

Омский научный семинар  
«Современные проблемы радиофизики и радиотехники»

**Методы и технологии оперативного приема, архивации  
и обработки данных с низкоорбитальных спутников  
дистанционного зондирования Земли**

(Часть 1)

Шагарова Л.В.

30.12.2023

# Сегменты мирового космического рынка

Более 150 стран прямо или косвенно участвуют в различных космических программах, более 50 из них имеют собственные КА, в том числе РФ и РК



Создание КА  
различного  
назначения

Создание  
наземного  
оборудования  
космических  
систем



Обеспечение  
запусков КА

Создание АПС  
для оказания  
услуг конечным  
пользователям



Наиболее массовый рынок связан с персональными терминалами, устройствами, предназначенными для получения услуг космической связи, навигации и данных ДЗЗ





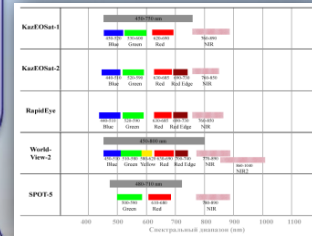
# Направления развития средств и технологий дистанционного зондирования Земли

Разрешение  
радиометрическое и  
пространственное

Управление  
большим объемом  
данных ДЗЗ

Точность  
геопозиционирования

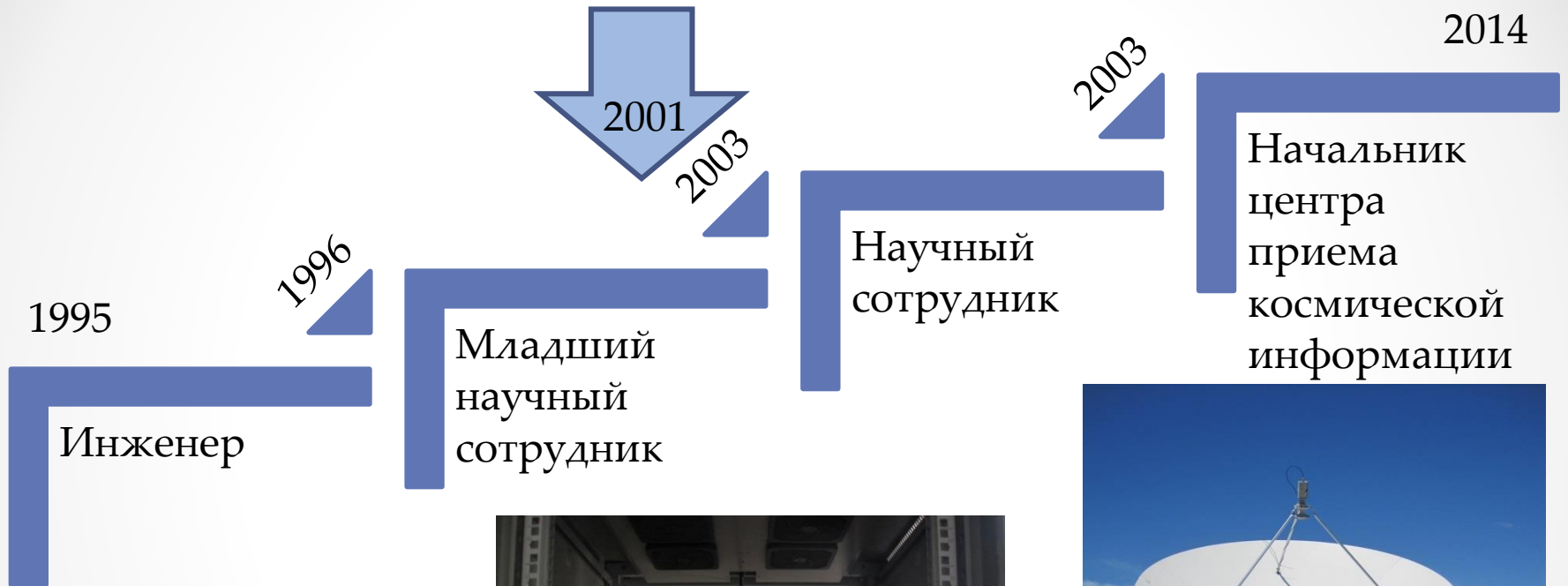
Спектральные  
диапазоны оптико-  
электронных данных



MODIS (**Moderate** Resolution Imaging Spectroradiometer)

# Работа в Институте космических исследований /

## Национальном центре космических исследований и технологий



«Разработка и усовершенствование методов и технологий оперативного приема, архивации и отображения данных дистанционного зондирования Земли»

# АПК Унискан позволяют принимать и обрабатывать космические снимки с различных спутников/радиометров, в том числе:

**в режиме прямого сброса:**

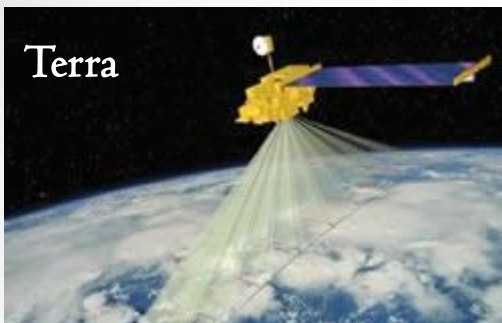
Данные ДЗЗ	Начало приема
Terra/MODIS	28.02.2001
Aqua/MODIS	05.08.2004
Suomi NPP	08.04.2013



**на основе лицензионных соглашений:**

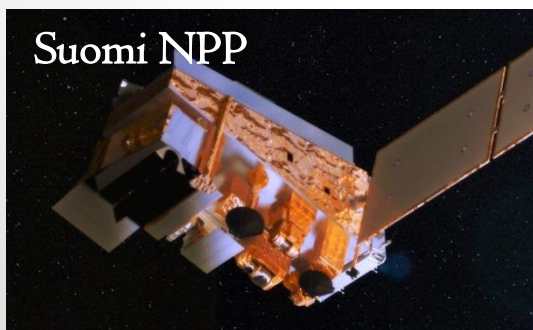
Данные ДЗЗ	Начало приема	Окончание приема
Метеор-3М	20.08.2002	07.03.2006
IRS-1C, 1D	LISS	12.05.2003
	PAN	13.01.2004
IRS P6 LISS3	30.05.2006	14.06.2010
IRS P6 LISS4	20.07.2006	04.06.2010
RADARSAT-1	03.03.2005	26.03.2013

# Основные характеристики КА Terra, Aqua, SuomiNPP



Тип орбиты	солнечно-синхронная
Высота	705 км
Наклонение орбиты	98.2 градусов от плоскости экватора
Период обращения	98.88 минут
Период повторения	16 дней

Орбита	солнечно-синхронная
Высота	832 км
Наклонение орбиты	98.0 градусов от плоскости экватора
Период обращения	101.0 минут
Период повторения	16 дней

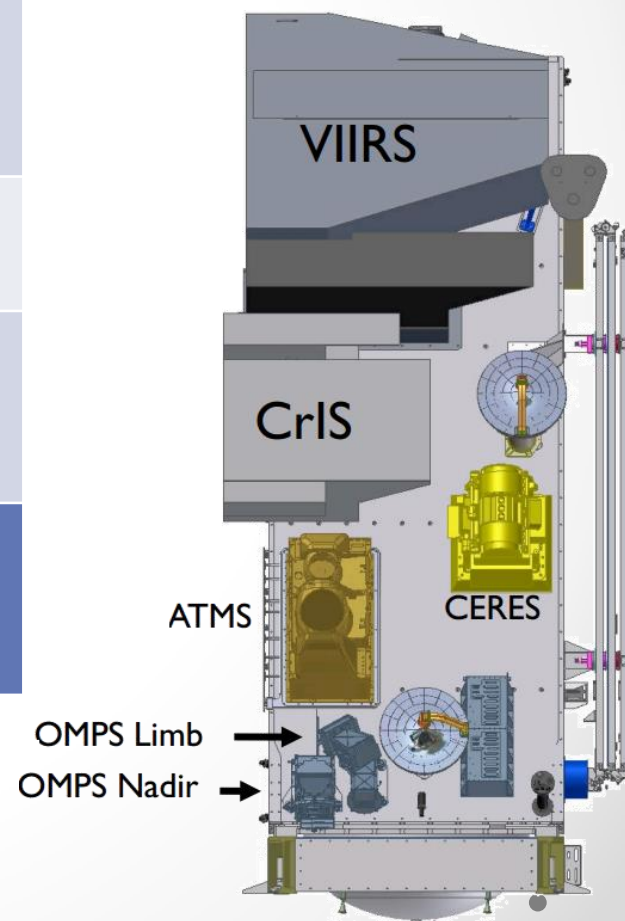


Орбита	солнечно-синхронная
Высота	824 км
Наклонение орбиты	98.7 градусов от плоскости экватора
Период обращения	101.4 минуты
Период повторения	16 дней



# Основные характеристики передачи данных

Спутник, год запуска	Terra, 1999 г.	Aqua, 2002 г.	Suomi NPP, 2011 г.
Частота	X- диапазон, 8.2 ГГц	X- диапазон, 8.2 ГГц	X- диапазон, 7.8 ГГц
Скорость передачи	13.1 Mbps	15 Mbps	15 Mbps
Инструменты	MODIS	MODIS	VIIRS, ATMS, CRiS
Год начала приема на станцию	2001	2004	2013



# Прием данных Suomi NPP на станцию

**ATMS** (Advanced Technology Microwave Sounder)  
Микроволновый радиометр, предназначенный для создания глобальных моделей температуры и профилей влажности

**CrIS** (Cross-track Infrared Sounder)  
Спектрометр для отслеживания параметров атмосферы, таких как влажность и давление

**VIIRS** (Visible/Infrared Imaging Radiometer Suite)  
22-х канальный сканирующий радиометр  
VIIRS проводит съемку Земли в видимом и инфракрасном диапазонах спектра

ScanReceiver - До конца записи 4:33

Общее | Расп. прохождения | Расп. сбросов | Данные | Демодулятор | Конвертор | Антенна | Журналы | О программе

Режим: Работа

Спутник: NPP

Формат: NPP

Синкр.: OK

Качество: OK

Ош. бит: 0

Темп (Mbrps): 15.0

Буфер:

Своб. МБ (D.): 861664

Дем., несущ.: 811.898

Такт: 14.999

Тип мод.: QPSK

Завхат: ЕСТЬ

Псевд.-ош.:

ОСШ: 17.34

Вх. частота: 7812.000

Частота гет.: 7000.000

ПЧ1: 812.000

Вых. частота:

Ослабление:

No	Time	Scan	Az	El	Gain	Level	SNR	Lost	BE
405	06:45:51	730368	035	24	881	1522	16.4	NA	
406	06:45:52	732160	035	24	881	1457	16.4	NA	
407	06:45:53	733952	034	24	881	1534	16.0	NA	
408	06:45:54	736000	034	24	1007	1237	16.9	NA	
409	06:45:55	737792	034	24	1007	1244	17.1	NA	
410	06:45:56	739584	033	24	1007	1237	16.9	NA	
411	06:45:57	741376	033	24	1007	1280	17.2	NA	
412	06:45:58	743168	033	24	1007	1233	17.2	NA	
413	06:45:59	744960	033	24	1007	1280	17.1	NA	
414	06:46:00	746752	033	24	1007	1312	17.4	NA	
415	06:46:01	748800	032	24	1007	1215	17.5	NA	
416	06:46:02	750592	032	23	1007	1288	17.1	NA	
417	06:46:03	752384	032	23	1007	1334	17.7	NA	
418	06:46:04	754176	032	23	1007	1334	17.7	NA	
419	06:46:05	755968	031	23	1007	1304	17.6	NA	
420	06:46:06	757760	031	23	1007	1244	17.4	NA	
421	06:46:07	759808	031	23	1007	1197	16.9	NA	
422	06:46:08	761600	031	23	1007	1187	16.8	NA	
423	06:46:09	763392	030	23	1007	1134	16.4	NA	
424	06:46:10	765184	030	23	1007	1150	16.3	NA	
425	06:46:11	766976	030	23	1007	1140	16.5	NA	
426	06:46:12	768768	030	23	1007	1153	16.4	NA	
427	06:46:13	770560	030	23	1007	1153	16.4	NA	
428	06:46:14	772608	029	22	983	1260	16.5	NA	
429	06:46:15	774400	029	22	983	1252	16.6	NA	
430	06:46:16	776192	029	22	983	1288	16.8	NA	
431	06:46:17	777984	029	22	983	1312	16.9	NA	
432	06:46:18	779776	028	22	983	1312	17.0	NA	
433	06:46:19	781568	028	22	983	1374	17.2	NA	
434	06:46:20	783616	028	22	983	1402	17.6	NA	
435	06:46:21	785408	028	22	983	1489	17.8	NA	
436	06:46:22	787200	028	22	983	1422	18.1	NA	
437	06:46:23	788992	027	22	983	1379	17.7	NA	
438	06:46:24	790784	027	22	983	1462	17.9	NA	
439	06:46:25	792576	027	22	983	1437	17.8	NA	
440	06:46:26	794368	027	21	983	1412	17.8	NA	
441	06:46:27	796416	026	21	983	1412	18.0	NA	
442	06:46:28	798208	026	21	983	1365	17.7	NA	
443	06:46:29	800000	026	21	983	1347	17.3	NA	
444	06:46:30	801792	026	21	983	1412	17.6	NA	
445	06:46:31	803584	026	21	983	1360	17.8	NA	
446	06:46:32	805376	025	21	983	1351	17.3	NA	
447	06:46:33	807424	025	21	983	1407	17.6	NA	
448	06:46:34	809216	025	21	1029	1264	17.7	NA	
449	06:46:35	811008	025	21	1029	1268	17.7	NA	
450	06:46:36	812800	025	21	1029	1226	17.5	NA	

