

Методика обработки наблюдений и составления каталогов оптических и ультрафиолетовых источников, полученных космическими телескопами XMM-OM и Swift-UVOT

Ершов В.Н
ГАО РАН, MSSL UCL

Содержание

- Введение (XMM-OM и Swift-UVOT)
- Каталоги сопутствующих источников
- Как они составлены
- Что они содержат
- Как их можно использовать



XMM OM и SWIFT UVOT

Телескоп Ричи-Кретьена 30-см / 3.8-м

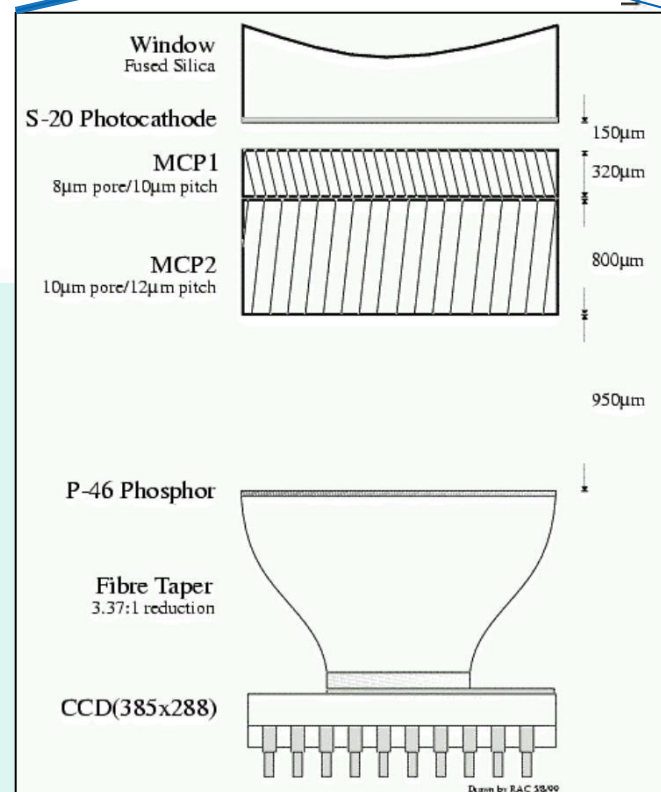
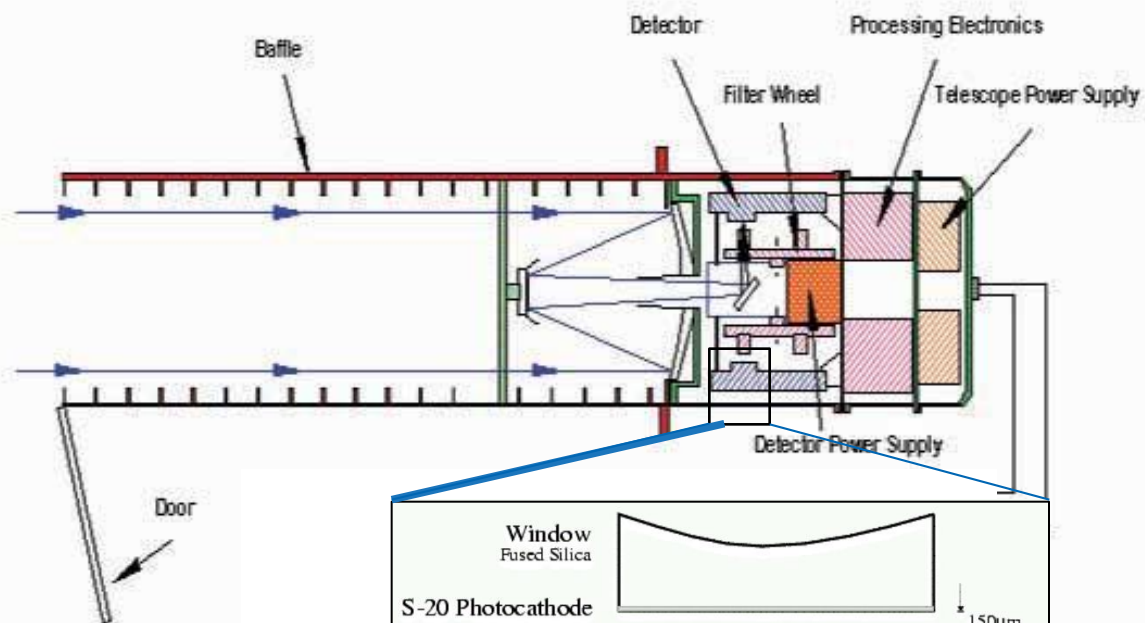
Поле 17' x 17'

Фильтры: UVW2, UVM2, UVW1, U, B, V (плюс и гризма и белый);

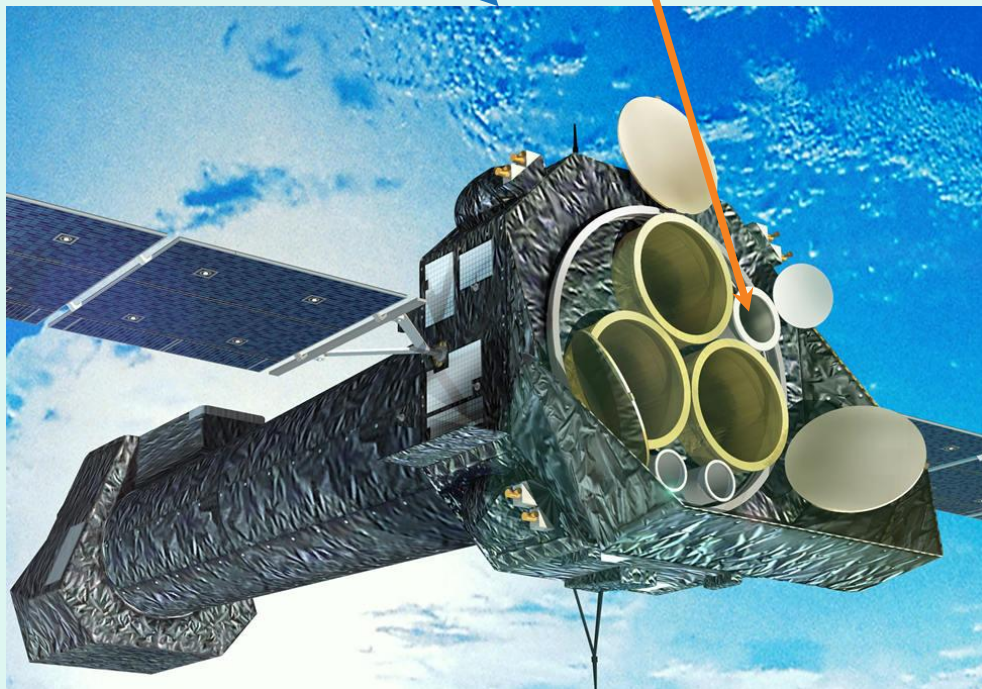
Фотоприемник: ПЗС с микроканальным фотоумножителем;

Режим счета фотонов, нулевой шум считывания, очень низкий темновой ток.

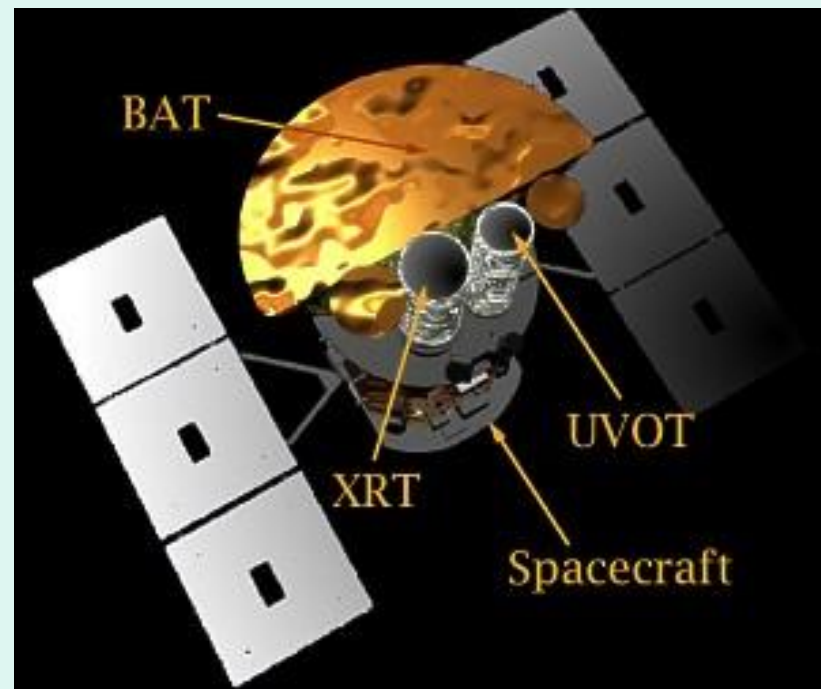
Предназначены для астрометрического сопровождения наблюдений рентгеновских телескопов



Миссия	XMM Newton (ESA)	Swift (NASA)
Запуск	10.12.1999	20.11.2004
Окончание	~ 2022 (?)	~ 2021 (?)
УФ телескоп	OM	UVOT

