



Идут измерения.

Горизонты

Надежда ВОЛЧКОВА

# В погоне за прозрачностью

Ученые подбирают место для уникального радиотелескопа



Вячеслав ВДОВИН,  
главный научный сотрудник ИПФ РАН,  
ведущий научный сотрудник АКЦ ФИАН

► Пока большая часть населения страны расслаблялась на «ковидных каникулах», сотрудники шестнадцати академических учреждений - Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Комплексного НИИ РАН (Чеченская Республика), Специальной астрофизической обсерватории (САО) РАН (Карачаево-Черкесия), Владикавказского научного центра РАН (при участии НПО «Геонжининг»), Астрономического центра (АКЦ) ФИАН им. П.Л. Лебедева (Москва) и Института прикладной физики (ИПФ) РАН (Нижний Новгород) - штурмовали горные массивы Северного Кавказа. Целью экспедиции, являвшейся продолжением начатых еще летом изысканий, было изучение микроволнового астроклимата для возможного размещения в этих краях первой в России антенны субтерагерцового (СубТГц) диапазона, которую предполагается использовать в радиоастрономии, радиолокации космических объектов, для обеспечения дальней космической связи.

Удалось ли выбрать место для уникального инструмента? Каким он будет? Об этом «Поиску» рассказал руководитель серии экспедиций главный научный сотрудник ИПФ РАН и ведущий научный сотрудник АКЦ ФИАН Вячеслав ВДОВИН.

- Вячеслав Федорович, чем обогатит арсенал российских астрономов радиотелескоп субтерагерцового диапазона?

- Инструмент предназначен для исследований электромагнитного излучения Вселенной в диапазоне частот 0,1-1 ТГц (или длин волн 3-0,3 мм). Это направление сегодня входит в число бурно развивающихся. СубТГц-частоты объединяют преимущества сверхвысокочастотных радиосигналов и оптики на ее дальнем инфракрасном участке, что позволяет применять технологии и электроники, и фотоники. Умело манипулируя методами, можно использовать преимущества одного метода и избегать недостатков другого.

С помощью СубТГц-инструментов собирают данные для моделирования первых мгновений после Большого взрыва и терминальных фаз эволюции звезд - черных дыр, которые могут оказаться «кротовыми норами», - окнами в чужие Вселенные. А еще ищут в космосе черные дыры, астероиды, космический мусор. Как известно, огромные масштабы распространения последнего уже грозят ограничить космическую активность в околоземном пространстве.

СубТГц-приборы как нельзя лучше подходят для решения задач в сфере перспективных мобильных телекоммуникаций (6 и даже 7G), а также дальней космической связи, например, с марсианскими миссиями.

В общем, необходимость создания в России наземного телескопа для астрономов и станции дальней космической связи на СубТГц-волнах назрела.

- А в других странах такие приборы есть?

- Конечно. Астрономы вот уже тридцать лет активно осваивают этот диапазон. Десятки таких радиотелескопов работают по всему миру - от Гренландии до Южного полюса. Действует ряд международных программ. Например, ALMA, Atacama Large Millimeter Array (Атакамская большая антенная решетка миллиметрового диапазона) - комплекс из нескольких десятков телескопов, работающих в чилийской пустыне. Попытки России войти в ALMA пока не увенчались успехом - нет средств на вступительный взнос.

Впрочем, надо сказать, что сосредоточение антенн в одном месте не самый оптимальный вариант. Более правильный подход реализуют создатели сети, называемой радиоинтерферометром со сверхдлинной базой (РСДБ), и, в частности, его последней СубТГц-версии «Телескоп горизонта событий» (ТГС). В рамках этого международного проекта одновременно и слаженно работает десяток разбросанных по всему миру инструментов, создавая единый виртуальный телескоп размером с земной шар.

Можно пойти еще дальше, выведя телескопы в космос, желаясь на далекую орбиту, например в точку Лагранжа L2 в полукруге миллионных километров от Земли. Такой проект «Миллиметр» сейчас ведут Роскосмос и АКЦ ФИАН, тем самым воплощая в жизнь давнюю задумку академика Николая Кардашева.

Сеть ТГС приглашает новых участников. «Белое пятно» в северной Евразии - слишком большая прореха в создаваемой базе.

- Россия готова войти в этот проект?

- Такие планы есть. Их предполагается реализовывать как в рамках академической программы развития СубТГц-астрономии (за счет средств Минобрнауки на создание и обслуживание особо ценного оборудования), так и в ходе выполнения российско-узбекского проекта по созданию международной радиоастрономической обсерватории на высокогорном плато Суффа.

Средств, заложенных министерством, хватит только на создание и установку сравнительно небольшого - 12-15 метров в диаметре - инструмента, способного работать в диапазоне длин волн вплоть до 0,8 мм - наиболее интересном на сегодня для астрономов и телекоммуникационщиков.