Положение: Абс. аз. 25:02, Абс. УМ 21:01, Накл. 68:56, УМ 86:37

Ошибка: 0:01, Поправка: -0:10, 0:20

Отклон. луча: 0:22

АД: 1029, 1180

4095

1.0

0.8

0.6

0.4

0.2

0.0

Прием - NPP 8341 12:39:06 - 12:51:09 29 064 Восх

Попытка: 1 из 5

Автономный режим

12:46:36

Станция в режиме приема



# Прием данных ДЗЗ в широкоэшелательном режиме

The screenshot displays the ScanReceiver software interface, divided into several sections:

- Top Bar:** ScanReceiver-9054 - До конца записи 0:14
- Left Panel:** Configuration settings for the receiver, including satellite (TERRA), format (TERRA-DB), and various technical parameters like frequency and data rate.
- Center Panel:** Real-time satellite reception data and a map of the reception area. The map shows the satellite's ground track (red line) and coverage area (red circles) over a region including Russia, Central Asia, and parts of the Middle East and South Asia.
- Right Panel:** Position and error data for the satellite.
- Bottom Bar:** Status information including reception time, attempt number, and mode.

Положение		Ошибка	
Абс. аз.	290.42		-0:02
Абс. УМ	2:13		0:01
Накл.	-74.22	0:01	8.50
УМ	8:17	0:03	0:30
Отклон. луча		1:22	

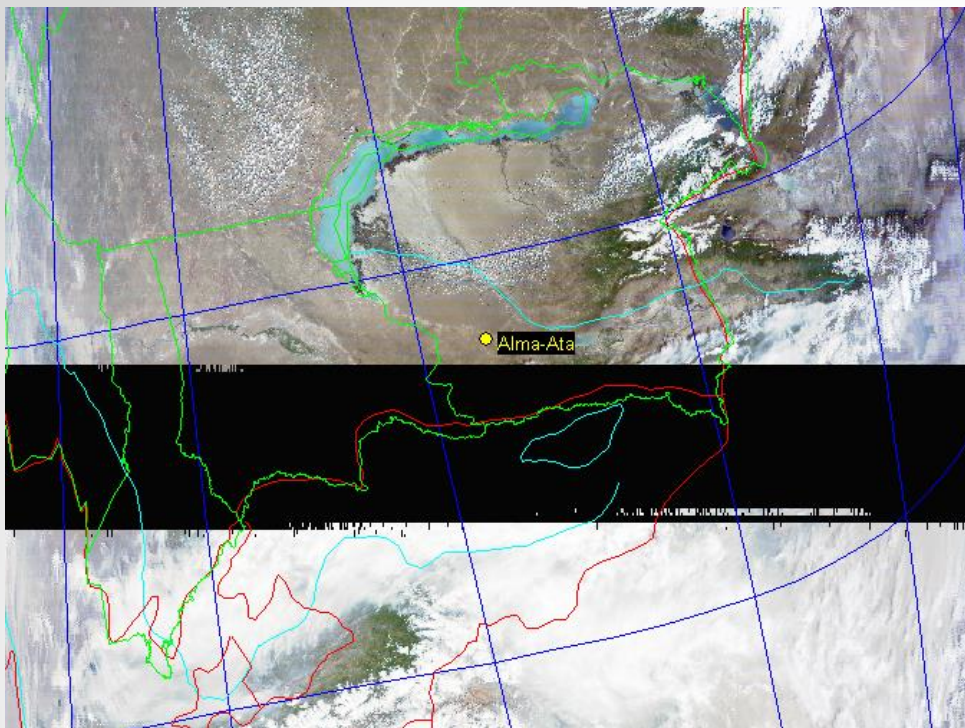
АД	
992	1183

Прием - TERRA 62633 14:07:01 - 14:11:30 03 309 Низк Попытка: 1 из 5 Автономный режим 14:11:16

TERRA, Сен 27, 14:08:14 - 14:11:30 Az 291.33°, El 2.23°, Range 2855.15 km

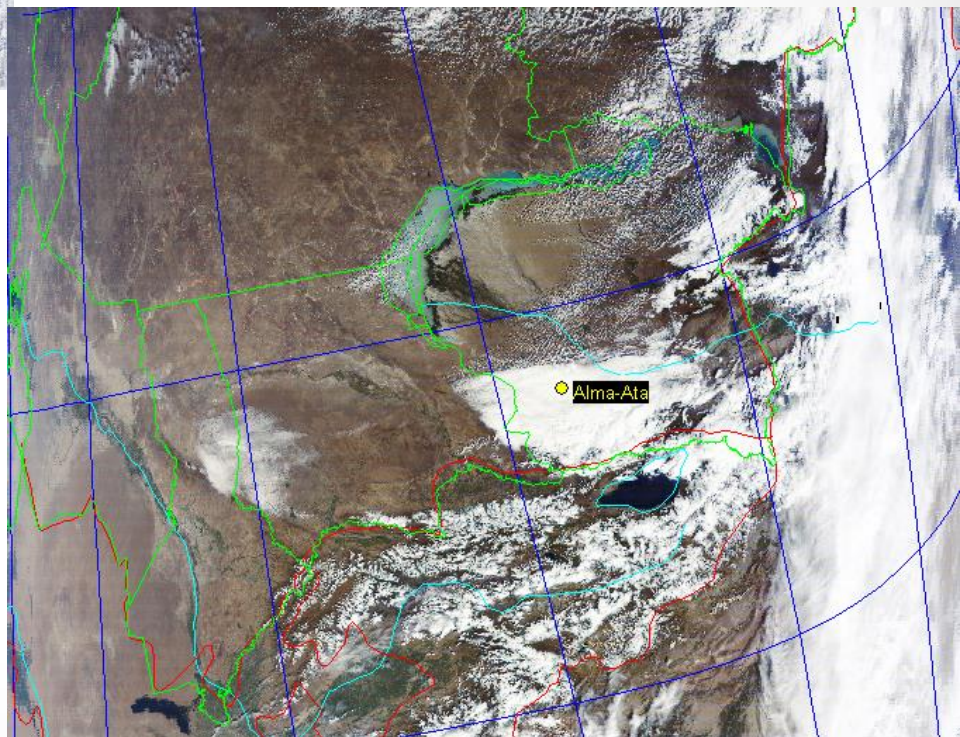
Станция в режиме приема





Изображение потери информации при приеме в зените (Terra/MODIS, 7 июня 2009 г.)

Космоснимок без потери информации в надире (Terra/MODIS, 2 сентября 2009 г.)



# Модернизация приемной станции в г.Алма-Ата

Заменено опорно-поворотное устройство антенной системы,

сетчатое зеркало - на сплошное зеркало Prodelin диаметром 2.4 м.

Установлена цифровая плата управления и широтно-импульсной модуляции.

Модернизированная станция обеспечивала прием данных ДЗЗ без «мертвой» зоны





# Расписание с пересекающимися по времени сеансами сбросов

Режим: Работа

Спутник: IRS P6

Формат: P6-LISS-3

Синхр.:

Качество:

Потер. кадры:

Ош. бит:

Темп (Mbps):

Буфер 1:

Буфер 2:

Своб. МБ (Е.): 449670

Дем., несущ.: **STANDBY**

Такт: **STANDBY**

Тип мод.:

Захват:

Псевд.-ош.:

ОСШ:

Вх. частота: 8300.000

Частота гет.: 7020.000

ПЧ1: 1280.000

Вых. частота: 140.000

Расп. прох. | **Расп. сбросов** | Изображ. | Демод. | Журн. приема | Журн. сопр. | Журн. вкл. | Журн. соб.

Спутник	Формат	N витка	Дата	Время	Кульм.	Аз.	Напр.
IRS P6	P6-LISS-3	30912	Окт 01	00:14:47 - 00:24:43	16	269	Восх
AQUA		39414	Окт 01	02:04:28 - 02:14:54	28	095	Нисх
AQUA		39415	Окт 01	03:42:11 - 03:52:56	32	292	Нисх
TERRA		52058	Окт 01	09:51:36 - 09:55:10	04	083	Нисх
IRS P6	P6-LISS-3	30918	Окт 01	10:47:30 - 10:58:18	24	093	Нисх
TERRA		52059	Окт 01	11:26:01 - 11:36:51	56	099	Нисх
AQUA		39420	Окт 01	11:39:14 - 11:43:07	03	050	Восх
IRS P6	P6-LISS-3	30919	Окт 01	12:27:16 - 12:40:13	46	291	Нисх
TERRA		52060	Окт 01	13:04:22 - 13:14:56	17	297	Нисх
AQUA		39421	Окт 01	13:13:14 - 13:23:45	35	068	Восх
IRS P6	P6-LISS-3	30920	Окт 01	14:09:13 - 14:16:50	06	309	Нисх
AQUA		39422	Окт 01	14:51:34 - 15:01:22	25	265	Восх
TERRA		52065	Окт 01	20:58:38 - 21:06:35	08	056	Восх
TERRA		52066	Окт 01	22:34:19 - 22:45:45	69	072	Восх
TERRA		52067	Окт 02	00:14:05 - 00:22:33	13	270	Восх
AQUA		39428	Окт 02	01:11:56 - 01:17:21	07	085	Нисх
AQUA		39429	Окт 02	02:46:56 - 02:58:04	75	101	Нисх
AQUA		39430	Окт 02	04:25:35 - 04:35:38	13	299	Нисх
IRS P6	P6-LISS-3	30932	Окт 02	10:27:03 - 10:36:27	15	089	Нисх
TERRA		52073	Окт 02	10:31:43 - 10:40:18	16	091	Нисх
IRS P6	P6-LISS-3	30933	Окт 02	12:06:20 - 12:18:17	69	288	Нисх
TERRA		52074	Окт 02	12:08:48 - 12:19:54	55	288	Нисх
AQUA		39435	Окт 02	12:19:07 - 12:27:54	11	058	Восх
IRS P6	P6-LISS-3	30934	Окт 02	13:47:41 - 13:57:29	10	305	Нисх
TERRA		52075	Окт 02	13:48:18 - 13:55:35	06	305	Нисх
AQUA		39436	Окт 02	13:54:48 - 14:06:43	89	291	Восх
AQUA		39437	Окт 02	15:35:19 - 15:43:03	09	272	Восх
TERRA		52080	Окт 02	21:40:00 - 21:50:16	21	064	Восх
TERRA		52081	Окт 02	23:17:16 - 23:28:26	44	261	Восх
AQUA		39443	Окт 03	01:52:24 - 02:01:55	21	093	Нисх
AQUA		39444	Окт 03	03:29:50 - 03:40:37	41	289	Нисх
AQUA		39445	Окт 03	05:09:52 - 05:15:24	04	308	Нисх
IRS P6	P6-LISS-3	30946	Окт 03	10:06:54 - 10:14:51	09	086	Нисх
TERRA		52088	Окт 03	11:13:52 - 11:25:10	42	097	Нисх

Положение: Абс. аз.  Ошибка:

Абс. УМ:  Поправка:

Накл. **STBY**  0:30

УМ **STBY**  0:10

Отклон. луча:

АД **STBY** **STBY**

АРУ

100 - 1.0

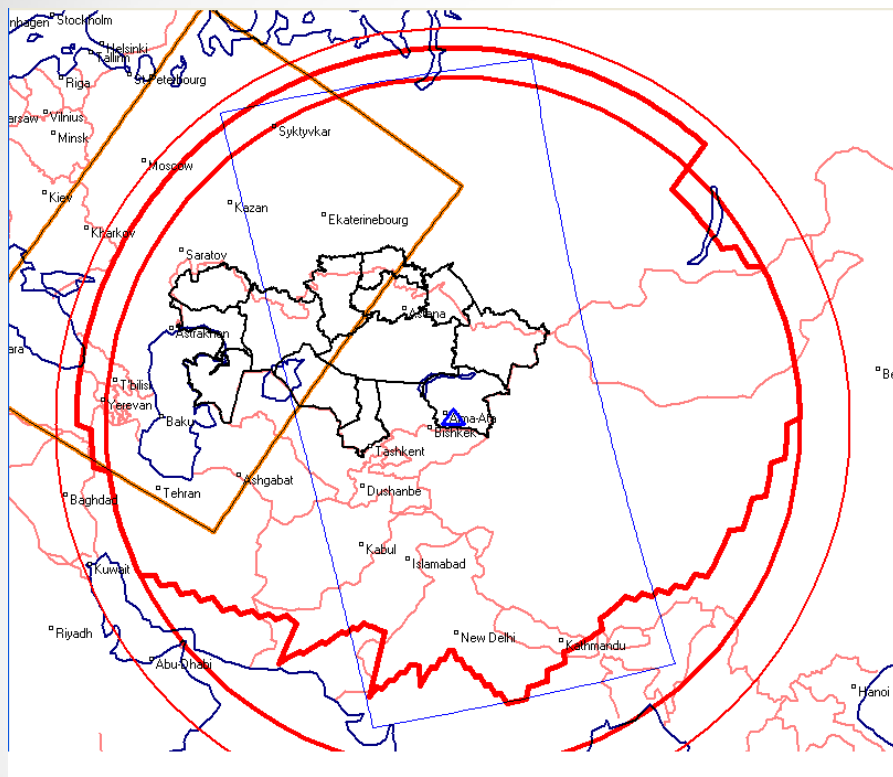
- 0.8

- 0.6

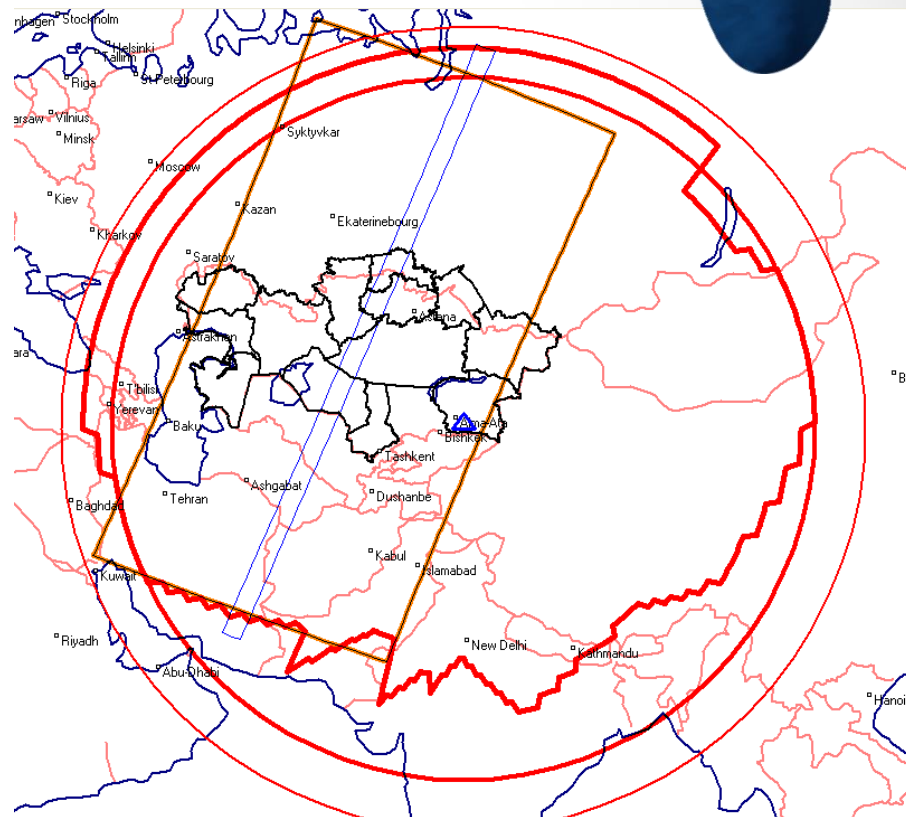
-



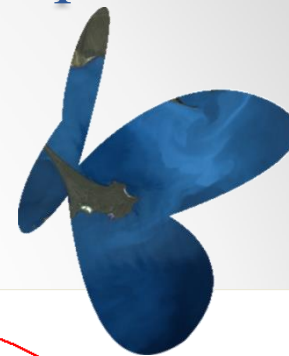
# Траектории пересекающихся по времени сеансов сбросов



с одного сканера  
(Terra, Aqua)

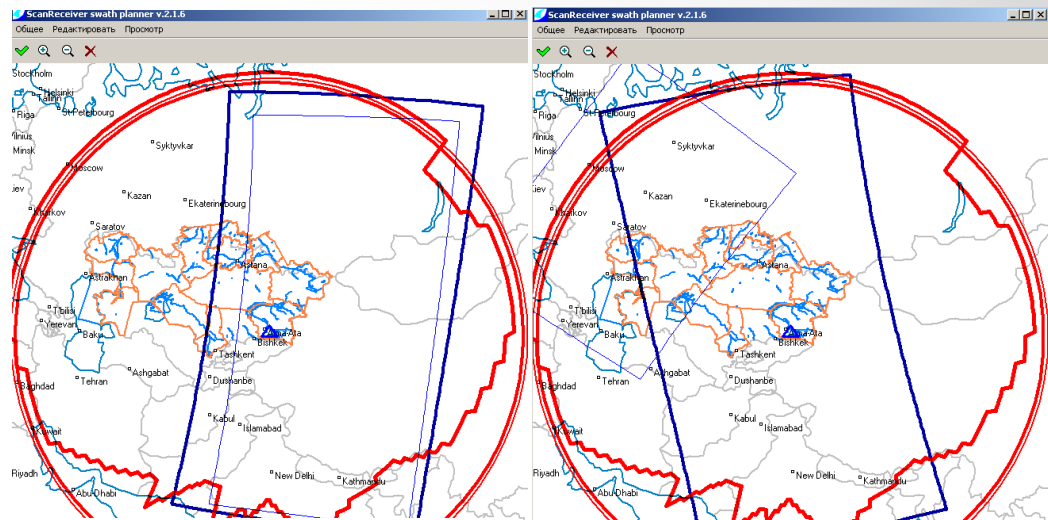


с разных КА  
(IRS, Terra)

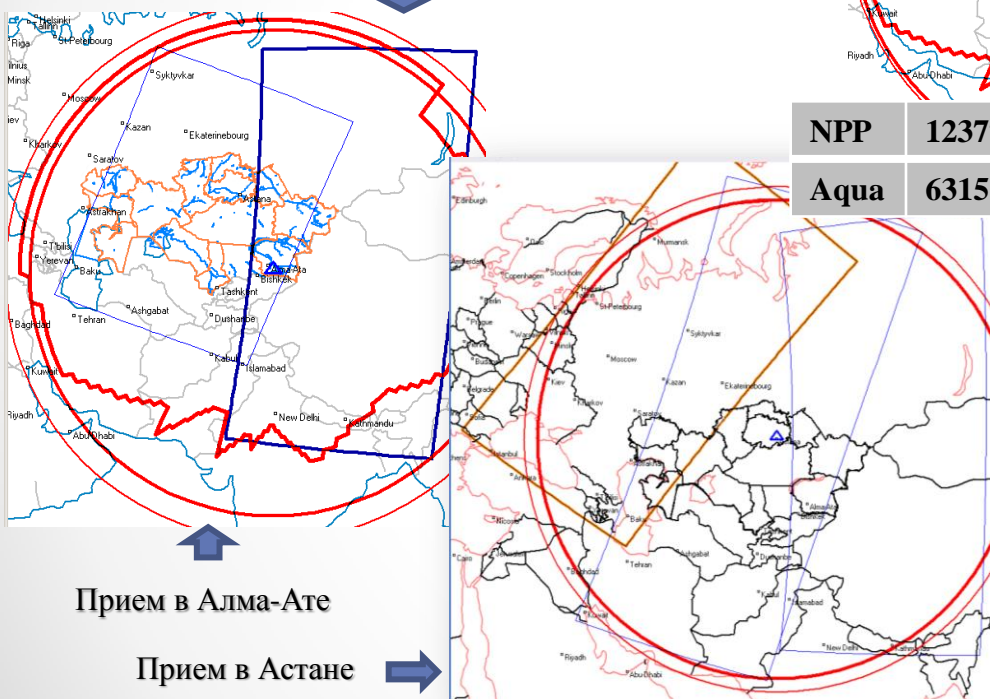


# Координация функционирования центров приема спутниковых данных

Пример пересечений по времени сбросов в расписании проходов КА



Пример расписаний прохождения КА с учетом зон видимости станций



NPP	12377	02:13:05-02:25:51	NPP	12299	13:50:49-14:04:22
Aqua	63151	02:13:54-02:25:30	Terra	75710	13:54:05-14:01:37

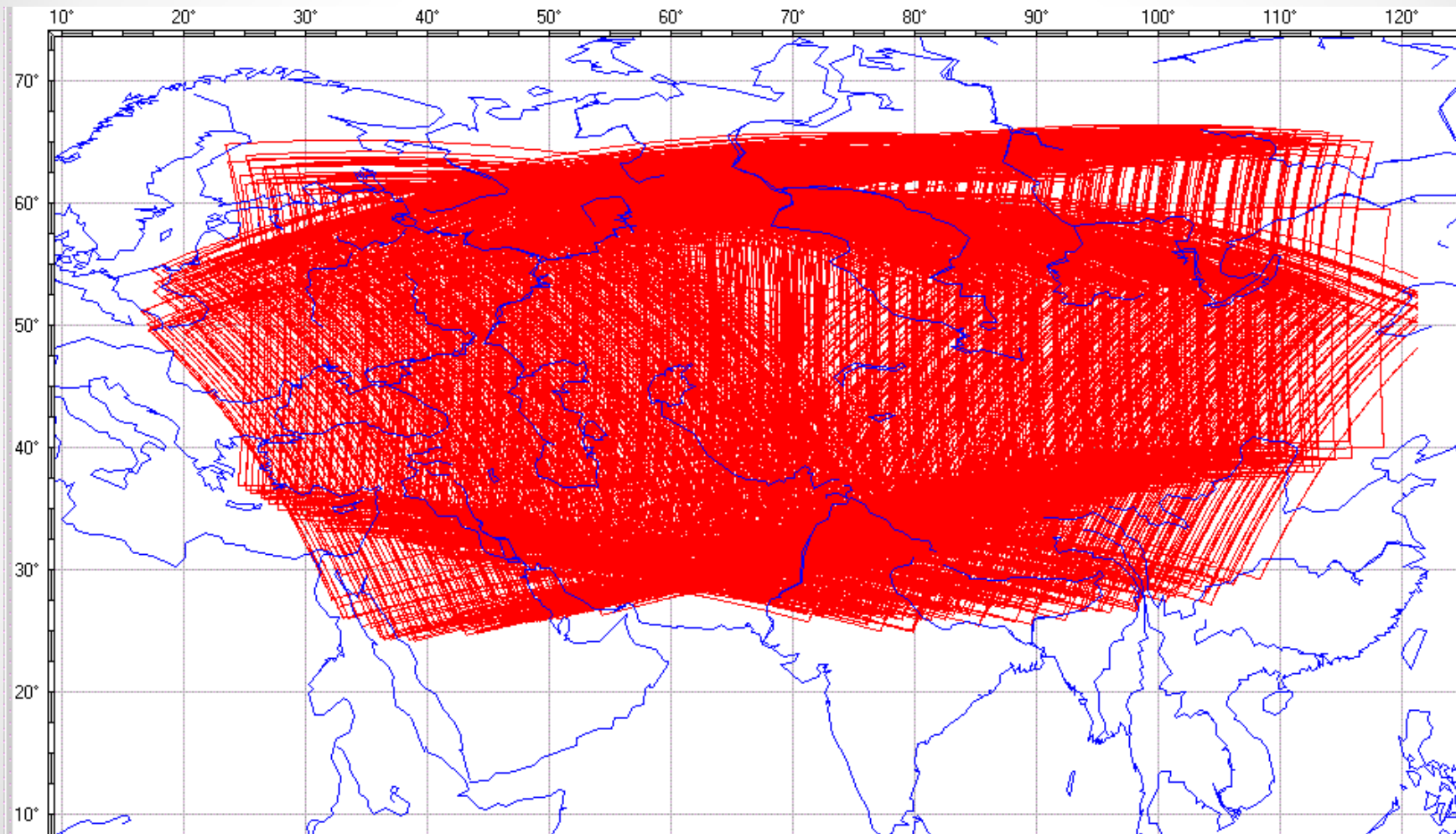
Прием в Алма-Ате  
 Прием в Астане



Координация необходима для снижения риска потери информации из-за сбоев оборудования или перекрытия сеансов сбросов данных ДЗЗ



