

# Пакетная обработка спектральных данных с однозеркальных радиотелескопов и интерферометров

Ладейщиков Д. А., Соболев А. М., Цивилёв А.П.,  
Салий С. В., Шагабутдинов А. А., Юй Х.

# Обработка данных

С однозеркальных инструментов  
(на примере РТ-22)

# Существующие решения

- **CLASS/Gildas** – наиболее часто используемое решение для обработки данных
- Библиотека **specutils** для Python
- Программы для интерферометрии в однозеркальном режиме: **CASA, AIPS**

Софт с фокусом на определённые телескопы:

- Green Bank Telescope: **dysh**
- Parkes 64-m: **ATNF Spectral-line Analysis Package**

# Проблемы

- Долго обрабатывать большое число источников (мониторинг)
- Сложно сопоставлять данные за разные эпохи наблюдений
- Долгий процесс обучения работе ПО

# Решение

- Разработан модульный код для наиболее простой автоматической обработки данных с однозеркальных радиотелескопов

# Структура программы для обработки данных

Модуль загрузки данных  
(различается для разных телескопов)

РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН

Effelsberg 100-m

Nanshan 26-m

Модуль для анализа данных

Поиск детекций

Вписывание N гауссиан

Построение отчётов и таблиц

Модуль для  
коррекции данных

Перевод из К в Jy

Извлечение  
базовой линии

Калибровка

Модуль для  
визуализации  
данных

Построение изображений одиночных спектров

Построение изображений множества спектров  
(мониторинга)

Модуль для усреднения  
данных

Поиск сканов в рамках  
одной эпохи наблюдений

Исключение сканов с  
помехами

Выбор метода  
усреднения (веса и т.д.)

# Способы взаимодействия с программой

- **Консольный**
- **GUI** (единая форма)
- *GUI (пошаговый мастер) – в разработке*

Программа является кросс-платформенной (работает как под Windows, так и под Linux)

# Консольный режим

```
D:\Yandex.Disk\RT_22_monitoring>run.exe --source-dir ./Ural-  
monitor_2023_Oct
```

Trying to search for \*.sou files for source list...

Found 1 source list files

Full\_list.sou, Parsing file ./Ural-monitor\_2023\_Oct/Full\_list.sou

save\_path=./Ural-monitor\_2023\_Oct/process/vlsr.csv

Velocities CSV created successfully!

other band sources:

Process & Plot mode

Replot all data: On

Using Band 50 MHz

./Ural-monitor\_2023\_Oct/process

Warning! not found source W 75 N in source list vlsr.csv. Ignoring this source!!!

For scan 17103002 baseline polynom coefficients are: [-0.0075905364]

For scan 17103003 baseline polynom coefficients are: [0.0078342197]

For scan 17103004 baseline polynom coefficients are: [-0.15428872]

....

Warning!!! python\_peaks.csv file not found in destination folder. To automatically find detections please run plot\_spectra.py with arguments to create it. Then run process again.

Report saved to 'report.html'.

./Ural-monitor\_2023\_Oct/process/50/report.html

Execute the following commands:

```
python plot_spectra.py ./Ural-monitor_2023_Oct/process/50/python.csv -  
-write_peaks
```

```
python plot_spectra.py ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/python_fullrange.csv --fullrange
```

```
python plot_spectra.py ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/python_epoch.csv --epochs
```

```
python plot_spectra.py ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/python_nondet.csv --write_peaks --  
append_peaks
```

```
python plot_spectra.py ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/python_nondet_fullrange.csv --fullrange
```

```
python fast_plot_sym.py --input_dir ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/sym_fixed --output_dir ./Ural-  
monitor_2023_Oct/process/50/sym_fixed_plot --width 1500 --height 500 -  
-start_i 500 --end_i 1500
```

```
##### Please run the following command to create detection file & plot  
#####
```

```
python plot_spectra.py ./Ural-monitor_2023_Oct/process/50/python.csv -  
-write_peaks
```

# Режим GUI (форма)

**RT-22 Data Processor** [Close] [Maximize] [Refresh]

Source Folder:

Destination Folder:

Observed Month:  Year:

Band:  50 MHz  12.5 MHz

Averaging Method:  Simple mean  Weighted ( $w = 1/\sigma^2$ )  Weighted ( $w = T_{int}/T_{sys}^2$ )

Ta Conversion

Keep in K

Convert to Jy (Factor 13 - ON-ON)

Convert to Jy (Factor 25 - ON-ON 3 cycles)

Custom factor:

Baseline Correction

Do not apply baseline correction

Apply baseline correction with Poly order=1

Apply baseline correction with Poly order=2

Apply baseline correction with Poly order=

Skip channels at band center +/-  ; Skip channels at band edge:

Source Velocities CSV file:

Use detection file Detection CSV:

Other Band detections CSV (Optional):

Compare with previous processing (optional):   Label:

Maximum date difference (hours) to separate epochs:  (default: 24)

Print non-detection table  Print scan names in table

Ignore scans

Peak Detection Settings

Min. intensity:   sigma  Jy

Min. distance (channels):

Min. width (channels):

Gauss fit

Fit gaussians

Fix velocity on fit

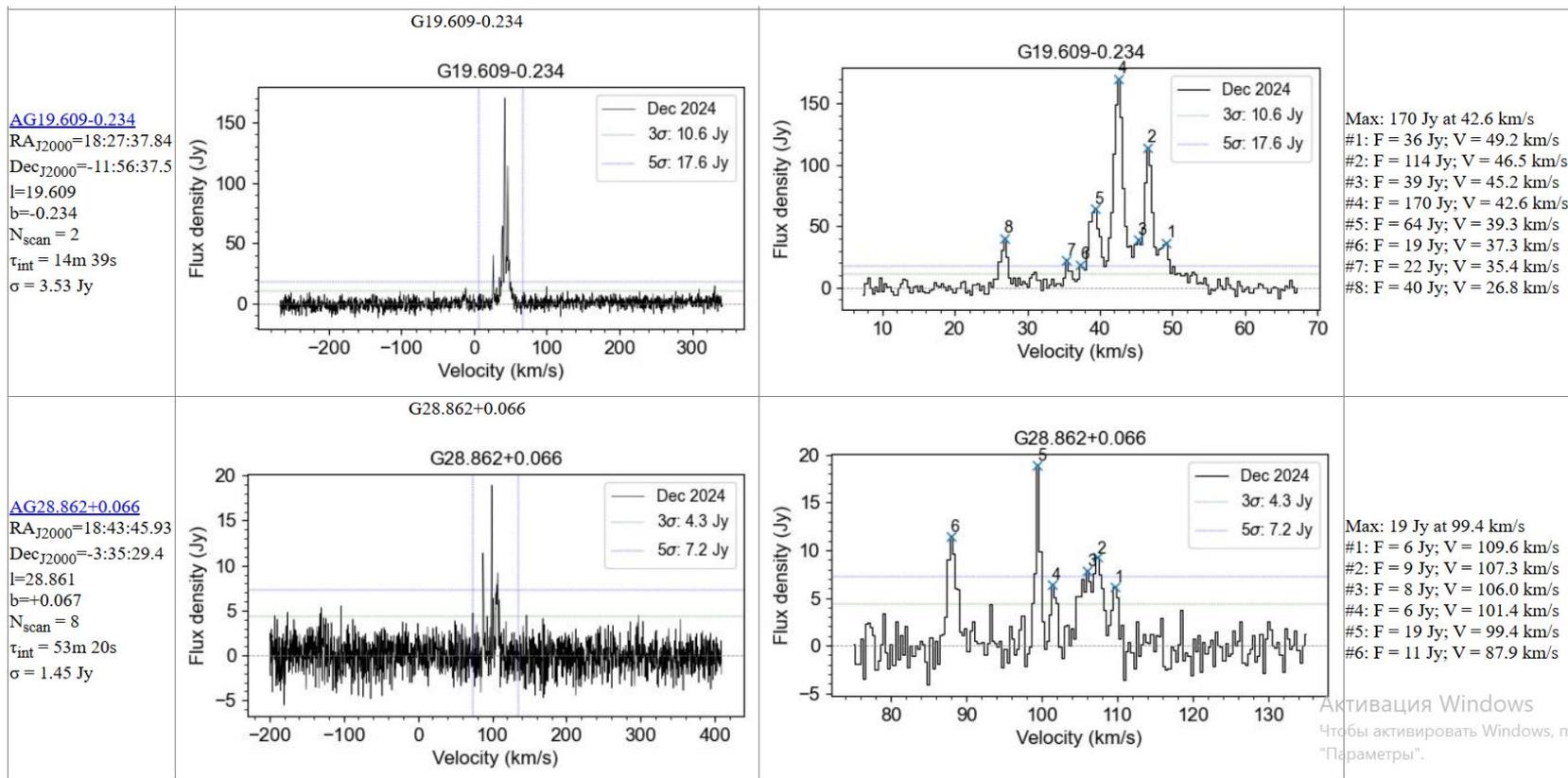
Plot gaussian fit

**Average & make report**

**Preview Plot** **Plot average & find peaks**

Modify plot settings Limit plot to source number:  or part of source name:

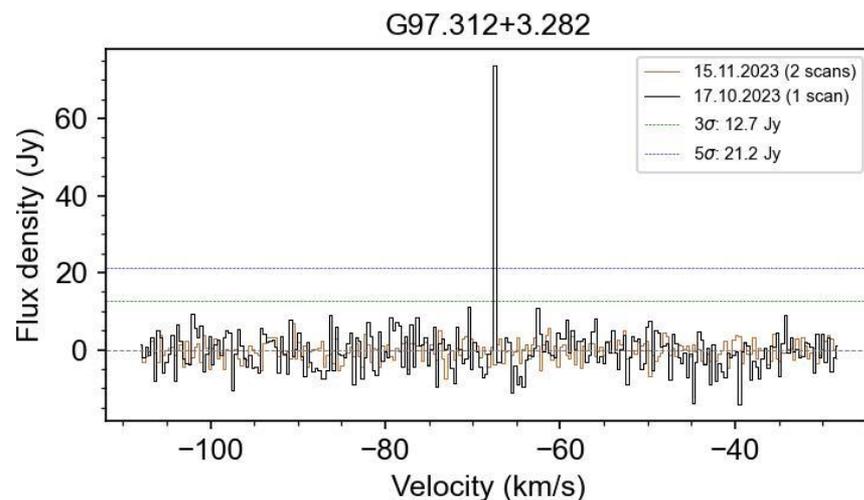
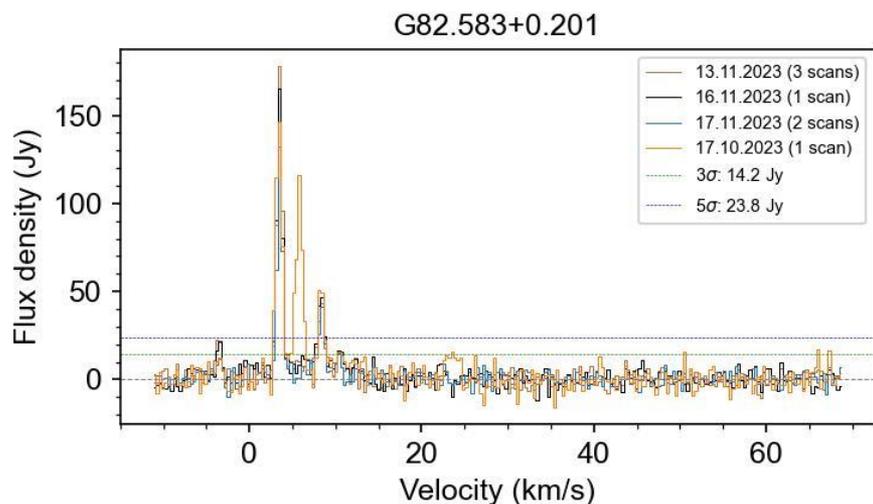
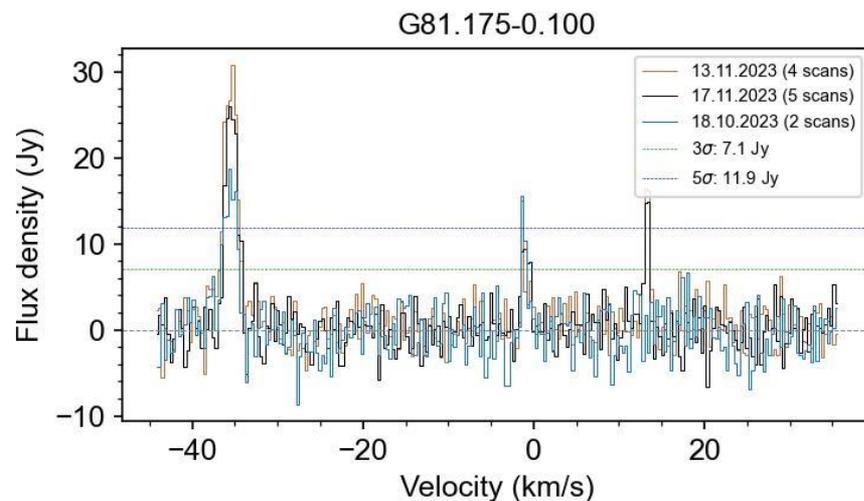
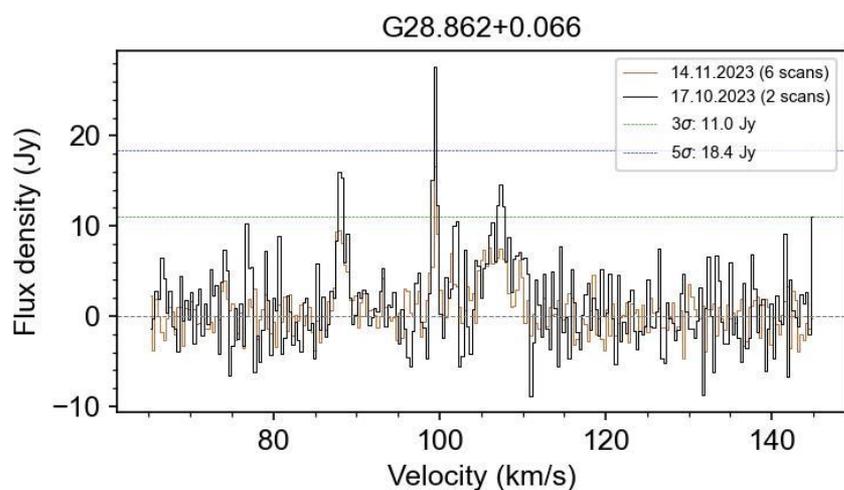
# Автоматическое построение спектров источников, поиск сигнала



# Автоматическое построение таблиц регистраций источников

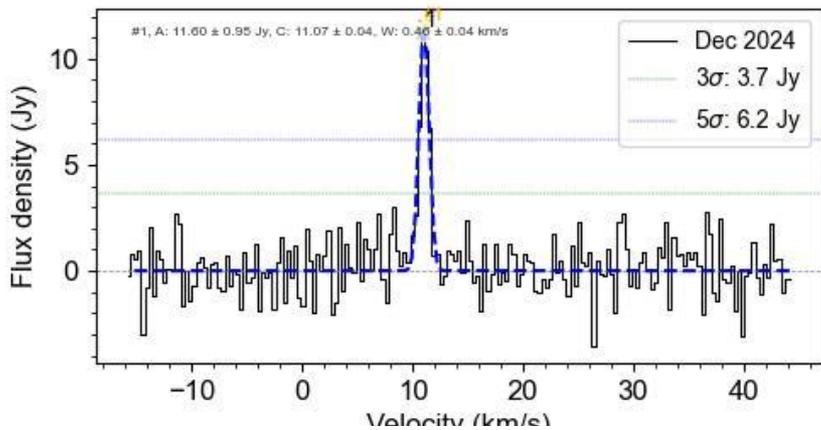
Name	Sigma	Nfiles	PeakMax	PeakV	Ncomp	Vrange	Dates	Tsys_range	IntTotal	RA	DEC	VLSR	l	b
w3	5.7	2	1292	-35.7	10	[-50.2; -26.2]	14.11;18.10	[159; 191]	160 s (2m 39s)	2:25:42.47	62:05:51.1	-40	133.718	+1.216
W 75 N	2.83	13	1985	10.5	12	[-13.8; 20.7]	13.11;14.11;15.11;16.11;17.11;17.10;18.10;19.10;20.10	[166; 270]	1000 s (16m 40s)	20:38:37.44	42:37:36.5	8.54	81.874	+0.778
AG19.609-0.234	3.53	2	170	42.6	8	[26.8; 49.2]	14.11;17.10	[194; 226]	880 s (14m 39s)	18:27:37.84	-11:56:37.5	37	19.609	-0.234
AG28.862+0.066	1.45	8	19	99.4	6	[87.9; 109.6]	14.11;17.10	[176; 197]	3200 s (53m 20s)	18:43:45.93	-3:35:29.4	104.7	28.861	+0.067
AG31.243-0.111	0.8	11	4	25.8	1	-	15.11;17.10;19.10	[195; 220]	4400 s (73m 19s)	18:48:44.59	-1:33:13.0	18.6	31.242	-0.109
AG31.280+0.062	1.4	12	10	110.6	3	[109.0; 112.6]	15.11;17.10;19.10	[199; 241]	4800 s (80m)	18:48:12.46	-1:26:30.2	109	31.281	+0.061
AG35.578-0.030	1.58	13	21	51.2	5	[49.5; 57.4]	15.11;17.10;19.10	[203; 289]	5200 s (86m 40s)	18:56:22.17	2:20:29.7	52.15	35.578	-0.029
AG37.498+0.530	1.2	13	14	9.9	5	[1.7; 14.8]	14.11;17.10;19.10	[175; 204]	5200 s (86m 40s)	18:57:52.95	4:18:06.2	11.53	37.494	+0.530
AG37.821+0.412	2.3	3	52	19.1	2	[19.1; 45.5]	14.11;17.10	[172; 183]	1360 s (22m 40s)	18:58:52.69	4:32:12.4	18.8	37.817	+0.417
AG38.917-0.353	1.42	8	15	38.8	1	-	14.11;18.10	[167; 201]	3440 s (57m 20s)	19:03:41.01	5:09:48.8	33.2	38.922	-0.361
AG40.282-0.220	1.84	3	49	73.0	5	[71.4; 97.7]	14.11;18.10	[166; 176]	1360 s (22m 40s)	19:05:41.59	6:26:12.3	73.7	40.282	-0.221
AG43.237-0.046	1.91	3	90	-10.0	18	[-15.3; 24.9]	14.11;17.10	[165; 176]	1360 s (22m 40s)	19:10:33.57	9:08:25.8	9.4	43.237	-0.045
AG43.305-0.209	2.11	3	10	69.7	1	-	14.11;18.10	[165; 174]	1280 s (21m 19s)	19:11:16.60	9:07:26.7	59.2	43.305	-0.210
AG44.310+0.041	1.05	16	13	54.6	3	[54.6; 71.1]	14.11;17.10;19.10	[168; 246]	8240 s (137m 20s)	19:12:15.46	10:07:53.9	55.25	44.310	+0.042
AG52.097+1.042	1.9	4	104	-28.2	3	[-33.4; -28.2]	14.11;17.10;19.10	[178; 244]	2000 s (33m 20s)	19:23:37.15	17:28:59.1	-28.5	52.097	+1.042
AG59.471-0.183	0.88	24	8	22.5	2	[22.5; 26.5]	14.11;17.10;18.10;20.10	[168; 235]	10480 s (174m 39s)	19:43:26.86	23:20:26.0	25.18	59.471	-0.183
AG71.313+0.828	1.18	15	9	9.7	1	-	14.11;17.10;20.10	[173; 209]	6320 s (105m 19s)	20:07:31.53	33:59:38.7	8.43	71.313	+0.828
AG73.652+0.195	0.83	32	15	-78.9	5	[-80.8; -73.3]	13.11;16.11;17.11;17.10;20.10	[165; 224]	12800 s (213m 20s)	20:16:22.17	35:36:05.3	-76.24	73.653	+0.193
AG74.036-1.712	1.57	10	42	13.3	3	[-1.2; 13.3]	13.11;17.11;17.10	[169; 217]	4000 s (66m 40s)	20:25:07.30	34:50:05.6	0.45	74.036	-1.713
AG81.175-0.100	1.32	11	24	-35.3	5	[-67.2; 74.4]	13.11;17.11;18.10	[169; 208]	4400 s (73m 19s)	20:40:05.45	41:32:13.4	-4.65	81.175	-0.101
AG81.582+0.104	0.99	18	13	-11.9	1	-	13.11;18.10;20.10	[172; 207]	7200 s (120m)	20:40:33.81	41:59:02.0	-7.6	81.582	+0.102
AG82.583+0.201	1.84	7	159	3.5	5	[3.5; 12.4]	13.11;16.11;17.11;17.10	[190; 216]	2560 s (42m 39s)	20:43:27.93	42:50:01.7	28.48	82.582	+0.203
AG84.195+1.439	1.54	9	43	2.3	1	-	13.11;17.11;18.10	[200; 215]	3600 s (60m)	20:43:36.52	44:51:54.3	3.25	84.194	+1.439
AG85.411+0.002	1.51	8	48	-34.5	3	[-36.8; -31.6]	13.11;17.11;18.10	[177; 262]	3200 s (53m 20s)	20:54:14.52	44:54:05.8	-33.555	85.411	+0.001
AG98.035+1.446	0.91	19	22	-60.2	3	[-78.7; -60.2]	13.11;14.11;17.11;18.10;20.10	[172; 210]	7600 s (126m 40s)	21:43:01.16	54:56:16.3	-66.5	98.035	+1.446
AG135.278+2.797	0.92	12	17	-70.0	1	-	14.11;17.11;17.10;20.10	[161; 173]	4800 s (80m)	2:43:29.12	62:57:05.3	-71.6	135.279	+2.797
AG160.144+3.156	1.12	14	16	-16.2	1	-	14.11;17.10;20.10	[178; 230]	5600 s (93m 19s)	5:01:40.14	47:07:23.1	-16.9	160.145	+3.157

