

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им.П.Н.ЛЕБЕДЕВА

На правах рукописи
УДК 520.8;524.7-8;524.82

Тюльбашев Сергей Анатольевич

**СВОЙСТВА КОМПАКТНЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В МЕТРОВОМ
ДИАПАЗОНЕ ВОЛН**

Специальность 01.03.02

астрофизика и звездная астрономия

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Филиале "Пушкинская радиоастрономическая обсерватория им. В.В.Виткевича АКЦ ФИАН" Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н.Лебедева РАН.

Официальные оппоненты:

Сильченко Ольга Касьяновна — доктор физико-математических наук, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ / г. Москва, заведующий отделом "Физика эмиссионных звезд и галактик";

Мингалиев Марат Габдуллович — доктор физико-математических наук, Специальная астрофизическая обсерватория РАН / пос. Нижний Архыз, заместитель директора;

Дугин Николай Александрович — доктор физико-математических наук, Научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ) / г. Нижний Новгород, заведующий отделом "Радиоастрономические исследования космических объектов и сред".

Ведущая организация:

Главная астрономическая обсерватория РАН, Пулковое, г. Санкт-Петербург.

Защита состоится "___" февраля 2015 г. в "___" часов "___" минут на заседании диссертационного совета Д002.023.01 Физического института им. П.Н.Лебедева РАН в конференц-зале Института космических исследований РАН (ИКИ РАН) по адресу: г.Москва, ул.Профсоюзная, д.84/32, ИКИ РАН, подъезд 2.

С текстами диссертации и автореферата можно ознакомиться на сайте <http://www.asc-lebedev.ru/> в разделе "Диссертационный совет" и в библиотеке ФИАН по адресу: г.Москва, Ленинский проспект, дом 53. Отзывы направлять по адресу: 119991, г.Москва, Ленинский проспект, дом 53, ФИАН (АКЦ), диссертационный совет Д002.023.01, с копиями в формате pdf — на dissovet@asc.rssi.ru.

Автореферат разослан "___" ноября 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

д.ф.-м.н.

Ю.А.Ковалев

Общая характеристика работы

Активные ядра галактик (АЯГ) — это источники, которые исследуются во всех диапазонах длин волн электромагнитного спектра. Если следовать общепринятым моделям источников, опубликованным в ряде обзоров Kellermann and Pauliny-Toth (1981), Antonucci (1993), Urry and Padovani (1995), то возникает следующая картина АЯГ. В центре находится ядро (по-видимому, массивная черная дыра), вокруг него вращается аккреционный диск (см. работу Shakura and Sunyaev (1973)). Частицы вещества из аккреционного диска, скорость которых недостаточна для вращения вокруг черной дыры, падают по направлению к ней. Механизм Блэндфорда-Знаека (Blandford and Znajek, 1977) позволяет объяснить как часть энергии падающих частиц конвертируется в энергию частиц улетающих от ядра. Выбросы релятивистских частиц происходят в направлении, перпендикулярном плоскости аккреционного диска и являются коллимированными. Т.е. разлет вещества идет в узком луче. Причины коллимации объясняются наличием магнитных полей и внешней средой (см. например, обзоры Ferrari (1998), Mirabel and Rodriguez (1999) и ссылки в них). В этой общей картине много белых пятен. Некоторые из этих пятен рассмотрены в диссертации.

Компактные радиоисточники, видимые в радиоинтерферометрических наблюдениях на сверхдлинных базах (РСДБ наблюдениях), представляют собой отдельные детали источника. Это могут быть ядра, джеты, горячие пятна в радиооблаках. Зачастую из отдельных наблюдений невозможно понять, что именно наблюдается в данном источнике. Поэтому нужны наблюдения на многих частотах, что позволяет выявить структуру источника и определить точные угловые размеры компактных деталей. В случае многочастотных наблюдений можно строить спектры отдельных деталей. Как правило, спектры РСДБ ядер более плоские,

чем спектры других деталей в этом же источнике, а угловые размеры самые маленькие из всех видимых деталей. Низкочастотный завал в спектре РСДБ ядер приходится на более высокие частоты, чем в других деталях. Компактные детали в джетах часто имеют крутые спектры, завал в спектре приходится на более низкие частоты, чем у РСДБ ядер, угловые размеры у них больше, чем у РСДБ ядер. Горячие пятна — это уже, скорее, объект VLA наблюдений, т.к. размеры их могут достигать нескольких секунд. Спектры горячих пятен крутые. Подробнее информацию по морфологии источников, их составным частям и спектрам отдельных деталей можно посмотреть в обзоре Miley (1980).

