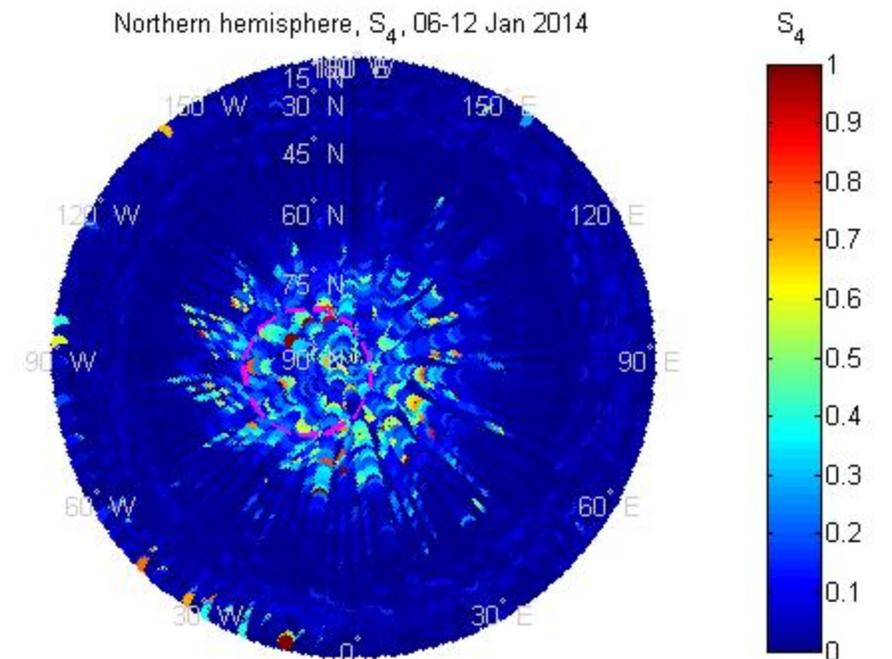
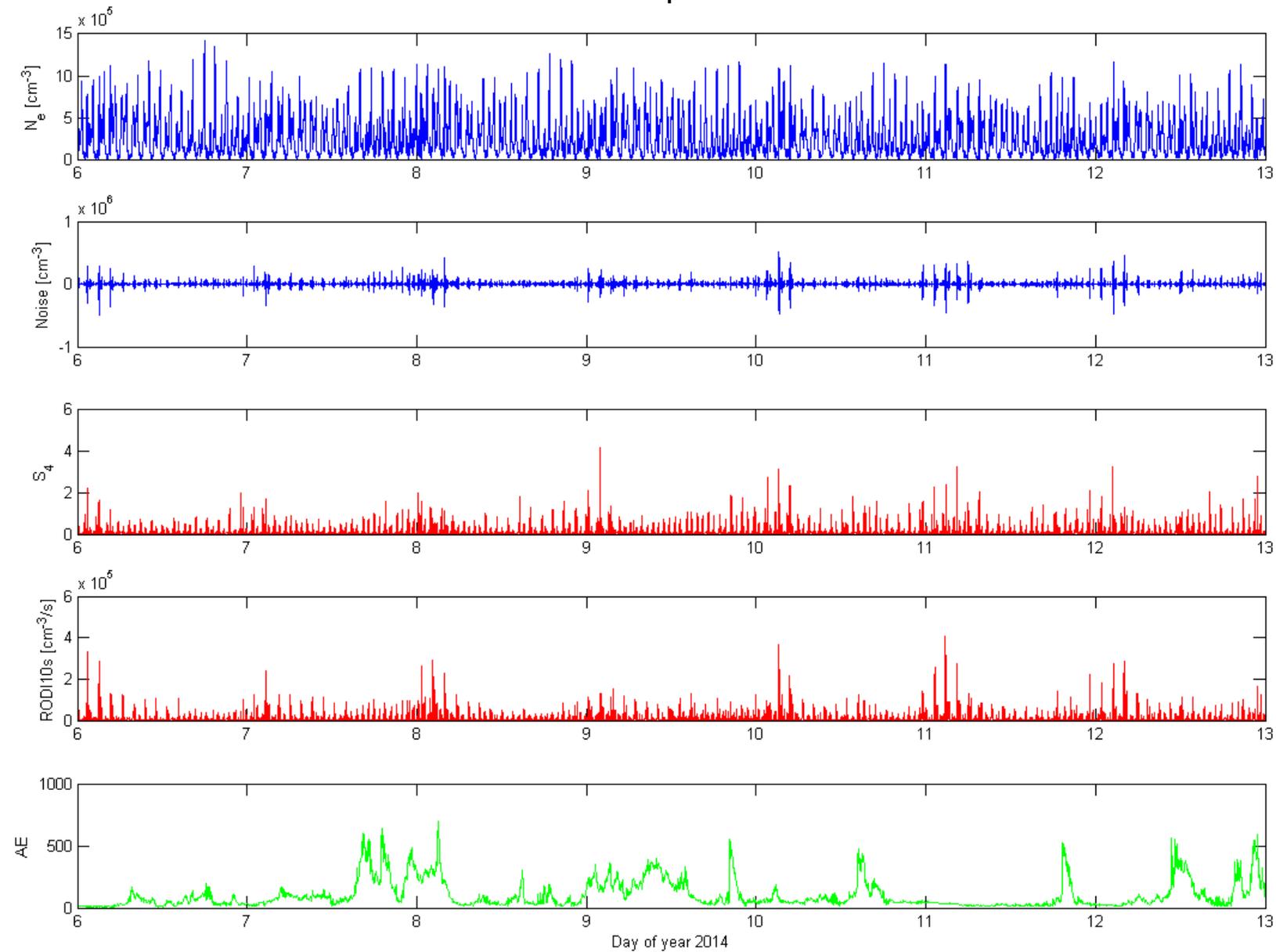