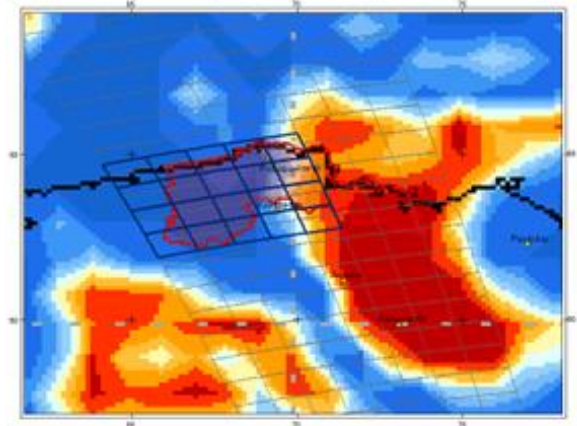
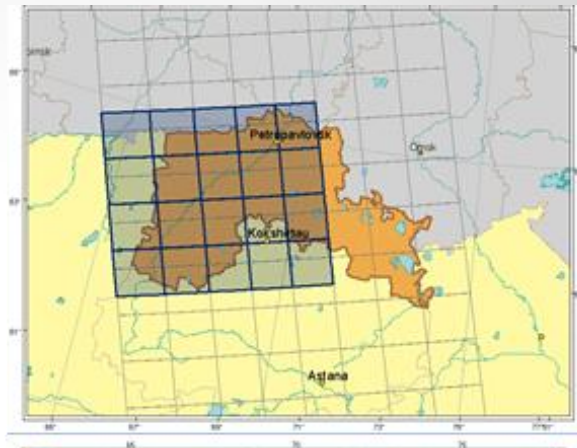
# Пример схемы покрытия территории данными MODIS в режиме прямого сброса



# Планирование

Планирование прицельной съемки включает:

- определение интересующего региона;
- определение временного интервала съемки;
- определение необходимого пространственного разрешения;
- расчет расписания пролетов спутников;
- формирование и отправка заказа оператору;
- уточнение параметров съемки.

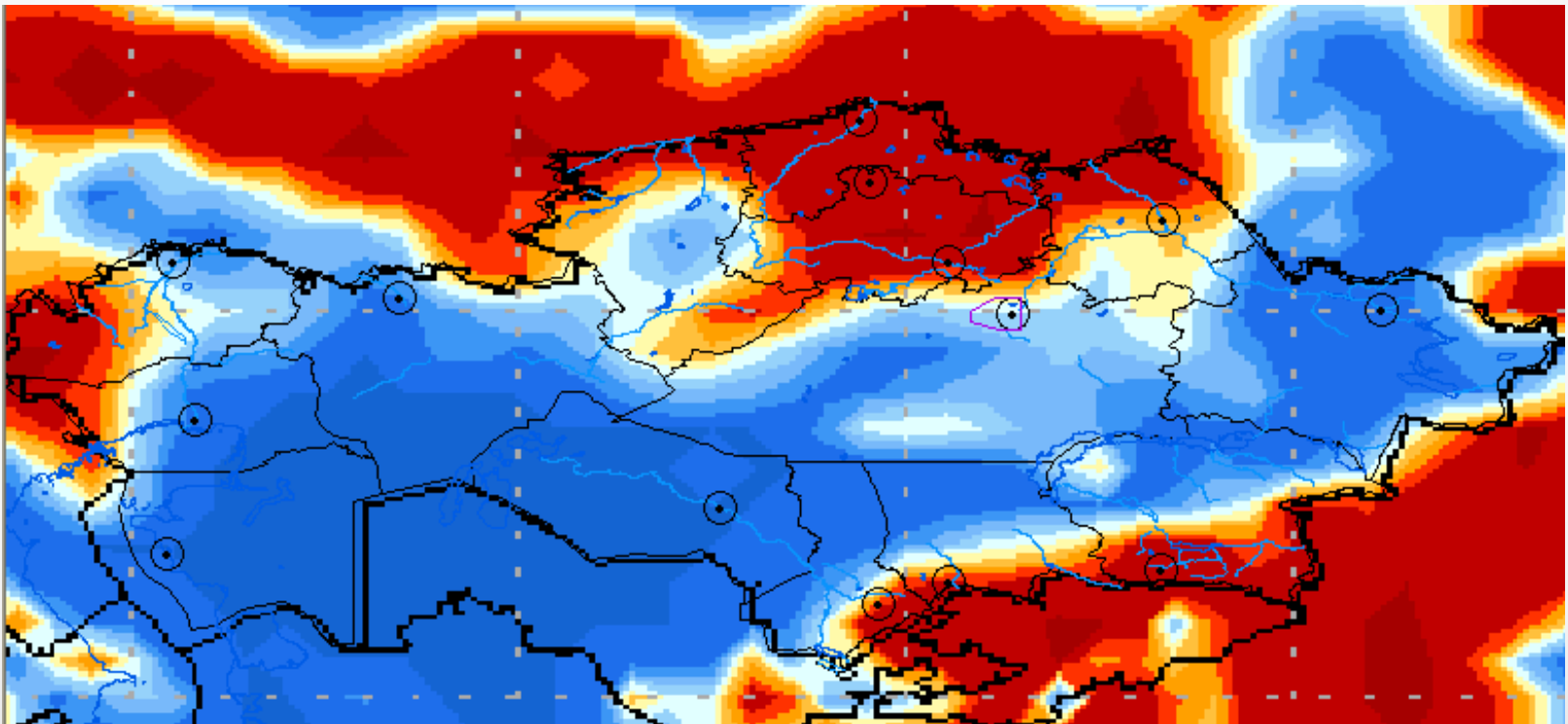


Спутник	Время	Направление	Скорость	Высота	Длина волны	Скорость	Высота	Длина волны	Скорость	Высота
SPOT-5	11:28:44	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:45	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:46	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:47	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:48	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:49	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:50	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:51	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:52	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:53	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:54	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:55	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:56	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:57	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:58	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:28:59	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:00	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:01	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:02	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:03	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:04	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:05	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:06	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:07	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:08	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:09	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:10	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:11	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:12	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:13	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:14	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:15	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:16	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:17	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:18	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:19	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0
SPOT-5	11:29:20	С	1200	36	4108	742	0.0	0	0	0

# Планирование съемки оптико-электронных данных

При формировании заявок на прицельную съемку с оптико-электронных данных ДЗЗ, для повышения успешности выполнения съемки, требуется анализировать прогноз по облачности.

В случае «положительного» прогноза заявка отправляется на согласование владельцу КА.





Generate Swath Footprints

Start 2011-MAY-15 00:00:00.02  
 Stop 2011-MAY-25 00:00:00.02  
 UTC Time [v] Reset to Epoch

Direction  Ascending and Descending  
 Ascending Only  
 Descending Only

Signal  Realtime  
 Recorded

Mode Fine Resolution [v]  
 Beam F1N [v]  
 to F5F [v]

Fixed Gain  Manual 16 [v]  
 Auto

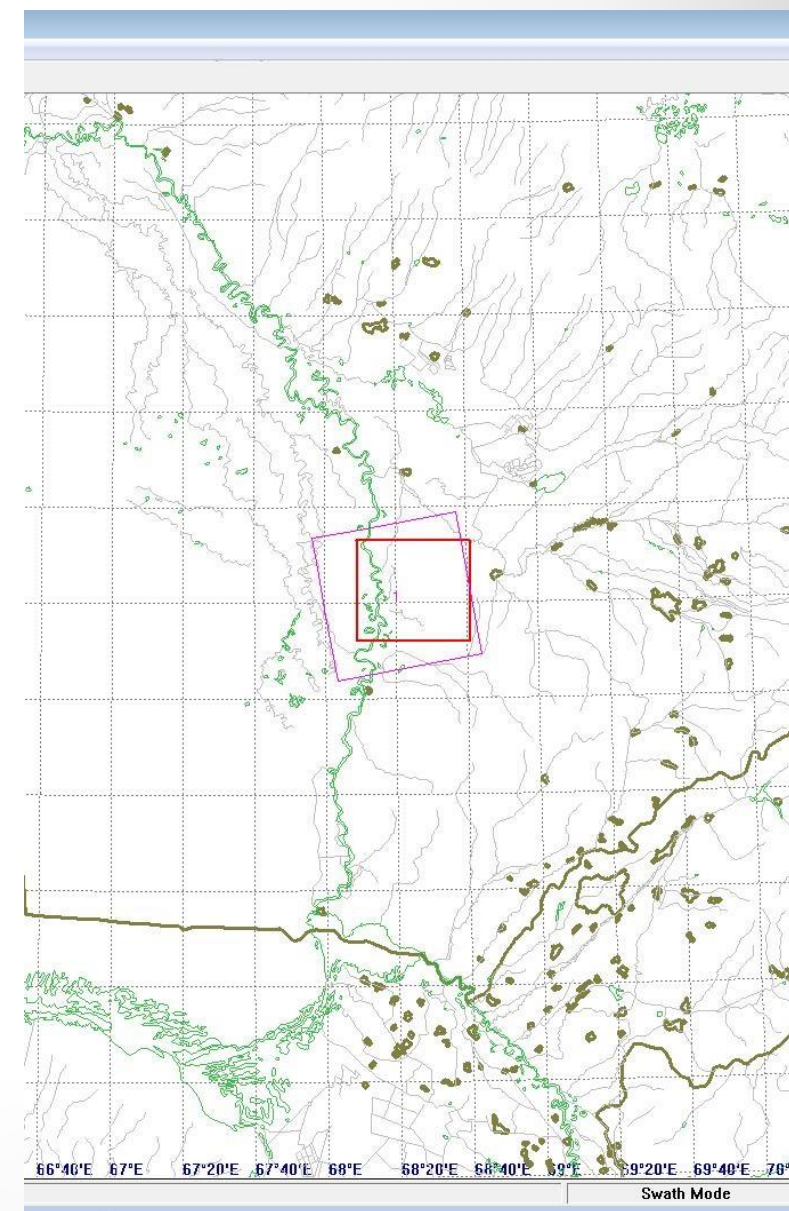
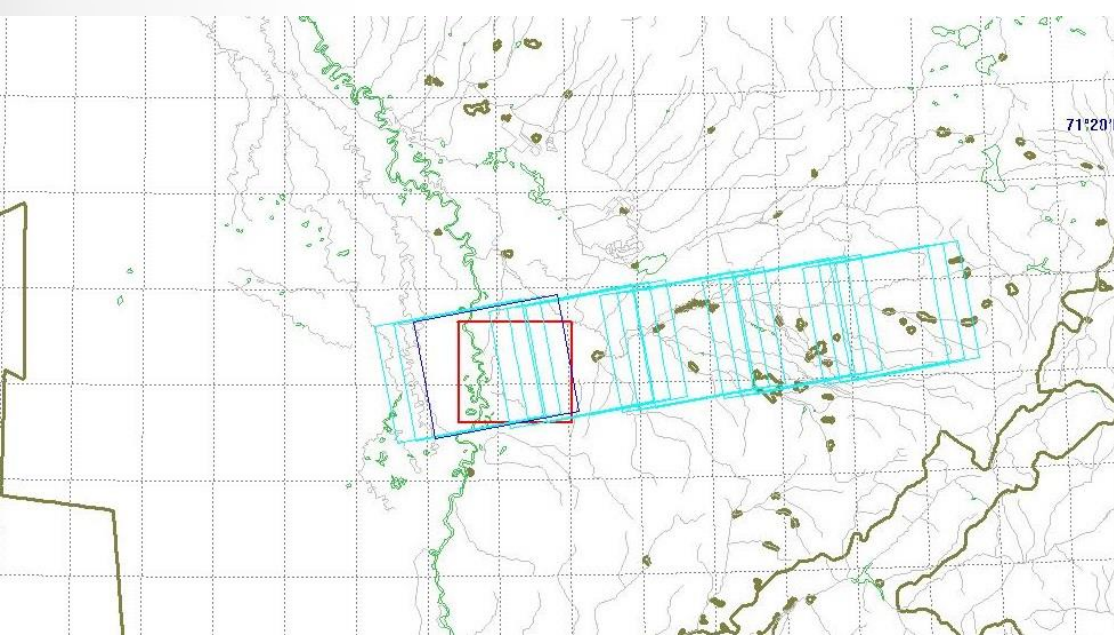
Region C:\SPA3-1R1\region\Koksaray.rgn [v]