В реальных наблюдениях не видно черной дыры и ее непосредственных окрестностей. Говоря о наблюдениях ядра, радиоастрономы негласно подразумевают наблюдения РСДБ ядра (детали см. в работе Blandford and Königl (1979)).

До начала исследования АЯГ интерферометрическими методами необходимо показать, что в исследуемом источнике действительно присутствует АЯГ. Из наблюдений в радиоконтинууме о наличии АЯГ в источнике можно судить по нескольким признакам. Во-первых, зачастую переменность источников свидетельствует о том, что в источнике есть компоненты, линейные размеры которых очень малы (см., например, Wagner and Witzel (1995), Novatta et al. (1998)). При этом чем большая часть энергии содержится в компактной компоненте, тем легче это увидеть в кривых блеска. Во-вторых, ядра АЯГ обычно имеют плоские спектры, а компоненты джета и пятна имеют крутые спектры. Поэтому общий интегральный спектр может иметь особенности: крутой спектр на низких частотах и уплощающийся на высоких частотах. Одновременные многочастотные наблюдения лучше всего выявляют такие интегральные спектры (см., например, Kovalev et al. (1999)). В третьих, если в источнике есть компактные детали, то в наличии АЯГ можно убедиться по наблюдениям мерцаний радиоисточника на межпланетной плазме или межзвездной плазме.

После обнаружения АЯГ начинается его исследование. На высоких (выше 1 ГГц) частотах наблюдения компактных радиоисточников проводятся интерферометрическими методами. В то же время на более низких частотах нет устой-

чиво работающих интерферометров и поэтому приходится использовать другие методы.

В частности метод межпланетных мерцаний позволяет наблюдать компактные радиоисточники в метровом диапазоне длин волн. Исторически сложилось, что большая часть всех наблюдений методом межпланетных мерцаний проводятся для исследований межпланетной плазмы. Наблюдаемый индекс мерцаний компактных радиоисточников, излучение которых проходит через солнечную плазму, меняется в зависимости от состояния этой плазмы. Фактически АЯГ является источником, наблюдаемое излучение которого зависит от множества причин. Это и угловое расстояние между Солнцем и источником, и угловые размеры источника, и степень турбулентности плазмы, и состояние межпланетной плазмы из-за выбросов корональной массы и т.д.. В силу этих причин оценка плотности потока компактной компоненты источника зачастую отягощена нашим незнанием параметров солнечной плазмы.

В тоже время существует масса наблюдений, которые в целом определяют некие средние свойства межпланетной плазмы. Поэтому предполагая, что известны параметры межпланетной плазмы и проводя многократные наблюдения источников с последующими усреднениями, можно оценить флуктуации плотности потока компактной компоненты и восстановить ее плотность потока при известных угловых размерах (см., например, диссертацию на соискание степени д.ф.-м.н. В.С. Артюха (Артюх 1991)).

Наблюдения в метровом диапазоне длин волн отягощены также и тем, что размер диаграммы направленности антенн, которые используются в метровом диапазоне длин волн, велик, что приводит к низкой координатной точности. Уменьшение размера диаграммы направленности при фиксированной частоте наблюдений возможно лишь за счет увеличения общего размера антенны (что приводит к уменьшению диаграммы направленности и к увеличению чувствительности инструмента).

Большая часть работ, на основе которых написана данная диссертация, сделана по наблюдениям на антенне БСА ФИАН, являющейся крупнейшим (и самым

чувствительным) в мире инструментом в метровом диапазоне длин волн. В силу высокой чувствительности инструмента появляется возможность постановки задач, которые не могут быть решены ни на одном другом инструменте в мире. Например, самые слабые компактные радиоисточники, наблюдаемые на БСА ФИАН в континууме, имеют плотность потока в компактной компоненте на частоте ~ 100 МГц порядка 100 мЯн. Если спектр этого компактного радиоисточника крутой, то его плотность потока на частоте 1.5 ГГц может быть порядка 10 мЯн. Больших выборок таких слабых компактных источников на высоких частотах не существует, а на низких частотах специальных исследований столь слабых компактных источников ранее не проводилось.