Вычисления, случай с возмущенной обстановкой, 12 сентября 2014, Кр 4-5, Swarm C



6 – 12 января 2014, Swarm C

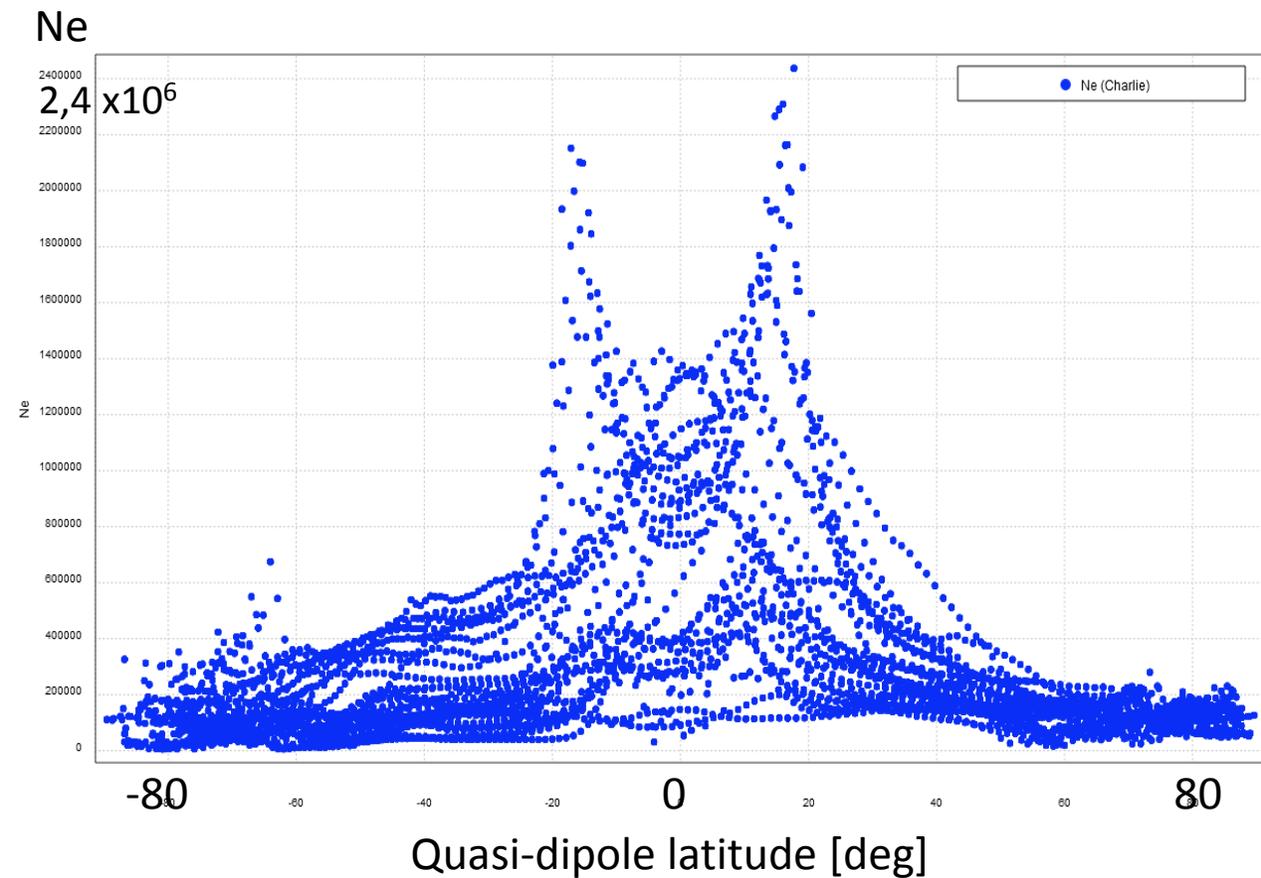
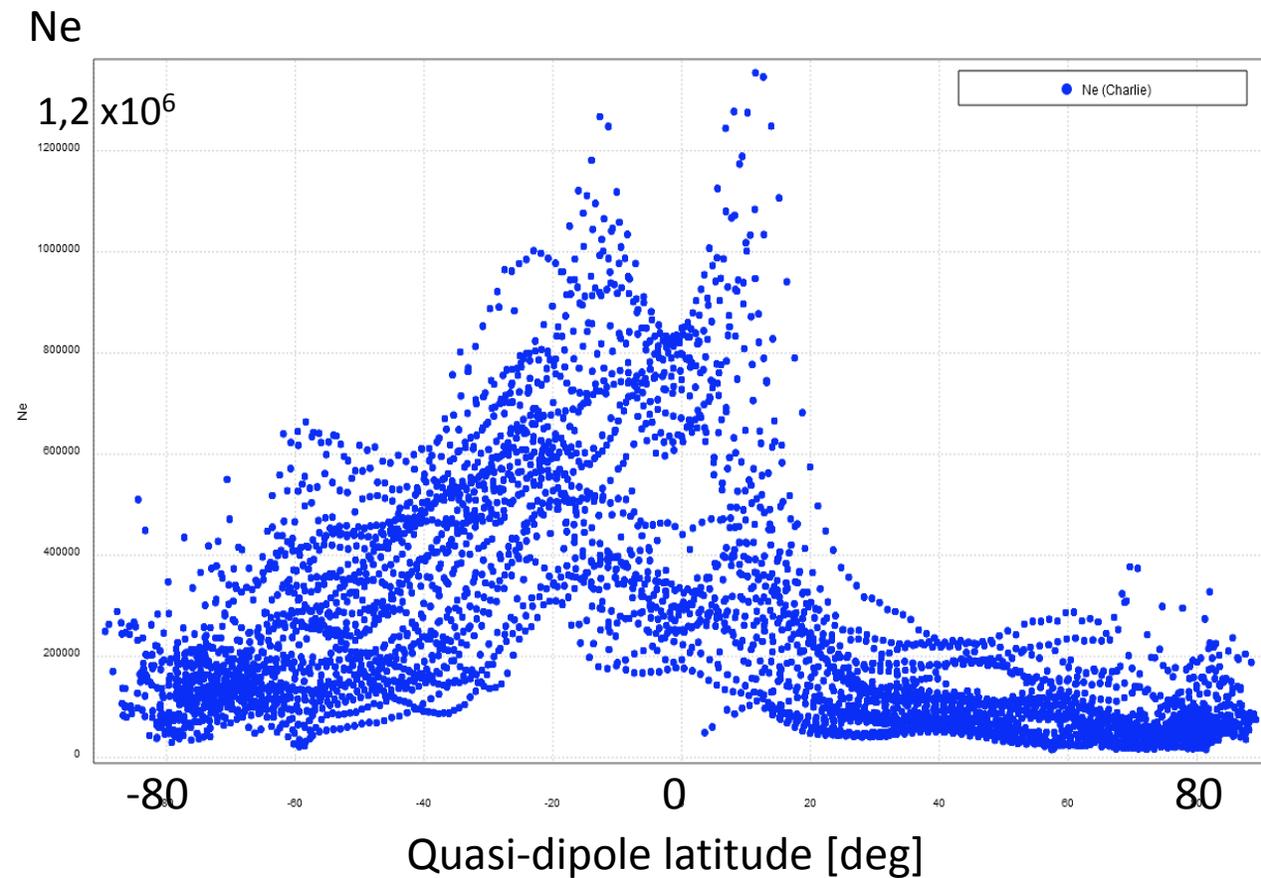
Число пролетов: 105.



