

УДК 523.164.85

## БОКОВОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН НА МЕТЕОРНОЙ РАДИОТРАССЕ ДУШАНБЕ — ЛЕНИНАБАД (Предварительные результаты)

*А. В. Карпов, А. Қодиров, К. Мирджамолов, Л. Н. Рубцов*

Представлены результаты экспериментов по распространению радиоволн на метеорной радиотрассе Душанбе — Ленинабад. Проведен выбор оптимальных ориентаций антенных систем относительно оси трассы. Экспериментальные данные сопоставлены с теоретическим прогнозом, полученным методом имитационного статистического моделирования.

**Постановка задачи.** Геометрия канала связи определяет дальность действия метеорной радиотрассы при работе без ретранслятора в пределах до 2000 км, причем нет никаких принципиальных ограничений на минимальную длину трассы. Тем не менее большинство научно-исследовательских работ было проведено на трассах длиной свыше 600 км. Для этих трасс хорошо изучены вопросы выбора антенных систем и прогнозирования численности метеорных радиоотражений в зависимости от ориентации антенных систем относительно оси трассы (линии, соединяющей приемный и передающий пункты).

Решение прикладных задач, таких, как осуществление связи промыслово-геофизических скважин с информационно-обрабатывающим центром, сбора геофизических данных в труднодоступных горных условиях, а также ряда других задач заставляет обратить особое внимание на специфику эксплуатации коротких трасс. Особенно возрастают требования к выбору типа антенных систем и ориентации диаграммы направленности антенн приемного и передающего пунктов относительно оси трассы. В работе [2] методом имитационного моделирования проведен сравнительный анализ эффективности антенных систем различной поляризации для трасс длиной до 600 км. Но до настоящего времени практически нет работ, в которых был бы представлен достаточно большой по объему и разнообразный по использованию антенных систем экспериментальный материал.

Настоящая работа представляет собой начальный этап в плане систематического изучения условий распространения радиоволн на коротких трассах. В качестве критерия, по которому проводится выбор оптимальных параметров антенных систем приемного и передающего пунктов, принято число метеорных радиоотражений  $N$ , зарегистрированных за 1 час. Выбор этого параметра определяется тем фактором, что данные о коэффициенте заполнения  $\eta$  в натурном эксперименте менее надежны. Также в имитационном эксперименте точность прогнозирования численности значительно выше точности прогнозирования коэффициента заполнения.

В 1982 г. трасса Душанбе — Ленинабад была оснащена аппаратурой, предназначенной для метеорно-ионосферного распространения радиоволн с целью осуществления УКВ радиосвязи на коротких трассах в условиях высокогорной местности, характерной для республик Средней Азии.

Устройство аппаратуры позволяет вести двухстороннюю связь с разнесением частоты передатчиков обоих пунктов не менее чем на 5 МГц. Причем, для приема и передачи сигналов используется одна

общая антенна, типа антенны бегущей волны, состоящей из двенадцати горизонтально поляризованных симметричных излучателей, соединенных между собой двухпроводной линией. Антенна закреплена к редуктору, установленному на полутелескопической мачте. Высота мачты изменяется от 2,5 до 11 метров. Предусмотрено осуществление электро-механического вращения антенн как в горизонтальной плоскости, так и в вертикальной.

**Методика эксперимента.** Для эффективного проведения натурального эксперимента проведен цикл машинных экспериментов на имитационной модели метеорного радиоканала [1]. Рассчитывался суточный ход численности метеорных радиоотражений (для восьми точек: 0<sup>h</sup>, 3<sup>h</sup>, 6<sup>h</sup>, 9<sup>h</sup>, 12<sup>h</sup>, 15<sup>h</sup>, 18<sup>h</sup>, 21<sup>h</sup>) на трассе Душанбе — Ленинабад при различной ориентации антенных систем приемного и передающего пунктов относительно

Таблица 1

	$\xi_1$ , град	$\xi_2$ , град	$N_{ср}$	$N_{1ср}$	$N_{2ср}$
1.	70	70	41	68	13
2.	-70	-70	35	66	3
3.	23	23	14	18	11
4.	-23	-23	13	21	4
5.	43	43	19	25	2
6.	-43	-43	15	29	12
7.	0	0	16	20	4
8.	0	180	26	36	17

сительно оси трассы. Изменялся угол  $\xi$  между осью трассы и направлением на главный максимум диаграммы направленности антенны. Было рассмотрено восемь вариантов (результаты в табл. 1).