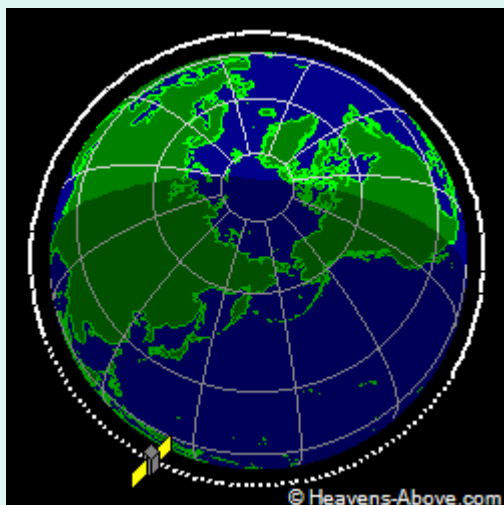


XMM

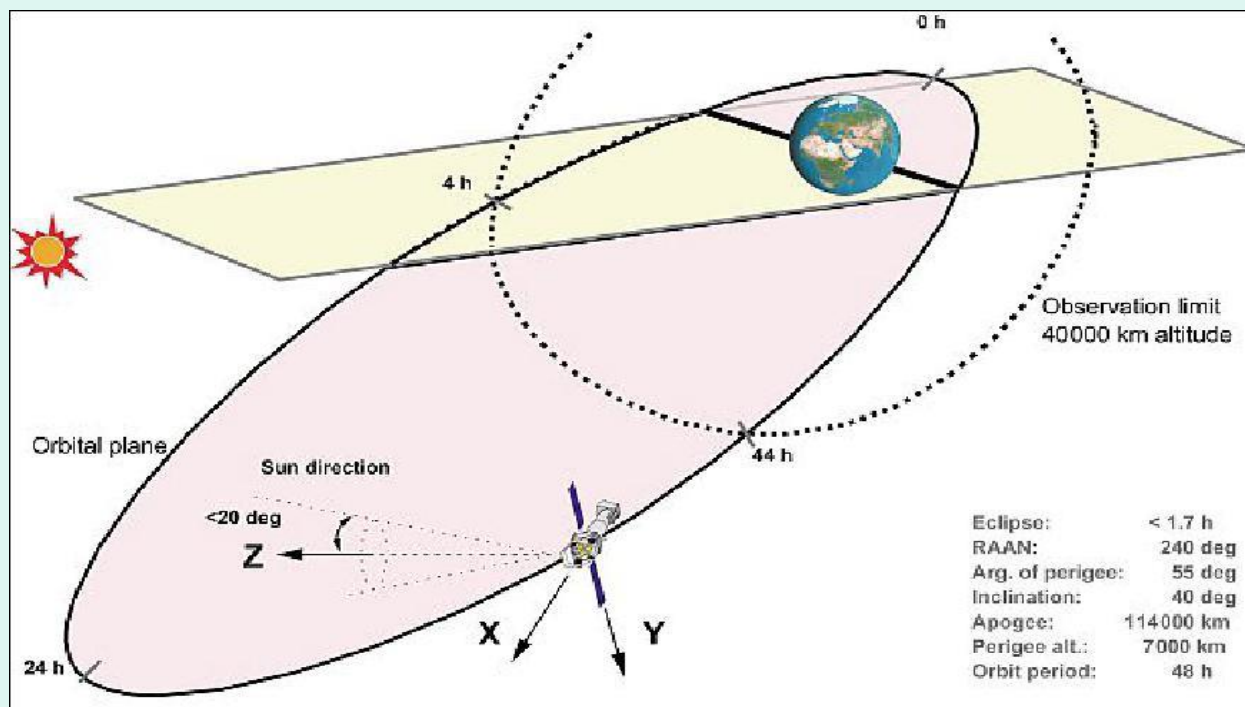


Swift

Орбита



Swift

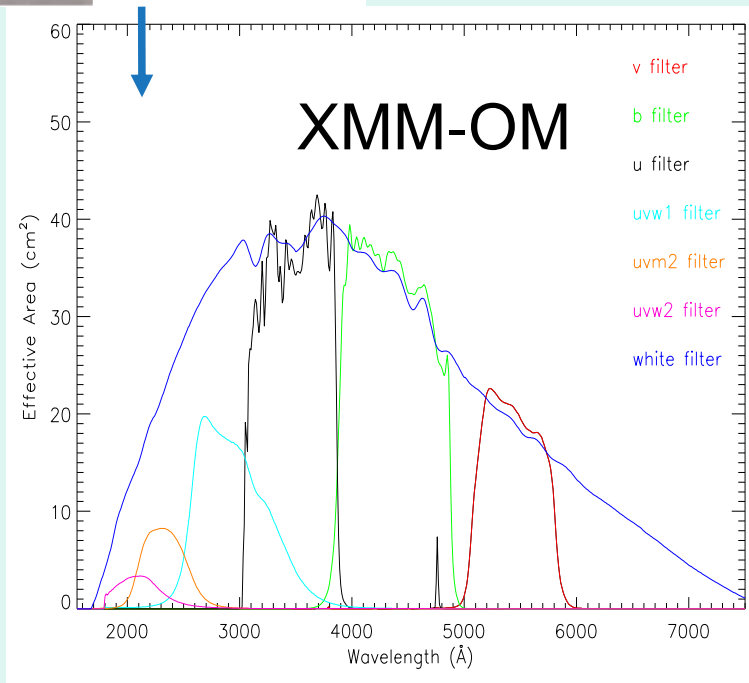


XMM

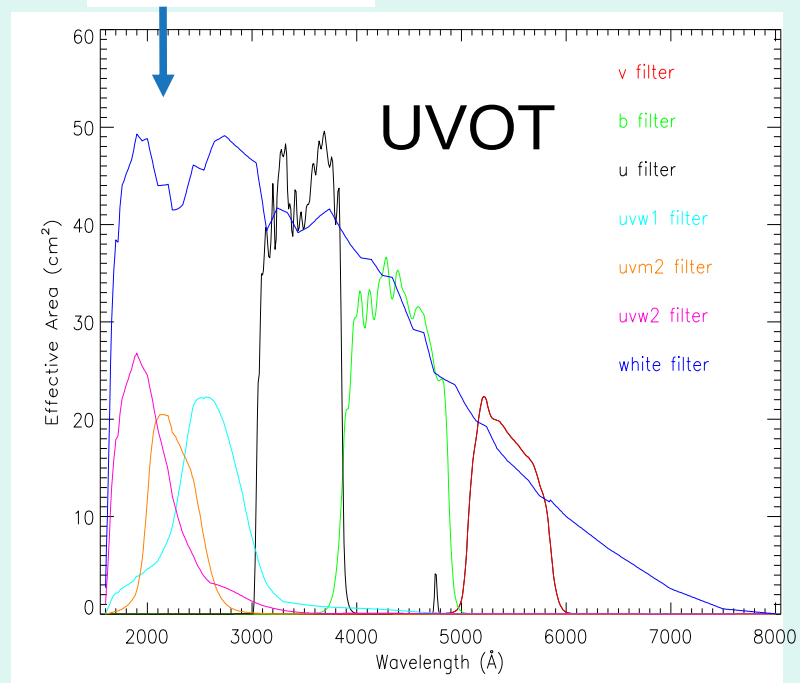
Полосы спектрального пропускания



2200 Å



2200 Å



УФ фильтры хорошо перекрывают пик экстинкции в районе 2200 Å, поэтому инструменты XMM-OM и UVOT позволяют разделить кривую экстинкции и спектр источника

Каталог сопутствующих УФ источников телескопа XMM-OM **The XMM Serendipitous UV Source Survey (XMM-SUSS)**

- *В основе метода получения каталога лежит программное обеспечение XMM-SAS, разработанное в лаборатории MSSL.*
- *Первая версия каталога SUSS 1.0 была выпущена в 2009 году*
- *Начиная с версии SUSS 2.0 работа по составлению каталога передана в Европейский центр космической астрономии ESAC*
- *В этом году выпущена третья версия каталога SUSS-3.0*
- *Документация находится на странице*
http://www.ucl.ac.uk/mssl/astro/space_missions/xmm-newton/xmm-suss3

Каталог сопутствующих УФ источников телескопа UVOT The UVOT Serendipitous Source Catalogue (UVOTSSC)

- *Обработаны все изображения UVOT между 2005 и 2010 годами*
- *Процедура обработки основана на использовании стандартных программ UVOT (ftools) пакета HEASOFT.*
- *Версия 1.1 каталога UVOTSSC была выпущена в 2014 г.*
- *Описание приведено в работе*
V.Yershov 2014 Astrophysics and Space Science, 354,97-101
и на веб-странице
http://www.ucl.ac.uk/mssl/astro/space_missions/swift/uvotssc
- *В настоящее время разрабатывается версия 2 каталога UVOTSSC*

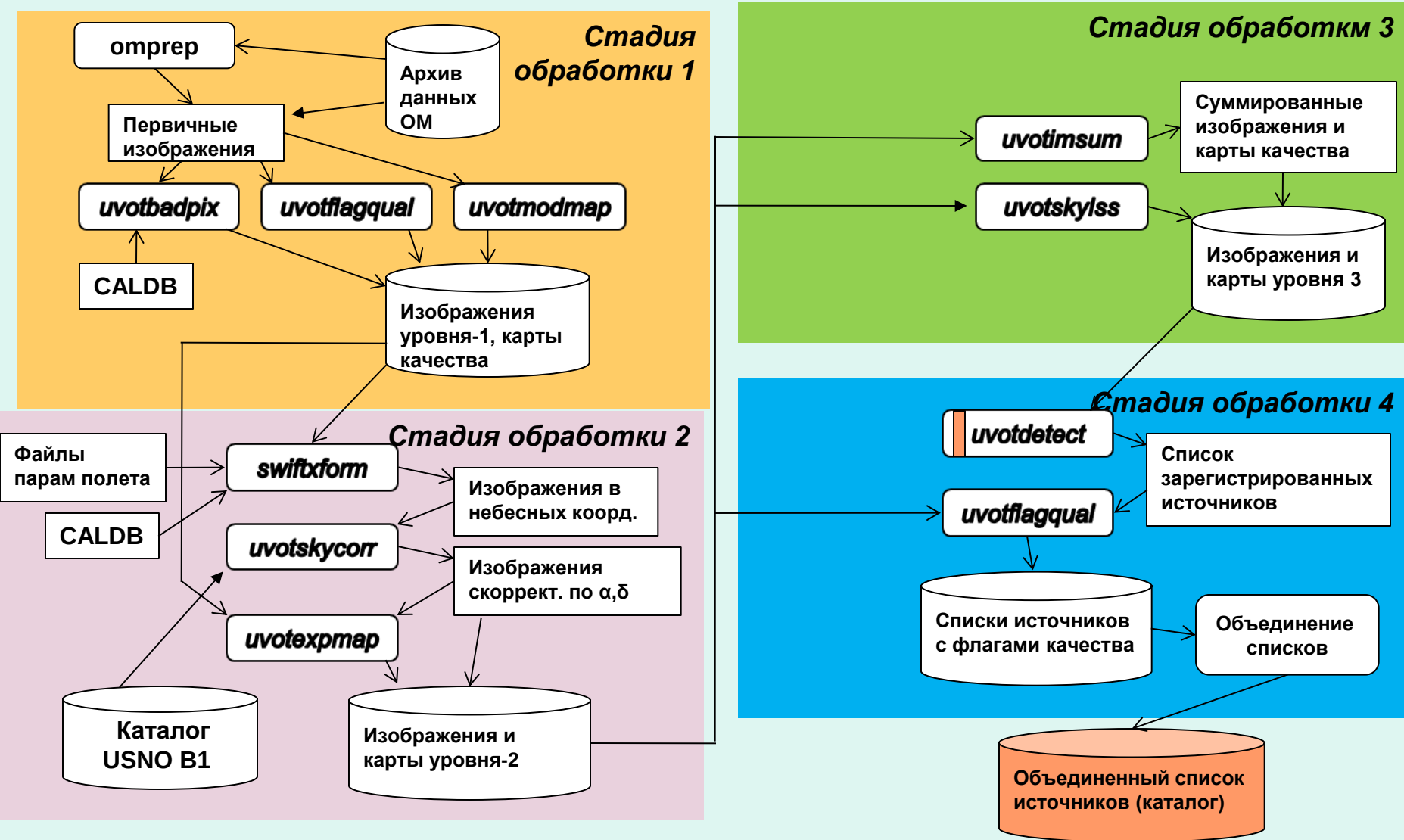
Похожи друг на друга, но сильно различаются

- *Процедуры обработки каталогов для обоих инструментов были разработаны одной и той же группой, поэтому конечный вид и форма каталогов почти одинаковы*
- *Но фундаментальные различия заключаются в инструментах (полосы пропускания в ультрафиолете) и в методиках построения каталогов*
- *Каталог XMM-SUSS составлен из источников, зарегистрированных на индивидуальных изображениях (экспозициях) в инструментальной системе координат; программа регистрации источников написана с нуля для инструмента XMM-OM.*
- *Регистрация источников для каталога UVOTSSC производится на суммированных изображениях после преобразования индивидуальных изображений в небесную систему координат; для регистрации источников используется стандартная программа sextractor*

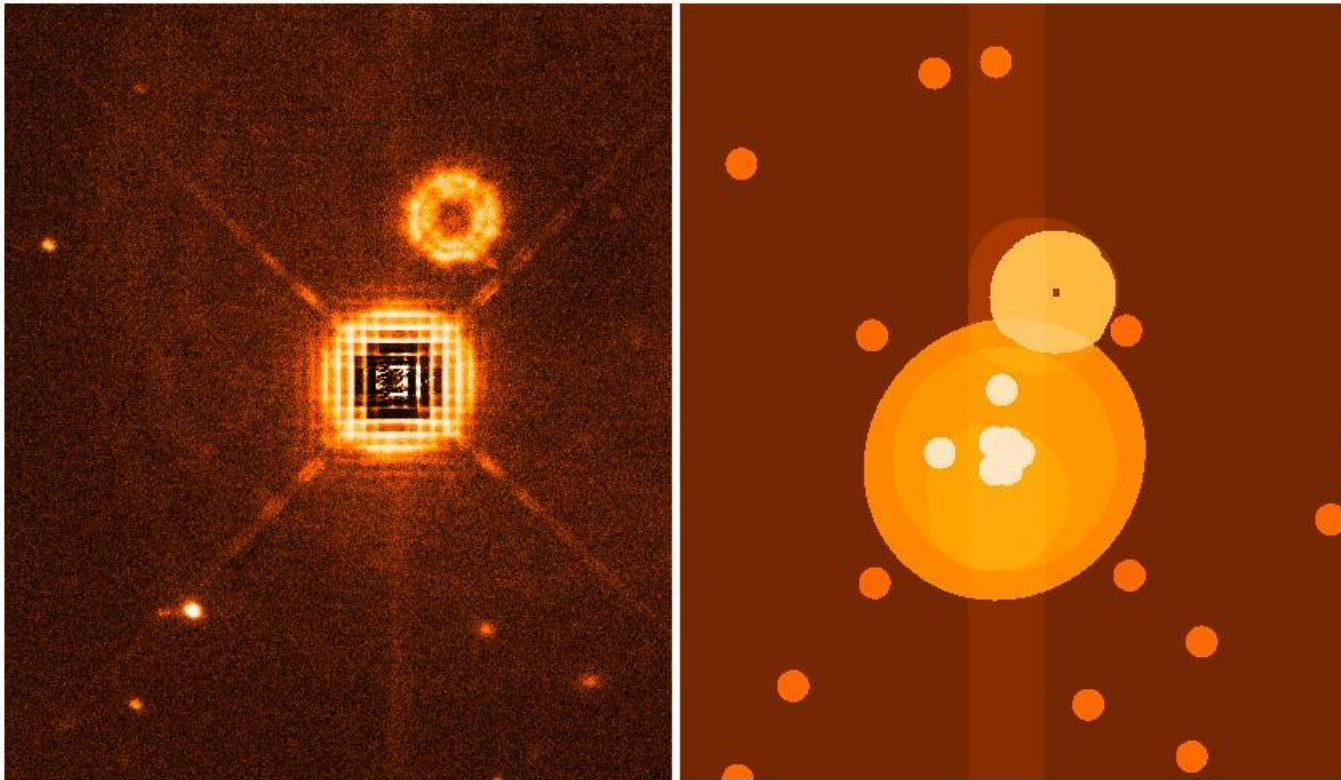
Трудности

- Сотни терабайт данных, которые требуется обработать
- Широкий динамический диапазон изображений – от изображений с почти нулевым фоном до изображений с тысячами отсчетов фотонов на пиксел фона
- Сложная структура фона вблизи туманностей и галактик
- Миллионы источников
- Нелинейность фотоприемника (потеря совпадающих событий для ярких источников)
- Артефакты, связанные с яркими источниками

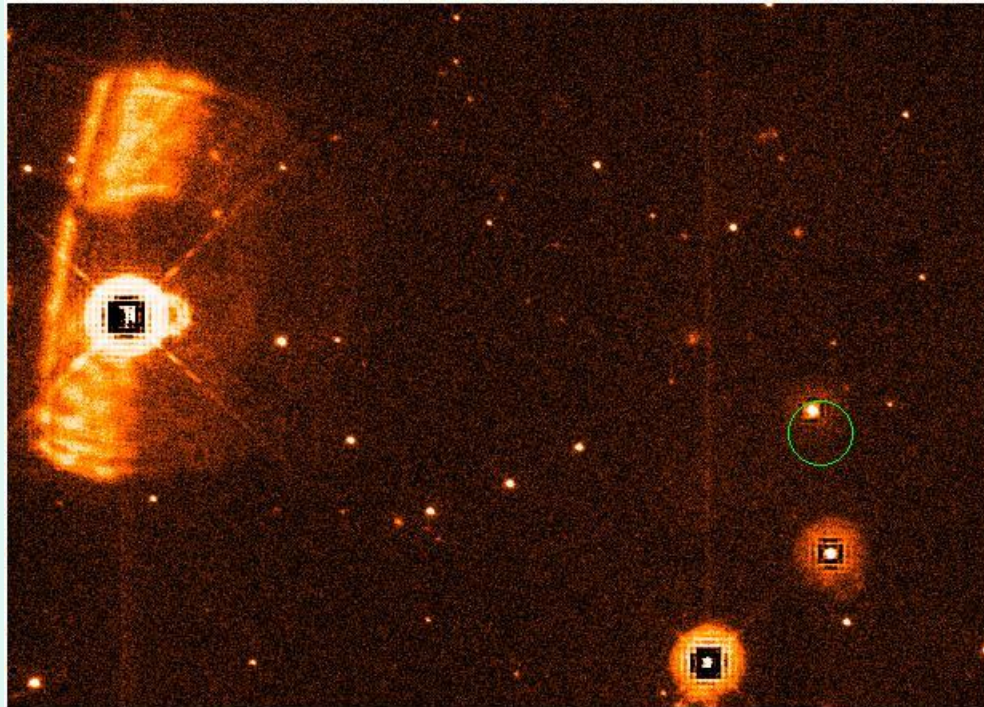
Методика обработки и составления каталога UVOTSSC