# Автоматическое построение результатов мониторинга

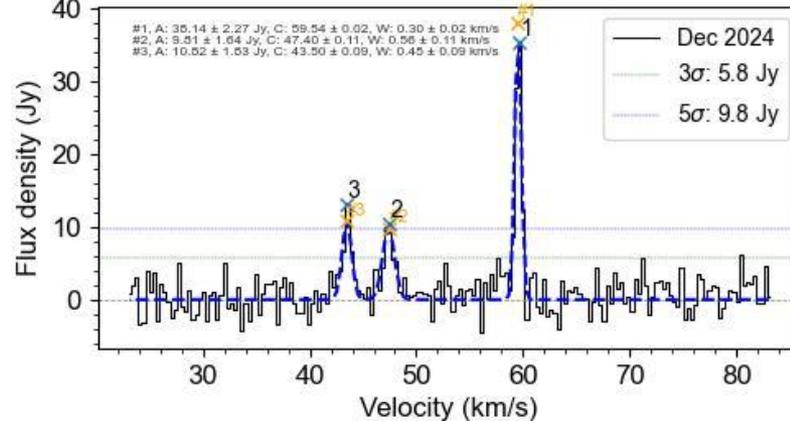


# Автоматическое вписывание Гауссиан (*тестируется*)

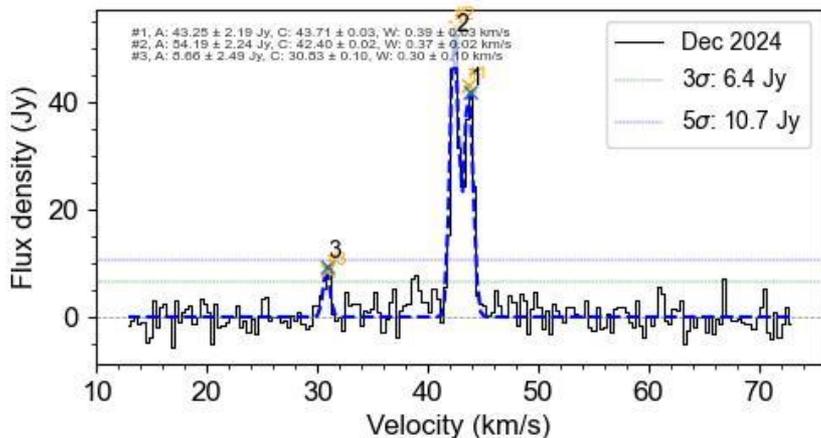
G214.127-11.410



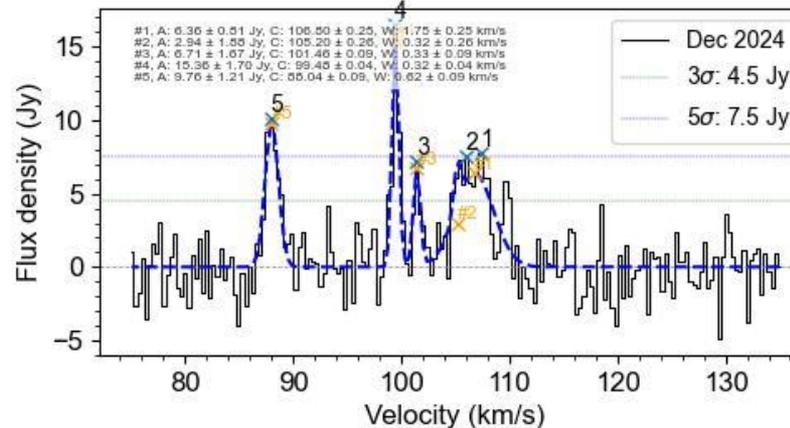
G229.570+0.150



G19.884-0.535



G28.862+0.066



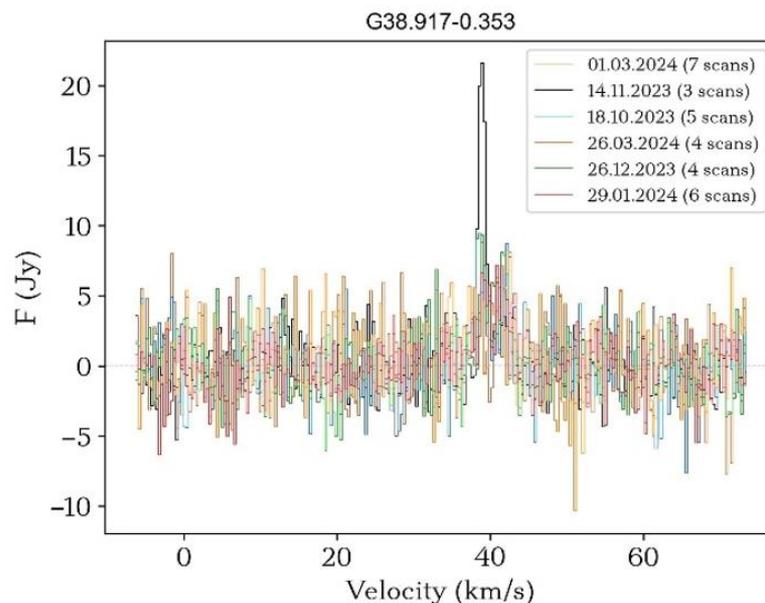
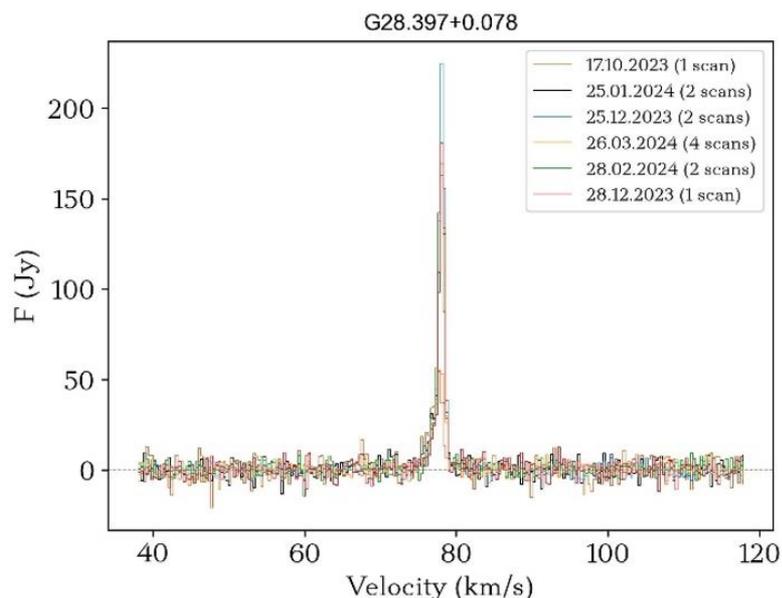
# ***Мониторинг мазеров в линии водяного пара на 22 ГГц***

- На РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН в 2023-2024 году выполнялся мониторинг ~200 мазерных источников излучения водяного пара мазеров на 22 ГГц.



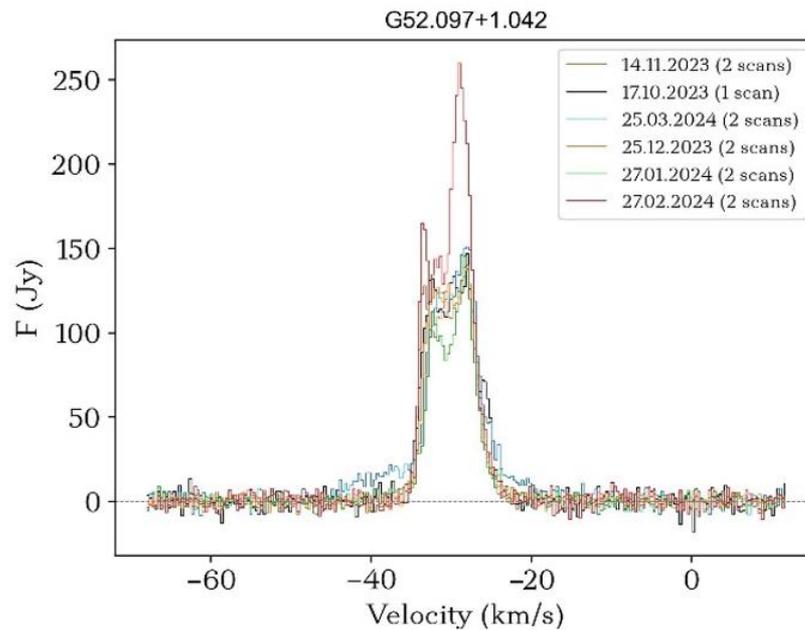
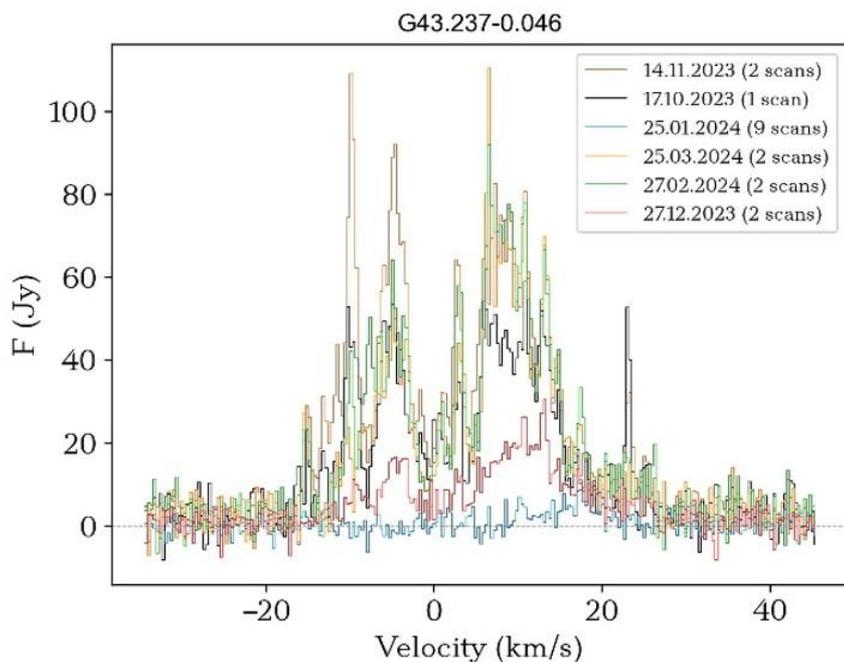
# Были обнаружены следующие значительные изменения в спектрах источников