В проекте «Суффа» дела с ресурсами обстоят лучше. Основной инструмент там - очень большое 70-метровое зеркало, которое будет постепенно доводиться до предельных параметров качества. На мой взгляд, лет за десять

его удастся «дотянуть» разве что до длинноволновой границы СубТГц-волн (3 мм). Наши исследования атмосферы на Суффе показали, что пытаться двигаться дальше не имеет смысла. Небольшая высота плато и значительная влажность на базовой площадке позволяют эффективно вести наблюдения на волне 0,8 мм лишь несколько дней в году.

К счастью, нашлось другое замечательное решение. Плоскогогорье Суффа (2400 м над уровнем моря) окружено горы высотой более 3300 м. Нами была проведена экспедиция на одну из них - Акташтау - подтвердившая техническую возможность и достаточную прозрачность атмосферы для работы там зеркала малого диаметра (15-20 м) с СубТГц-качеством поверхности. Его можно поставить за 3-4 года. Этот шаг ввел бы «Суффу» в разряд полноправных участников действующего «Телескопа горизонта событий» на волне 1,3 мм и проектируемой сети ТГС на 0,8 мм.

Предполагается, в частности, дополнить главный инструмент «Суффы» двумя антеннами диаметром 15-20 м, одну из которых установить на узбекском плато, а вторую - на Кавказе. В итоге будет создан локальный радиоинтерферометр с вполне серьезной базой (более двух тысяч километров), на котором можно отработать ключевые технологии, необходимые для вхождения в ТГС и другие мировые РСДБ-сети.

Буквально на днях в АКЦ ФИАН состоялось рабочее совещание, участники которого одобрили эту идею и наметили план ее реализации.

- А разве Специальная астрофизическая обсерватория РАН в Карачаево-Черкесии с готовой инфраструктурой не подходит для размещения СубТГц-антенны?

- САО РАН действительно была бы оптимальным местом для такого телескопа в связи с наличием оборудования и квалифицированных кадров. Мы почти восемь лет изучали микроволновый астроклимат на ближайших

“  
В рамках международного проекта «Телескоп горизонта событий» одновременно и слаженно работает десяток разбросанных по всему миру инструментов, создавая единый виртуальный телескоп размером с земной шар.



На вершине Шалбуздага.

к обсерватории вершинах. Итог неутешителен: практически все исследованные площадки оказались малопригодными для СубТГц-наблюдений. Атмосфера западной части Северного Кавказа чересчур влажная: сказывается «дыхание» Черного моря (до него всего около 100 км) и довольно близкого Средиземноморья. Такая среда сильно поглощает микроволны. Перед нами стоит задача найти в стране место с самой высокой прозрачностью для них.

Научный руководитель CAO РАН и лидер развития субтергерцовой астрономии в России, вице-президент РАН академик Юрий Юрьевич Балега, хорошо знающий Кавказ, предложил присмотреться к восточной части региона. По метеорологическим данным количество осадков при смещении на восток существенно снижается. Хорошие перспективы обещают и спутниковые сведения о прозрачности атмосферы Восточного Кавказа. Однако это лишь косвенные данные. Для проверки высказанных предположений решено было провести натурные эксперименты - прямые измерения поглощения атмосферой СубТГц-волн непосредственно на площадках потенциального размещения антенн. Именно этому и была посвящена ноябрьская экспедиция.

**- Наконец-то мы до нее дошли. Что было сделано? Какие результаты получены?**

- Прежде всего я должен отметить, что исследования проводились в целях подготовки академической программы развития субтергерцовой астрономии при поддержке гранта РНФ 19-19-00499. Мощным стимулом активизировать работу стало объявленное Правительством России (распоряжение от 20.07.2021 года №2009-р) и подтвержденное протоколом от 27.10.2021 года №22 Российско-узбекитанской межправительственной комиссии решение об учреждении уже в текущем году международной радиообсерватории «Суффа».

Эти вопросы обсуждались на встрече президентов России и

Узбекистана 19 ноября и приуроченном к ней крупном форуме в Москве. Итоговые документы, по сведениям узбекитанской стороны, подписаны, начата подготовка дорожных карт реализации целого ряда проектов, в том числе «Суффы».

Теперь об экспедиционном процессе. Ранее решено было проверить безумную гипотезу о перспективности самой высокой точки западной части северного Кавказа горы Эльбрус. Безумную, потому что размещать телескоп на труднодоступной вершине горы, конечно, никто не будет. Но узнать об особенностях астроклимата было очень интересно. Для измерений

Данных было собрано много, в ИПФ РАН ведется их обработка. Но уже можно сказать, что гипотеза Ю.Балеги подтверждается. Для установки инструментов СубТГц-диапазона Восточный Кавказ намного перспективнее, чем Западный.

Инфраструктура на востоке неплохая, а с кадрами сложнее, хотя проблема вполне решаемая. Астрономов в Дагестанском и Владикавказском научных центрах пока нет, но физики и инженеры - самого высокого класса. Они, кстати, приняли участие в ноябрьской экспедиции и обеспечили ее успех. Если дело пойдет, CAO РАН с ее блестящими

GmbH, кто предложит лучшие условия для «Суффы». С ними готовы побороться и корейцы, и японцы.