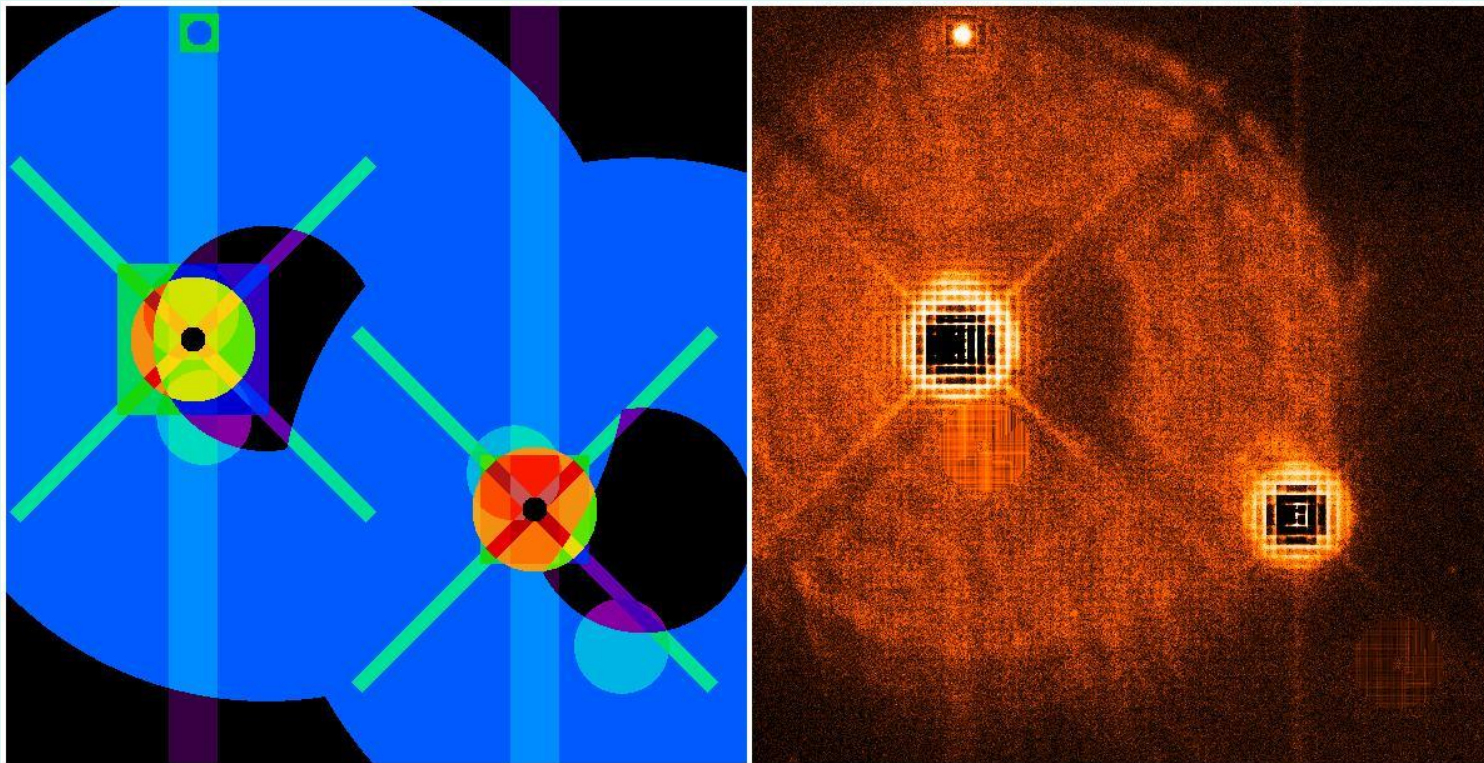
Были разработаны алгоритмы для обнаружения и / или предсказания положений вертикальных колонок считывания ПЗС, “колея дыма”, ореолов вокруг ярких источников, зон с потерей счета фотонов, диффракционных крестов и т.д.



Были разработаны алгоритмы для обнаружения и / или предсказания положений вертикальных колонок считывания ПЗС, “колец дыма”, ореолов вокруг ярких источников, зон с потерей счета фотонов, диффракционных крестов и т.д.



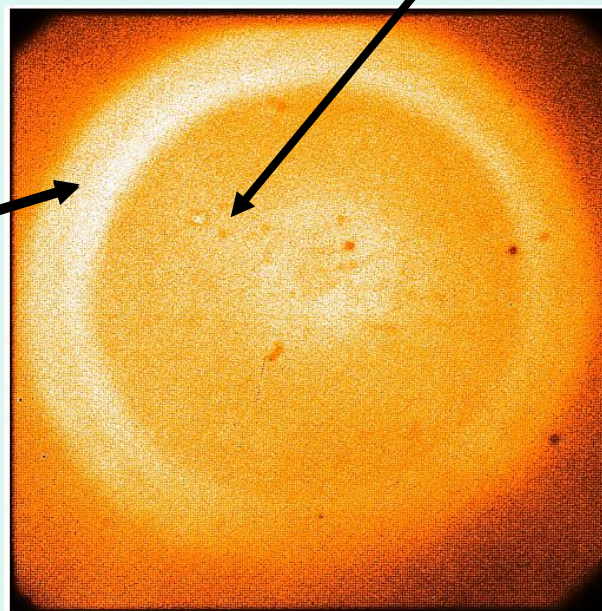
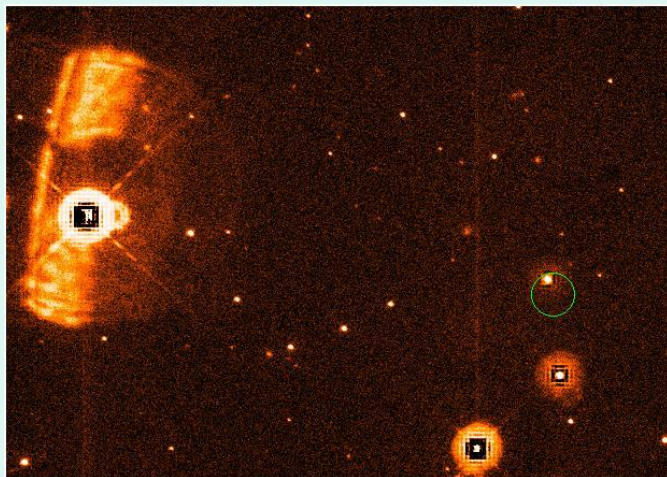
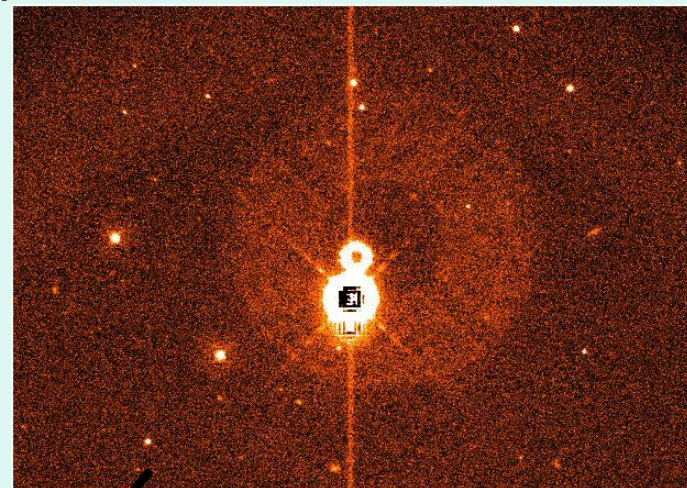
Были разработаны алгоритмы для обнаружения и / или предсказания положений вертикальных колонок считывания ПЗС, “колея дыма”, ореолов вокруг ярких источников, зон с потерей счета фотонов, диффракционных крестов и т.д.



Параметризация апертурных колец

Апертурные кольца видны только
в центральной зоне

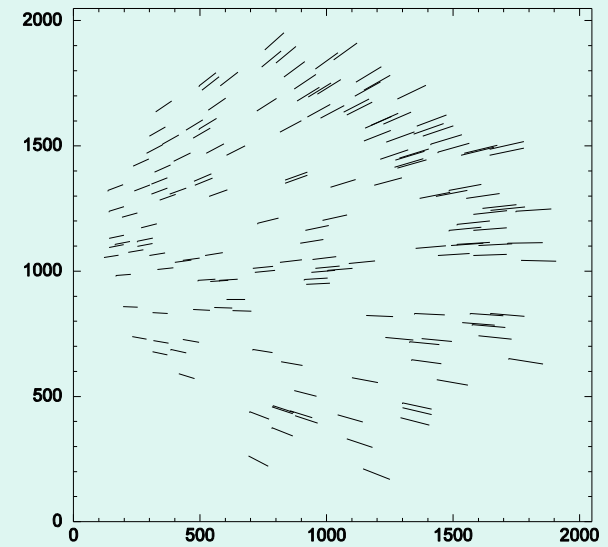
Вне центральной зоны
апертурные кольца
обрезаны и исчезают



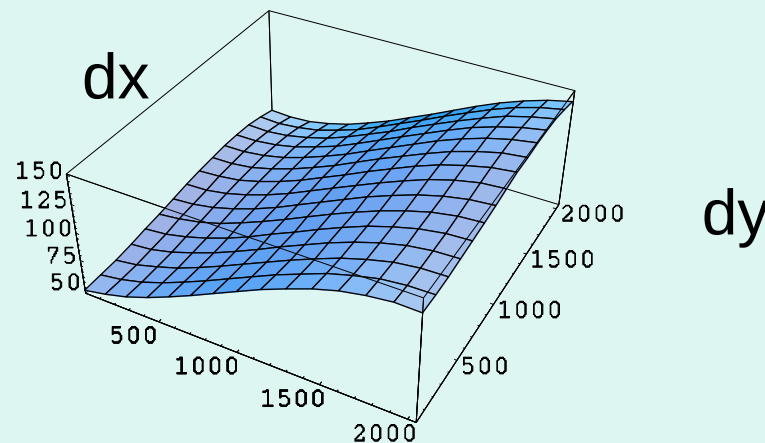
Параметризация апертурных колец

Измерения для фильтра U

Положения апертурных колец
параметризуются полиномами
третьей степени (x и y – координаты
яркого источника)

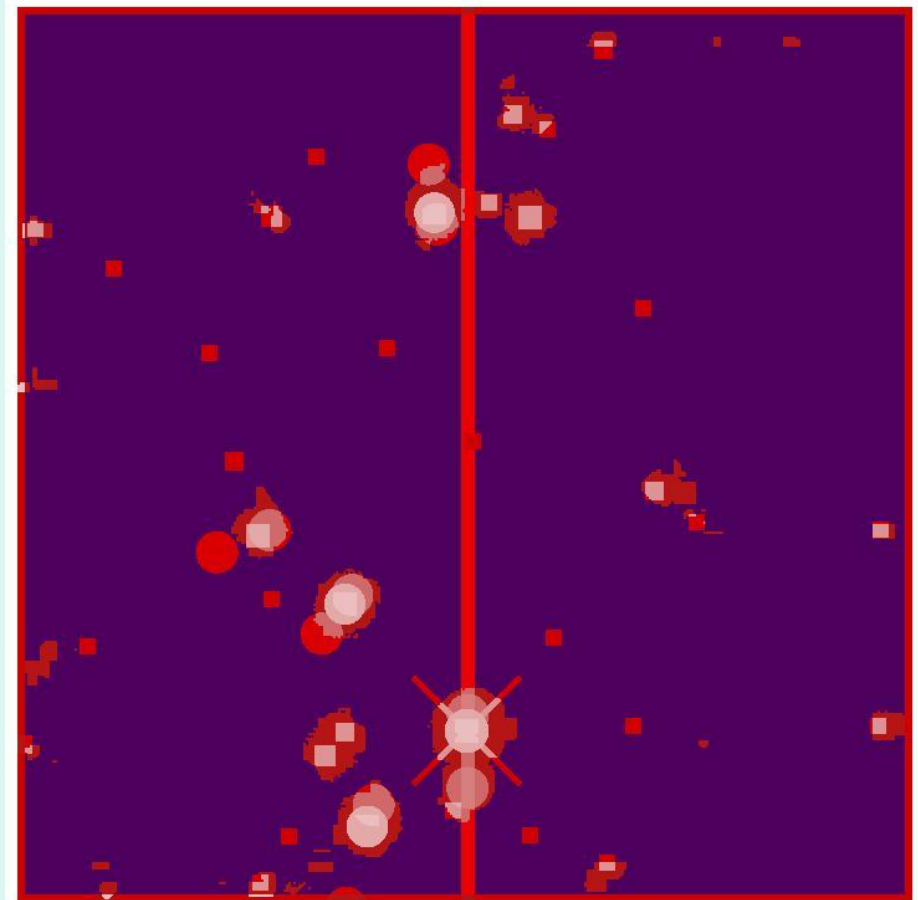
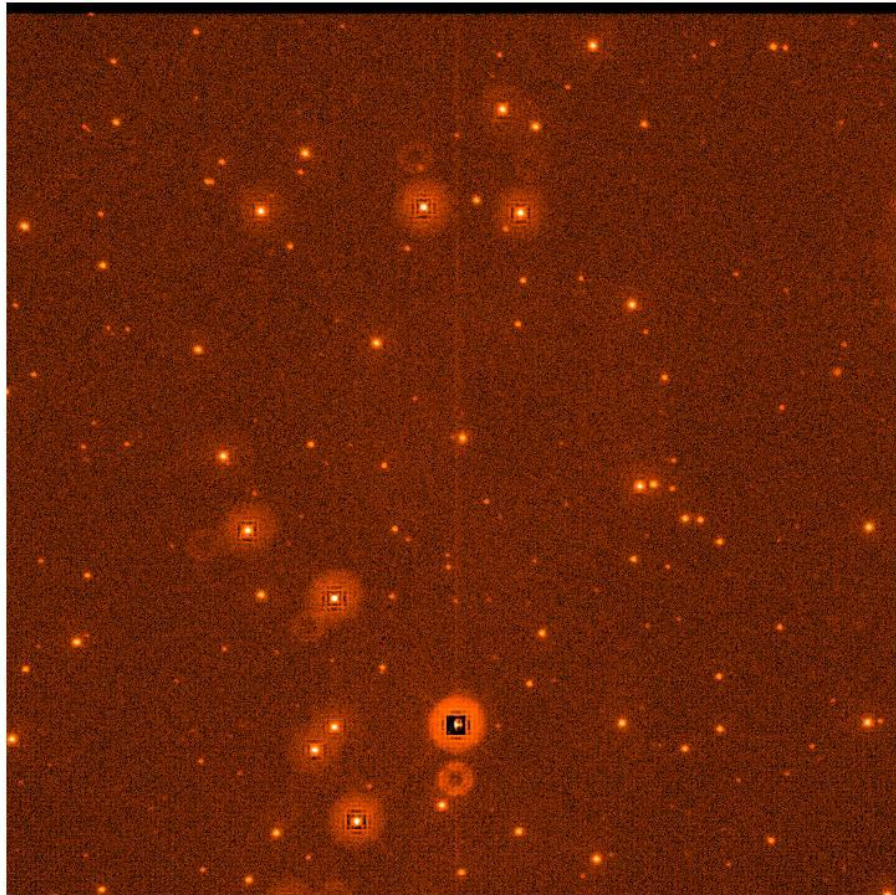