Зависимость электронной концентрации от магнитной широты

1 января 2014, Кр 2
Swarm C

12 сентября 2014, Кр 4-5
Swarm C



Date	Kp	Correlation S4 & RODI10s		
		A	B	C
02.01.2014	5	0.57		0.51
14.01.2014	4	0.57		
22.01.2014	3		0.47	
09.02.2014	5	0.68	0.54	0.49
19.02.2014	6		0.71	0.70
28.02.2014	5	0.77		0.67
12.04.2014	5	0.59	0.56	0.54
21.04.2014	4	0.66	0.62	0.62
08.05.2014	4	0.64		0.60
23.05.2014	4	0.55	0.48	0.51
08.06.2014	6	0.41	0.46	0.38
18.06.2014	4	0.51	0.36	0.41
20.08.2014	6	0.54	0.23	0.50
28.08.2014	5	0.55	0.49	0.50
12.09.2014	6	0.62	0.63	0.64
19.09.2014	5	0.61	0.63	0.62
24.09.2014	4	0.63	0.65	0.63
30.09.2014	4	0.62	0.68	0.62
09.10.2014	4	0.64	0.69	0.60
20.10.2014	5	0.50	0.65	0.53
04.11.2014	4	0.68	0.57	0.65
16.11.2014	4	0.74	0.62	0.73
07.12.2014	5	0.70	0.73	0.69
22.12.2014	5	0.41	0.62	0.39
30.12.2014	5	0.50	0.55	0.47
Mean	4.68	0.59	0.57	0.57

Коэффициенты корреляции индексов S4 и RODI10s условиях с возмущенной геомагнитной обстановкой (25 событий) по данным спутников Swarm A, B, C.

$r = 0.58$

Результаты

Коэффициенты корреляции индексов S4 и RODI10s условиях со спокойной геомагнитной обстановкой (12 событий) по данным спутников Swarm A, B, C.

Date	Kp	Correlation S4 & RODI10s		
		A	B	C
06.01.2014	2			0.49
31.01.2014	1	0.51	0.50	0.45
14.02.2014	2	0.71	0.68	0.68
02.05.2014	2	0.60	0.55	0.51
14.05.2014	2		0.57	0.38
19.07.2014	1	0.47	0.42	0.42
25.08.2014	1	0.49	0.40	0.58
08.09.2014	2	0.62	0.56	0.61
14.09.2014	2	0.67	0.65	0.61
05.10.2014	2	0.62	0.68	0.56
31.10.2014	2	0.52	0.61	
18.12.2014	1	0.45	0.64	0.46
Mean	1.67	0.57	0.57	0.52