- G28.397+0.078 – поток в декабре 2023 был 200 Ян, затем к марту 2024 он снизился до 50 Ян.
- G38.917-0.353 – в сентябре 2023 зарегистрировано двукратный рост потока (с 8 до 20 Ян) компоненты на 41.8 км/с



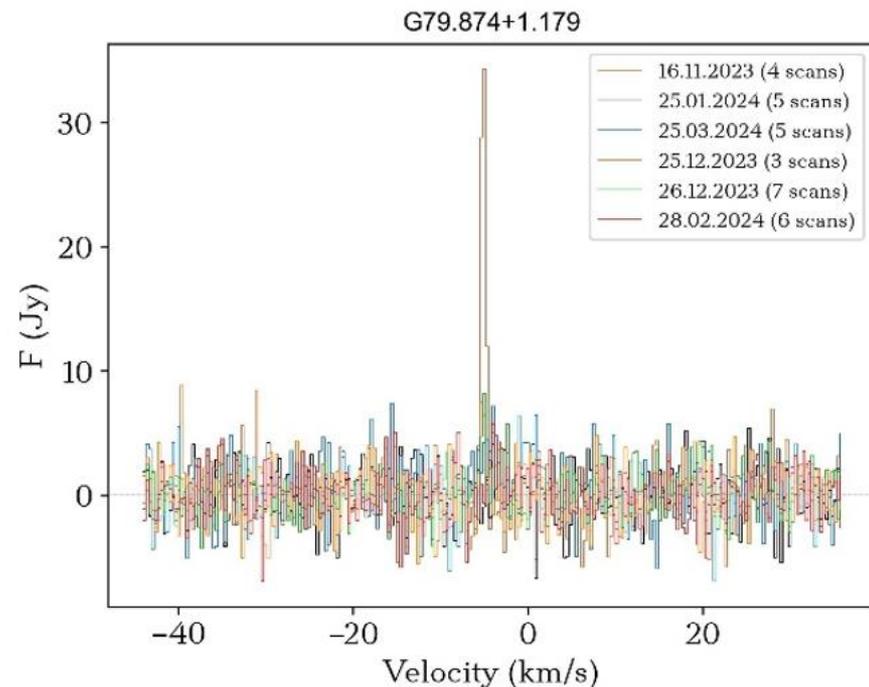
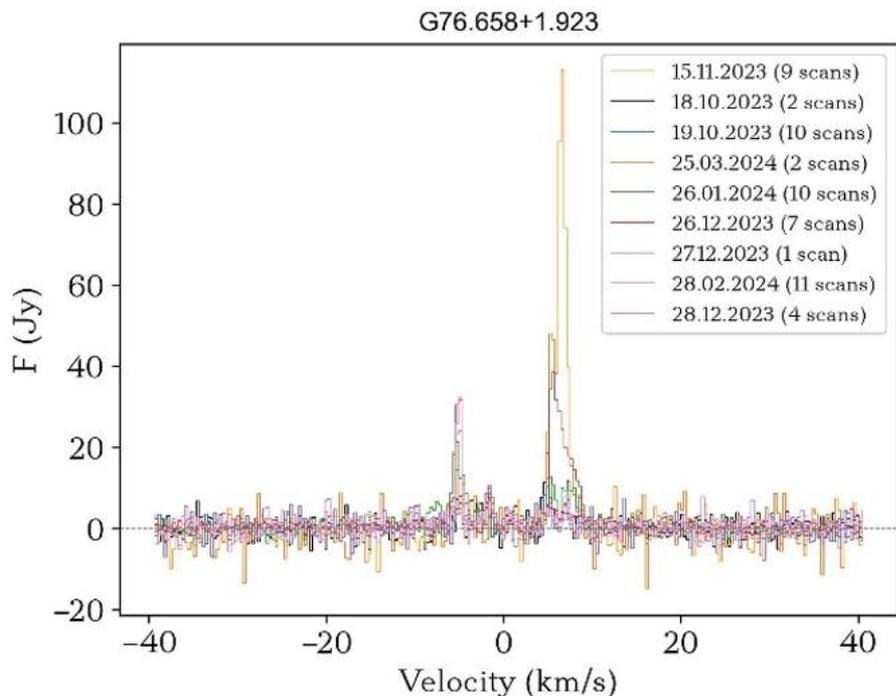
# Были обнаружены следующие значительные изменения в спектрах источников

- G43.237-0.046. Зарегистрировано угасание излучения в январе 2024, после чего в феврале 2024 спектр вернулся в исходное, но изменённое в некоторых компонентах состояние. Зарегистрирована отдельная вспыхнувшая компонента на  $\sim 22$  км/с в октябре 2023.
- G52.097+1.042 В феврале 2024 яркость источника внезапно стала 250 Ян, до этого в другие месяцы поток был стабильно около 150 Ян.



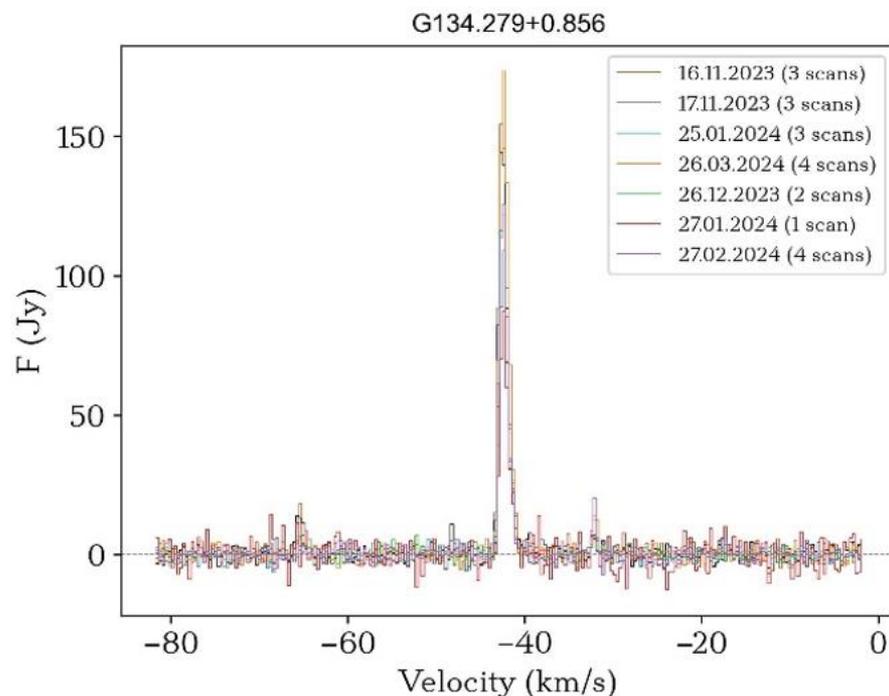
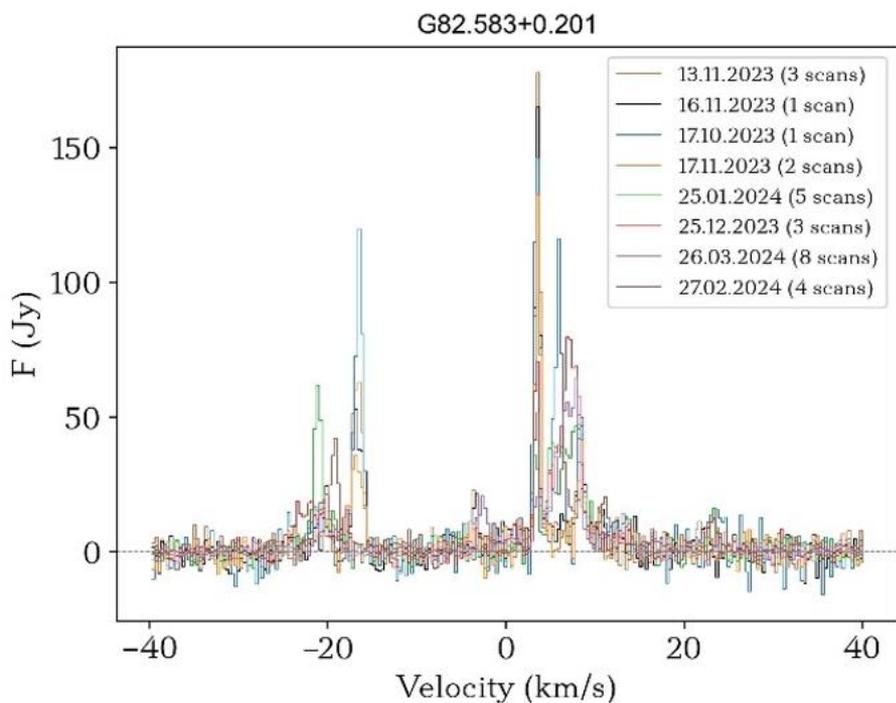
# Были обнаружены следующие значительные изменения в спектрах источников

- G76.658+1.923. В феврале 2024 начала проявляться новая компонента излучения на  $\sim 6$  км/с, которая в марте 2024 вспыхнула до более чем 100 Ян.
- G79.874+1.179 В ноябре 2023 единственная компонента в спектре была около 30 Ян, в декабре 2023 компонента сильно уменьшилась и оставалась на низком уровне в течение всего периода наблюдений