Имеются принципиально разные подходы при исследовании источников в радиодиапазоне. Например: выборки источников формируются исходя из типа источника (квазар, радиогалактика, сейфертовская галактика и т.д.), исходя из полноты выборки на какой-либо частоте, исходя из каких-либо внешних особенностей спектра (например источники с плоскими спектрами, источники с пиком спектра на гигагерцах и др.).

Исходя из главного объекта исследований в настоящей диссертации — активных ядер галактик, проведено исследование свойств источников в полных выборках, рассмотрены свойства источников наблюдаемых на низких частотах в выборках сделанных по наблюдениям на высоких частотах.

С целью дополнительного исследования источников была сделана попытка оценить их физические параметры с использованием различных моделей.

Актуальность темы обусловлена тем, что компактные компоненты объектов большей части взятых нами выборок источников ранее в метровом диапазоне длин волн не исследовались, полных обзоров компактных радиоисточников не существовало. Это позволяло надеяться на новые результаты как в физике АЯГ, так и в их эволюции.

Цели и задачи исследования:

- Исследование космологической эволюции АЯГ.
- Изучение свойств источников разных выборок: компактных источников с крутыми спектрами, сильных источников с пиком спектра на гигагерцах, источников, в излучении которых доминирует компактная компонента, источников с плоскими спектрами, источников из полной выборки, отобранных по наблюдениям в метровом диапазоне длин волн, источников из полной выборки, отобранных по наблюдениям в сантиметровом диапазоне длин волн, гигантских радиогалактик, компактных симметричных источников, источников со вспышкой звездообразования.
- Анализ наблюдаемых свойств источников по наблюдениям гало и компактной компоненты.
- Исследование применимости моделей, на основе которых оцениваются физические параметры.
- Разработка способа оценки меры сверхбольших Фарадеевский вращений.
- Разработка способа оценки расстояний до внегалактических радиоисточников на основе оценок физических параметров.

Научная новизна и степень новизны в работе:

- Показано, что космологическая эволюция компактных (мерцающих) и протяженных радиоисточников различается.
- Даны оценки плотности потока для более чем 700 компактных компонент радиоисточников. Для большей части этих радиоисточников оценки даны на самой низкой частоте наблюдений и впервые.
- Впервые показано, что спектры компактных компонент у источников, отобранных по наблюдениям методом межпланетных мерцаний, являются крутыми, а сами источники отождествляются в большей части с квазарами.
- Показана ограниченная работоспособность модели основанной на аналитическом решении уравнений переноса излучения для источников, имеющих завалы, связанные с синхротронным самопоглощением излучения. Рассмотрены ограничения модели.
- Рассмотрен вклад компактной компоненты и гало в интегральную плотность потока для источников с пиком спектра на гигагерцах и компактных симметричных источников (CSO). Для CSO источников такая работа была выполнена впервые.
- Показано, что коэффициент асимметрии мерцаний с точностью до численного коэффициента равен индексу мерцаний радиоисточника, нормированному на плотность потока мерцающей компоненты источника. Если мерцания происходят на межзвездной плазме, коэффициент асимметрии позволяет отделить собственную переменность от переменности, вызванной мерцаниями.

Научная и практическая значимость исследований

Разработанные методики обработки наблюдений применимы при проведении обзоров неба. Эти методики обработки уже используются при практической реализации программы "Космическая Погода", для более точного предсказания времени прихода на Землю выбросов корональной массы.

Свойства источников наблюдавшихся выборок должны учитываться при построении физических моделей АЯГ.