Restrict Generation to Inner / Outer Incidence Angles (in degrees)  
 Inner 36.41311 Outer 47.81822 [Reset]

Restrict Generation to DRF Line Of Sight

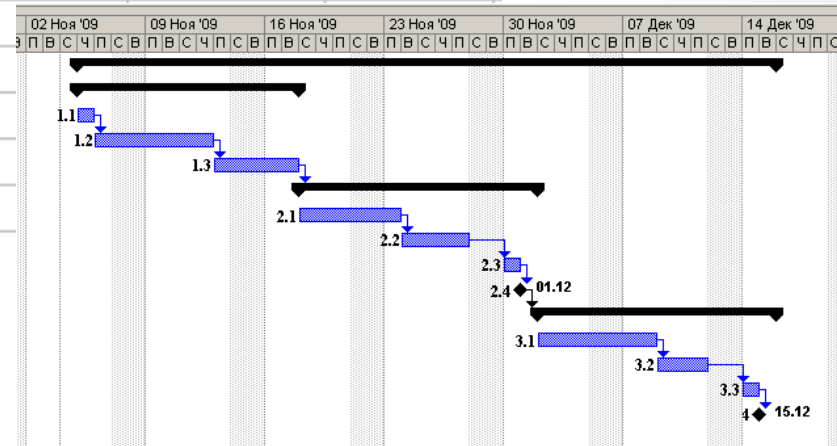
[Generate] [Search Catalogue] [Cancel]

# Планирование прицельной радиолокационной съемки



# Сертификация аппаратного и программного обеспечения технологических комплексов приема и обработки цифровых космических снимков с КА AQUA, TERRA, IRS

Название задачи	Длительность	Начало
<b>Сертификация (техническое освидетельствование) приемной станции</b>	<b>29 дней</b>	<b>Чт 05.11.09</b>
<b>Организационные работы по подготовке к сертификации аппаратного и</b>	<b>9 дней</b>	<b>Чт 05.11.09</b>
Заполнение листа-анкеты	1 день	Чт 05.11.09
Проверка аппаратной части приемной станции	5 дней	Пт 06.11.09
Планирование тестовых сбросов	3 дня	Пт 13.11.09
<b>Тестирование технических и виртуальных средств приема данных ДЗЗ</b>	<b>10 дней</b>	<b>Ср 18.11.09</b>
Прием тестовых витков в режиме реального времени	4 дня	Ср 18.11.09
Прием тестовых витков в виртуальном режиме	4 дня	Вт 24.11.09
Отчет о приеме данных ДЗЗ	1 день	Пн 30.11.09
Составление технического акта состояния АПК и средств связи	1 день	Вт 01.12.09
<b>Тестирование программного обеспечения приемной станции</b>		
Обработка полученных данных		
Архивация данных		
Занесение информации в каталог		
Получение сертификата		



Этапы и сетевой график сертификации

# Сертификация аппаратного и программного обеспечения технологического комплекса приема и обработки космическим снимков с КА Radarsat-1 в г. Астана

## Отчет по результатам приема и обработки витка RADARSAT

Космический аппарат	Подготовка к приему			Прием и отчет				Замечания по приему	Обработка	Занесение данных в каталоги
	DLS	TLE	TARDIS	Номер витка	Время приема	Время заказа	Принято			
RADARSAT-1	√	√	√	69251	02:50:08	02:51:06	02:50:08 02:51:07	-	Level 0 Level 1	ARAD_144

По согласованию с канадской компанией MDA проведена оценка возможности приемной станции в Астане выполнения заказов в режиме реального времени и качества принятых данных.

Сертификации подтвердили соответствие качества приема и обработки требованиям операторов.



## Уровни архива:

- *долговременный архив,*
- *архив сезонных задач,*
- *оперативный архив.*



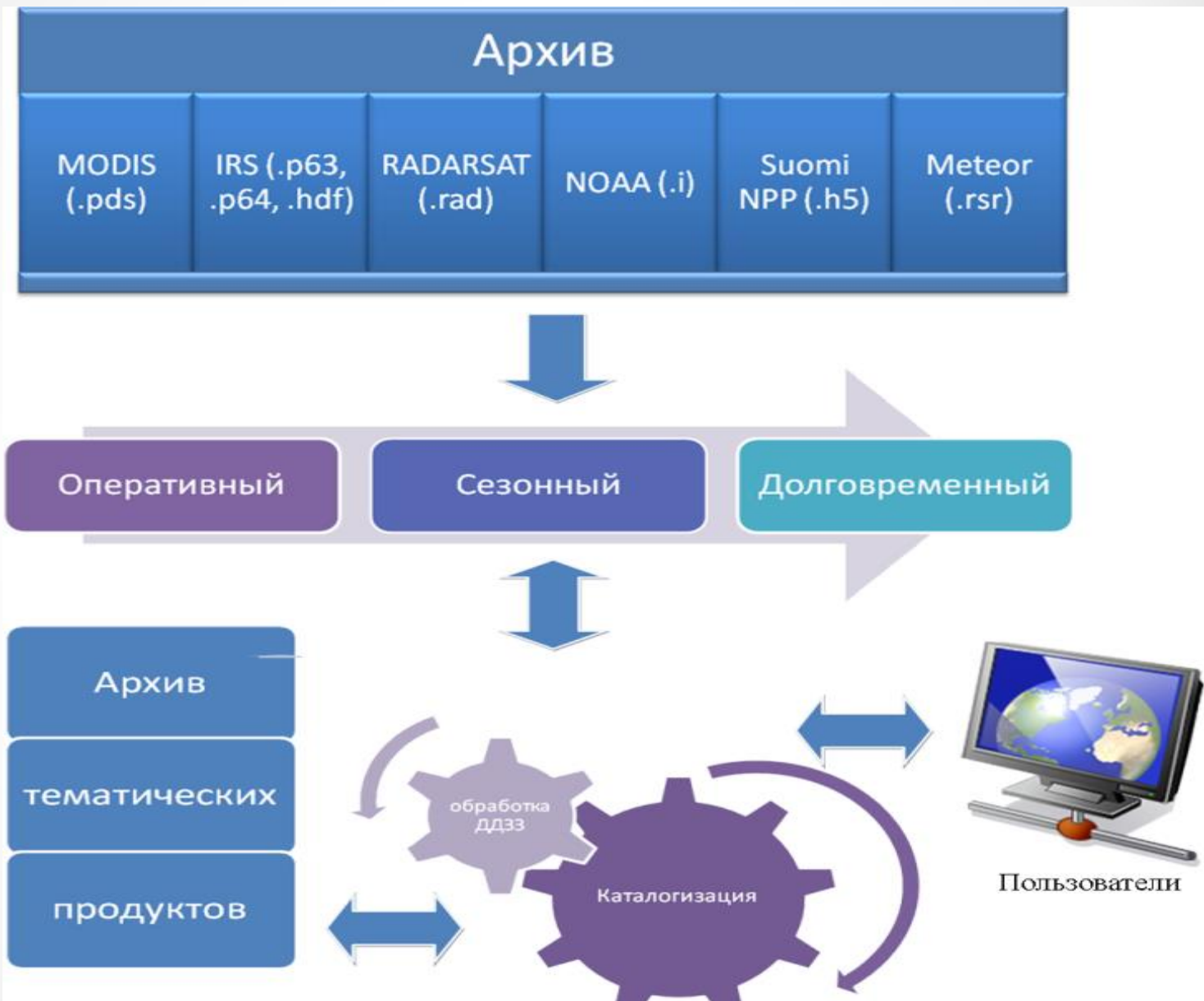
Уровни доступа к электронным каталогам архива определены в зависимости от частоты решаемых задач космического мониторинга (оперативных, сезонных, многолетних) для оптимизации поиска данных



Система хранения HP

- StorageWorks MSA60 Array





## Архив данных ДЗЗ

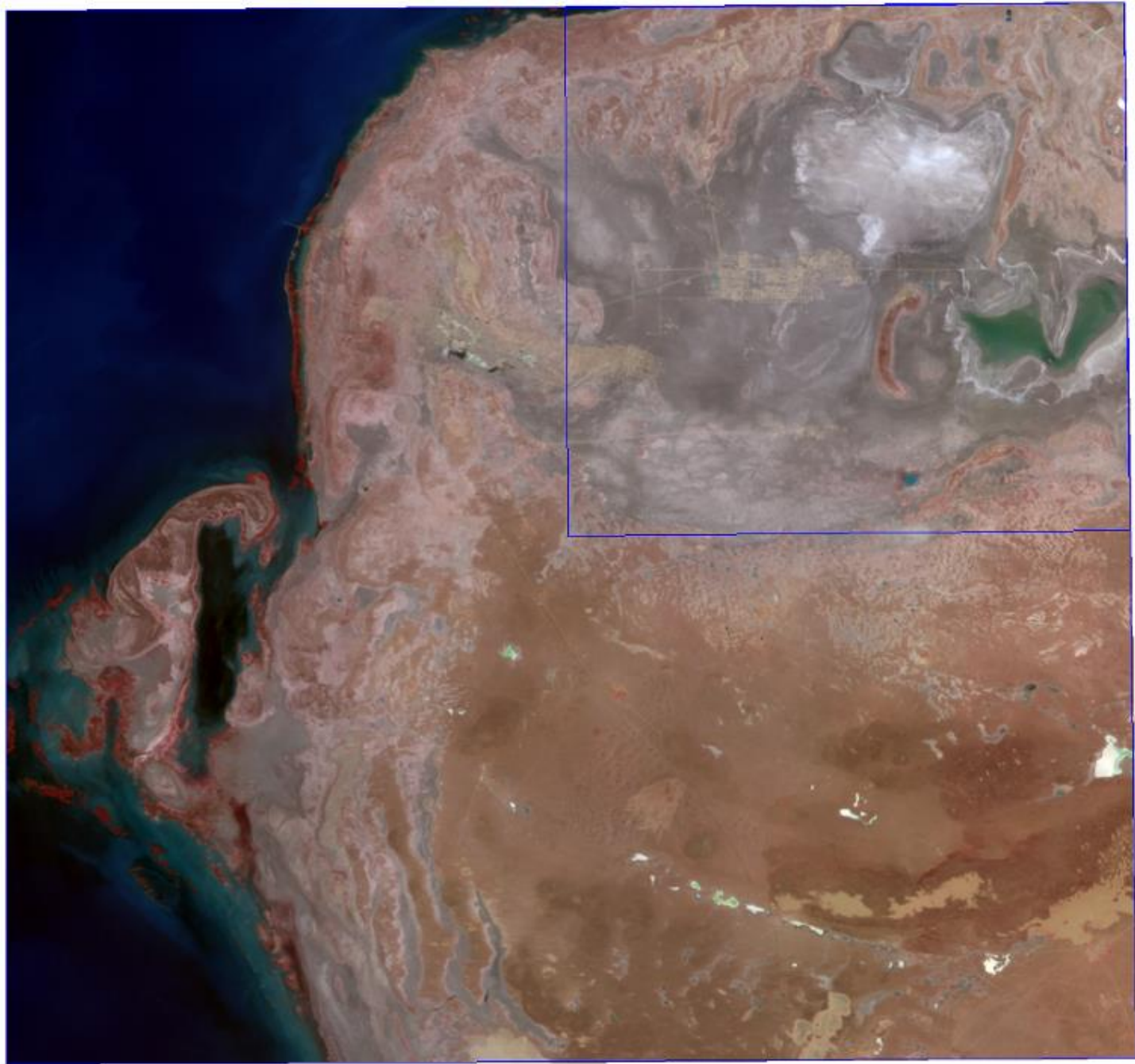
Космический аппарат (страна)	Радиометр	Характеристики съемочного прибора		
		Пространственное разрешение, м	Кол-во каналов/ спектр. диапазон, мкм	Полоса захвата, км
Terra, Aqua (США)	MODIS	250	2 / (0,6 – 0,8)	2300
		500	5 / (0,4 – 2,0)	
		1000	29 / (0,4 - 14)	
IRS 1C/1D (Индия)	PAN	5.8	1 / (0,5 – 0,75)	70
	LISS- 3	23	3 / (0,52 – 0,86)	142
	WIFS	188	2 / (0,62 – 0,86)	810
IRS P6 (Индия)	LISS-4	5.8	1	70
	LISS-3	23	4	140
	AWIFS	56-70	4	740
RADARSAT-1 (Канада)	SAR	8...100	1 / (С-диапазон, 5,6 см)	50...500



