

ВЕТРОВОЙ РЕЖИМ ВЫСОКОГОРНОГО ПЛАТО СУФФА**Д.Б. Данилевский, Д.А. Раупов, А.В. Тушевская, Г.И. Шанин**

Радиоастрономическая обсерватория РТ-70 АН РУз, ул. Дурмон йули 31, 100125 Ташкент,
Узбекистан, Suffa@mail.ru
(Получена 12.11.2020)

Мақолада йилни турли фаслларида, антенна диаметри 70 м ли бўлган, миллиметр диапазонли РТ-70 радиотелескоп ўрнатилган жойида – Суффа баланд тоғ платосида – шамол режимини кеча кундуз динамикасини кузатиш тўғрисида батафсил маълумотлар келтирилган. Кузатувларни статистик қайта ишлаш натижалари, Суффа платосида маҳаллий шамолни илгари аниқланган табиатини тоғ-водий айланиш шамоли сифатида тасдиқлайди, унинг хусусиятлари (кучи, йўналиши, кунлик ўзгаришлари) радиотелескоп антенна каркаси элементлари деформациясига таъсирини олдиндан айтиш учун ишлатилиши мумкин.

В статье приводятся подробные сведения о наблюдениях круглосуточной динамики ветрового режима в различные сезоны года на высокогорном плато Суффа – месте установки радиотелескопа РТ-70 миллиметрового диапазона с диаметром антенны 70 м. Результаты статистической обработки наблюдений подтвердили ранее обнаруженный характер местного ветра на плато Суффа как ветра горно-долинной циркуляции, характеристики которого (сила, направление, суточные вариации) могут быть использованы для прогнозирования его влияния на деформации элементов ферменного каркаса антенны радиотелескопа.

This article provides detailed information about the observations of round-the-clock dynamics of the wind regime in different seasons of the year on the Suffa plateau, where RT-70 radio-telescope of the millimeter range with an antenna diameter of 70 m is installed. The results of statistical processing of the observations confirmed the previously discovered character of the local wind on the Suffa plateau as a mountain-valley circulation wind, whose characteristics (strength, direction, daily variations) can be used to predict its effect on the deformation of the elements of the truss frame of the radio telescope antenna.

I. ВВЕДЕНИЕ

Благодаря стремительному развитию техники сверхвысоких частот, появилась реальная возможность приступить к созданию радиотелескопов большого диаметра с высокими электротехническими характеристиками, адаптивной системой регулирования формы отражающей поверхности, системой высокоточного наведения и слежения, установленных в местах с хорошими астроклиматическими параметрами. Именно этим требованиям отвечает главный инструмент строящегося уникального научного комплекса на плато Суффа в Узбекистане – прецизионный полноповоротный радиотелескоп РТ-70 с диаметром антенны 70 м, работающий в миллиметровом диапазоне радиоволн [1].

Существенными факторами, кроме незначительного ослабления в космической плазме из-за рассеяния и поглощения, влияющими на распространение миллиметровых волн от источника излучения до земного наблюдателя являются искажения, вносимые земной атмосферой.

В последнее время возрастает интерес к построению универсальных радиомоделей атмосферы, с помощью которых можно было бы оперативно и

достаточно надежно определить характеристики распространения миллиметровых волн на трассах различной ориентации и протяженности.

Однако нестабильность большого количества параметров земной атмосферы, обусловленная как глобальной циркуляцией, так и локальной турбулентностью, вызванной неоднородностью поверхности (океан, степь, горы), исключают возможность построения универсальной радиомодели атмосферы [2].

Поэтому во всех крупных радиобсерваториях мира с целью исследования закономерностей изменения параметров атмосферы для прогноза условий радиопрозрачности проводится круглосуточный мониторинг состояния атмосферы.

II. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ

Одним из важных параметров в создании прогностической модели атмосферы в районе установки крупных радиоастрономических средств наблюдения космических объектов является ветер, его направление, скорость, изменчивость в течение суток и сезонов. Причем в условиях горной местности важнейшую роль играют местные ветры, зависящие от множества параметров: высоты, направления и протяженности склонов, состояния подстилающей поверхности и др.