Апробация работы

Результаты и положения выносимые на защиту обсуждались на конференциях:

1. XXVIIIth Young European Radio Astronomers Conference (YERAC-1995) (18-21.09.1995, Kapteyn Institute, Groningen, Netherlands).
2. XXIX YEARAC-1996 (Hosted by the Istituto di radioastronomia del cnr di Bologna, Riccione, 23-26.09.1996).
3. XXVII Радиоастрономическая конференция: Проблемы современной радиоастрономии. 1998. Санкт-Петербург, Россия
4. Школа семинар молодых радиоастрономов: Радиоастрономия в космосе. 14-16.04.1998, Пушино, Россия
5. XV конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии", Пушино, Россия, 26-29.05.1998
6. Школа семинар молодых радиоастрономов: Сверхвысокое угловое разрешение в радиоастрономии. Пушино, Россия, 9-11.06.1999
7. IAU Symposium 199, Puna, India. 1999г.
8. Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM-2000); 29.05-03.06.2000, Moscow, Russia.
9. Школа семинар молодых радиоастрономов: Радиоастрономия на пороге XXI века — успехи и перспективы. 9-11.04.2000, Пушино, Россия
10. Школа-семинар молодых радиоастрономов: Техника и методы радиоастрономических исследований. 6-8.10.2002, Пушино, Россия
11. Всероссийская астрономическая конференция "Горизонты Вселенной". (ВАК-2004, 3-10.06.2004, Москва, Россия)
12. XXI Конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" 26-29.04.2004, Пушино, Россия

13. XXII Конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии". 16-18.07.2005, Пущино, Россия
14. International colloquium "Scattering and scintillation in radioastronomy". 19-23.06.2006, Pushchino, Russia
15. XXIII Конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии". 25-27.04.2006, Пущино, Россия
16. Труды всероссийской астрономической конференции ВАК-2007 (Казань, Россия)
17. XXIV Конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии". 24-26.04.2007, Пущино, Россия
18. The X Finnish-Russian Radio Astronomy Symposium. 1-5.09.2008, Orilampi, Finland
19. XXV Конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" 22-24.04.2008, Пущино, Россия
20. XXVI конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" 21-23.04.2009, Пущино, Россия
21. XXVII конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии". 19-21.04.2011, Пущино, Россия
22. XXIX конференция "Актуальные проблемы внегалактической астрономии" 17-19.04.2012, Пущино, Россия

Результаты также представлялись на ежегодных отчетных сессиях АКЦ ФИАН с 1994 года, семинарах ПРАО АКЦ ФИАН и семинарах АКЦ ФИАН.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка литературы (350 наименований на 14 страницах) и Приложения (на 35 страницах). Диссертация содержит 34 рисунка и 19 таблиц (из них 3 в Приложении). Общий объем диссертации — 245 страниц.

Содержание работы

Во **Введении** обсуждается актуальность исследования компактных радиоисточников в метровом диапазоне длин волн. Дано краткое содержание диссертационной работы, выделены поставленные цели и задачи работы. Отмечена новизна научных результатов, приведены положения вынесенные на защиту, указан личный вклад автора и публикации, на основе которых написана диссертационная работа.

В **Первой главе** рассмотрены две разных методики поиска мерцающих радиоисточников и способы оценки флуктуаций плотности потока в компактных деталях и, затем, оценки плотности потока. Приведен способ использования индекса асимметрии для извлечения угловых размеров компонент, разделения переменной плотности потока на собственную переменность и флуктуаций плотности потока связанной с мерцаниями. Рассмотрена точность получаемых оценок из-за влияния помех и ионосферных мерцаний.

Во **Второй главе** приведены наблюдения методом межпланетных мерцаний ряда выборок: компактных источников с крутыми спектрами, источников с пиком спектра на гигагерцах, компактных симметричных источников, источников, излучение которых на высоких частотах определяется ядром, источников с плоскими спектрами, источников выборки Пирсона-Редхида, гигантских радиогалактик, источников со вспышкой звездообразования. В Приложении к диссертации приведен сводный каталог с оценками плотностей потоков компактных компонент наблюдавшихся источников. Для большей части источников наблюдения компактных компонент на метровых волнах проведены впервые.