# Примеры спутниковых изображений

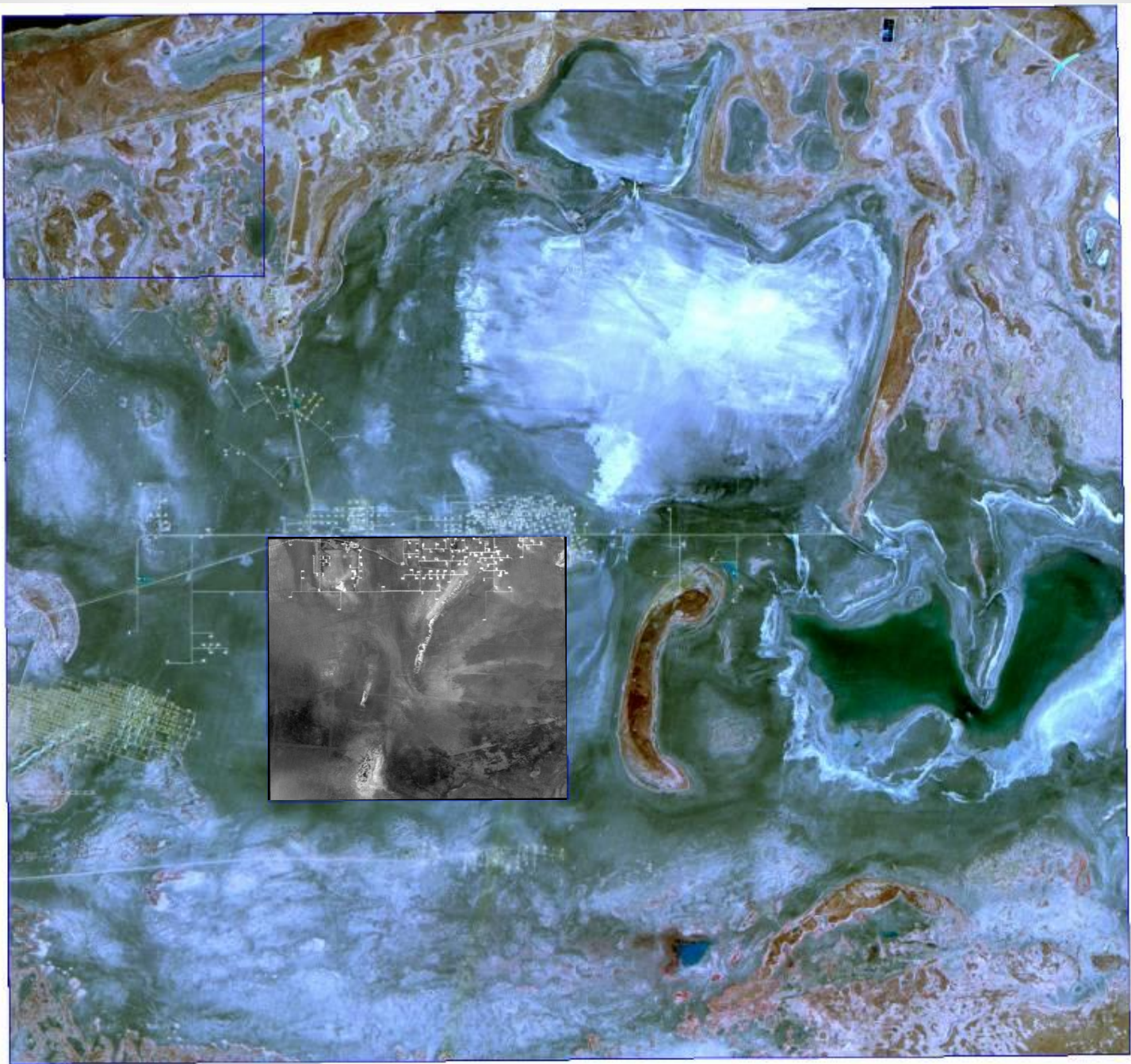


MODIS



AWIFS





LISS-3



LISS-4



# Уровни обработки данных ДЗЗ



# Радиометрическая калибровка

The screenshot displays the ENVI software interface for radiometric calibration. The top section shows input files and sensor information for a Landsat-8 image. The 'Band Setup' dialog box is open, showing a table of calibration coefficients for various bands. Below this, a 'Radiometric Calibration' dialog box is shown, with 'Radiance' selected as the calibration type and 'Apply to All Bands' checked. The background shows a satellite image of a landscape.

Input Image Files

Multispectral: L:\L8\_Tadjikistan\LC81520332013271LGN00\LC81520332013271LGN00\_MTL.bt-MS

Panchromatic: <optional>

Sensor Information

Sensor type: Landsat-8 Solar zenith: 43.86512° dec deg

Acquisition date: September 28 2013 Solar azimuth: 154.3745° dec deg

Radiometric Information

Calibration coefficients source: Channel Metadata

**Band Setup**

Band wavelength [um]	Offset [mW.cm-2.sr-1.um-1]	Gain [mW.cm-2.sr-1.um-1]	Channel	Background Value
0.43-0.45	-6.252642	0.001250	1	0.000000
0.45-0.51	-6.402781	0.001281	2	0.000000
0.53-0.59	-5.900108	0.001180	3	0.000000
0.64-0.67	-4.975304	0.000995	4	0.000000
0.85-0.88	-3.044638	0.000609	5	0.000000
1.36-1.38	-1.189913	0.000238	8	0.000000
1.57-1.65	-0.757173	0.000151	6	0.000000
2.11-2.29	-0.255208	0.000051	7	0.000000

Panchromatic file

0.50-0.68	0.000000	1.000000	N/A	
-----------	----------	----------	-----	--

**Radiometric Calibration**

Calibration Type: Radiance

Output Histogram:

Output Data Type: Radiance

Scale factor: 1.00

Apply to All Bands

Output Filename: D:\L81520332013271LGN00\LC81520332013271LGN00\_MTL.bt-MS

В исходном наборе спутниковых данных каждый пиксель представлен числом **DN** (Digital Number), полученным после преобразований "сырых" значений, зарегистрированных сенсором спутника. Значения DN не несут никакого физического смысла, так как каждый датчик характеризуется собственными значениями усиления и смещения, которые применяются к сигналу в момент формирования матрицы пикселей. Поэтому одному и тому же DN могут соответствовать разные абсолютные значения физической величины.

С целью приведения данных к сопоставимым значениям выполняется их радиометрическая калибровка.

# Радиометрическая калибровка

Для точных работ и контроля за преобразованием яркости применяются параметры PHYSICAL\_GAIN и PHYSICAL\_BIAS пересчета канальных значений DN в абсолютную мощность RADIANCE. Пересчет производится по формулам, выбор которых зависит от уровня продукта.

Абсолютная мощность излучения снимков уровня L1R или L1T:

$$\text{RADIANCE} = \left[ \frac{\text{DN}}{\text{PHYSICAL\_GAIN}} \right] + \text{PHYSICAL\_BIAS}$$

Для уровня L0R:

$$\text{RADIANCE} = [\text{DN} \times \text{PHYSICAL\_GAIN}] + \text{PHYSICAL\_BIAS}$$

DN = канальные значения, пропорциональные количеству приходящей радиации

$d$  = расстояние между Солнцем и Землей в астрономических единицах [AU]

$L_\lambda$  = количество приходящего излучения в спектральном канале  $\lambda$

$E_{0\lambda}$  = внеатмосферная солнечная освещенность, нормированная на расстояние в одну астрономическую единицу [ $\text{BT} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{мкм}^{-1}$ ]

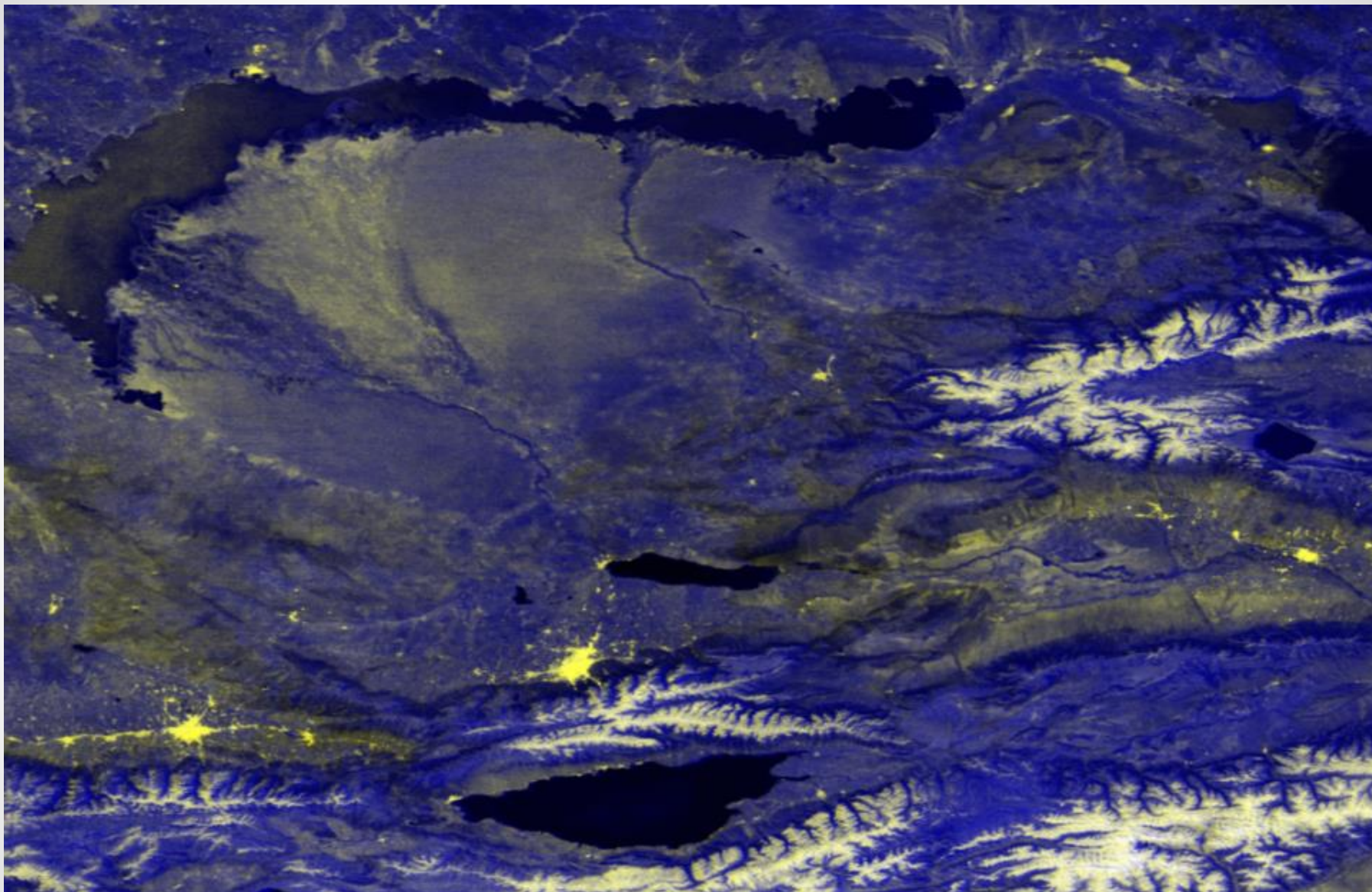
$\theta_s$  = Зенитный угол Солнца [°]

$$\rho_\lambda = \frac{\pi d^2 L_\lambda}{E_{0\lambda} \cos \theta_s}$$

Пересчет DN в REFLECTANCE - физический параметр отражательной способности поверхности