В данной работе мы продолжаем публикацию и обсуждение ветрового режима на плато Суффа [3].

Плато Суффа расположено на северном склоне Туркестанского хребта, на высоте 2500 м над уровнем моря, в ~10 км (по прямой) от центральной части хребта с преобладающей в этом районе вершиной Шаукартау – 4029 м. Рельеф плато (площадь ~850 га) – без значительных колебаний высот с медленным понижением в юго-западном (ЮЗ) направлении. Со всех сторон, за исключением северо-западного (СЗ) направления, плато Суффа закрыто горами, максимальный уровень закрытия не превышает 10 градусов.

Одной из задач наблюдательной программы круглосуточных исследований астроклимата, разработанной на длительный период, является выявление влияния особенностей горного рельефа на формирование местных ветров, оказывающих заметное влияние на геометрические параметры антенны, имеющей эффективную площадь ~3800 кв.м. для длинноволнового диапазона с $\lambda > 50$ мм и ~1300 кв.м. для коротковолнового диапазона с $\lambda < 1$ мм.

Кроме того, вариации ветровой нагрузки в течение суток существенно влияют на точность наведения и слежения за космическим объектом, а также провоцируют неравномерные по поверхности антенны температурные деформации.

В марте 2018 г. на плато Суффа была развернута и запущена в эксплуатацию дистанционная метеостанция МИК-2, заносящая автоматически в компьютерную базу данных с высокой точностью каждый час все основные метеопараметры. Приводимые ниже данные в основном получены путем обработки этой базы данных за полтора года (03.2018-08.2019). Данные от датчиков передаются на приемник и дисплей по радиоканалу, затем поступают на компьютер. Измеряются следующие метеопараметры: мгновенная скорость ветра от 1 до 80 м/с, чувствительность 0.1 м/с; максимальная скорость ветра в течение каждого часа; направление ветра (0° – 360° , погрешность $\pm 3^\circ$, типовое разрешение 1°); температура воздуха от -40°C до $+65^\circ\text{C}$, разрешение 0.1°C ; максимальная и минимальная температура воздуха в течение каждого часа; относительная влажность воздуха от 0% до 100%, разрешение 1%; атмосферное давление от 410 мм.рт.ст. до

800 мм.рт.ст., погрешность 0.8 мм.рт.ст.; датчик дождевых осадков, разрешение 0.2 мм.

Кроме того, на метеоплощадке установлены стандартные метеоприборы, показания которых регистрируются в стандартные сроки каждые 3 часа: ртутные термометры для измерения температуры воздуха и почвы, а также максимальной и минимальной температур воздуха (от -35° до $+60^{\circ}$), флюгер и анемометр для измерения направления и скорости ветра, гигрометр для определения относительной влажности, психрометр для точного расчета относительной влажности, барометр-анероид для измерения атмосферного давления. С помощью недельных самописцев (термографа, гигрографа, барографа) указанные метеопараметры регистрируются непрерывно и круглосуточно.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Анализ орографических особенностей горного массива, а также многолетних круглосуточных наблюдений силы и направления ветра на плато Суффа [4] позволили выяснить основные признаки местного ветра: суточную периодичность; реверсивность ветра, состоящего из двух противоположных потоков; условия возникновения в поле ветра общей ослабленной циркуляции.

Согласно классификации местных ветров, ветры с перечисленными выше признаками являются местными ветрами горно-долинной циркуляции, образованными вследствие термических возмущений, вызванных неоднородностью нагревания различных участков подстилающей поверхности [5].

При обработке базы данных метеопараметров были созданы сводные таблицы, из которых сначала были получены процентные распределения всех наблюдающихся ветров по румбам (16 румбов) в различные сезоны, а также подсчитаны нечастые случаи штиля (от 0% от числа всех наблюдений летом до 1.2% осенью). При анализе сводных таблиц были выделены 6 наиболее часто повторяющихся направлений: ССЗ, СЗ, ЗСЗ и ЮВ, ВЮВ, ЮЮВ – от 3% до 40% повторяемости. Остальные 12 направлений имеют повторяемость заметно более низкую, зачастую десятые доли процента.