$r = 0.55$

Date	Kp	Correlation S4 & RODI10s		
		A	B	C
02.02.2015	5	0.63	0.68	0.63
18.02.2015	5	0.55	0.66	0.58
24.02.2015	5	0.47	0.53	0.50
01.03.2015	5	0.50	0.56	0.47
18.03.2015	8	0.29	0.31	0.58
16.04.2015	5	0.68	0.65	0.67
11.05.2015	4	0.38	0.62	0.34
08.06.2015	5	0.52	0.52	0.50
23.06.2015	8	0.48	0.44	0.47
05.07.2015	6	0.35	0.42	0.35
13.07.2015	5	0.34	0.47	0.34
23.07.2015	5	0.20	0.35	0.27
07.08.2015	5	0.56	0.28	0.50
16.08.2015	6	0.52	0.29	0.47
27.08.2015	6	0.58	0.35	0.49
07.09.2015	6	0.66		
08.10.2015	7	0.61	0.59	0.60
10.11.2015	6	0.52	0.64	0.59
11.12.2015	4		0.55	0.58
20.12.2015	6		0.54	0.65
Mean	5.6	0.49	0.50	0.50

$r = 0.50$

Результаты

Коэффициенты корреляции индексов S4 и RODI10s условиях с возмущенной геомагнитной обстановкой (20 событий) по данным спутников Swarm A, B, C.

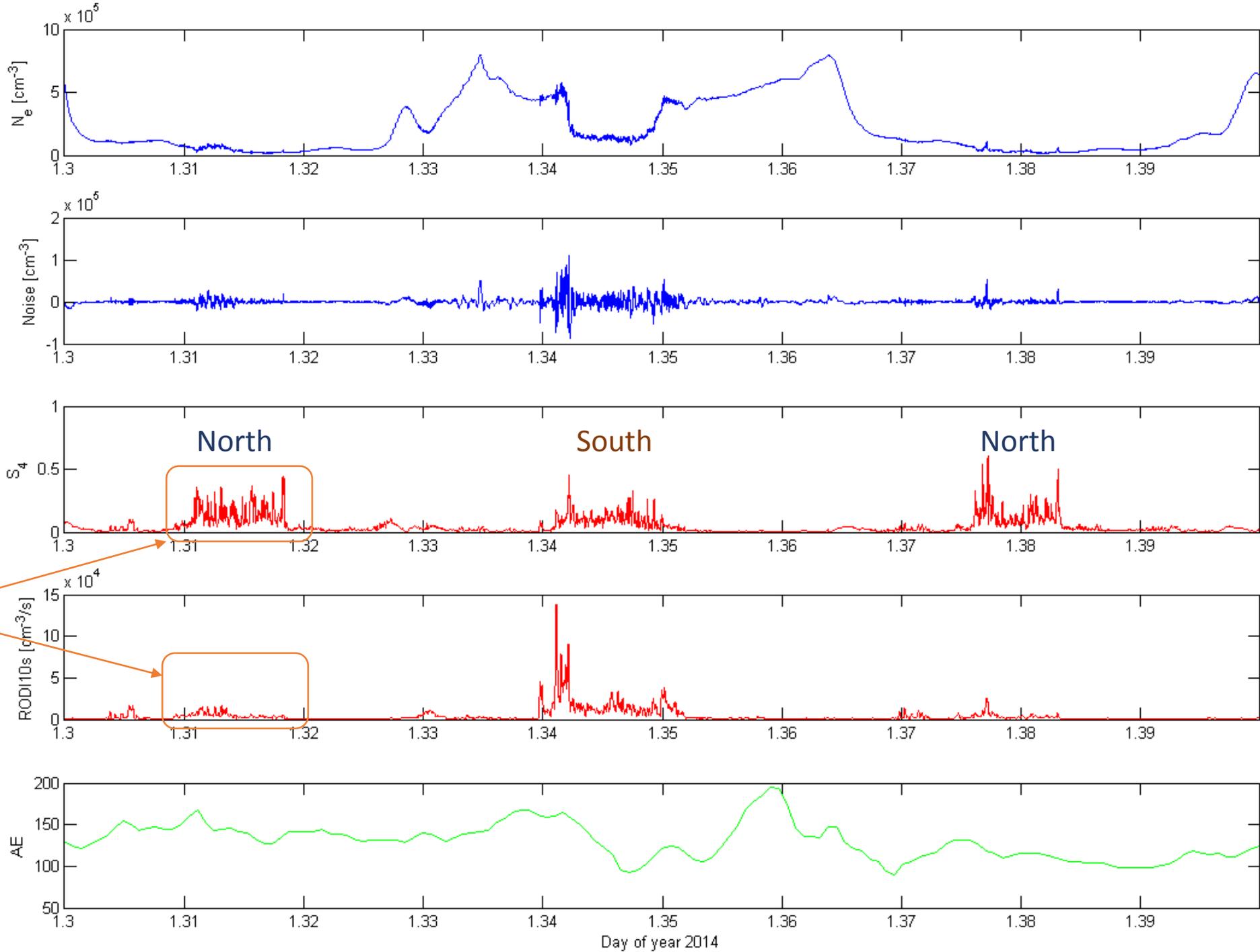
Коэффициенты корреляции индексов S4 и RODI10s условиях со спокойной геомагнитной обстановкой (11 событий) по данным спутников Swarm A, B, C.