В **Третьей главе** говорится об обзоре методом межпланетных мерцаний двух площадок на небе, имеющих минимальную температуру фона в направлении пло-

щадок. Приведены кривые подсчета мерцающих радиоисточников, вид которых оказался отличен от кривых подсчета, построенных с использованием интегральных плотностей потока на близкой частоте по этим же площадкам. Было предположено, что эта разница вызвана тем, что в нашем обзоре наблюдались лишь компактные радиоисточники (ядра АЯГ), а в 7С обзоре наблюдались протяженные объекты у которых лишь незначительная часть содержит компактные детали, которые можно обнаружить методом мерцаний. Исходя из этой гипотезы проведено комплексное исследование источников в площадках и всевозможных причин, которые могли бы повлиять на вид формы кривой подсчета:

- а) проведен анализ спектров наблюдаемых источников;
- б) найдены кандидаты для оптического отождествления;
- в) рассмотрена природа неотожествленных в других каталогах радиоисточников;
- г) проведен анализ возможного влияния неполноты обзора, эффекта путаницы, эффекта поглощения радиоизлучения для компактных источников, эффекта рассеяния радиоизлучения, эффекта путаницы мерцающих источников, эффекта гравитационного линзирования, геометрических эффектов, возможных погрешностей при проведении обзора на возможное изменение формы кривой подсчета.

В Приложении приведен каталог наблюдавшихся источников. Для большей части источников компактные компоненты обнаружены впервые.

В **Четвертой главе** рассмотрены источники, имеющие завалы в спектрах компактных компонент. Показано, что эти завалы вызваны в некоторых случаях тепловым поглощением, а в большей части случаев синхротронным самопоглощением.

Приведены оценки плотности тепловых электронов для источников завал, в спектре которых вызван тепловым поглощением.

Приведены оценки физических параметров, полученные на основе модели синхротронного источника, имеющего однородное распределение магнитного поля и релятивистских частиц.

Приведены оценки физических параметров для нескольких источников, полу-

ченые на основе модели источника, с неоднородным распределением магнитного поля и релятивистских частиц. Сделан анализ полученных зависимостей.

Рассмотрен способ косвенной оценки правильности получаемых оценок магнитного поля посредством наблюдений сверхбольших Фарадеевских вращений.

Рассмотрен способ оценки расстояний до внегалактических источников с использованием оценок энергии в компактных деталях радиоисточников, находящихся во внегалактическом пространстве.

Пятая глава посвящена исследованию гало компактных радиоисточников. Проведено сравнение полных выборок отобранных по наблюдениям в метровом и сантиметровом диапазонах длин волн. Исследован вклад гало в интегральную плотность потока у источников с пиком спектра на гигагерцах и у компактных симметричных источников.

В **Заключении** перечислены основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Основные результаты, выносимые на защиту (выводы):

1. По наблюдениям в метровом диапазоне длин волн методом межпланетных мерцаний показано, что космологическая эволюция квазаров с крутыми спектрами отличается от космологической эволюции радиогалактик. Показано, что завал подсчета компактных радиоисточников в области малых плотностей потока вероятнее всего связан с рождением квазаров и началом эпохи квазаров.
2. Свойства компактных радиоисточников, отобранных в выборке по наблюдениям в метровом диапазоне длин волн и компактных радиоисточников, отобранных в выборках по наблюдениям в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн, различаются.

Источники, отобранные по наблюдениям методом межпланетных мерцаний, имеют крутые спектры компактных компонент, их компактность (статистически) растет с уменьшением наблюдаемой плотности потока. Типичные плотности потока, наблюдаемых в ходе обзора компактных радиоисточников,

меньше 1 Ян на частоте наблюдений 102.5 МГц . Показано, что большая часть наблюдавшихся источников является квазарами с крутыми спектрами.

Компактность источников, обнаруженных по наблюдениям методом межпланетных мерцаний различается: в подавляющей части источников с крутыми спектрами (75%) обнаруживается либо уплощение, либо завал спектра компактной компоненты на низких частотах; в выборках источников с плоскими спектрами, Пирсона-Редхида и источников, излучение которых определяется ядром, компактные компоненты обнаружены примерно у трети наблюдавшихся источников; в выборках источников с пиком спектра на гигагерцах и компактных симметричных источников компактные компоненты обнаружены примерно у 10% всех наблюдавшихся источников. Заметим, что перечисленные выше выборки в первую очередь характеризуются сильными компактными компонентами, которые при отсутствии завалов в спектрах должны обнаруживаться в наблюдениях на метровых волнах.