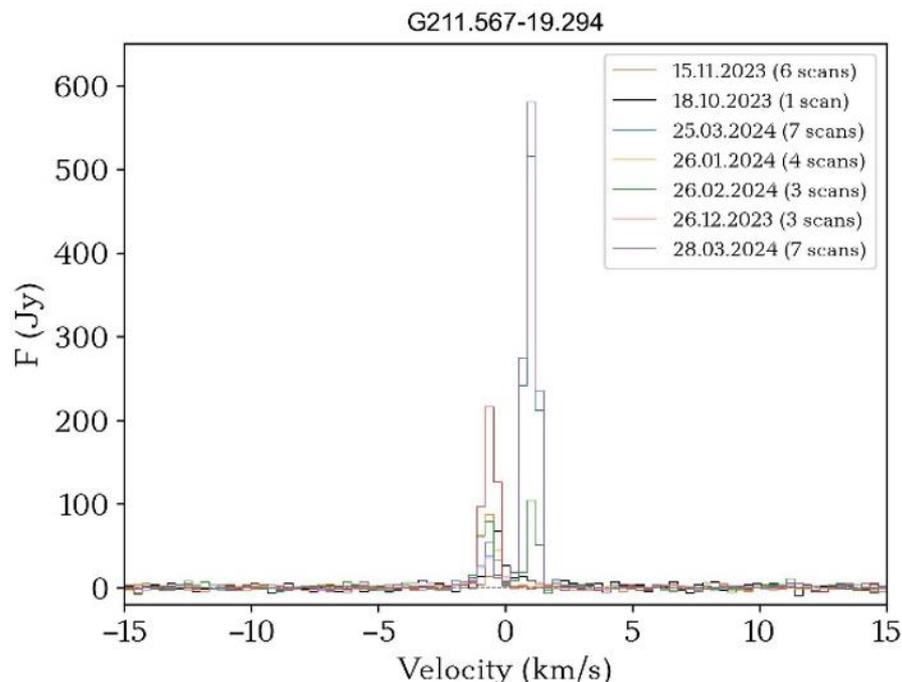
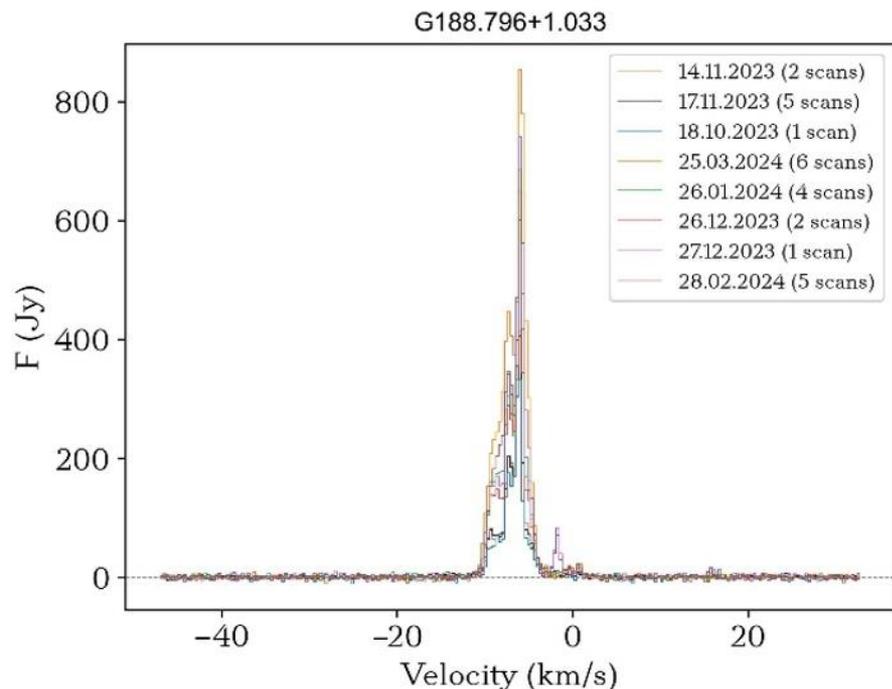
# Были обнаружены следующие значительные изменения в спектрах источников

- 82.583+0.201. Зарегистрированы значительные изменения различных компонент, в том числе на -20 км/с, на 5 км/с и на 8 км/с.
- G134.279+0.856 Интенсивность единственной компоненты менялась от 80 до 160 Ян в течение периода наблюдений.



# Были обнаружены следующие значительные изменения в спектрах источников

- G188.796+1.033 Спектр источника значительно изменился – интенсивность максимума менялась от 250 до 800 Ян.
- G211.567-9.294 В феврале 2024 в спектре появилась новая компонента излучения на  $\sim 1.5$  км/с, которая уже в марте 2024 вспыхнула до 600 Ян.



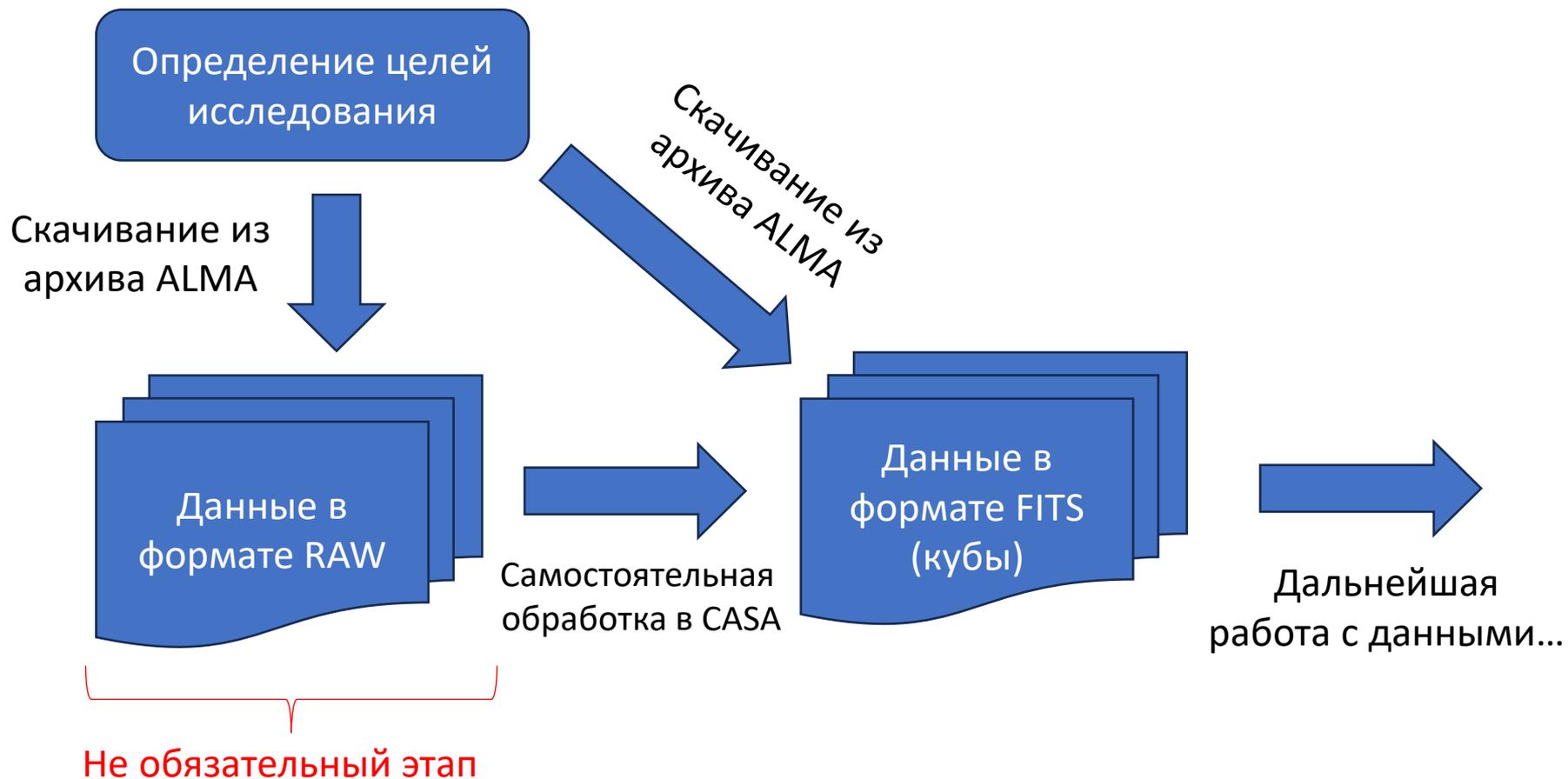
# Мониторинг: ВЫВОДЫ

- Мониторинг даже относительно небольшого числа источников (около 50) даёт возможность обнаружить мазерные вспышки.
- При том, что общее число источников H<sub>2</sub>O в областях звездообразования достигает ~1700 (согласно данным из MaserDB.net), ясно, что значительное число вспышек упускается в виду невозможности покрыть наблюдениями такое огромное число источников.
- Но даже выбор ограниченного числа источников позволяет обнаружить часть событий, которые могут быть в том числе **вспышками аккреции**.
- При этом необходимо проводить дополнительные наблюдения, в том числе на интерферометрах, так как из данных однозеркальных инструментов невозможно сделать выводы о типе вспышек.

# Обработка данных

с интерферометров (на примере ALMA)

# Получение данных



# Что дальше делать с данными?

- Обрезать кубы в пространстве RA, Dec
- Найти и идентифицировать спектральные линии
- Обрезать кубы по частоте и перевести из частоты в лучевую скорость для определённых линий
- Выделить источники
- Извлечь спектры линий
- Исключить помехи
- Произвести фильтрацию, сглаживание данных
- Получить карты 0, 1 и 2 момента
- Нанести регионы
- Сравнить излучение в континууме и в разных линиях между собой
- Построить качественные изображения для публикаций
- **Список можно продолжать...**

# Какие есть готовые инструменты для анализа?

## Анализ кубов данных

- [UVmultiFit](#) приближение моделей непосредственно к данным видимости
- [Stacker](#) объединение данных в области UV или изображения
- [LineStacker](#) объединение данных по спектральным линиям
- [Spectral Cube](#) простой способ чтения, обработки, анализа и записи кубов данных
- [PV extractor](#) создание среза положение-скорость или положение-частота
- [Signal ID](#) Инструменты идентификации сигналов (маскировка и шум) для спектральных линий
- [Statcont](#) определение уровня излучения континуума в спектральных данных с большим количеством линий
- [Interferopy](#) библиотека инструментов, используемых при анализе данных радио/мм-интерферометрии наблюдений
- [ESSENCE](#) статистическая значимость анализа изображений и обнаружения сигналов в условиях коррелированного шума в интерферометрических изображениях
- [PyBDSF](#) разложение радиоинтерферометрических изображения на источники
- [Datacomb](#) объединение радиоинтерферометрических и однозеркальных наблюдений
- [Pyspeckit](#) набор инструментов спектрального анализа
- [Astrodendro](#) вычисление дендрограммы наблюдаемых или моделируемых астрономических данных
- [Deep Focus](#), инструмент для деконволюции изображений, обнаружения и получения характеристик источников в радиоинтерферометрических данных.