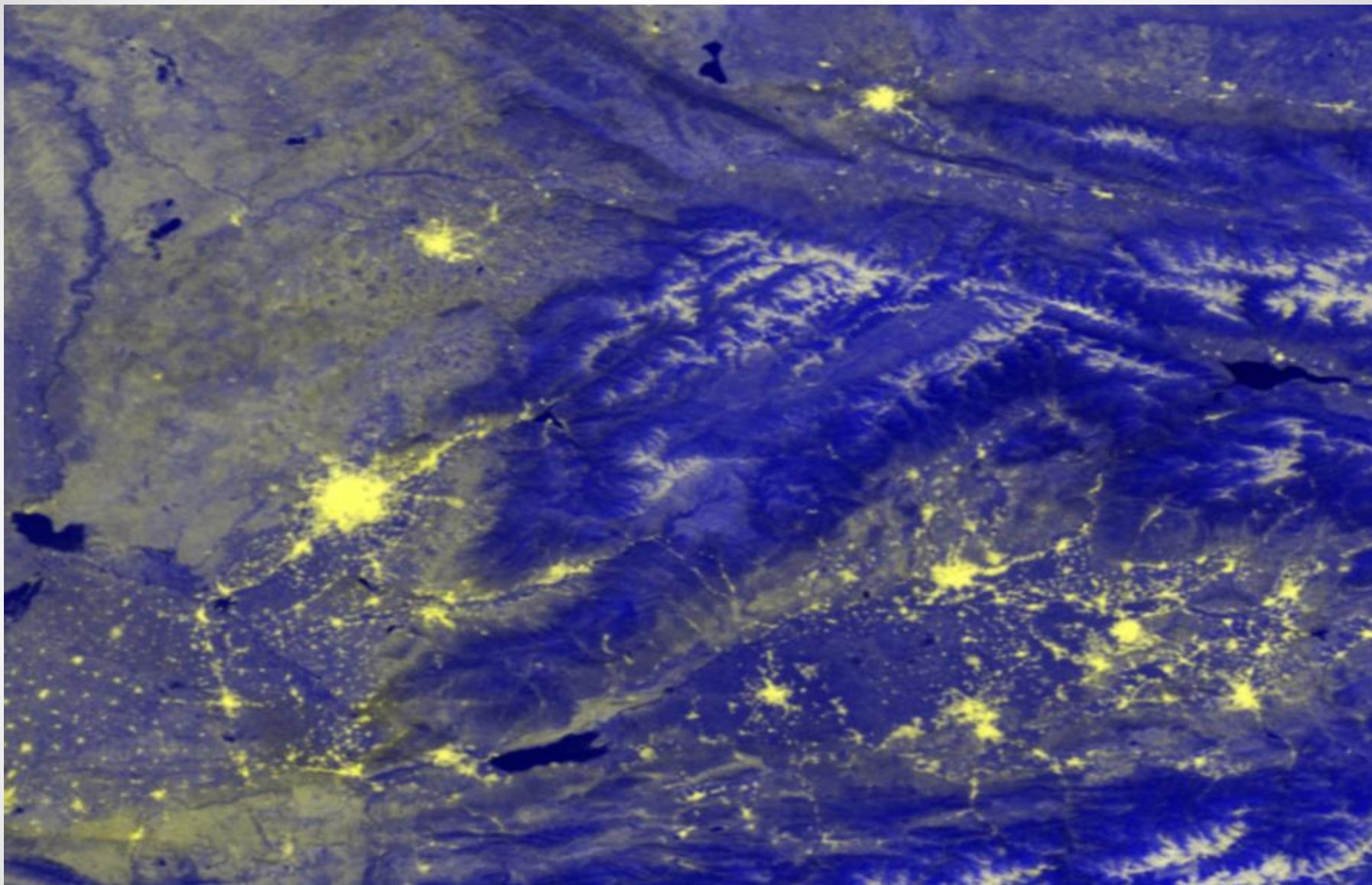
$$\text{REFLECTANCE} = \text{DN} \times \text{GAIN} + \text{BIAS}$$





- Отражение Земной поверхности в лунном свете по данным съемки DNB VIIRS Suomi NPP





- Отражение Земной поверхности в лунном свете по данным съемки DNB VIIRS Suomi NPP

## Спектральные индексы

**Спектральные индексы** – это показатели, рассчитываемые в результате математических операций с разными спектральными диапазонами (каналами) ДДЗ, имеющие отношение к определенным параметрам

Спектральная спутниковая информация позволяет рассчитать, например,

- **вегетационные индексы**, характеризующие свойства растительного покрова на основе знаний о том, что самая выраженная особенность спектра растений – это минимум в красной области спектра и максимум в инфракрасной

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

- **водные индексы** на основе знаний, что самая выраженная особенность спектра воды – это минимум в инфракрасной области спектра и максимум в зеленой.

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

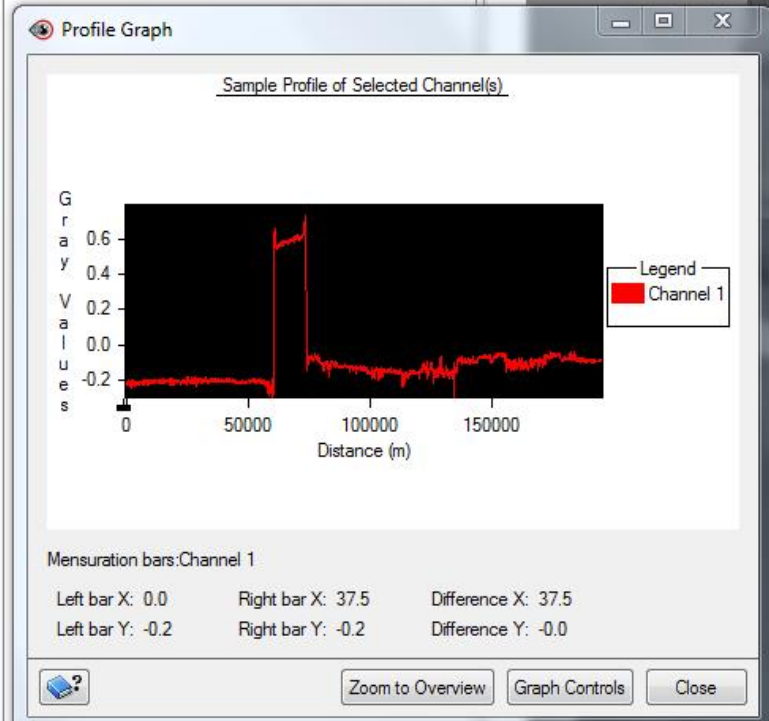


19.09.2019

12.09.2019

Maps Files

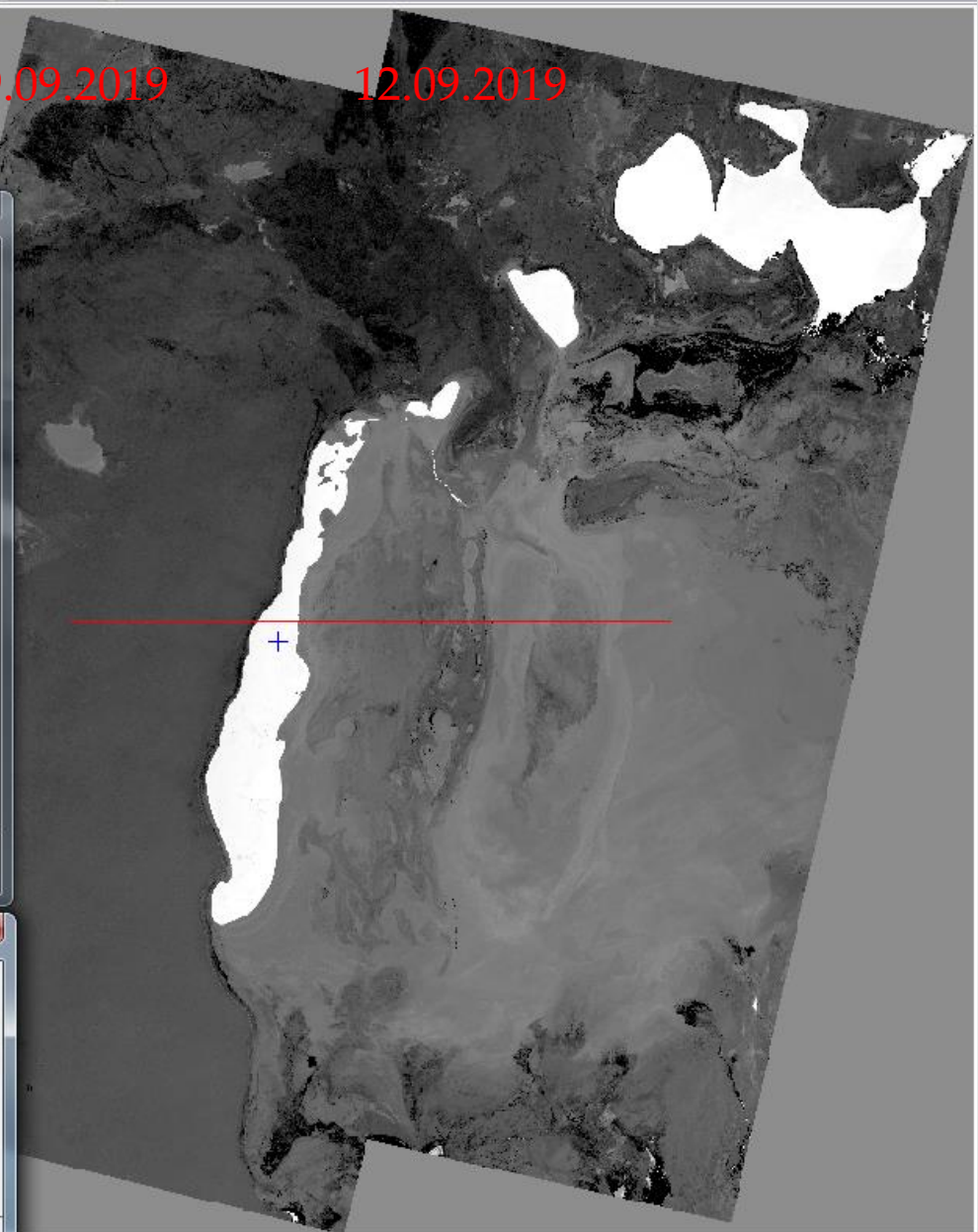
- Unnamed Map
  - New Area
    - New Vector Layer
    - LC8\_092019-refl-moz-NDWI.tif: 1



### Profile Table

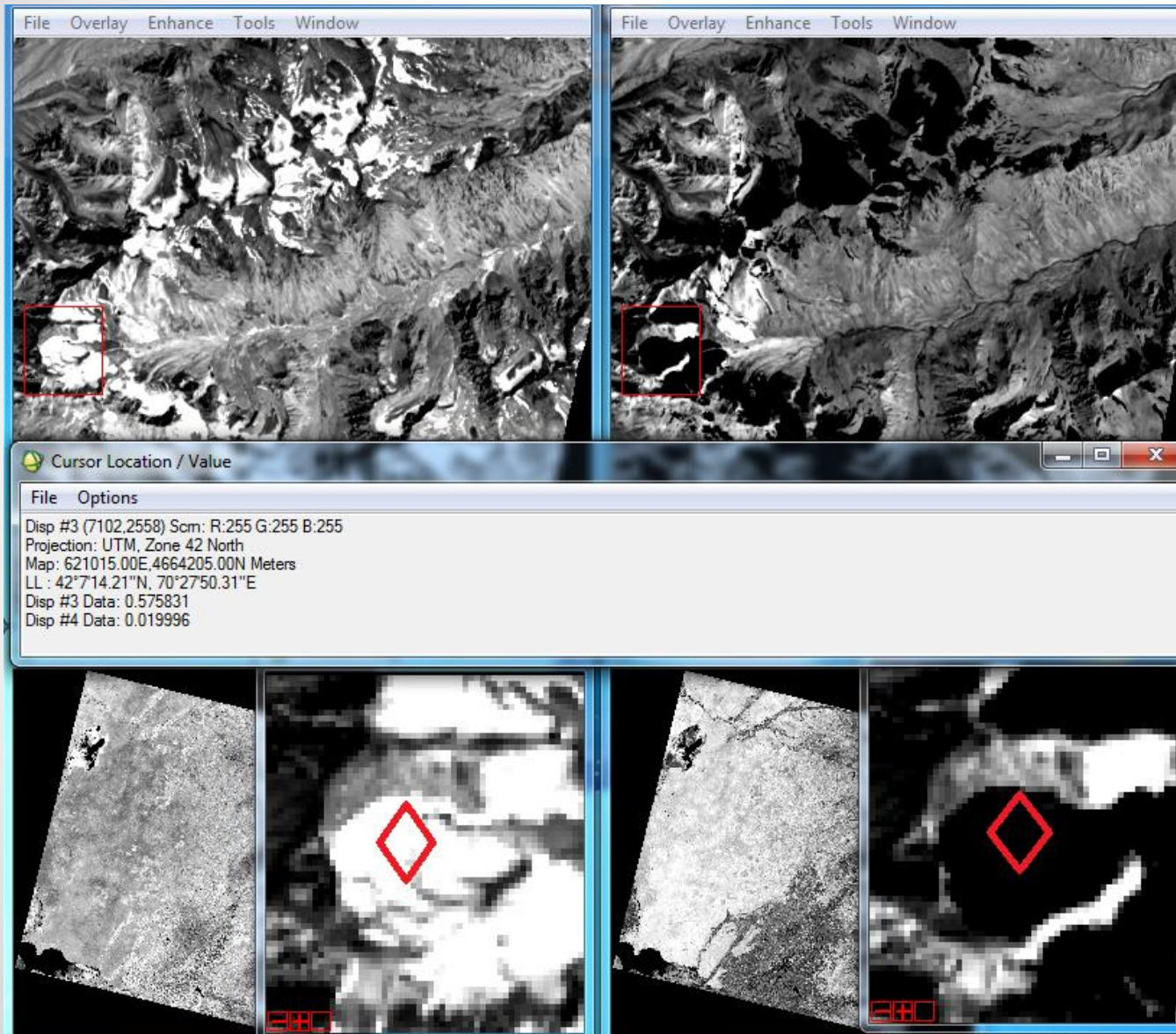
Sample	Channel 1	Pixel/Line	X Position	Y Position	Distance
1	-0.2142	3246/6606	552742.5	5019450.0	0.0
2	-0.2172	3247/6606	552780.0	5019450.0	37.5
3	-0.2257	3248/6606	552810.0	5019450.0	67.5
4	-0.2109	3249/6606	552840.0	5019450.0	97.5
5	-0.2119	3250/6606	552870.0	5019450.0	127.5
6	-0.2148	3251/6606	552900.0	5019450.0	157.5

