



# Казанский федеральный УНИВЕРСИТЕТ

Автоматизированная система обработки данных радиозондирования сигналами навигационных спутников, полученных на плотной сети ГНСС станций

Максимов Д. С., Когогин Д. А., Насыров И. А., Загретдинов Р. В.  
Казанский (Приволжский) Федеральный университет

- В последнее десятилетие в европейской части Российской Федерации активно расширяется сеть базовых станций, оснащенных многочастотными многосистемными ГНСС приемниками.
- Этот фактор значительно влияет на качество экспериментов, направленных на исследование ионосферных возмущений естественного и искусственного происхождения, и их перемещений

- С помощью данных ГНСС радиозондирования полученных на плотной сети приёмников, появляется возможность перейти от одиночных измерений наклонного ПЭС вдоль зрительных осей спутник-приёмник к многопозиционным измерениям на плотных сетях ГНСС станций с включением в расчёт всех доступных в данный момент времени спутников основных действующих навигационных систем (GPS, GLONASS, GALILEO, Beidou), с последующим построением по этим данным, двумерных и трехмерных карт ПЭС и томографических реконструкций

- Однако, наряду с преимуществами большого количества ГНСС приемников, стоит отметить такую проблему, как сложность обработки большого массива ГНСС данных человеком вручную. В настоящий момент доступный авторам работы архив исходных данных RINEX, занимает более 950 Гб. Поэтому возник вопрос об автоматизации процесса обработки и интерпретации данных.

# Блок-схема системы обработки данных

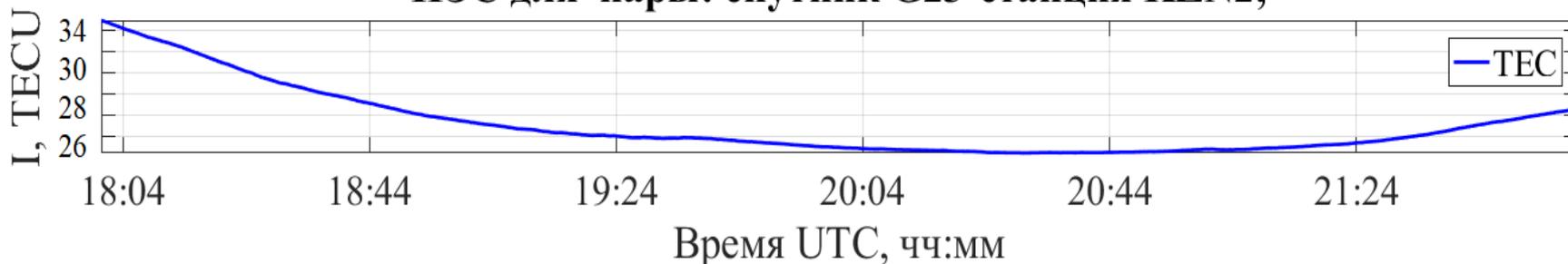


- В качестве входных параметров используются файлы RINEX-формата, полученные в результате конвертации из исходного формата навигационных данных ГНСС приемников.