Для представления горно-долинной циркуляции в наиболее чистом виде нами были исключены из рассмотрения ветры западно-северо-западного (ЗСЗ) и юго-юго-восточного направлений (ЮЮВ) в предположении влияния на статистику воздушных потоков другого происхождения: фронтальных вторжений в первом случае и феновых явлений во втором. Такая поправка основана на том, что процентное содержание данных направлений сильно изменяется (в 2.5–3 раза) от сезона к сезону.

Таким образом, доминирующими направлениями ветров на плато Суффа днем являются северо-северо-западное (ССЗ) и северо-западное (СЗ) – сектор, составляющий 45° ; ночью – юго-восток (ЮВ) и восток-юго-восток (ВЮВ) – также сектор размером 45° . Ветры этих направлений в дальнейшем будем называть долинными и горными ветрами соответственно. На оставшиеся 12 румбов и штиль приходится в сумме в среднем по сезонам не более 30% от всех наблюдаемых ветров. Это – вторжения атмосферных фронтов, фены, а также ветры периода весенне-летних гроз и редкие шквалы, которые могут иметь практически любое направление. Также направление ветра может хаотически изменяться в течение

небольшого периода времени нестабильности атмосферы и перестройки утром горного ветра на долинный, а вечером – наоборот.

На рис. 1 представлены графики суточного хода средних часовых температур воздуха на плато Суффа в различные сезоны. Наименьшие средние значения температуры наблюдаются в ночные и предутренние часы, после восхода солнца температура растет и особенно резко между 7 и 9 часами (зимой между 9 и 11 ч). Далее ее рост замедляется, максимум наступает в 13–15 часов. Затем температура начинает понижаться, довольно резко в течение 2–3 часов после захода солнца, а затем понижение медленное, монотонное вплоть до минимума в 4–6 утра. Отчетливо видно расширение «колокола» значений высоких температур от зимы к лету почти в 2 раза, что связано с увеличением продолжительности дня и высоты стояния солнца.

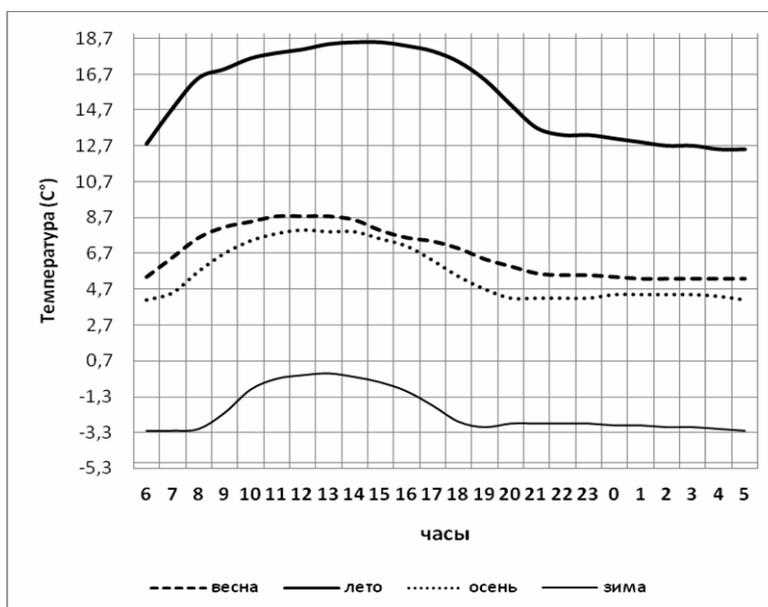


Рис. 1. Средние значения температуры воздуха в течение суток и в различные сезоны года.

На рис. 2 и 3 представлены графики процента повторяемости долинного и горного ветров на плато Суффа в течение суток и в различные сезоны года. Из рисунков видно, что процент повторяемости долинного ветра в летний период значительно выше, чем в зимний. Это объясняется значительным изменением радиационного баланса от сезона к сезону как из-за высоты стояния солнца, так и от состояния подстилающей поверхности. Зимой склоны прогреваются крайне медленно и слабо, что связано со значительной величиной альбедо снежного покрова, поэтому долинный ветер становится заметным лишь спустя 2–3 часа после восхода солнца.