# Какие есть готовые инструменты для анализа?

## Анализ спектров и перенос излучения

- [Cloudy](#) - моделирование условий в межзвездной среде
- [Interstellarmedium.org](#) - Программы переноса излучения для моделирования линейного излучения и континуума пыли. Программы направлены на изучение межзвездной среды, особенно в радиодиапазоне
- [XCLASS](#) - моделирует данные путем решения уравнения переноса излучения для изотермического объекта в одном измерении
- [Spectuner](#) - автоматическая идентификация спектральных линий межзвездной молекулы (на основе XCLASS)
- [CASSIS](#) - интерактивный анализатор спектра
- [ARTIST](#) - анализатор спектра для молодых звездных объектов, планетообразующих дисков или околозвездных оболочек — включает поляризацию
- [PDRToolBox](#) - определение физических параметров областей фотодиссоциации из наблюдений.
- [LIME](#) - Код для расчёта молекулярного возбуждения и переноса излучения в 3D
- [Pymcfost](#) - интерфейс python к коду 3D-переноса излучения mcfost
- [Pdspy](#) - приближение моделей переноса излучения Монте-Карло для протозвездных/протопланетных дисков к ALMA
- [MADCUBA](#) - анализ астрономических кубов данных и множественные спектры с основных астрономических объектов
- [RADEX](#) одномерный не-LTE код переноса излучения
- [DESPOTIC](#) Derive the Energetics and SPectra of Optically Thick Interstellar Clouds
- [Planetary spectrum generator](#) - набор моделей переноса излучения для синтеза и получения планетарных спектров
- [McFine](#) сложное, многокомпонентное приближение спектров со сверхтонким расщеплением

# Какие есть готовые инструменты для анализа?

## Визуализация кубов данных

- [CARTA](#) - визуализация и анализ кубов данных ALMA, VLA и SKA. Работает из браузера, позволяя открывать данные непосредственно на сервере.
- [FRELLED](#) (FITS Realtime Explorer of Low Latency in Every Dimension) – визуализация кубов данных с помощью программы 3d-моделирования Blender
- [glue](#) - инструмент для исследования и визуализации внутренних связей в данных (2D/3D)
- [PV extractor](#) создание PV-среза (положение-скорость)
- **Karma** – kvis, kslice\_3d, kpvslice – инструменты для визуализации кубов данных
- **SAOImage Ds9** – имеет возможность работы с кубами данных.
- И другие...

# Как выделять источники в кубах данных?

## Разложение на гауссианы

- **GaussClumps** (2D/3D) – наиболее простой метод для разложения излучения на гауссианы
- **PyBDSF** (2D) – более продвинутый метод разложения с большими возможностями по настройке

## Выделение волокон

- **GetFilaments** (2D) – выделение волокон по изображениям в различных длинах волн
- **FilFinder** (2D/3D) – выделение волокон при помощи математической морфологии (Shih 2009)
- **DisPerSE** (2D/3D)

## Разделение излучения на источники по маске пикселей

- ClumpFind
- FellWalker
- Reinhold

# Проблема

- Существующие инструменты заточены на обработку небольшого числа источников
- Если источников много (более 20), то обработка данных может занять значительное время
- Нет более-менее универсальной оболочки, которая выполняет минимум необходимых операций с множеством кубов данных для получения карт в линиях, годных для публикации

# Решение

- Разработана новая система автоматизации **MultiCube**, позволяющая производить необходимые операции с FITS кубами данных с телескопа ALMA для получения изображений и данных, предназначенных для упрощения научных исследований
- По сути, это Python-скрипт (около 3700 строк кода), который объединяет библиотеки `astropy`, `spectral_cube` и `aplru` для эффективной обработки и визуализации данных по множеству источников.

Список переходов  
List\_lines.csv

Список источников  
List\_sources.csv, где  
указывается, в каких  
линиях обрабатывать  
каждый источник и в  
каком режиме

FITS-кубы  
данных,  
скачанные с  
ALMA archive

Входные  
параметры

Обработка в  
MultiCube

- Исключение помех
- Выделение источников  
в континууме

Входные  
данные

Кубы данных  
в линиях  
(FITS)

Карты 0, 1 и 2  
момента  
(FITS и PDF)

Отчёт для публикации  
в сети интернет

GIF-анимация  
кубов данных  
мол. линий

Спектры целых  
полос ALMA и  
отдельных линий  
в направлении на  
компактные  
источники,  
наложение меток

С учётом или без

- Сглаживания
- Конволюции
- Фильтрации
- Регионов

# Проект MAMMOTH

MAssive star forming regions with variable Methanol Masers: Observations at High angular resolution

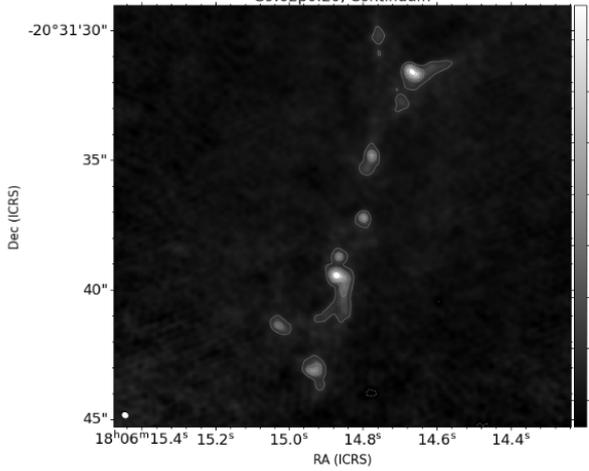
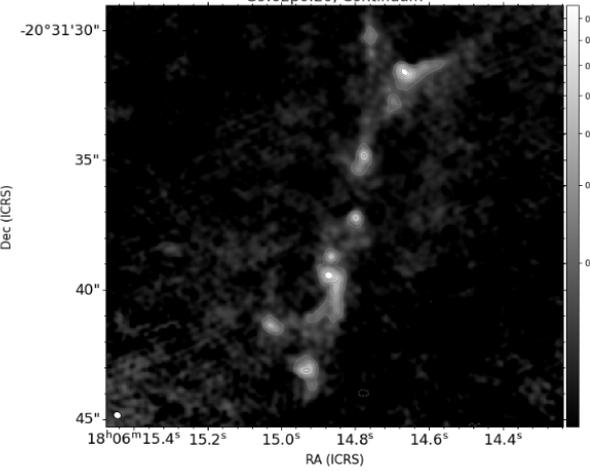
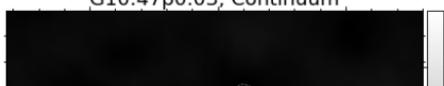
Нацелен на детальное исследование областей массивного звёздообразования, связанных с метанольными мазерами II класса на 6.7 ГГц.

- Наблюдения в рамках проекта MAMMOTH проведены на интерферометре ALMA в 2022 и 2023 гг. (Project ID: 2021.1.00311.S, 2022.1.00974.S, PI: Liu Sheng-yuan).
- Наблюдения 2022 года (2021.1.00311.S) проводились в диапазоне 216-233 ГГц
- Наблюдения 2023 года (2022.1.00974.S) - в диапазоне от 333 до 349 ГГц.
- Угловое разрешение в 2022 году составило 0.26", в 2023 году - 3.56".
- Общее число источников в обзоре - 169, однако из них в рамках данных 2021 года доступны для анализа только 114 источников.

# Отчёт излучения в континууме на 1.3 мм

[https://maserdb.net/ALMA/WS\\_52/cont.html](https://maserdb.net/ALMA/WS_52/cont.html)

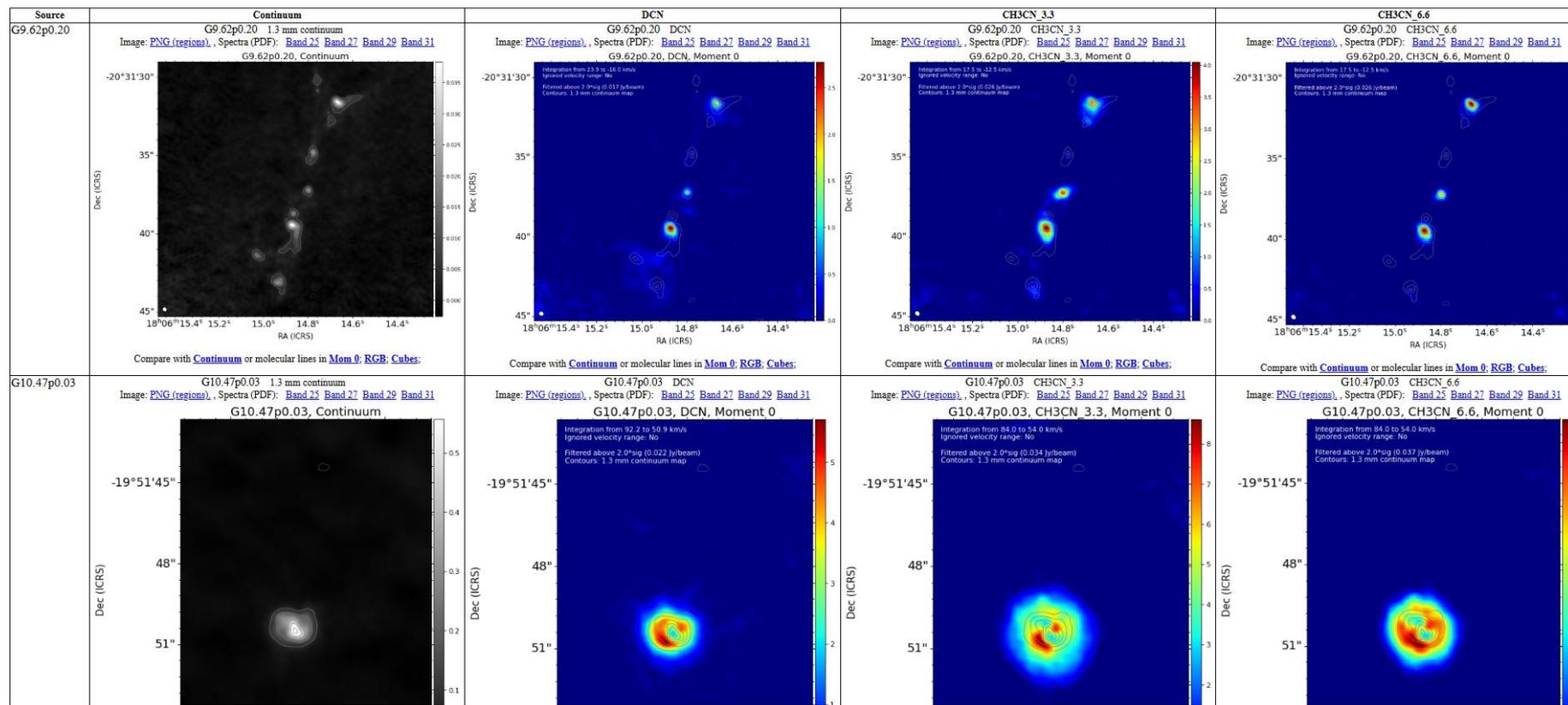
## 1.3 mm continuum report for 10 sources