1	2.11	OBSERVATION DATA	M (MIXED)	RINEX VERSION / TYPE			
2	JPS2RIN v.2.0.96	JAVAD GNSS	20160830 051053 UTC	PGM / RUN BY / DATE			
3	SURA			MARKER NAME			
4	Uriy B. Gribov	Srednevolgskoe AGP		OBSERVER / AGENCY			
5	8RRHNEEN8CG	JAVAD EGGDT PREGO	2.7.0 Mar,31,2008	REC # / TYPE / VERS			
6	02460	TPSPG_A1+GP		ANT # / TYPE			
7	2707629.4585	2708094.7271	5083677.2672	APPROX POSITION XYZ			
8	0.0000	0.0000	0.0000	ANTENNA: DELTA H/E/N			
9	1	1		WAVELENGTH FACT L1/2			
10	2016	8	29	0 0 0.0000000	GPS	TIME OF FIRST OBS	
11	30.000				INTERVAL		
12	17				LEAP SECONDS		
13	5	C1	P1	P2	L1	L2	# / TYPES OF OBSERV
14							END OF HEADER
15	16	8	29	0	0	0.0000000	0 17G 9R 2R10R 8G28R11R19G27R 1R21G30G20 -.000039613
16							G 5G 7G13G21G 8
17	23913596.277	23913596.727	23913600.867	125666819.778	3	97922217.409	3
18	20854993.908	20854996.138	20854997.968	111286267.732	6	86556000.752	7
19	21002229.612	21002228.132	21002233.702	111953716.415	6	87075149.749	6
20	23319714.159	23319716.019	23319716.449	124876033.070	5	97125823.538	6
21	21638692.644	21638692.034	21638693.234	113712097.795	4	88606853.015	4
22	19292038.273	19292038.193	19292039.503	103090841.585	7	80181784.376	7
23	22731633.643	22731634.383	22731634.383	121598932.611	5	94576956.731	6
24	23730126.367	23730126.107	23730128.647	124702656.300	3	97170932.124	3

- Второй блок вычисляет полное электронное содержание (ПЭС) для пар спутник-приемник

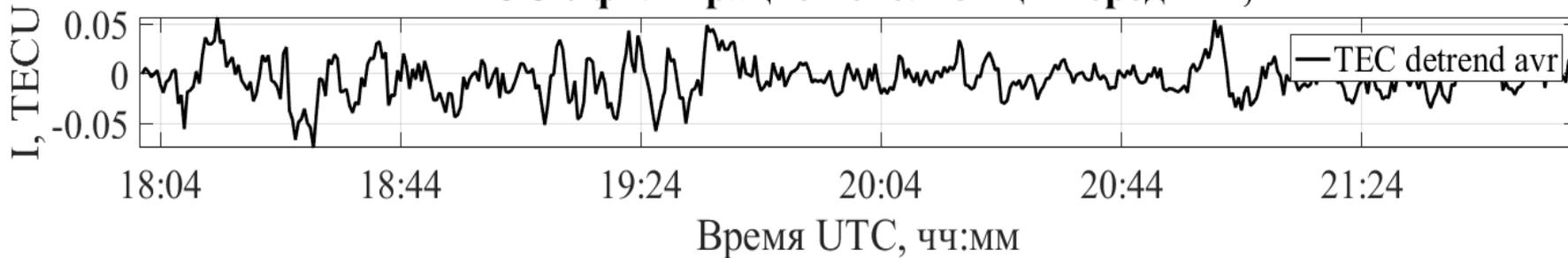
**ПЭС для пары: спутник G23-станция KZN2;**