Buttons: Graph, Statistics, Save, Options, Close



$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

# Спектральные индексы

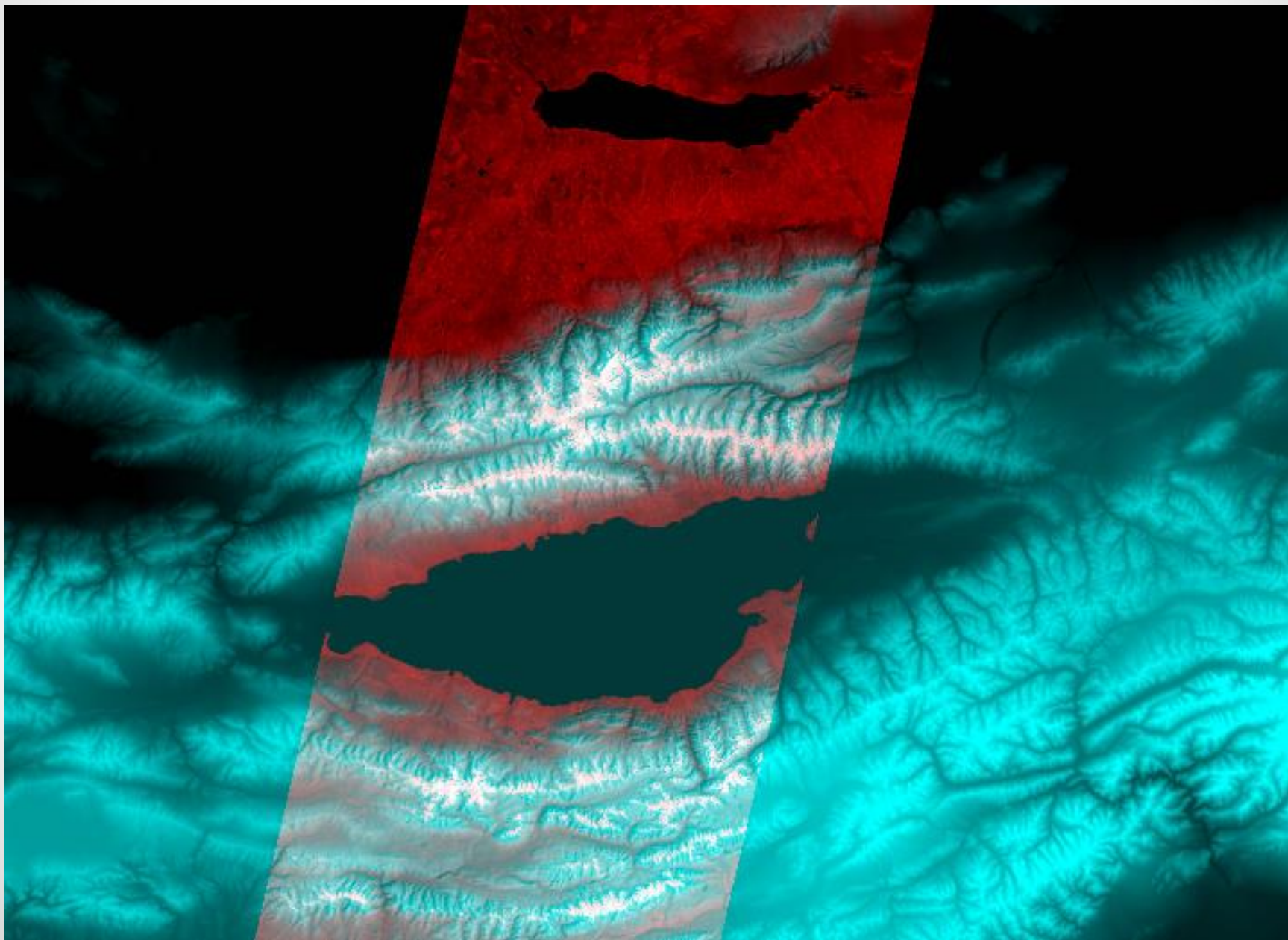


**Ледовый индекс** (G) рассчитывается как отношение коэффициентов отражения излучения с длиной волны 0,85-0,88 мкм и 1,57-1,65 мкм.

$$G = \frac{NIR}{SWIR1}$$

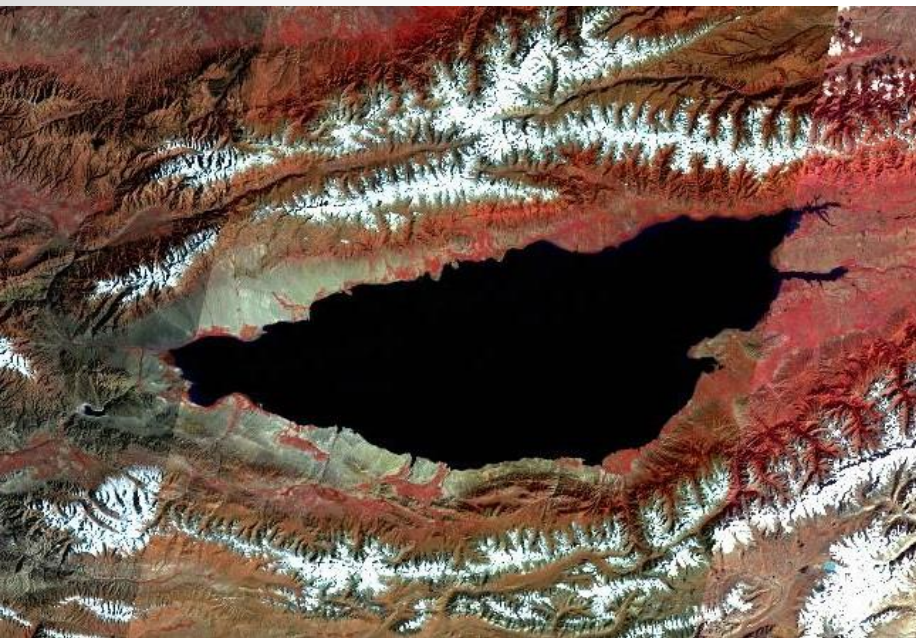


# Ортокоррекция с использованием цифровой модели рельефа



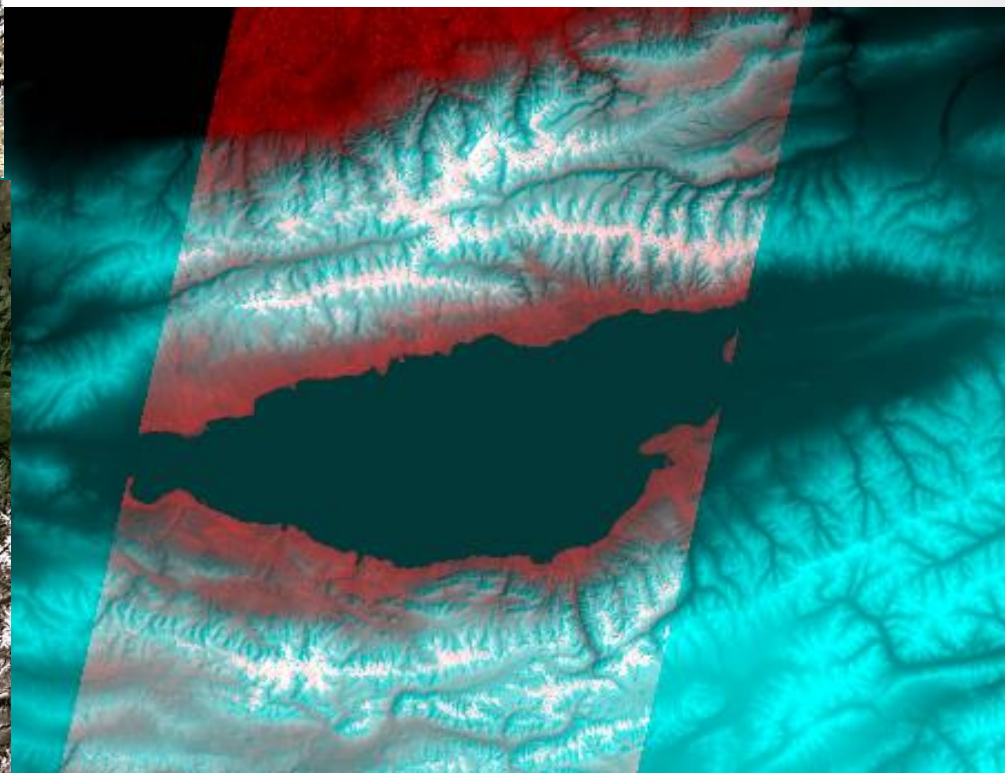


# Создание ортотрансформированной мозаики True Color



## Этапы создания мозаики:

- добавление обработанных изображений в мозаику
- выравнивание их яркостного контраста
- определение линии сшивки в области перекрытия соседних изображений
- создание бесшовного изображения





Дополнительная обработка - увеличение пространственного разрешения мультиспектральных снимков по высокодетальному панхроматическому изображению



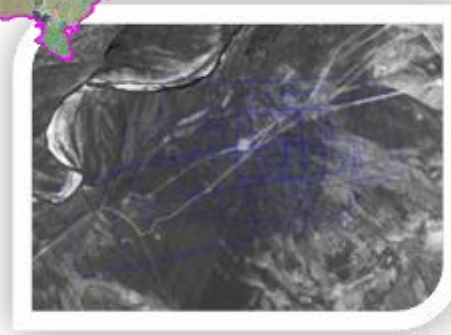
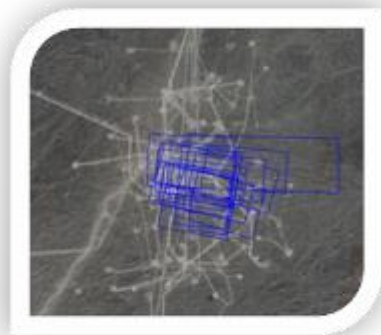
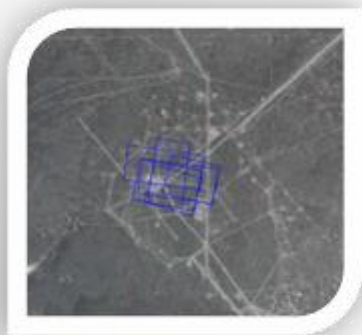
LISS 23 м, RGB 321



LISS 5.8 м, True color



# Тематическая обработка



• Стационарные тепловые источники на территории РК •



*СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ*