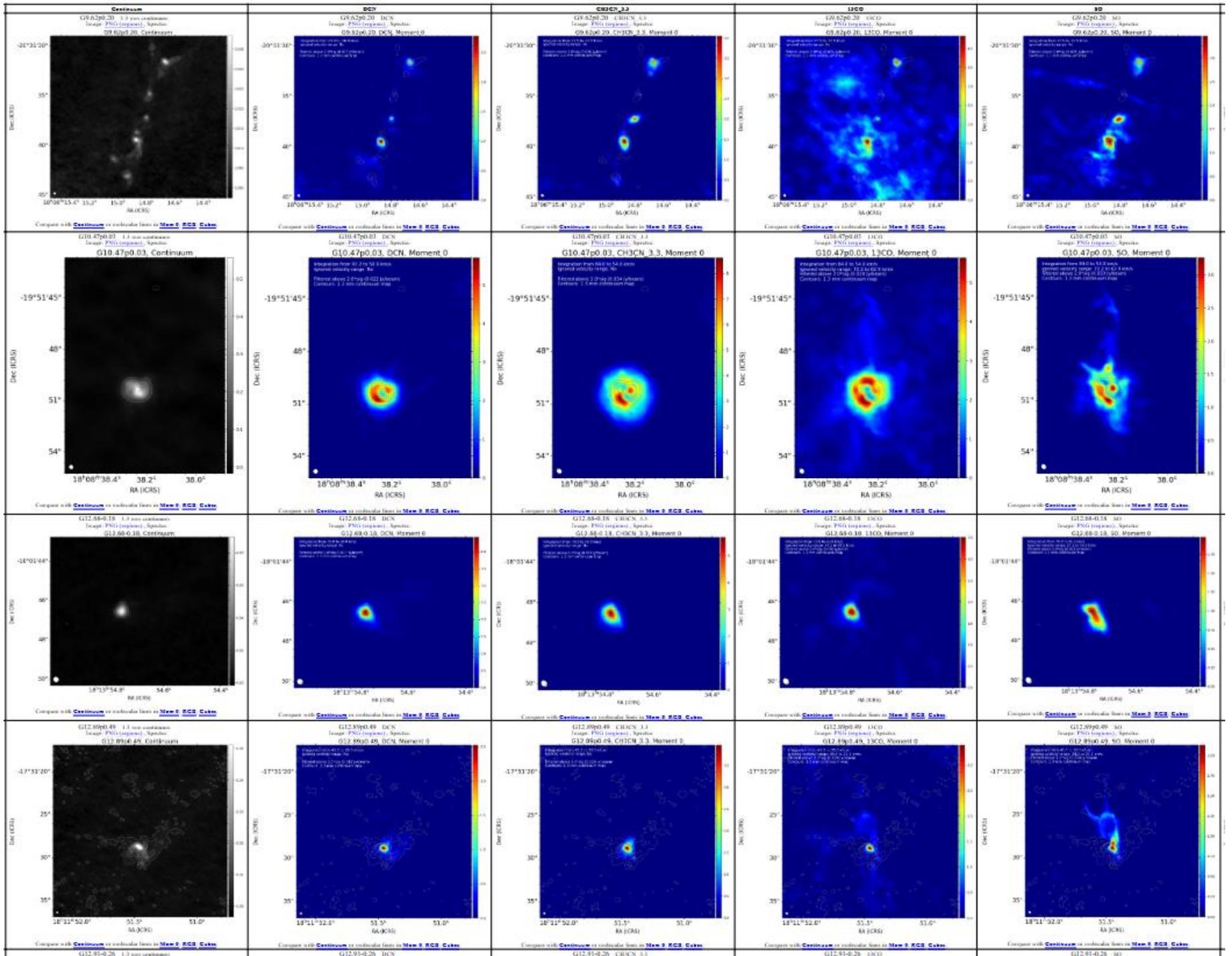
Source	Continuum	Continuum (log-based)	Descr
G9.62p0.20	<p>G9.62p0.20 1.3 mm continuum Image: <a href="#">PNG (regions)</a>, Spectra (PDF): <a href="#">Band 25</a> <a href="#">Band 27</a> <a href="#">Band 29</a> <a href="#">Band 31</a> G9.62p0.20, Continuum</p>  <p>Dec (ICRS)</p> <p>RA (ICRS)</p> <p>Compare with <a href="#">Continuum</a> or molecular lines in <a href="#">Mom 0</a>: <a href="#">RGB</a>: <a href="#">Cubes</a>:</p>	<p>G9.62p0.20 1.3 mm continuum Image: <a href="#">PNG (regions)</a>, Spectra (PDF): <a href="#">Band 25</a> <a href="#">Band 27</a> <a href="#">Band 29</a> <a href="#">Band 31</a> G9.62p0.20, Continuum</p>  <p>Dec (ICRS)</p> <p>RA (ICRS)</p> <p>Compare with <a href="#">Continuum</a> or molecular lines in <a href="#">Mom 0</a>: <a href="#">RGB</a>: <a href="#">Cubes</a>:</p>	<p>View maser data on <a href="#">MaserDB</a></p> <p>Distance: 5.1 kpc (Reid et al. (2019) [2019ApJ...885.131R])</p> <p>MM-1: Peak=0.684062998 Jy/beam MM-2: Peak=0.858329998 Jy/beam MM-3: Peak=0.587825998 Jy/beam MM-4: Peak=0.460376999 Jy/beam MM-5: Peak=1.009187998 Jy/beam MM-6: Peak=0.436967999 Jy/beam MM-7: Peak=1.253681997 Jy/beam MM-8: Peak=0.587825998 Jy/beam</p> <p>Name: G9.62p0.20 RA: 18:06:14.7000 Dec: -20:31:32.100 vel(km/s): 2.5 Parallax (mas): 0.194 uncertainty of parallax (mas): 0.023 Distance (kpc) calculate: 5.1 paper (source of parallax data) ADS bibcode: Reid et al. (2019) [2019ApJ...885.131R] Distance (kpc) parallax original data: uncertainty of distance (kpc): paper (source of distance data) ADS bibcode: Sum brightness continuum: 3.62630021 Peak brightness continuum: 0.3257 Fits (Y/N): Y Image in the continuum (Y/N): Y Position error (Y,N,NC): N Number of bright point sources: more than 2 Extended objects (Y/N): Y Association with Maser-continuum (Y,Yi,Ys,N): Y VLBI observations in maserdb.net (Y/N): Y Association with UC HII (Song et al. 2022): Y Distance (kpc) (Song et al. 2022): 4.81 comment :</p>
G10.47p0.03	<p>G10.47p0.03 1.3 mm continuum Image: <a href="#">PNG (regions)</a>, Spectra (PDF): <a href="#">Band 25</a> <a href="#">Band 27</a> <a href="#">Band 29</a> <a href="#">Band 31</a> G10.47p0.03, Continuum</p>  <p>Dec (ICRS)</p> <p>RA (ICRS)</p> <p>Compare with <a href="#">Continuum</a> or molecular lines in <a href="#">Mom 0</a>: <a href="#">RGB</a>: <a href="#">Cubes</a>:</p>	<p>G10.47p0.03 1.3 mm continuum Image: <a href="#">PNG (regions)</a>, Spectra (PDF): <a href="#">Band 25</a> <a href="#">Band 27</a> <a href="#">Band 29</a> <a href="#">Band 31</a> G10.47p0.03, Continuum</p>  <p>Dec (ICRS)</p> <p>RA (ICRS)</p> <p>Compare with <a href="#">Continuum</a> or molecular lines in <a href="#">Mom 0</a>: <a href="#">RGB</a>: <a href="#">Cubes</a>:</p>	<p>View maser data on <a href="#">MaserDB</a></p> <p>Distance: 8.5 kpc (Reid et al. (2019) [2019ApJ...885.131R])</p> <p>MM-1: Peak=2.767463997 Jy/beam MM-2: Peak=1.352519998 Jy/beam MM-3: Peak=1.251080996 Jy/beam</p>

# Отчёт излучения в линиях (0 момент)

[https://maserdb.net/ALMA/WS\\_52/maps.html](https://maserdb.net/ALMA/WS_52/maps.html)

## 0 Moment report for 10 sources (82 images)





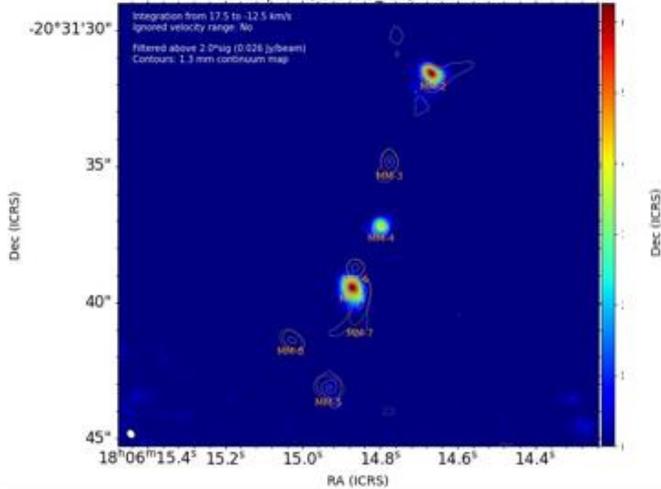


# Выделение горячих молекулярных ядер из наблюдаемых компактных объектов выборки

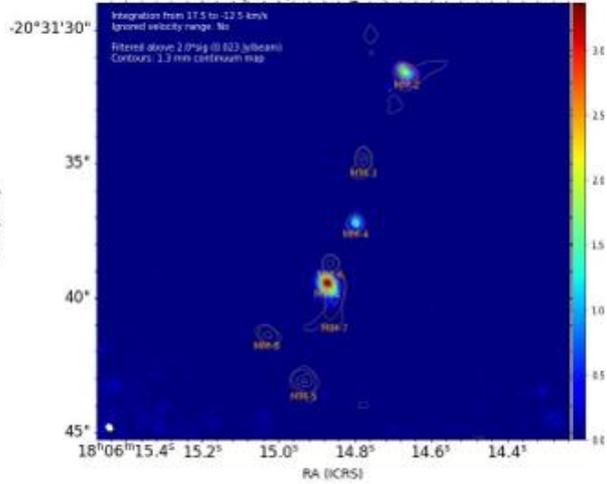
- Для всех доступных источников выборки были получены изображения в трёх линиях  $\text{CH}_3\text{CN}$   $J_K = 12_6-11_6, 12_7-11_7, 12_8-11_8$ .
- Энергия возбуждения этих линий увеличивается с порядковым номером, поэтому линия с большим порядковым номером возбуждается при более высоких энергиях.
- Также для положений всех компактных сгустков в континууме (MM-1, MM-2, ...) получены спектры в четырёх полосах ALMA, на которые нанесены частоты линий, которые имеют энергию возбуждения нижнего уровня ( $E_L$ ) более 100 К.
- Для этой цели выбраны линии молекул  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{CH}_3\text{CN}$ . Молекула  $\text{H}_2\text{O}$  для этой цели не может быть использована, так как излучение на частотах этой молекулы совпадает с многочисленными линиями метилформиата ( $\text{CH}_3\text{OCHO}$ ).