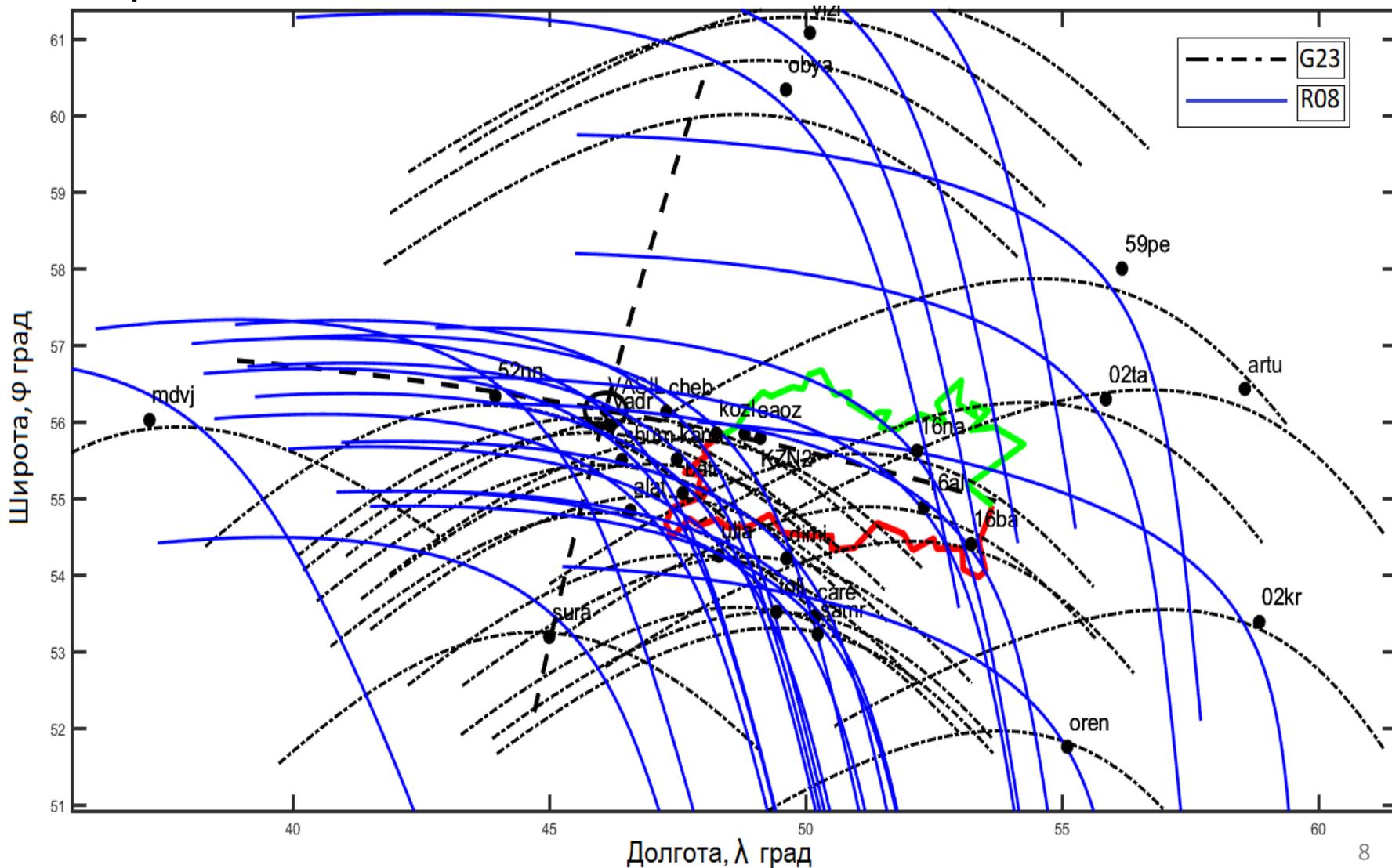
**ПЭС с удаленным трендом;**



**ПЭС с фильтрацией скользящим средним;**