Variable	dx	dy
Const	+47.1799	-59.3986
x	+0.0188393	-0.0141095
x^2	+5.26472 10^{-5}	+2.35993 10^{-5}
x^3	-1.9488 10^{-8}	-6.71875 10^{-9}
y	-0.0033249	+0.080184
xy	-2.03551 10^{-5}	+3.4611 10^{-6}
x^2y	+8.78338 10^{-9}	-1.64948 10^{-8}
y^2	+2.2195 10^{-5}	-1.9253 10^{-5}
xy^2	+7.14078 10^{-10}	+1.34659 10^{-8}
y^3	-9.36718 10^{-9}	+3.28281 10^{-9}

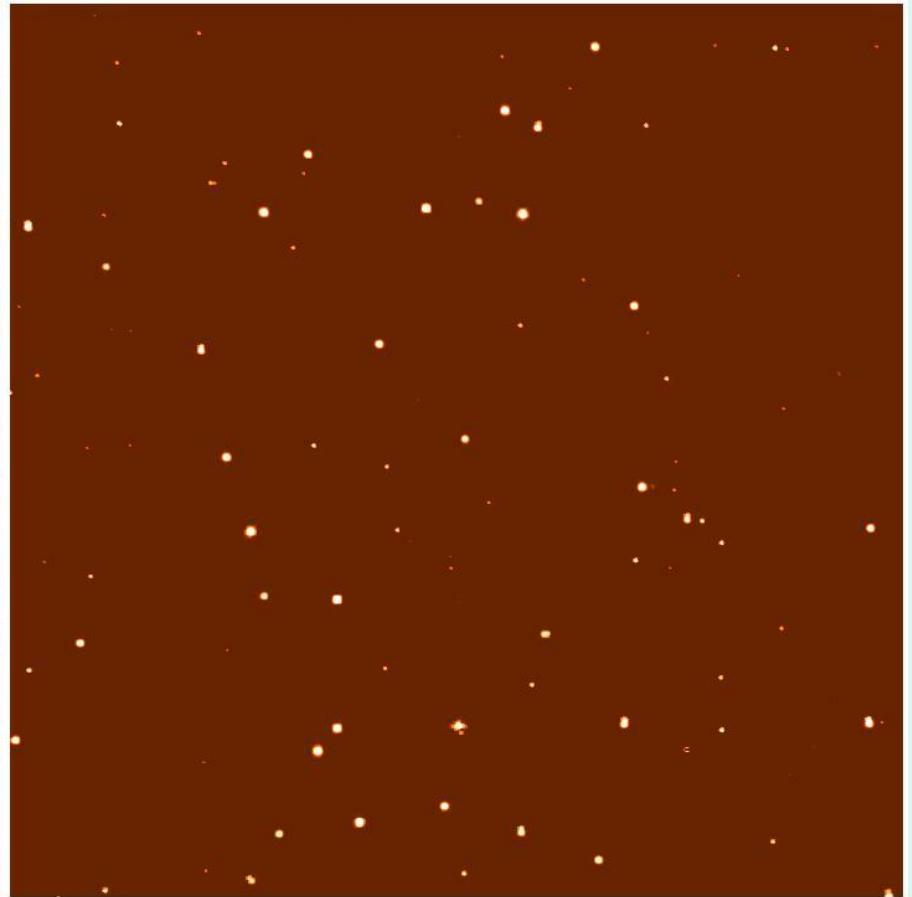
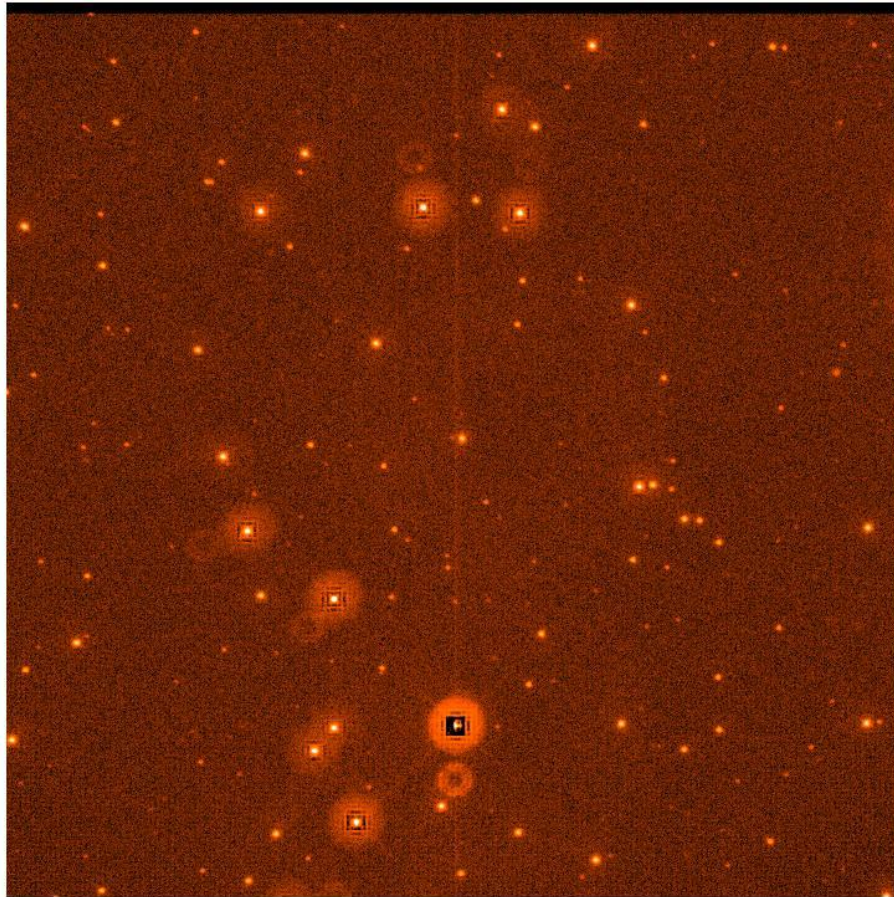


Параметры для фильтра U

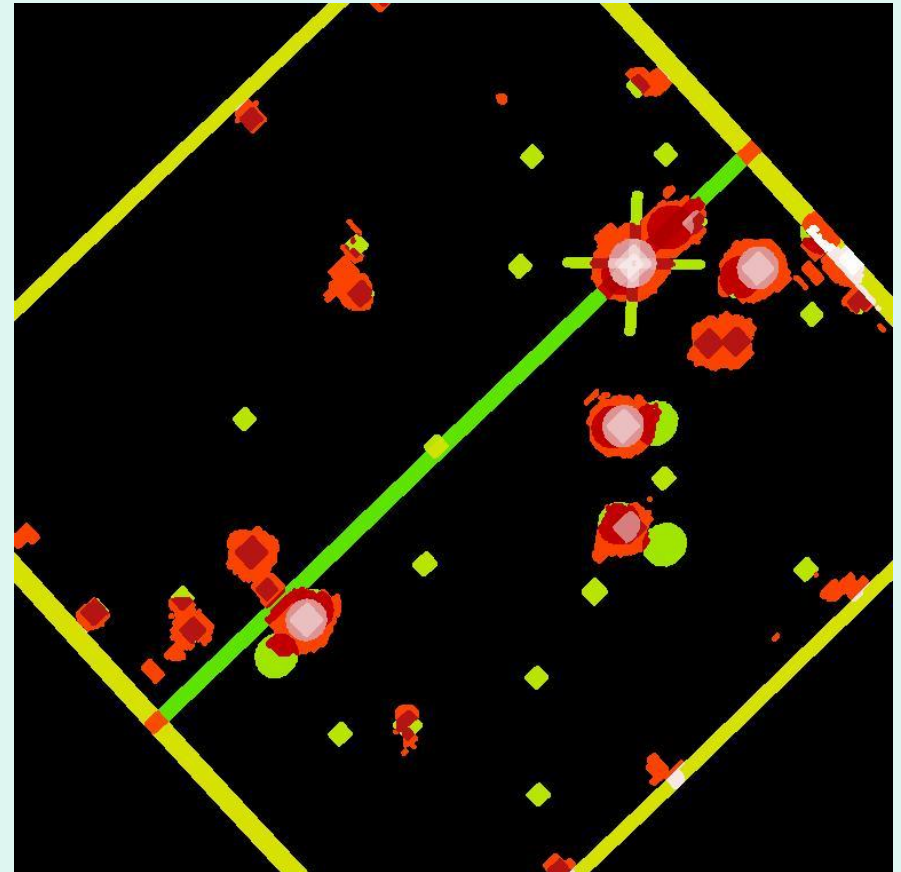
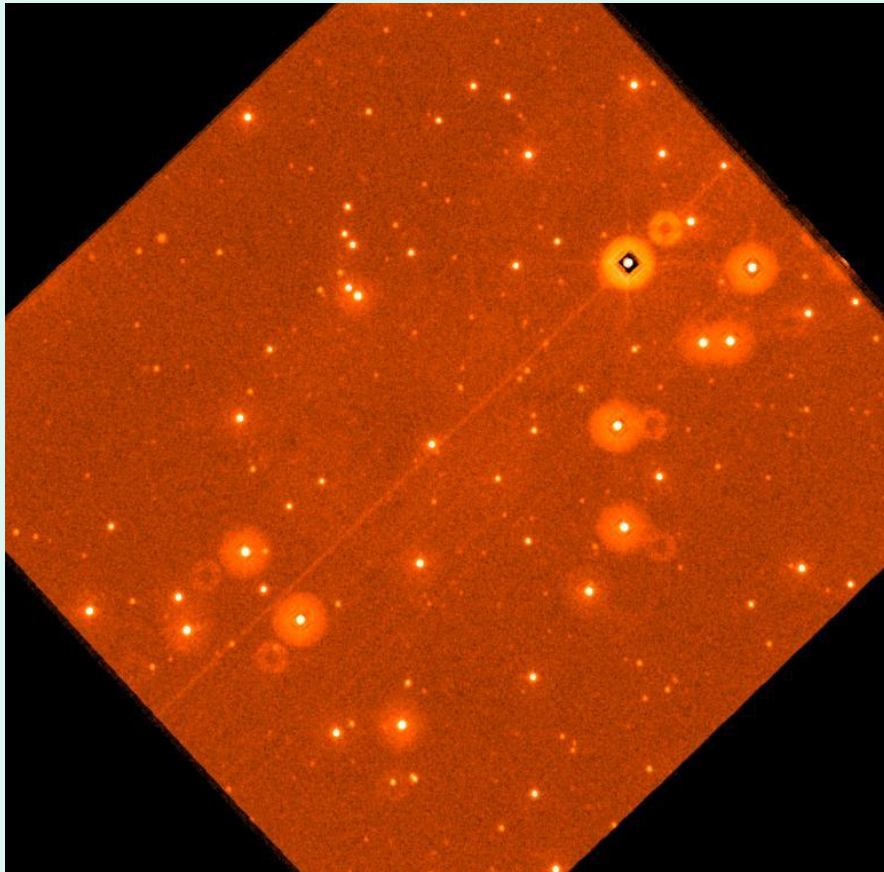
Артефакты отслеживаются специальными картами качества, которые преобразуются на каждом этапе обработке точно также как и основные изображения. По координатам источников в конечный каталог считываются коды (“флажки”) качества, которые представлены в виде отдельной колонки