# G9.62+0.20

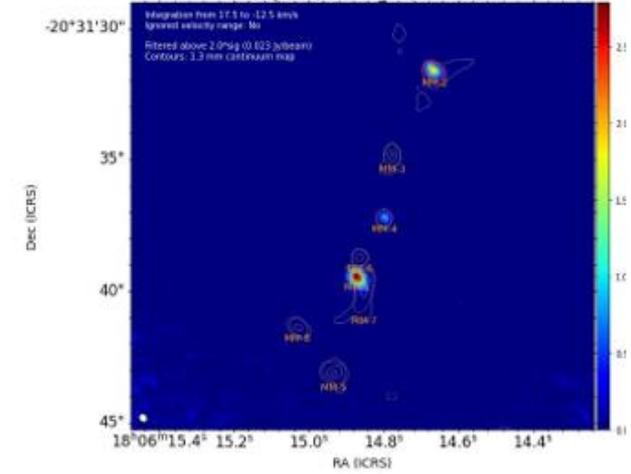
G9.62p0.20, CH3CN 6.6, Moment 0



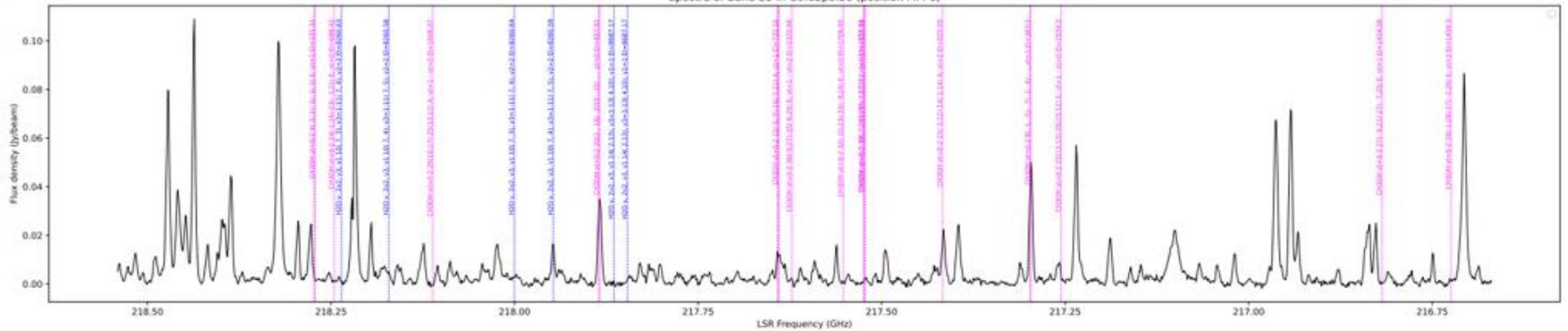
G9.62p0.20, CH3CN 7.7, Moment 0



G9.62p0.20, CH3CN 8.8, Moment 0



Spectra of Band 25 in G9.62p0.20 (position MM-1)



Spectra of Band 27 in G9.62p0.20 (position MM-1)

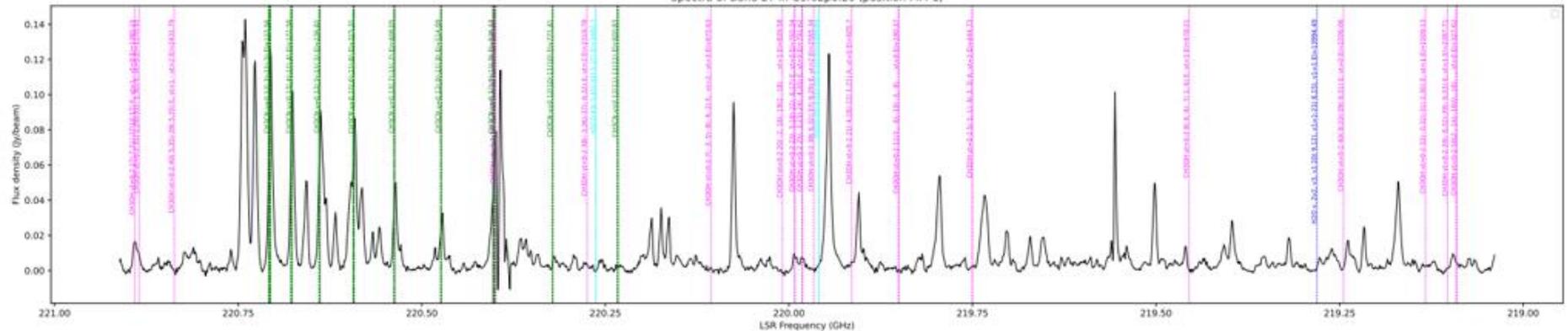


Таблица 1. Информация о наличии высоковозбужденных линий метилцианида ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) и метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) в рассматриваемой выборке источников.

Источник	MM-	$\text{CH}_3\text{CN}$			$\text{CH}_3\text{OH}$	Name	MM-	$\text{CH}_3\text{CN}$			$\text{CH}_3\text{OH}$
		6_6	7_7	8_8	$E_L > 100 \text{ K}$			6_6	7_7	8_8	$E_L > 100 \text{ K}$
G9.62p0.20	1	Y	Y	Y	Y	G320.23-0.29	1	Y	Y	Y	Y
	2	Y	Y	Y	Y	G323.77-0.21	1	N	N	N	N
	4	Y	Y	Y	Y	G328.24-0.55	1	Y	Y	Y	Y
G10.47p0.03	1	Y	Y	Y	Y		2	Y	Y	N	N
G12.68-0.18	1	Y	Y	Y	Y	G328.81p0.63	1	Y	Y	N	Y
G12.89p0.49	1	Y	Y	Y	Y		2	Y	N	N	N
G12.91-0.26	1	Y	Y	Y	Y		3	Y	Y	N	Y
G20.237p0.065	1	Y	N	N	N		4	Y	N	N	N
G21.407-0.254	1	Y	N	N	N		5	Y	Y	N	Y
G21.563-0.033	2	Y	N	N	N		6	N	N	N	N
G22.039p0.222	1	Y	Y	Y	Y		7	Y	Y	N	N
G22.335-0.155	1	N	N	N	N		8	Y	Y	N	Y
G22.357p0.066	1	Y	Y	Y	Y		9	N	N	N	N
G22.435-0.169	1	N	N	N	N		10	N	N	N	N
G23.010-0.411	1	Y	Y	Y	Y		11	Y	Y	N	Y
G23.207-0.378	1	Y	Y	Y	Y		12	N	N	N	N
G23.257-0.241	1	Y	N	N	N		13	N	N	N	N
G23.389p0.185	1	Y	Y	Y	Y		14	N	N	N	N
G29.863-0.044	1	Y	N	N	N		15	Y	N	N	N
G29.955-0.016	1	Y	Y	Y	Y		16	Y	Y	N	Y
G30.198-0.169	1	Y	N	N	N		17	Y	Y	Y	Y
G30.317p0.070	1	N	N	N	N	G331.13-0.24	1	Y	Y	Y	Y
G30.400-0.296	1	Y	N	N	N	G331.28-0.19	1	Y	Y	Y	Y

# Статистика излучения $\text{CH}_3\text{CN}$ в направлении на 206 компактных источников в 114 картах

- Из статистики следует отметить, что в целом излучение  $\text{CH}_3\text{CN}_{6.6}$  было зарегистрировано в направлении на 158 компактных источников, в то время как излучение  $\text{CH}_3\text{CN}_{3.3}$  имеется в направлении на 206 компактных источников.
- Из 158 источников, в которых имеется излучение  $\text{CH}_3\text{CN}_{6.6}$ , 121 компактный источник имеет излучение  $\text{CH}_3\text{CN}_{7.7}$ , а в  $\text{CH}_3\text{CN}_{8.8}$  излучает 95 компактных источников.
- Излучение высоковозбужденного ( $E_L > 100 \text{ K}$ ) метанола зарегистрировано в направлении на 118 компактных источников, при этом набор компактных источников, в которых светит метанол, несколько отличается от набора источников, в которых светит  $\text{CH}_3\text{CN}$ .
- В 94% компактных источников там, где светит метанол, светит так же линия  $\text{CH}_3\text{CN}_{7.7}$ . Для линии  $\text{CH}_3\text{CN}_{8.8}$  процент источников, в которых также излучает метанол – 88%, а для линии  $\text{CH}_3\text{CN}_{6.6}$  – 80%.

Молекула	Наименование линии	Частота линии FO, Гц	$E_L$ , K
$\text{CH}_3\text{CN}$	$J_K = 12_6-11_6$	220.5944231	315.31
	$J_K = 12_7-11_7$	220.5393235	408.05
	$J_K = 12_8-11_8$	220.4758072	514.99

# Статистика излучения $\text{CH}_3\text{CN}$ в направлении на 206 компактных источников в 114 картах

- Таким образом, можно предположить, что высоковозбужденный метанол образуется в таких физических условиях, при которых также излучает молекула  $\text{CH}_3\text{CN}_{7.7}$ , что может соответствовать фазе «горячее молекулярное ядро».
- Таким образом, линию  $\text{CH}_3\text{CN}_{7.7}$  можно использовать для первичной оценки источников, которые находятся в эволюционной стадии «горячее молекулярное ядро».

# Благодарности

Выражаю особенную благодарность людям, которые внесли существенный вклад или помогли своим участием или замечаниями при разработке системы и обработке данных:

- Соболеву А.М.
- Цивилёву А.П.
- Парфёнову С.Ю.
- Салий С.В.
- Шагабутдинову А.А.
- Юй Хунчжи

# Благодарность

А слушателей благодарю за  
внимание к данному докладу!