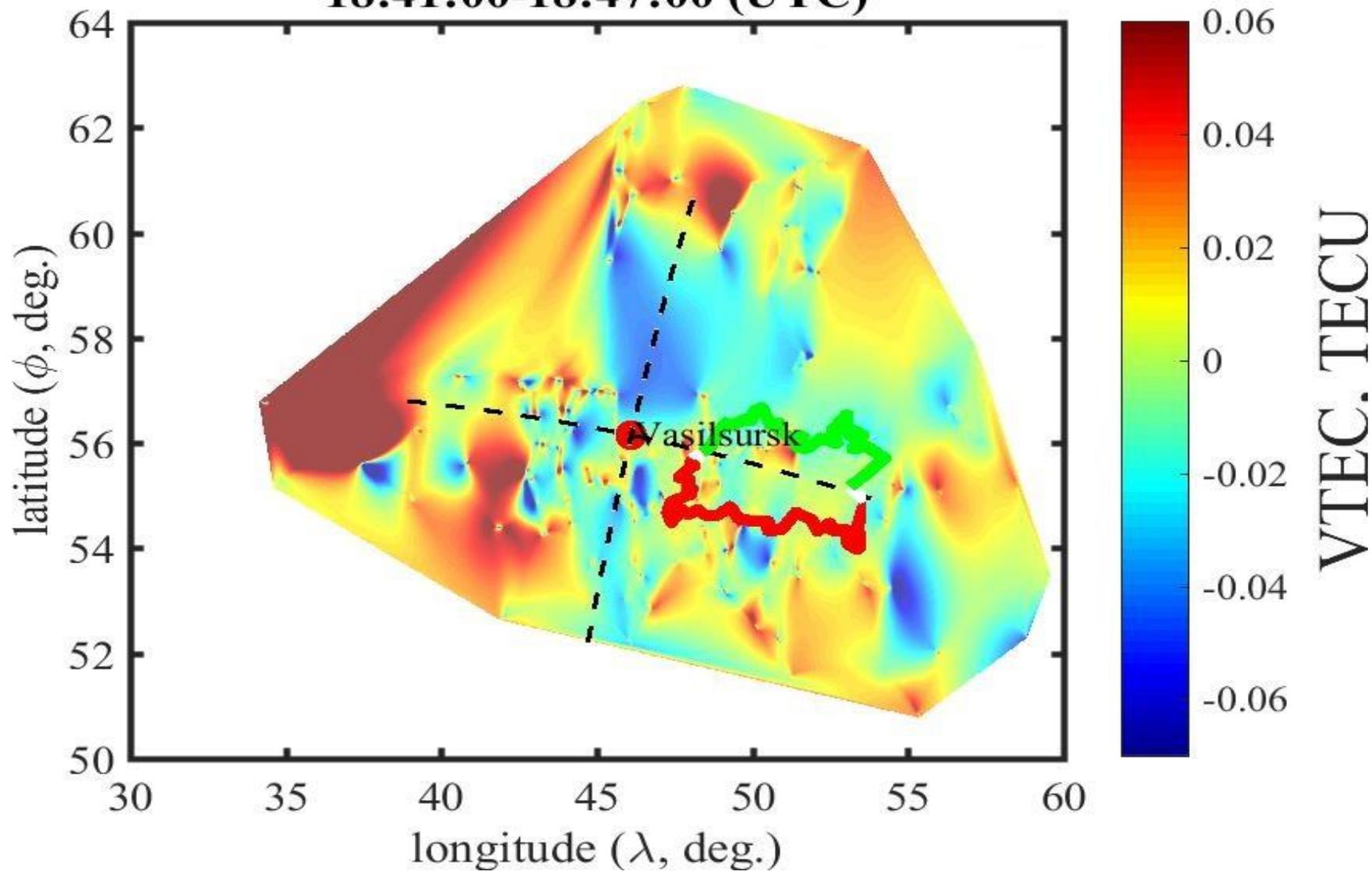


- Третий блок служит для расчёта траекторий подионосферных точек для выбранных пар спутник-приемник