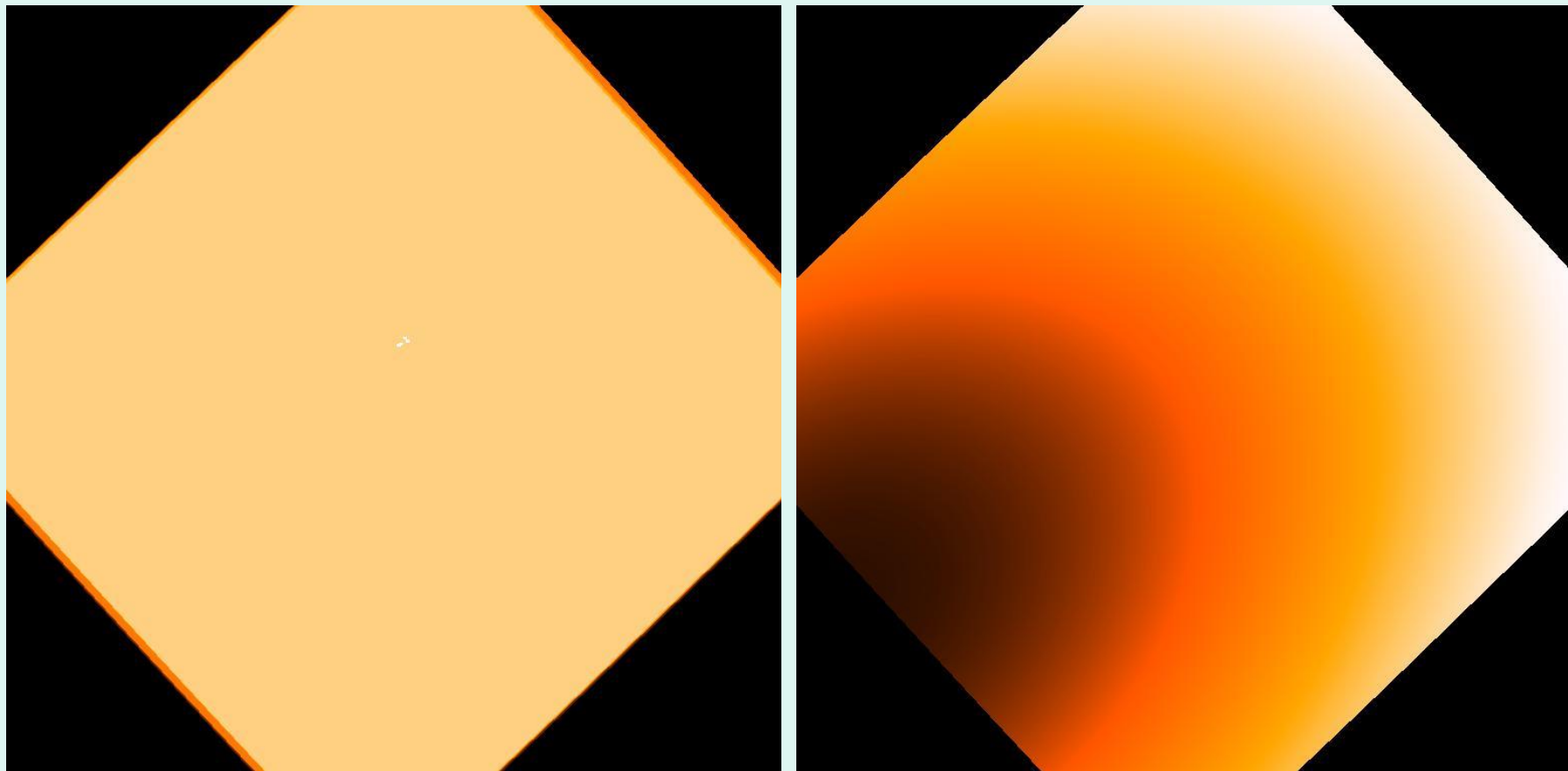
Составляются также “чистые” карты ярких источников для отождествления области на небе по опорному каталогу и получения точных поправок координат реальных источников в случае ошибок стандартной программы отождествления источников



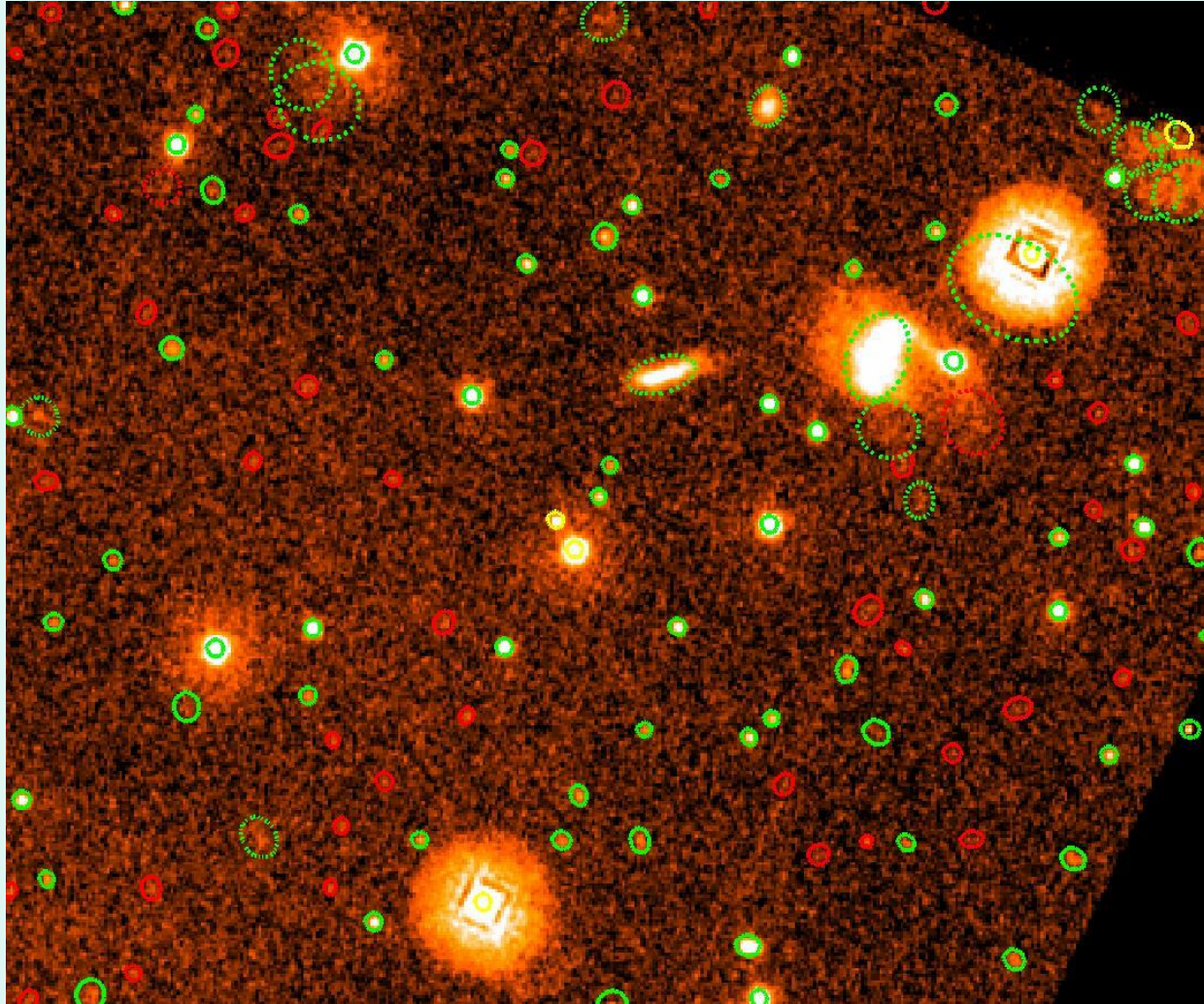
Второй уровень обработки экспозиций включает в себя преобразование координат снимков из инструментальной в небесную систему координат и получение поправок координат с помощью опорного каталога (USNO-B1)



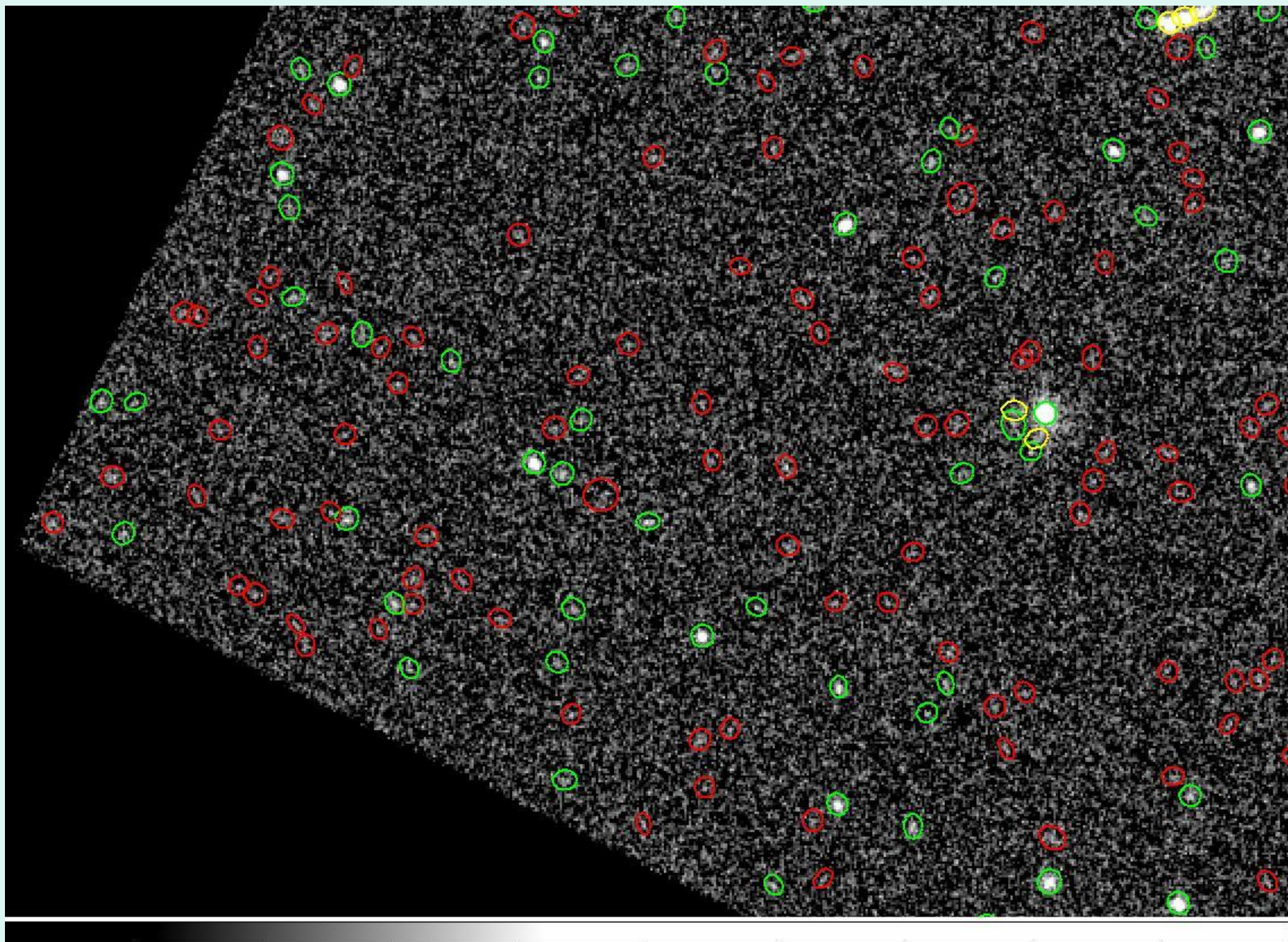
На третьем этапе обработки составляются карты полного времени экспозиции, а также карты неоднородности чувствительности фотоприемника



Затем на четвертом этапе обработки все изображения (а также и карты качества, экспозиции, неоднородности чувствительности) суммируются, и происходит отождествление, измерение координат и фотометрирование источников.



(зеленым цветом обозначены источники с отношением сигнал / шум больше 5)