Повторяемость долинного ветра увеличивается от зимы к лету в 1.5–2.5 раза в разное время суток, что связано не только с сильным прогревом склонов летом и высокой разницей температур между Суффой и Голодной Степью, но также и с тем, что летом горно-долинная циркуляция – это доминирующий механизм образования ветров, зимою же (а также в меньшей степени осенью и весной) часто

местные ветры полностью подавляются как более масштабными явлениями в атмосфере (атмосферными фронтами), так и местными грозами (весной и в начале лета). Суточная продолжительность долинного ветра летом более чем в 2.5 раза превышает его продолжительность зимой (при 50% повторяемости).

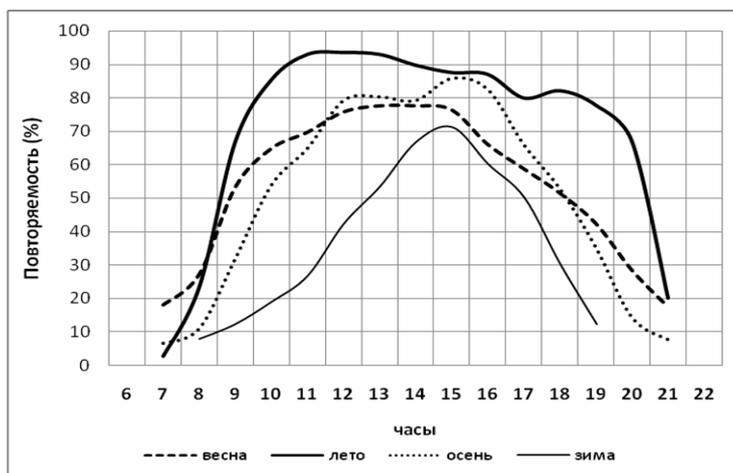


Рис. 2. Процент повторяемости долинного ветра течение суток и в различные сезоны года.

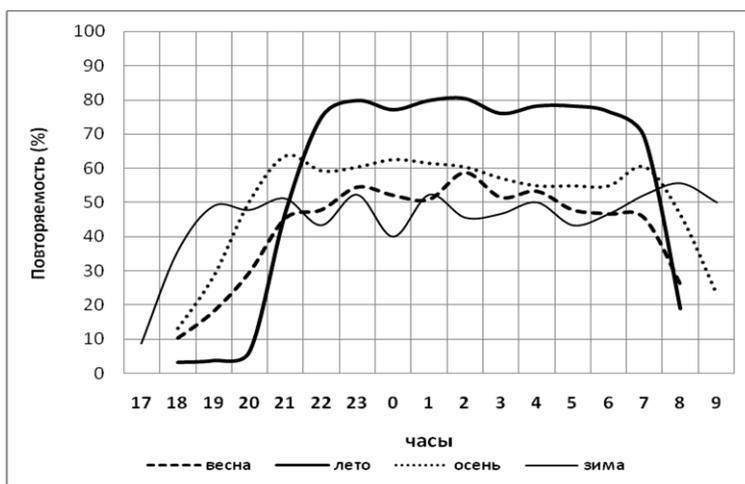


Рис. 3. Процент повторяемости горного ветра течение суток и в различные сезоны года.

Кроме того, следует заметить, что повторяемость почти в 95% означает, что долинный ветер дует летом практически ежедневно. Слабое же понижение летней кривой повторяемости после 13 часов объясняется развитием местной конвективной облачности в послеобеденное время, которая иногда заканчивается грозой, а, следовательно, и нарушением механизма горно-долинной циркуляции. Также весьма пологие максимумы кривых повторяемости весной и летом указывают на относительную стабильность долинного ветра, т.е. если мы наблюдаем его в 10–11 часов, то можно с очень высокой долей вероятности прогнозировать стабильное продолжение процесса вплоть до вечерних сумерек.

Повторяемость горного ветра высока для всех сезонов года: 50–60% для весны, осени и зимы и 80% для лета. Этот ветер также очень стабилен летом и осенью, зимою же и весной кривые повторяемости не такие гладкие. Именно в это время часто наблюдается явление фена, нарушающее механизм формирования местных ветров.