Date	Kp	Correlation S4 & RODI10s		
		A	B	C
14.02.2015	1	0.62	0.62	0.58
10.03.2015	2	0.62	0.60	0.54
26.04.2015	1	0.49	0.59	0.48
22.05.2015	1	0.34	0.20	0.31
04.06.2015	1	0.42	0.30	0.39
20.06.2015	1	0.34	0.28	0.36
02.07.2015	1	0.32	0.31	0.35
19.07.2015	2	0.13	0.26	0.15
30.08.2015	2	0.51	0.51	0.46
27.09.2015	1	0.63	0.68	0.60
24.11.2015	1	0.42	0.42	0.45
Mean	1.27	0.44	0.43	0.43

$r = 0.43$

Пример
единичного
пролёта
спутника
1 января 2014
07:12 – 09:36
UTC

Swarm C



Основные выводы

- Получены и исследованы зависимости электронной концентрации от магнитной широты. Величины фильтров обеспечивают необходимое пространственное разрешение для исследования флуктуаций в различных широтах. В случае с возмущенной геомагнитной обстановкой измеренная in-situ величина электронной концентрации достигает $2 \times 10^6 \text{ см}^{-3}$ в около экваториальных областях.
- Рассчитаны и построены недельные (с 6 по 12 января 2014) полярные карты обозначенных геофизических индексов. Фиолетовой линией обозначен полярный овал.
- Рассчитаны коэффициенты корреляции индексов S4 и RODI10s в течение 2014 - 2015 годов для 37 и 31 отобранного случая, соответственно, по данным спутников Swarm A, B и C.
- Так для 2014 года в случае со спокойной геомагнитной обстановкой коэффициент корреляции (среднее значение за 12 случаев) составляет $r = 0.55$ — значительная взаимосвязь. В случае с возмущенной геомагнитной обстановкой коэффициент корреляции (среднее значение за 25 случаев) составляет $r = 0,58$ — также наблюдается значительная взаимосвязь.
- Для 2015 г. в случае со спокойной геомагнитной обстановкой коэффициент корреляции (среднее за 11 случаев) составляет $r = 0.43$ — умеренная взаимосвязь. В случае с возмущенной геомагнитной обстановкой коэффициент корреляции (среднее за 20 случаев) составляет $r = 0,50$ — умеренно-значительная взаимосвязь.
- Предварительные исследования показали, что амплитудный индекс сцинтилляций S4 чувствителен к глобальным вариациям индекса AE и не менее, чем индекс RODI чувствителен к высокоширотным вариациям электронной плотности, что позволяет использовать предложенный индекс для изучения ионосферных возмущений.

Спасибо за внимание!