Этапы обработки

Картографирование артефактов

*Преобразование координат из
инструментальной системы в небесную*

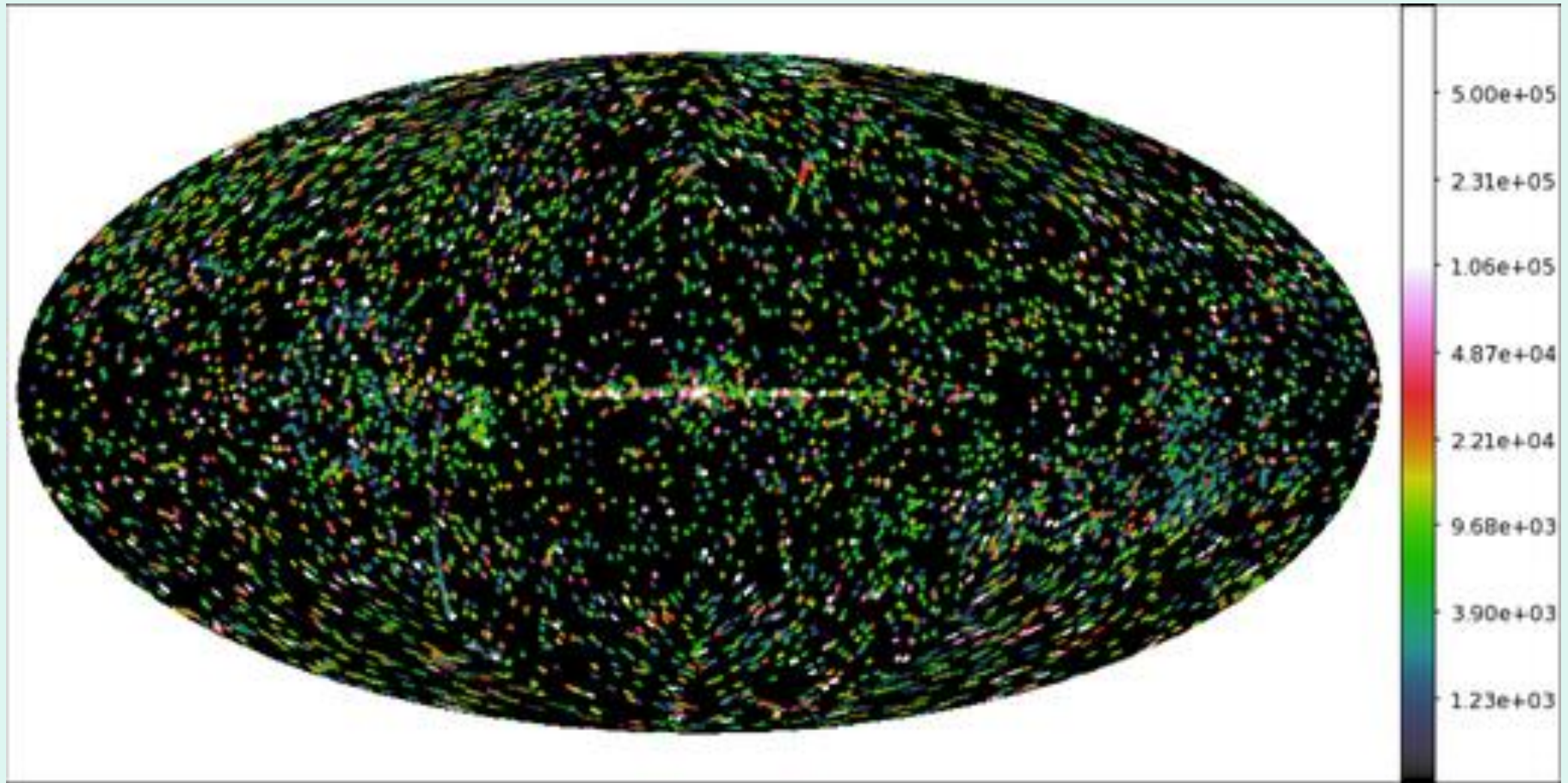
Суммирование изображений

*Обнаружение и измерение параметров
источников*

Слияние источников

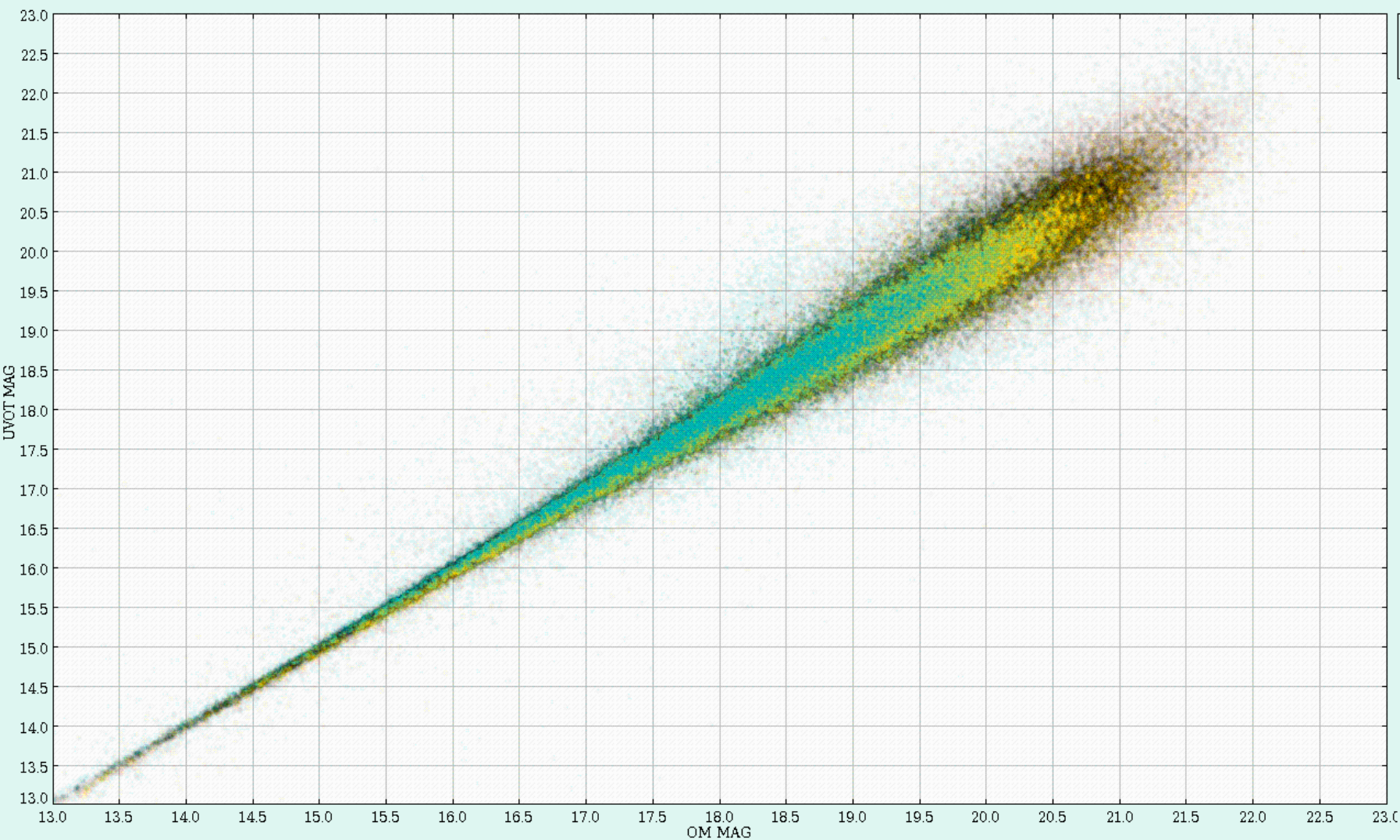
Составление каталога

Покрытие небесной сферы

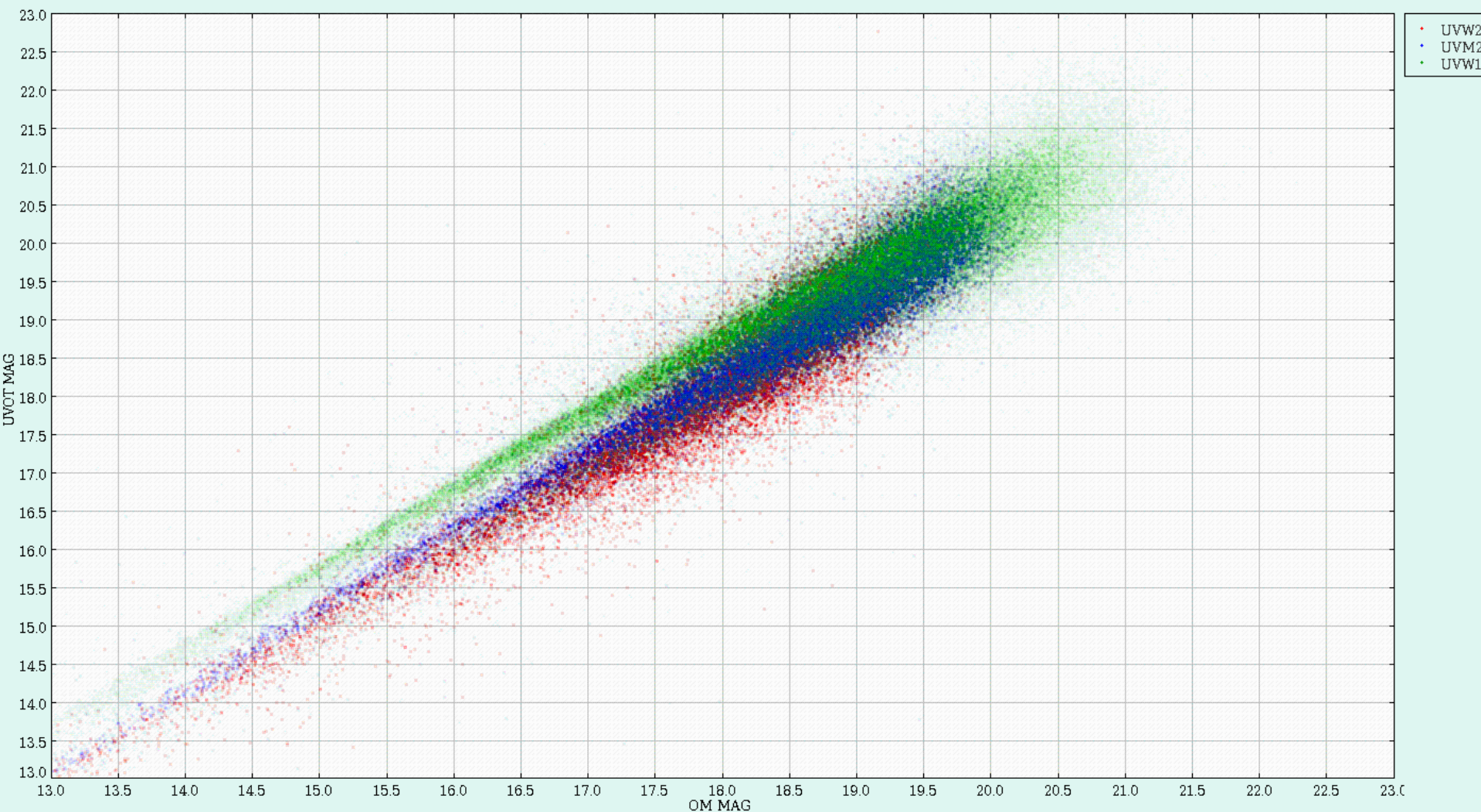


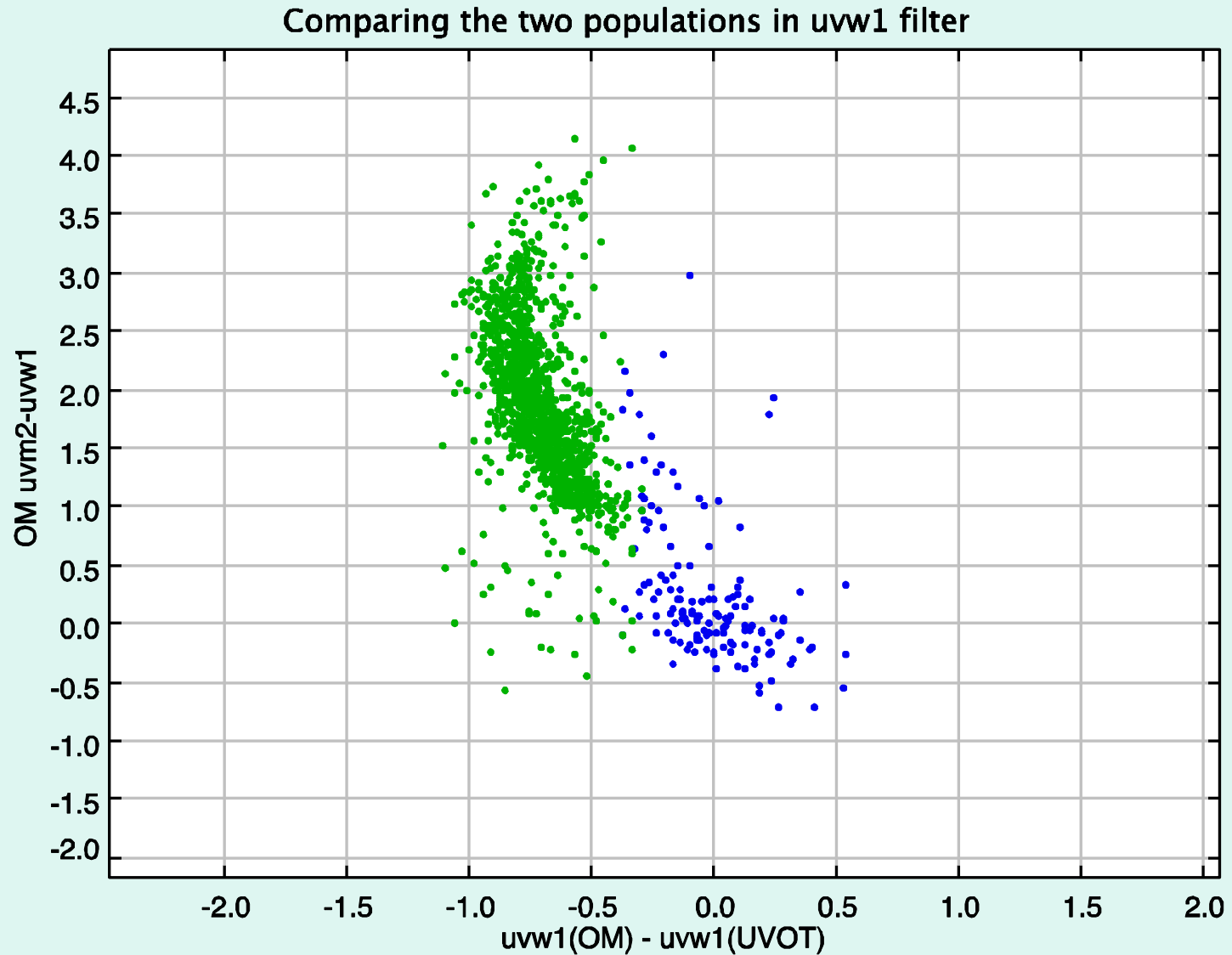
Распределение экспозиций инструмента UVOT для наблюдений 2005-2010 г.г. в галактических координатах (координаты площадок также соответствуют наблюдениям в рентгеновском диапазоне длин волн).

Проверка правильности: сравнение оптических звездных величин каталогов UVOTSSC и XMM-SUSS

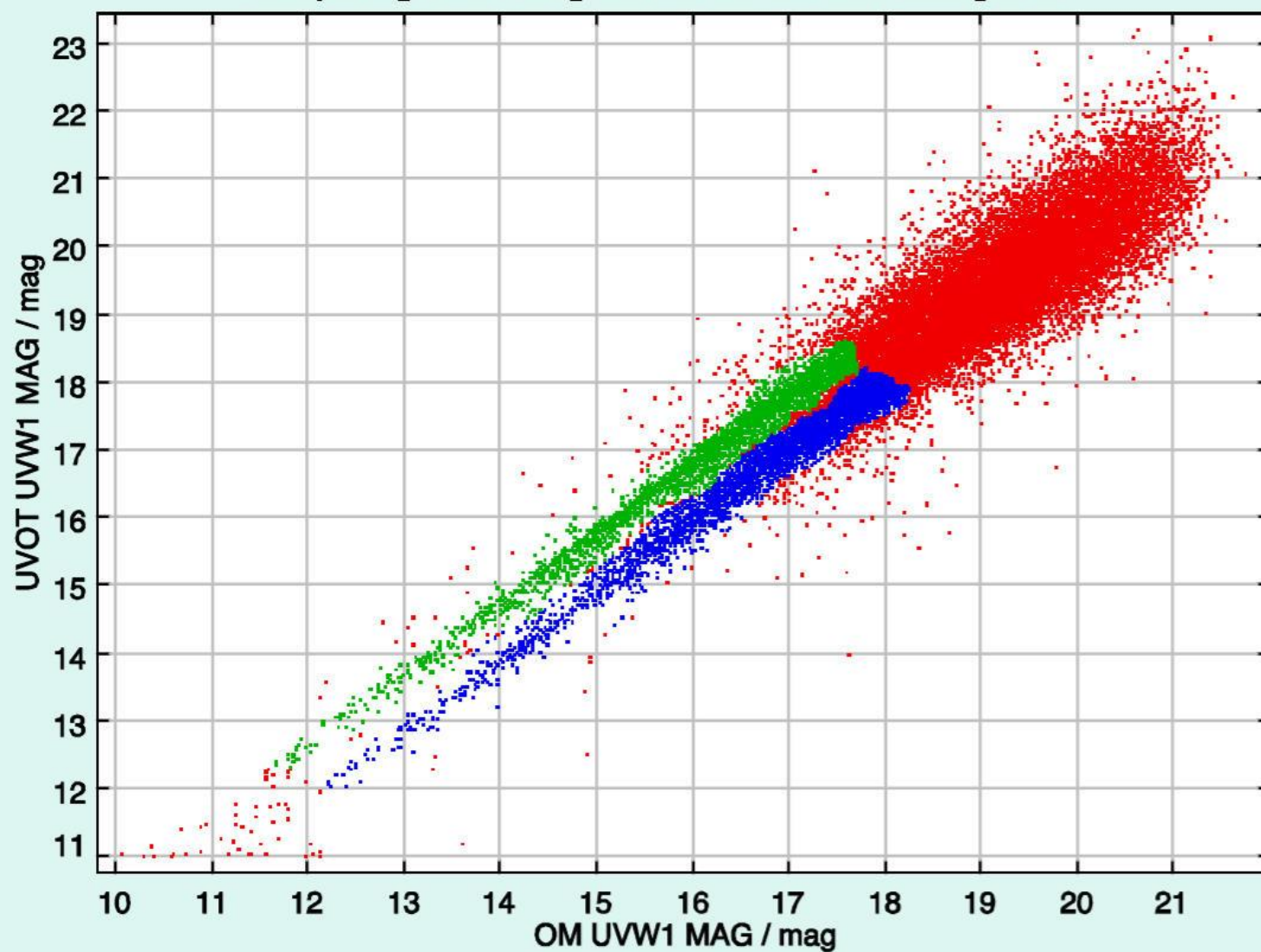


Проверка правильности: сравнение ультрафиолетовых звездных величин каталогов UVOTSSC и XMM-SUSS