3. Построены интегральные спектры большей части радиоисточников наблюдавшихся в обзоре, сделанном методом межпланетных мерцаний. Показано, что средний вклад гало составляет 65%, а вклад компактной компоненты 35% от интегральной плотности потока.

Исследование источников с пиком спектра на гигагерцах и компактных симметричных источников показывает, что до 80% наблюдавшихся источников может иметь гало, которое не обнаруживалось по наблюдениям на высоких частотах.

4. В некоторых спектрах компактных компонент, наблюдавшихся в выборках источников, обнаружены завалы. Рассмотрены возможные механизмы завалов спектра. Показано, что для части этих компактных компонент источников завал в спектре лучше всего объясняется тепловым механизмом, а для части компонент завал в спектре вызван синхротронным самопоглощением. Сделаны оценки физических параметров для источников, у которых завал в спектре компактных компонент вызван синхротронным самопоглощением. Оценки физических параметров были сделаны с использованием двух моде-

лей, основанных на уравнении переноса излучения.

Показано, что в модели синхротронного источника с однородным распределением магнитного поля и релятивистских частиц имеются трудности с интерпретацией оценок физических параметров.

5. Показано, что оценки физических параметров внутри облаков радиогалактик и физических параметров во внегалактической среде дают принципиальную возможность оценки расстояний до этих радиогалактик без использования каких-либо спектральных наблюдений.
6. Получены сводные каталоги по наблюдениям компактных радиоисточников. Для подавляющей части из более чем 700 радиоисточников наблюдения компактных компонент в метровом диапазоне проведены впервые. Примерно в половине всех наблюдавшихся источников компактные компоненты обнаружены впервые.

Список публикаций по теме Диссертации:

1. Артюх В.С., Оганнисян М.А., Тюльбашев С.А. Наблюдения радиогалактик NGC 315 и 3С 219 на частоте 102 МГц, Письма в Астрономический журнал, 1994, том.20, № 3, стр.178-183
2. Артюх В.С., Оганнисян М.А., Тюльбашев С.А., Наблюдения радиогалактики 3С 31 на частоте 102 МГц, Письма в Астрономический журнал, 1994г., том.20, № 4, стр.258-262
3. Артюх В.С., Засов А.В., Тюльбашев С.А., Наблюдения инфракрасных галактик сверхвысокой светимости, Письма в Астрономический журнал, 1995г., том.21, стр.723-729
4. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Обработка наблюдений обзора мерцающих радиоисточников, Астрономический журнал, 1996г., том.73, № 5, стр.669-676
5. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Исследование космологической эволюции компактных радиоисточников по наблюдениям на 102 МГц, Астрономический журнал 1996г., том.73, № 5, стр.661-668

6. Тюльбашев С.А., Анализ компактных радиоисточников по наблюдениям на 102 МГц, *Астрономический журнал*, 1997г., том.74, № 6, стр.812-823
7. Исаев Е.А., Лапаев К.А., Тюльбашев С.А., Галат Е.В., Автоматизированный комплекс обзора мерцающих источников, *Известия высших учебных заведений. Радиофизика*. 1997г., том.XL, № 5, стр.594-597
8. Zasov A.B., Artyukh V.S., Tyul'bashev S.A., Low Frequency Radio Emission and Star Formation in the Nuclei of Infrared Galaxies, *Astrophysics and Space Science*, 1997г., том.252, № 1/2, стр.107-114
9. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Особенность космологической эволюции квазаров с крутыми спектрами, *Астрономический журнал*, 1998г., том.75, №5, стр.655-657
10. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Исаев Е.А., Исследование космологической эволюции компактных радиоисточников по наблюдениям на 102 МГц, *Астрономический журнал*, 1998г., том.75, № 3, стр.323-333
11. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Черников П.А., Исследование компактных радиоисточников с крутыми спектрами методом межпланетных мерцаний на 102 МГц, *Астрономический журнал*, 1999г., том.76, №1, стр.3-16
12. Тюльбашев С.А., Малов О.И., Исследование слабых компактных радиоисточников, *Астрономический журнал*, 2000г., том.77, № 10, стр.737-742
13. Тюльбашев С.А., Черников П.А., Физические условия в компактных радиоисточниках с крутыми спектрами, *Астрономический журнал* 2000г., том.77, № 5, стр.331-344
14. Тюльбашев С.А., Физические условия в слабых GPS источниках, *Астрономический журнал*, 2001г., том.78, № 6, стр.498-504
15. Tyul'bashev S.A., Chernikov P.A., Properties of CSS radio sources from 102 MHz interplanetary scintillation observations, *Astronomy and Astrophysics*, 2001г., том.373, стр.381-393