Рис. 4 представляет график изменения средней скорости горного и долинного ветров за год. Диапазон изменения средней скорости широк: от 1.3–1.2 м/с (январь, декабрь) до 3.4 м/с в июле, т.е. практически в 3 раза. Минимальные скорости наблюдаются в наиболее холодные месяцы, максимальные – в наиболее теплые, что вполне закономерно. Кривая средней скорости имеет равномерный подъем с января по июль, затем столь же равномерный спад. Небольшой провал приходится на март и апрель, которые являются месяцами с наиболее обильными осадками.

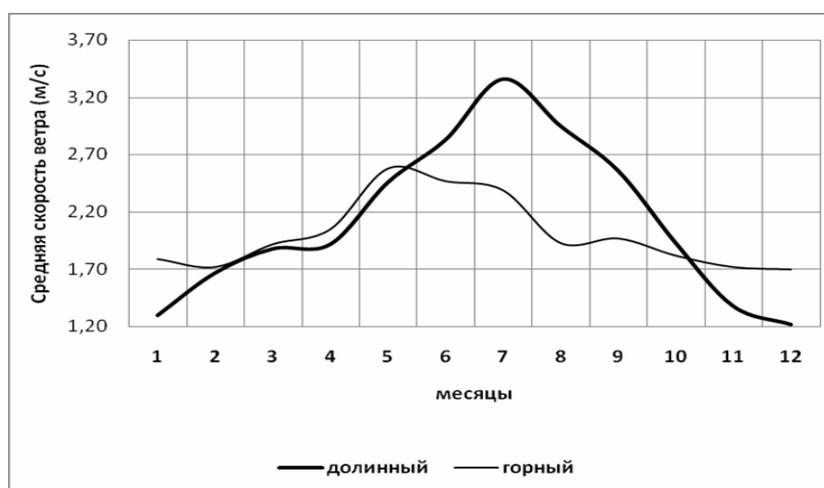


Рис. 4. Годовой ход средней скорости горного и долинного ветров.

Средняя скорость горного ветра меняется слабее в течение года: от 1.7 до 2.6 м/с. Минимум находится в холодные месяцы, максимум же – в мае-июне.

Это связано с большой разницей температур воздуха и подстилающей поверхности плато Суффа и более высоких горных массивов, которые выхолаживаются после захода солнца весьма быстро, и даже летом на Туркестанском хребте по ночам температуры отрицательные.

Зимой же весь горный регион покрыт снегом, сильно выхоложен и разница температур хребта и плато Суффа невелика, отсюда и низкие скорости ночных горных ветров.

Характер суточного хода скорости горного и долинного ветров на плато Суффа имеет значительные различия. На рис. 5 и 6 показаны изменения суточных значений средней скорости ветра в зависимости от сезона. Средняя скорость горного ветра отмечается небольшим диапазоном колебаний от среднего значения ~1.7 м/с зимой и ~2.3 м/с летом. Максимум практически не выражен.

Гораздо более динамично изменяется скоростной режим долинного ветра с максимумом средней скорости ~4 м/с с 13 до 17 часов летом и ~1.7 м/с зимой. Порывы долинного ветра могут достигать летом 8–10 м/с. Вообще можно резюмировать практически ежедневное стабильное развитие долинного ветра в

светлое (и ясное) время суток, причем, чем сильнее прогреты склоны, чем длиннее день, чем выше градиент температур по высоте, тем продолжительнее, стабильнее и сильнее ветер. Резкое снижение его происходит к вечеру вплоть до появления штиля и с медленным переформированием горно-долинной циркуляции на горный ветер.

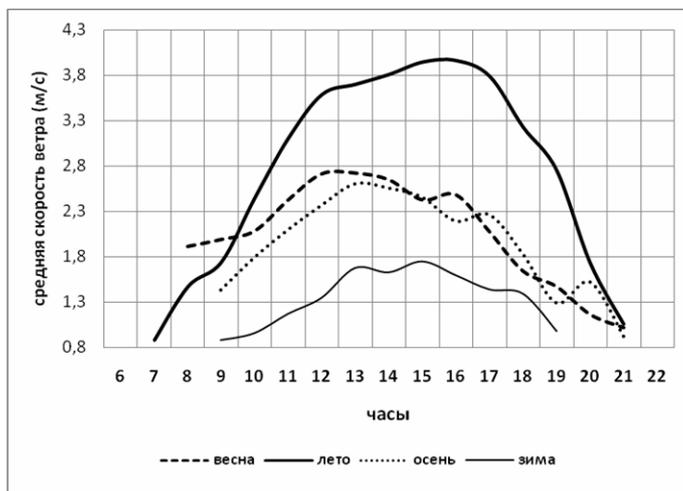


Рис. 5. Суточный ход средней скорости долинного ветра в различные сезоны года.