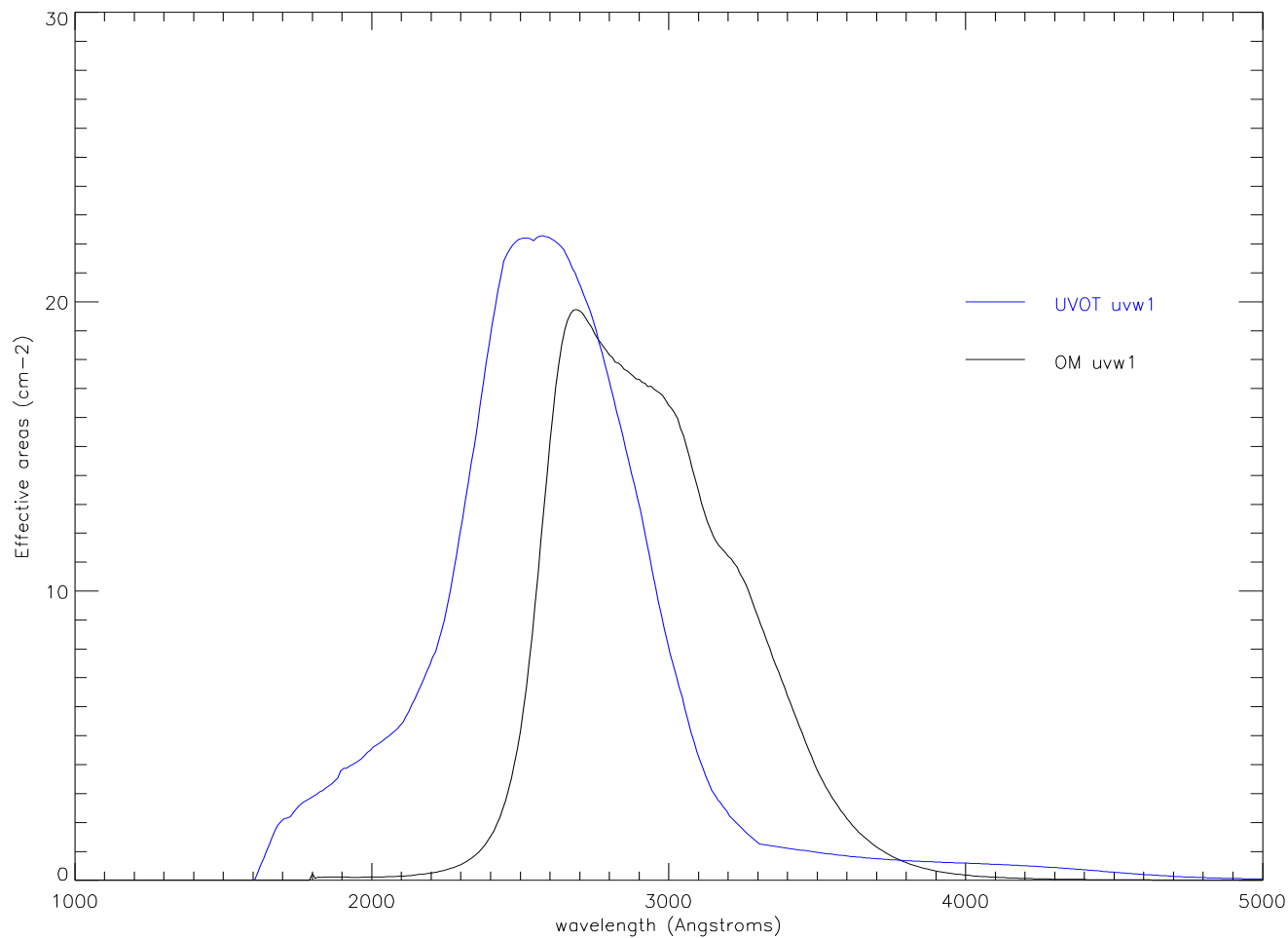




Comparing uvw1 magnitudes for the two catalogues

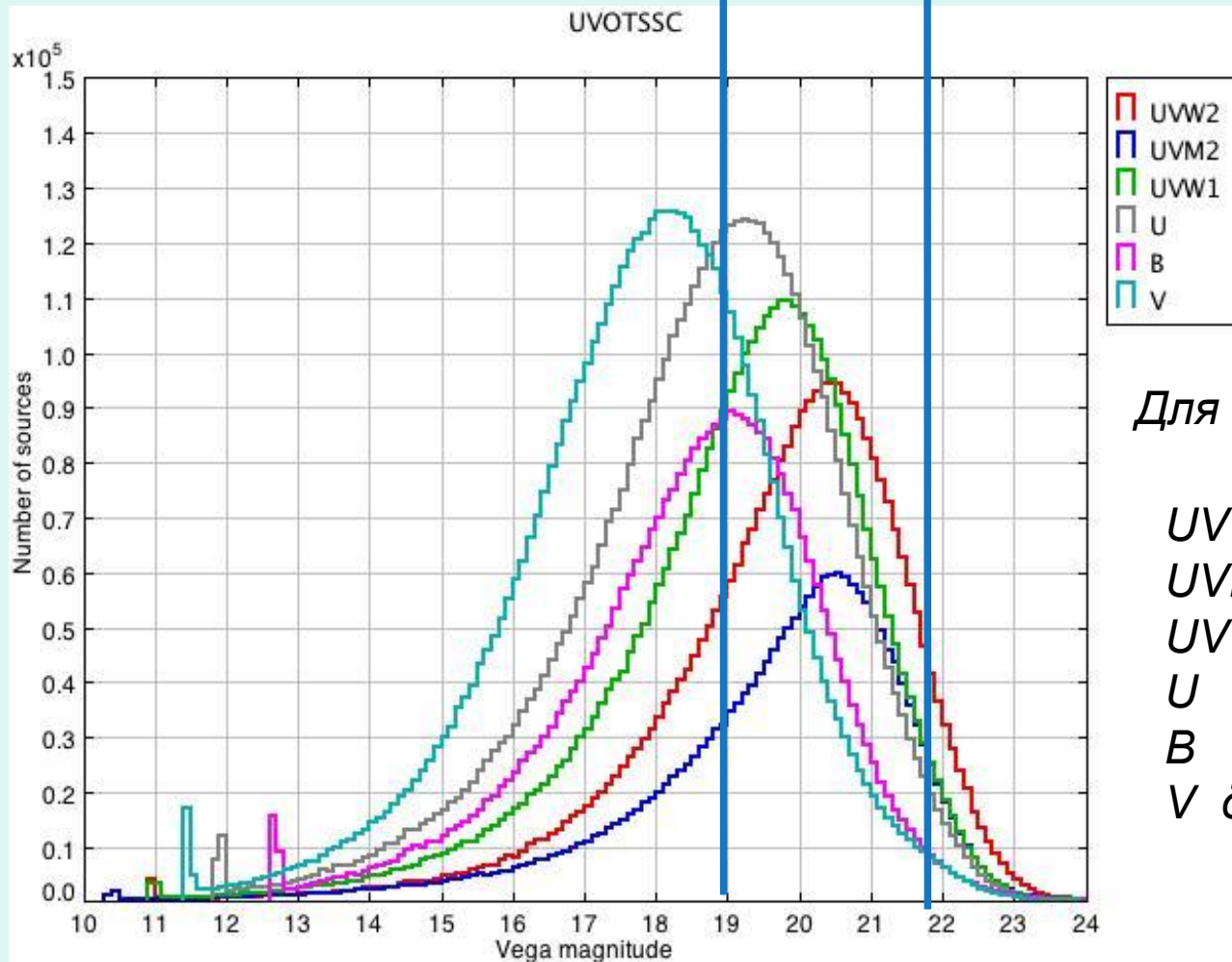


Сравнение фильтра UVW1 для UVOT и OM



GALEX AIS

Предельная зв.вел. GALEX'a



Для преобразования к AB:

UVW2 добавить 1.71
UVM2 добавить 1.64
UVW1 добавить 1.36
U добавить 0.93
B добавить 0.18
V добавить 0.04

Число источников в зависимости от звездной величины

Сравнение с каталогами GALEX

- *Каталоги GALEX: AIS, MIS, DIS – UVITSSC превосходит предельную звездную величину GALEX'а на 2 зв.вел.*
- *UVOTSSC и XMM-SUSS имеют более детальную спектральную классификацию, чем GALEX ($GALEX\ NUV = UVW1 + UVM2 + UVW2$).*
- *Более простое и надежное отождествление оптических и УФ источников в XMM-SUSS и UVOTSSC, по сравнению с GALEX'ом за счет более узкой функции рассеяния точки (PSF).*

Что в каталогах?

- . Каждый источник в каталог имеет свой уникальный идентификатор
- . Каждый источник имеет отдельную строку в таблице для каждого идентификатора наблюдения миссии XMM или Swift

	XMM-SUSS-3.0	UVOTSSC1.1
Период наблюдений	2000 - 2015	2005 - 2010
Всего наблюдений	7 886	23 059
Всего источников	4 751 889	6 200 016
Повторных наблюдений	867 022	2 027 265
Всего строк	6 880 116	13 860 569

Так как на каждый источник приходится около 80 колонок с параметрами,
то таблицы каждого из каталогов содержат около миллиарда клеток

Основная таблица источников

fv: Binary Table of uv

File Edit Tools

☐ IAUAI

Select 26A

☐ All

Invert Modify

1	SWIFTUVOT J000000
2	SWIFTUVOT J000000
3	SWIFTUVOT J000000
4	SWIFTUVOT J000000
5	SWIFTUVOT J000000
6	SWIFTUVOT J000000
7	SWIFTUVOT J000000
8	SWIFTUVOT J000000
9	SWIFTUVOT J000000
10	SWIFTUVOT J000000
11	SWIFTUVOT J000000
12	SWIFTUVOT J000000
13	SWIFTUVOT J000000
14	SWIFTUVOT J000000
15	SWIFTUVOT J000000
16	SWIFTUVOT J000000
17	SWIFTUVOT J000000
18	SWIFTUVOT J000000
19	SWIFTUVOT J000000
20	SWIFTUVOT J000000

Go to: Edit cell:

- IAUNAME
- N_SUMMARY
- OBSID
- NFILT
- SRCNUM
- RA
- DEC
- RA_ERR
- DEC_ERR
- N_OBSID
- N_UVW2_EXP
- N_UVM2_EXP
- N_UVW1_EXP
- N_U_EXP
- N_B_EXP
- N_V_EXP
- UVW2_SIGNIF
- UVM2_SIGNIF
- UVW1_SIGNIF
- U_SIGNIF
- B_SIGNIF
- V_SIGNIF
- UVW2_VEGAMAG
- UVM2_VEGAMAG
- UVW1_VEGAMAG
- U_VEGAMAG
- B_VEGAMAG
- V_VEGAMAG
- UVW2_VEGAMAG_ERR
- UVM2_VEGAMAG_ERR
- UVW1_VEGAMAG_ERR
- U_VEGAMAG_ERR
- B_VEGAMAG_ERR
- V_VEGAMAG_ERR

- UVW2_FLUX
- UVM2_FLUX
- UVW1_FLUX
- U_FLUX
- B_FLUX
- V_FLUX
- UVW2_FLUX_ERR
- UVM2_FLUX_ERR
- UVW1_FLUX_ERR
- U_FLUX_ERR
- B_FLUX_ERR
- V_FLUX_ERR
- UVW2_MAJOR
- UVM2_MAJOR
- UVW1_MAJOR
- U_MAJOR
- B_MAJOR
- V_MAJOR
- UVW2_MINOR
- UVM2_MINOR
- UVW1_MINOR
- U_MINOR
- B_MINOR
- V_MINOR
- UVW2_POSANG
- UVM2_POSANG
- UVW1_POSANG
- U_POSANG
- B_POSANG
- V_POSANG
- UVW2_EXTENDED
- UVM2_EXTENDED
- UVW1_EXTENDED
- U_EXTENDED

☐ RA	☐ DEC	☐ RA_ERR	☐ DEC_ERR	☐ N_OBSID
D	D	1E	1E	J
deg	deg	arcsec	arcsec	
Modify	Modify	Modify	Modify	Modify
0.000159976	8.37168067	0.194	0.194	416
0.000733645	8.39509623	0.231	0.221	416
0.000747107	81.91624819	0.236	0.236	203
☒ UVW2_EXTENDED		.67	0.167	202
☒ UVM2_EXTENDED		.08	0.208	735
☒ UVW1_EXTENDED		.76	0.382	826
☒ U_EXTENDED		.73	0.284	903
☒ B_EXTENDED		.84	0.183	738
☒ V_EXTENDED		.11	0.409	737
☒ UVW2_QUALITY_FLAG		.25	0.325	736
☒ UVM2_QUALITY_FLAG		.08	0.308	738
☒ UVW1_QUALITY_FLAG		.23	0.224	610
☒ U_QUALITY_FLAG		.62	0.262	903
☒ B_QUALITY_FLAG		.09	0.209	735
☒ V_QUALITY_FLAG		.25	0.228	416
☒ UVW2_VEGAMAG_LIM		.65	0.471	737
☒ UVM2_VEGAMAG_LIM		.35	0.336	736
☒ UVW1_VEGAMAG_LIM		.00	0.386	738
☒ U_VEGAMAG_LIM		.26	0.225	416
☒ B_VEGAMAG_LIM		.93	0.475	737
☒ V_VEGAMAG_LIM				