16. Tyul'bashev S.A., Magnetic fields around AGNs at large and small scales, *Astronomy and Astrophysics*, 2002г., том.387, стр.818-820
17. Тюльбашев С.А., Способ определения красных смещений по радиоданным, *Астрономический журнал* 2003г., том.80, № 2, стр.99-106
18. Тюльбашев С.А., Черников П.А., Относительное изменение физических параметров внегалактических радиоисточников с переменным излучением, *Астрономический журнал*, 2004г., том.81, № 9, стр.789-796
19. Шишов В.И., Тюльбашев С.А., Артюх В.С., Субаев И.А., Чашей И.В., Черников П.А., Коэффициент асимметрии межпланетных мерцаний радиоисточников, *Астрономический вестник*, 2005г., том.39, № 3, стр.375-380
20. Тюльбашев С.А., Исследование физических параметров нескольких внегалактических радиоисточников с быстрой переменностью, *Астрономический журнал*, 2005г., том.82, № 12, стр.1081-1086
21. Tyul'bashev S.A., Augusto P., Investigation of flat spectrum radio sources by the interplanetary scintillation method at 111 MHz, *Astronomy and Astrophysics*, 2005г., том.439, № 3, стр.963-972
22. Шишов В.И., Смирнова Т.В., Тюльбашев С.А., Коэффициент асимметрии межзвездных мерцаний внегалактических радиоисточников, *Астрономический журнал*, 2005г., том.82, № 3, стр.281-288
23. Чашей И.В., Шишов В.И., Власов В.И., Тюльбашев С.А., Субаев И.А., Шутенков В.Р., Проявления солнечной активности в межпланетных и ионосферных мерцаниях, *Известия РАН. Серия физическая*. 2006г., том.70, № 10, стр.1542-1544
24. Черников П.А., Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Лапаев К.А., Исследование физических условий в активных ядрах галактик, физические условия в ядрах двух близких радиогалактик, *Астрономический журнал*, 2006г., том.83, № 3, стр.233-240

25. Smirnova T.V., Shishov V.I., Sieber W., Stinebring D.R., Malofeev V.M., Potapov V.A., Tyul'bashev S.A., Jessner A., Wielebinski R., The interstellar turbulent plasma spectrum in the direction to PSR B1642-03 from multi-frequency observations of interstellar scintillation, *Astronomy and Astrophysics*, 2006, том.455, стр.195-201
26. Tyul'bashev S.A., Physical conditions in compact details of core-dominated sources, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 2007г., том.26, № 6, стр.663-669
27. Shishov V.I., Tyul'bashev S.A., Subaev I.A., Chashei I.V., Monitoring of interplanetary and ionosphere scintillations at frequency 110MHz, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 2007г., том.26, № 6, стр.677-681
28. Шишов В.И., Тюльбашев С.А., Субаев И.А., Чашей И.В., Наблюдения межпланетных и ионосферных мерцаний ансамбля радиисточников в режиме мониторинга, *Астрономический вестник* 2008г., том.42, № 4, стр.363-372
29. Artyukh V.S., Chernikov P.A., Tyul'bashev S.A., Synchrotron self-absorption in the GPS radio galaxy B0108+388, *Astronomy and Astrophysics*, 2008г., том.486, № 3, стр.735-739
30. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Черников П.А., Магнитные поля и плотность релятивистских электронов в ядре NGC 1052, *Астрономический журнал*, 2009г., том.86, № 11, стр.1062-1068
31. Тюльбашев С.А., Исследование компактных радиисточников методом межпланетных мерцаний на частоте 111 МГц. Компактные симметричные источники, *Астрономический журнал*, 2009г., том.86, № 4, стр.354-360
32. Тюльбашев С.А., Черников П.А., Исследование компактных радиисточников методом межпланетных мерцаний на частоте 111 МГц. Сильные источники с пиком спектра на гигагерцах, *Астрономический журнал*, 2009г., том.86, № 4, стр.345-353
33. Тюльбашев С.А., Исследование компактных радиисточников методом меж-