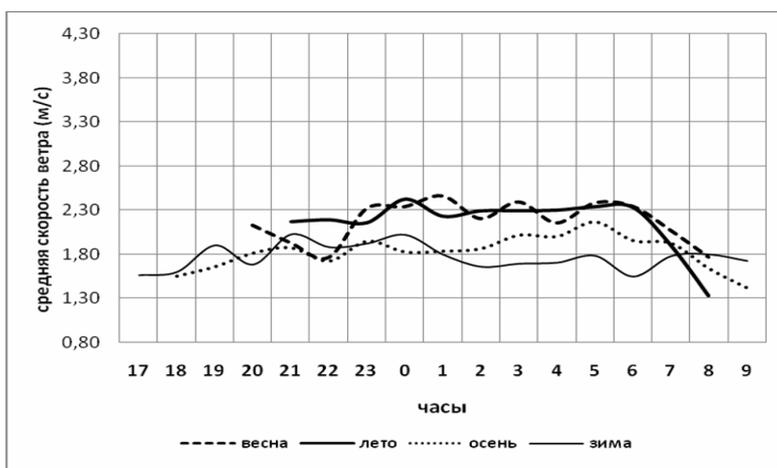


Рис. 6. Суточный ход средней скорости горного ветра в различные сезоны года.

Как утренние, так и вечерние сумерки в отсутствие фронтов являются во все сезоны временем перестройки ветров. Могут наблюдаться штили, длящиеся от десятков секунд иногда до десятков минут. Ветер слабеет, поминутно меняет направление, причем иногда весьма значительно, вплоть до противоположного, когда на разных высотах одновременно существуют уже оба процесса: и горный, и долинный ветры. Полная перестройка ветров занимает от получаса до часа.

Если погодные условия благоприятствуют развитию горно-долинной циркуляции, штили весьма непродолжительны, и хотя могут наблюдаться краткое время почти каждый день, редко попадают на метеорологический срок. Длительные штили – от нескольких часов и даже до нескольких суток, бывают

зачастую в холодное время года при накрытии Суффы плотным и толстым (иногда более 1 км) слоем тумана.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты статистической обработки наблюдений ветрового режима на плато Суффа являются хорошей научной базой не только для решения фундаментальных проблем физики атмосферы, но и позволяют уже сегодня, в период отсутствия синоптических вторжений, прогнозировать сезонный и суточный характер движения атмосферных потоков, вариаций их физических параметров и тем самым создавать условия для построения оптимальных программ исследования космических объектов в СВЧ диапазоне.

Исследования динамики ветрового режима на плато Суффа являются крайне полезными при корректировке проекта комплекса радиобсерватории и радиотелескопа РТ-70, что позволяет вносить в проектную документацию изменения и дополнения, улучшающие характеристики комплекса в целом и радиотелескопа в частности.

Работа выполнена в рамках Государственной программы фундаментальных исследований по гранту ФА-Ф2-011.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.S. Hojaev, G.I. Shanin, IAUSS E **24**, 57 (2000).
2. Э.А. Бурман. Местные ветры (Ленинград, Гидрометеиздат, 1969).
3. Д.Б. Данилевский, А.И. Железнякова, В.Е. Слуцкий, Г.И. Шанин, Узбек. физич. журн. **13**, № 1, 8-14 (2011).
4. Д.Б. Данилевский, А.И. Железнякова, Д.А. Раупов, Г.И. Шанин, Узбек. физич. журн. **18**, № 1, 206-213 (2016).
5. М.С. Шелковников. Мезометеорологические процессы в горных районах (Ленинград, Гидрометеиздат, 1985).