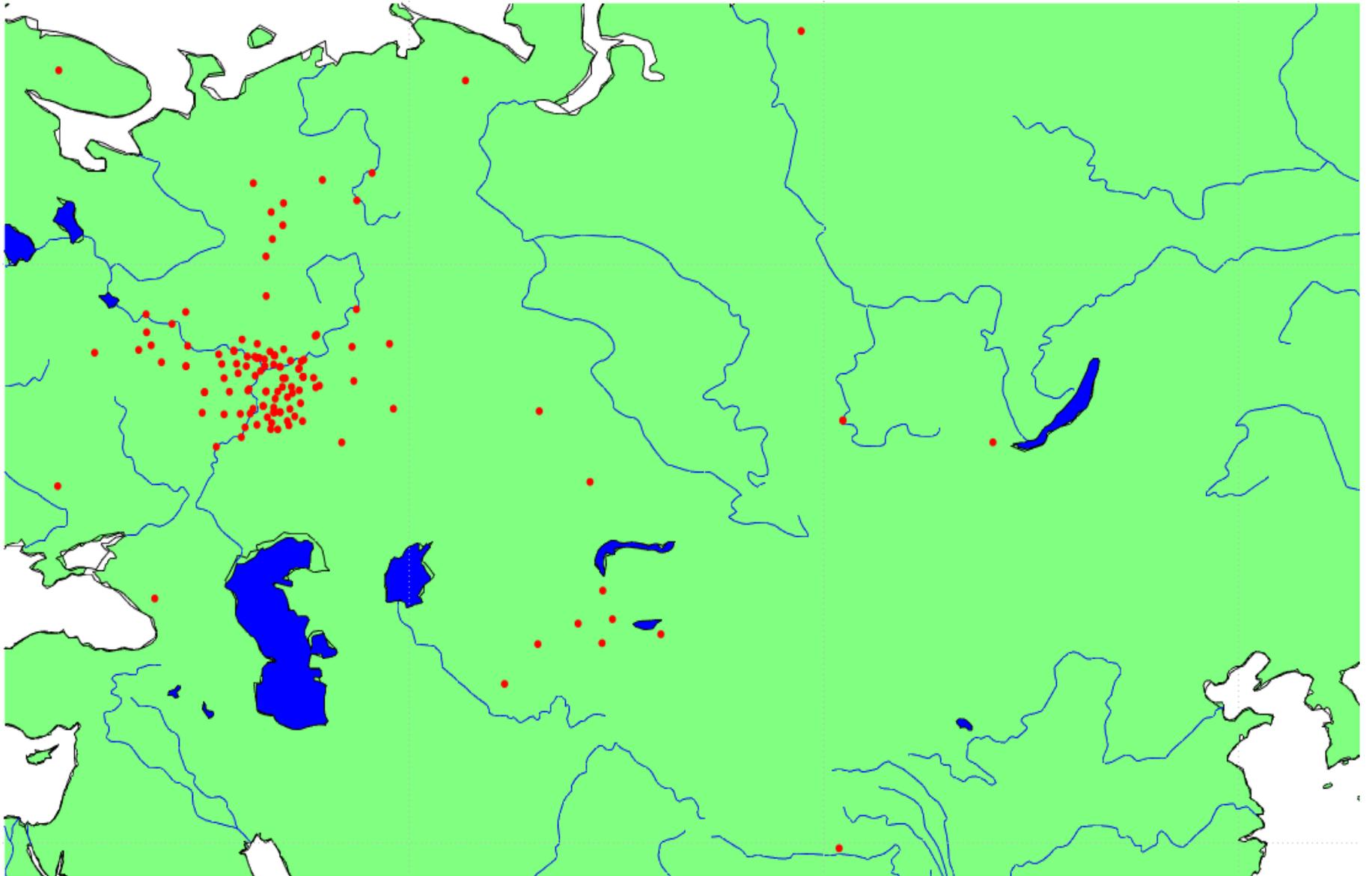
- Далее производится отбор тех данных ПЭС, которые попадают в интервал времени, когда углы места спутников имеют приемлемые значения (более  $30^\circ$ ).
- Последний блок выполняет построение ПЭС карты, методом многомерной интерполяции на неравномерной сетке с данными, взятыми за интервал времени, указанный пользователем.

18:41:00-18:47:00 (UTC)



- В качестве дополнительной информации, позволяющей визуально наблюдать пространственно-временную динамику вариаций ПЭС за рассматриваемый интервал времени, был разработан сбор карт вариаций ПЭС в видеоролик.

- В настоящий момент система функционирует и начата работа по портированию программного кода на свободное программное обеспечение (лицензия типа GPL) для ускорения обработки данных за счёт параллельных вычислений и дальнейшего использования в кооперации с другими научными учреждениями, занимающимися подобными задачами.





# Казанский федеральный УНИВЕРСИТЕТ

Спасибо за внимание!

Работа выполнена при поддержке Российского  
научного фонда, проект № 19-72-00072

- ВИДЕОРОЛИК