планетных мерцаний на частоте 111 МГц. Выборка Пирсона-Редхида, *Астрономический журнал*, 2009г., том.86, № 1, стр.35-43

34. Тюльбашев С.А., Исследование компактных радиоисточников методом межпланетных мерцаний на частоте 111 МГц. Источники с сильными ядрами, *Астрономический журнал*, 2009г., том.86, № 1, стр.23-34
35. Shishov V.I., Tyul'bashev S.A., Chashei I.V., Subaev I.A., Lapaev K.A., Interplanetary and ionosphere scintillation monitoring of radio source ensemble at the solar activity minimum, *Solar Physics*, 2010г., том.265, № 1-2, стр.277-291
36. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Черников П.А., Физические условия в горячих пятнах радиогалактики Лебедь А, *Астрономический журнал*, 2012г., том.89, № 9, стр.754-760
37. Тюльбашев С.А., Определение больших мер вращения с помощью многоканальных спектрографов, Препринт ФИАН 2012г., № 12, стр. 1-14
38. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Черников П.А., Физические условия в ядре квазара 3C 273 на парсековом масштабе, *Астрономический журнал*, 2012г., том.89, № 7, стр.539-544
39. Артюх В.С., Тюльбашев С.А., Черников П.А., Радиоисточники СТА 21 и OF+247 - горячие пятна радиогалактик, *Астрономический журнал*, 2013г., том.90, № 6, стр.466-471

29 из 39 статей по теме диссертации опубликованы в российских журналах из списка ВАК, 9 статей опубликовано в ведущих западных и российских журналах издаваемых на английском языке, 1 работа опубликована в виде препринта ФИАН.

Личный вклад автора

Работы 6,14,16,17,20,26,31,33,34,37 из предыдущего параграфа со списком публикаций по теме Диссертации написаны без соавторов.

В работах 12,13,15,18,21,32 автору принадлежит идея работы. Автором проведены наблюдения и сделана их обработка там, где проводились наблюдения.

Совместно с соавторами проведено обсуждение полученных результатов и сделана их интерпретация. За автором также было и написание статьи.

В оставшихся работах вклад соавторов примерно равен вкладу автора. Автор, как правило, отвечал за подготовку и проведение наблюдений, обработку наблюдений, а также участвовал в обсуждении и интерпретации полученных результатов.

Личный вклад автора по выносимым на защиту результатам является определяющим.

Список литературы

1. Kellermann K.I., Pauliny-Toth I.I.K., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1981, **19**, 373
2. Antonucci R., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1993, **31**, 473
3. Urry C.M., Padovani P., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1995, **107**, 803
4. Shakura N.I., Sunyaev R.A., *Astronomy and Astrophysics*, 1973, **24**, 337
5. Blandford R.D., Znajek R.L., *Monthly Notices of Royal Astronomical Society*, 1977, **179**, 433
6. Ferrari A., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1998, **36**, 539
7. Mirabel I.F., Rodríguez L.F., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1999, **37**, 409
8. Miley G., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1980, **18**, 165
9. Blandford R.D., Königl A., *Astrophysical Journal*, 1979, **232**, 34
10. Wagner S.J., Witzel A., *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 1995, **33**, 163
11. Hovatta T., Nieppola E., Tornikoski M., et al., *Astronomy and Astrophysics*, 2008, **485**, 51

12. Kovalev Y.Y., Nizhelsky N.A., Kovalev Yu.A., et al., *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 1999, **139**, 545
13. Артюх В.С., "Исследование галактик и их ядер методом межпланетных мерцаний", диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук, 1991