Таблица параметров индивидуальных экспозиций

fv: Binary Table of uvotssc_00_04.fit[2] in /swift5/sbuilder/ucat/level8join2/pro

File Edit Tools

☐ N_SUMMARY ☐ OBSID ☐ TARGET_ID ☐ FILTERS

Select J 18A 18A 21A

☐ All

Invert Modify Modify Modify Modify

1	1	00037683001	1RXSJ000007.0+0816	UVM2 UVW2
2	2	00041261001	1FGLJ0000.8+6600c	UVM2
3	3	00035918002	BZQJ0001+1914	B UVM2 U V UVW1 UVW2
4	4	00040885001	SWIFTJ0001.0-0708	UVW2
5	5	00036778002	GB6J0001+1914	UVW1
6	6	00378554001	Burst (0.288, 65.5	U V
7	7	00035918001	BZQJ0001+1914	B UVM2 U V UVW1 UVW2
8	8	00090000001	HCG100	UVM2 UVW1 UVW2
9	9	00037013001	HCG100	U
10	10	00036778001	GB6J0001+1914	U
11	11	00041138001	SWIFTJ0001.6-7701	UVM2 UVW2
12	12	00037013002	HCG100	UVM2
13	13	00041138003	SWIFTJ0001.6-7701	UVW1
14	14	00041138004	SWIFTJ0001.6-7701	U
15	15	00041138002	SWIFTJ0001.6-7701	UVM2
16	16	00041262003	1FGLJ0001.9-4158	U UVW2
17	17	00041262002	1FGLJ0001.9-4158	UVM2 UVW2
18	18	00037677001	1RXSJ000154.2-6707	UVW2
19	19	00037677002	1RXSJ000154.2-6707	UVW1
20	20	00041262001	1FGLJ0001.9-4158	U
21	21	00038111001	2MASXJ00015724-103	U V UVW2
22	22	00038112001	FBQJ0002-0024	U V UVW2

fv: Table Info of uvo

Total Columns: 28
Total Rows : 23059

Selected columns for display

- ☒ N_SUMMARY
- ☒ OBSID
- ☒ TARGET_ID
- ☒ FILTERS
- ☒ DATE_MIN
- ☒ DATE_MAX
- ☒ RA_PNT
- ☒ DEC_PNT
- ☒ PA_PNT
- ☒ EXP_UVM2
- ☒ EXP_UVM2
- ☒ EXP_UVM1
- ☒ EXP_U
- ☒ EXP_B
- ☒ EXP_V
- ☒ NSOURCES
- ☒ NSOURCES_UVM2
- ☒ NSOURCES_UVM2
- ☒ NSOURCES_UVM1
- ☒ NSOURCES_U
- ☒ NSOURCES_B
- ☒ NSOURCES_V
- ☒ ABMAG_LIM_UVM2
- ☒ ABMAG_LIM_UVM2
- ☒ ABMAG_LIM_UVM1
- ☒ ABMAG_LIM_U
- ☒ ABMAG_LIM_B
- ☒ ABMAG_LIM_V

Display Table

Select All

Clear All

Cancel

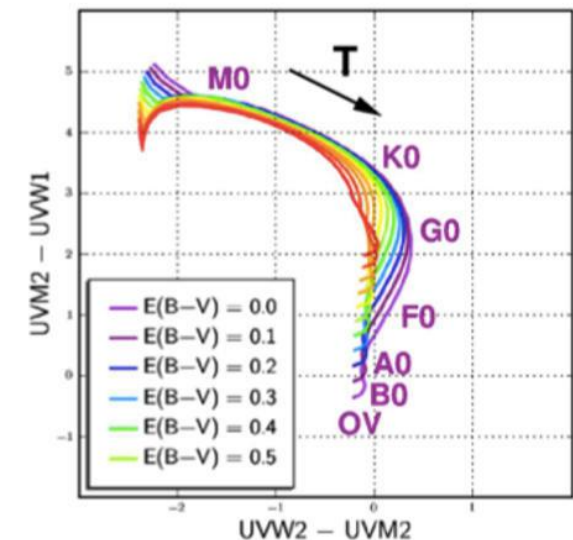
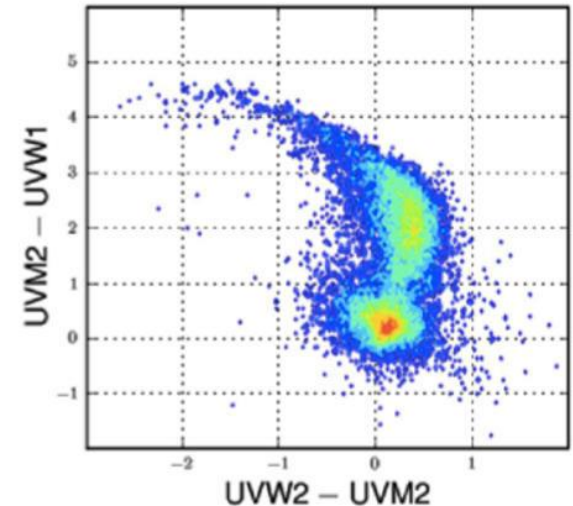
Help

Для чего их можно использовать?

- Для обнаружения и измерения параметров горячих звезд, особенно в двойных системах
- Картографирование параметров экстинкции в Галактике
- Измерения в УФ диапазоне; различные выборки источников; исследования функций светимостей галактик, истории космического звездообразования
- Распределения энергии в спектрах и параметры экстинкции в галактиках со звездообразованием
- Измерения в ультрафиолетовой области спектра для квазаров с небольшим красным смещением, распределение энергии в спектрах и т.п.
- Измерения прозрачности леса Лайман-альфа межгалактического пространства до $z=2$
- Классификация рентгеновских источников, например, из каталогов инструмента XRT
- Обнаружение УФ или оптических источников, соответствующих пульсарам в двойных системах
- Обнаружение звезд со вспышками
- Исследования переменных звезд в их спокойной фазе
- Обнаружение аналогов галактик с обрывом Лаймана в области малых красных смещений
- Многочисленные другие исследования

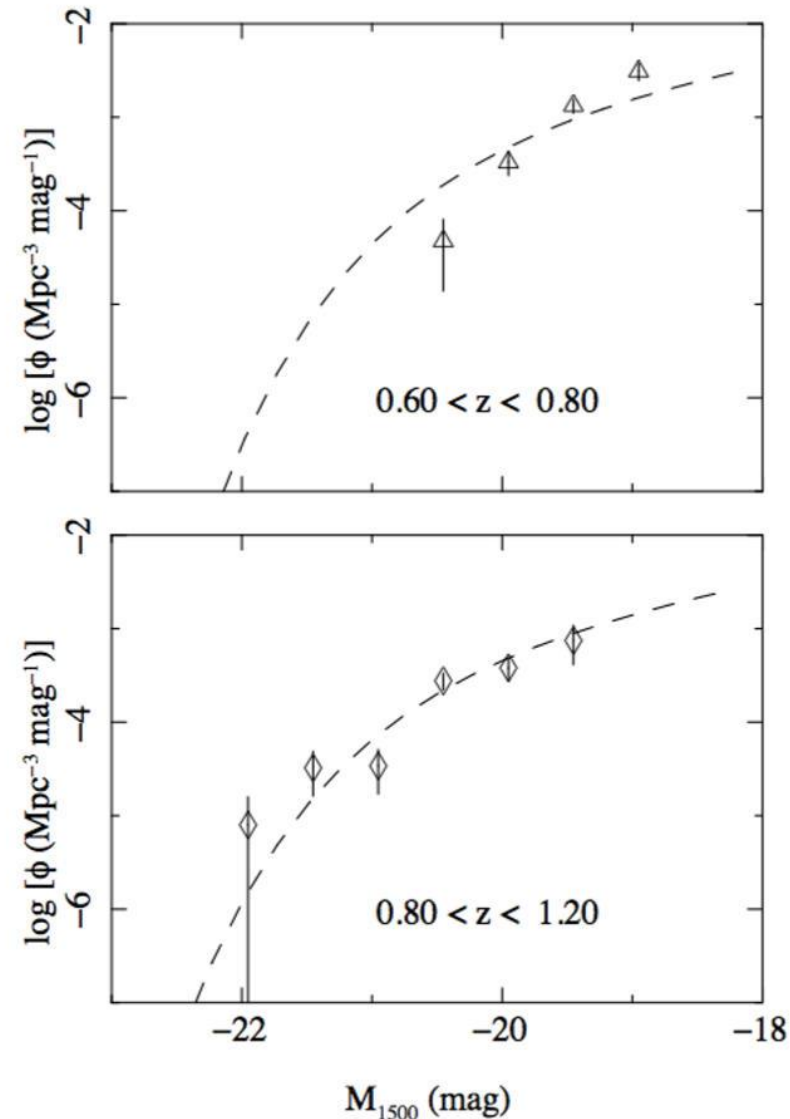
УФ цвета звезд и галактик

- УФ цвета звезд и галактик разделяются очень хорошо
- Галактики – объекты сгруппированные в нижней части диаграммы Их цвета отражают звёздное население, покраснение и красное смещение. В основном они имеют голубой цвет.
- Звёзды образуют регулярную последовательность в пространстве цветов, в соответствии с их спектральными классами и покраснением
- С расстояниями из каталога Гайа, УФ данные из каталогов XMM-SUSS и UVOTSSC пригодны для исследования УФ излучения и экстинкции звезд в Млечном Пути



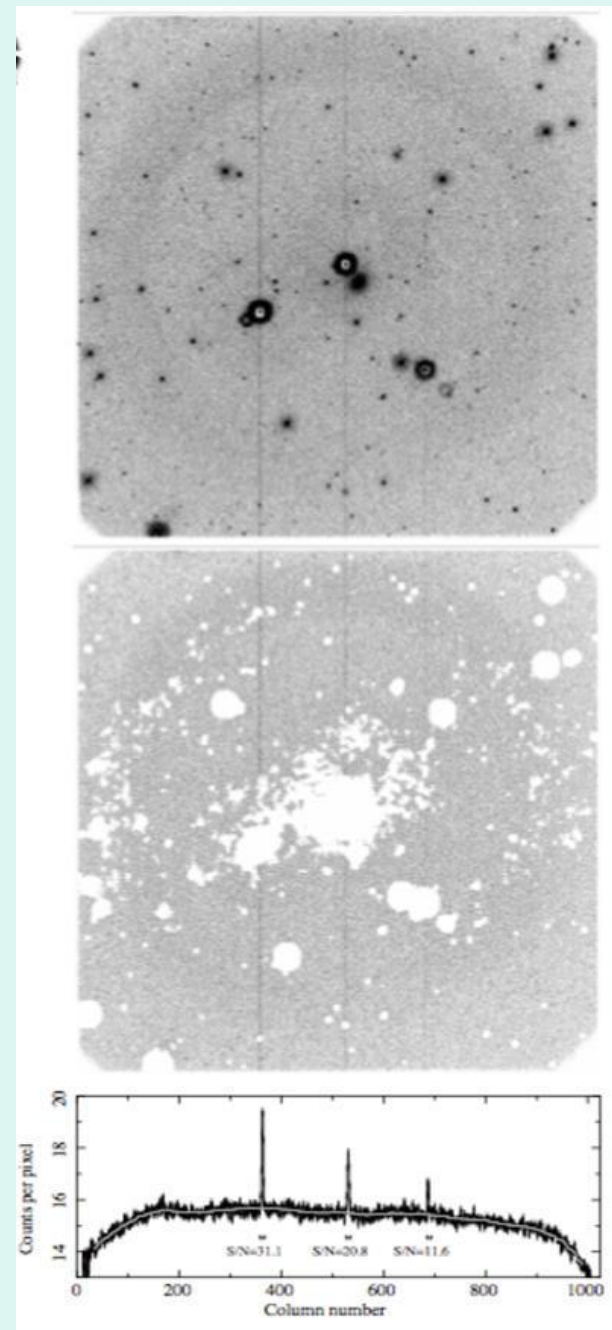
Функции светимости галактик

- На графике приведена ультрафиолетовая (1500 Å) функция светимости галактик для $0.6 < z < 1.2$, полученная с использованием XMM-OM: белое пятно для понимания галактик
- Полоса пропускания фильтра UVW1 является оптимальной для такого рода исследований: источники не перепутываются, и K-коррекция минимальна



Расширение в сторону бóльших яркостей

- Потеря отсчетов при совпадениях фотонов приводит к пределу допустимых яркостей объектов как в XMM-OM, так и в Swift-UVOT
- Но можно выполнить фотометрию из вертикальных линий переноса изображения в ПЗС
- Таким образом можно расширить предел допустимой яркости объектов на 1.5 (XMM-OM) или 2.4 (UVOT) звездной величины
- Дополнительный каталог ярких звезд для SUSS-3 уже доступен на веб странице ESA, а для новой версии каталога UVOTSSC эта часть включается в последовательность обработки данных



Перспективы

- Программы для производства XMM-SUSS переданы в Европейский центр космической астрономии (ESAC) под Мадридом, и этот центр периодически переобрабатывает все данные XMM-OM с целью получения новой версии каталога XMM-SUSS

- Программы для производства каталога UVOTSSC значительно улучшены (повышена надежность о полнота обнаружения источников, добавлена возможность фотометрии ярких источников, вертикальные полосы переноса ярких изображений удалены, улучшена точность идентификации и маркировки флажков артефактов изображений). Примерно через месяц (в ноябре 2018 г.) начнется переобработка всех наблюдений UVOT. К первым пяти годам наблюдений добавляются данные наблюдений еще 8 лет.

Конец

Конец

ещё не наступил