Но мы надеемся и на возрождение собственных антенных технологий, которые поддерживались в СССР на достойном уровне. Хорошие перспективы у Группы компаний «Спецмонтаж» из Подольска. Кроме антенн нужны приемники. Тут Россия сохранила свой потенциал. Продуктивное сотрудничество специалистов ИПФ РАН и ИРЭ РАН, поддержанное промышленными партнерами из СКБ ИРЭ РАН (Фрязино) и ЗАО «Микран» (Томск), позволяет стране занимать позиции признанных в мире разра-

Астроклимат имеет сезонные вариации, поэтому мы старались по возможности быстро проводить измерения, чтобы выполнить их на разных точках в один сезон. Но чтобы сделать заключение, со ссылкой на которое будут выделяться сотни миллионов и даже миллиарды бюджетных рублей, необходимо изучить площадки более детально, лучше всего в годичном цикле.

В планах также модернизация аппаратуры для измерения астроклимата и создание новой. Использованный в экспедиции прибор имеет восьмилетний «стаж» работы в экстремальных условиях. Этот комплекс для измерения атмосферного поглощения, созданный в ИПФ РАН по заказу АКЦ ФИАН, отработал свое в Узбекистане и, завершив в июне измерения на склоне Акташтау, вернулся в Россию. После небольшого ремонта он уехал на Кавказ и верно послужил нам в ходе прошедшей экспедиции.

На нем велись измерения атмосферного поглощения в низкочастотных (с длиной волны 2 и 3 мм) СубТГц-окнах прозрачности атмосферы. Но нам требуются данные и в более высокочастотном участке спектра (1,3 и 0,8 мм), которые представляют особый интерес для астрономии и телекоммуникаций. До сих пор эти значения выводились путем экстраполяции. Умелцы из ИПФ РАН могут создать комплекс, способный измерять атмосферное поглощение во всем диапазоне СубТГц-частот.

Правда, нужно признать, что в России пока не нашлось мест, подобных Атакаме, где доступен весь СубТГц-диапазон. Окно прозрачности на 0,8 мм - пока предел того, что можно здесь обеспечить без выхода в космос или хотя бы подвешивания на воздушном шаре в стратосфере. Мы, кстати, готовы к таким полетам.

В общем, планы намечены обширные, и для их реализации необходимо адекватное финансирование. ■

**“ Уже можно сказать, что гипотеза Ю.Балеги подтверждается. Для установки инструментов СубТГц-диапазона Восточный Кавказ намного перспективнее, чем западный.**

выбрали место на высоте 5500 м (выше, чем ALMA). Долго выжидали хорошую погоду. Наконец, прогноз пообещал «окошко», и экспедиция стартовала. Аппаратура была развернута под ясным небом, но, как только начались измерения, налетел снежный вихрь, подобный тому, что через пару недель погубил здесь группу альпинистов. Несмотря на возникшие сложности, удалось зафиксировать неплохой уровень поглощения, но, увы, далеко не такой низкий, как в Атакаме. Вывод неутешителен: если даже Эльбрус не годится, то на западе Кавказа места для СубТГц-антенны нет вообще.

После этого мы начали продвигаться на восток - туда, где суше. Как научный руководитель кавказской экспедиции я посетил перспективные площадки в Чеченской Республике. Полномасштабная экспедиция в те края предполагается будущей весной. Этой осенью мы смогли сопоставить перспективные площадки в Северной Осетии, на горе Столовая, и в Дагестане, на горах Маяк и Шалбуздаг.

специалистами тоже не останется в стороне. Расстояние между соседними республиками невелико. Идеальным вариантом было бы включение в состав республиканских академических центров филиалов CAO или Астрономического центра ФИАН. Сегодня астрономом не нужно постоянно «сидеть» на телескопе, как в прошлом веке, большую часть работы можно выполнять дистанционно. Именно так мы ведем исследования астроклимата в рамках протяженных циклов: прямо из Нижнего Новгорода измеряем характеристики атмосферы и на Кавказе, и в Сибири, и в Узбекистане, и даже на Шпицбергене.

**- А оборудование для СубТГц-радиотелескопов в России есть? Или его придется закупать за рубежом?**

- По части антенн сегодня ориентироваться приходится на импорт. Малые зеркала (12-20 м) изготавливают многие мировые производители. И в довольно сжатые сроки. Уже развернулась конкуренция между итальянской EIE Group и немецкой Vertex

блочиков приемной аппаратуры СубТГц-волн.

Еще один необходимый элемент - комплексы для обработки и дистанционной передачи информации между элементами РСДБ-сети. Такое оборудование создает АКЦ ФИАН, высокое качество продукции которого подтвердил успешно заверченный недавно проект «Радиоастрон».

Наконец, обязательная часть каждой обсерватории - устройство, синхронизирующее работу всех элементов интерферометра, - высокоточный водородный стандарт времени. Основной мировой производитель таких приборов - в том числе для космических телескопов - ЗАО «Время-Ч» из Нижнего Новгорода.

**- Что предполагаете делать дальше?**

- Для начала - обработать и довести до научной общественности результаты прошедших экспедиций в виде статей и докладов. Затем - провести исследование перспективных площадок в рамках продолжительных циклов наблюдений.