В табл. 1  $\xi_1$  — ориентация антенны относительно оси трассы в пункте Душанбе,  $\xi_2$  — ориентация антенны относительно оси трассы в пункте Ленинабад. Положительное значение угла  $\xi$  означает отклонение антенны к востоку, а отрицательное значение  $\xi$  — к западу от оси трассы. В восьмом варианте антенны пунктов Душанбе и Ленинабад ориентированы в одном направлении вдоль оси трассы.  $N_{ср}$  — среднечасовое число метеорных радиоотражений, рассчитанное для 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24<sup>h</sup>.  $N_{1ср}$  — среднечасовое число метеорных радиоотражений, рассчитанное для 3, 6, 9, 12<sup>h</sup>.  $N_{2ср}$  — среднечасовое число метеорных радиоотражений, рассчитанное для 15, 18, 21, 24<sup>h</sup>.

**Результаты наблюдений на трассе Душанбе — Ленинабад.** С октября 1983 года проводятся эксперименты по осуществлению метеорной радиосвязи между Ленинабадом и Душанбе. В статью включены результаты, полученные до апреля 1984 г. За период с октября 1983 г. по апрель 1984 г. наблюдения проводились в течение 331 часа. Из них 159 часов в отсутствие потоков и 172 часа во время прохождения метеорных потоков Орионид, Геминид, Урсид, Лирид. Из 159 часов в течение 61 часа антенны обоих пунктов были повернуты на угол  $\xi=70^\circ$  к востоку от оси трассы. За это время было зарегистрировано 2758 метеорных радиоотражений. В течение 57 часов угол поворота антенн составлял  $\xi=23^\circ$ , и за это время было зарегистрировано 1737 метеорных радиоотражений. В течение 41 часа угол поворота антенн составлял  $\xi=0^\circ$ , и было зарегистрировано 1836 метеорных радиоотражений. Причем, если при ориентации антенн  $\xi=70^\circ$  и  $\xi=23^\circ$  наблюдения проводились равномерно в течение всего дня, то при ориентации  $\xi=0^\circ$  наблюдения проводились преимущественно с 2-х до 14 часов местного времени. Основные результаты приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

$\xi_1=\xi_2$	$T$ , ч	$N$	$\bar{N}$	$\bar{N}_T$
70°	61	2758	45	41
23°	57	1737	30	14
0°	41	1836	—	—

Таблица 3

$\xi_1=\xi_2$	$T_1$	$N_1$	$\bar{N}_1$	$\bar{N}_{1T}$	$T_2$	$N_2$	$\bar{N}_2$	$\bar{N}_{2T}$
70°	41	2418	59	68	20	340	17	13
23°	35	1372	39	18	22	365	17	11
0°	35	1700	49	20	—	—	—	—

В табл. 2, 3  $T$  — общее время наблюдений при данной ориентации антенн,  $N$  — общее число зарегистрированных метеоров,  $\bar{N} = N/T$  — среднее число метеоров за 1 час наблюдений,  $\bar{N}_T$  — среднечасовое число метеоров в имитационном эксперименте,  $T_1, N_1, \bar{N}_1, \bar{N}_{1T}$  — аналогичные параметры, рассчитанные для утренне-дневного периода наблюдений ( $2^h - 14^h$  местного времени),  $T_2, N_2, \bar{N}_2, \bar{N}_{2T}$  рассчитаны для вечерне-ночного периода наблюдений ( $14^h - 24^h, 0^h - 2^h$  местного времени).

Как в натурном эксперименте, так и в имитационном эксперименте наибольшая численность отражений достигается при ориентации под углом  $\xi = 70^\circ$ . В период с  $2^h$  до  $14^h$  наиболее предпочтительной является ориентация антенн под углом в  $70^\circ$ , но в натурном эксперименте преимущества этой ориентации проявляются не так ощутимо, как в имитационном эксперименте. В период с  $14^h$  до  $24^h - 0^h$  до  $2^h$  эффективность системы связи является одинаковой как при  $\xi = 70^\circ$ , так и при  $\xi = 23^\circ$ . Прогноз дает несколько заниженные данные, а для ориентации  $\xi = 70^\circ$  — более глубокий суточный ход. Можно считать степень совпадения результатов прогноза с данными натурального эксперимента вполне удовлетворительным, так как во время натурального эксперимента не проводилось строгого контроля стабильности энергетики канала связи. Кроме того, горные условия трассы определяют специфику формирования диаграммы направленности антенны. Поэтому замена в имитационном эксперименте реальной диаграммы на теоретическую ухудшила характеристики прогноза. В дальнейшем представляет интерес проведение натурального эксперимента при одинаковой ориентации антенн на приемном и передающем пунктах (вариант 8, табл. 1). В этом случае при прогнозе получается наибольшая численность радиоотражений в вечерние часы.

Во время прохождения метеорных потоков Орионид, Геминид, Урсид и Лирид превышение численности регистраций по сравнению со спорадическим фоном наблюдалось только для потока Геминид. В этом случае численность резко возрастала и в течение трех часов после кульминации потока достигала пяти-десятикратного превышения по сравнению со спорадическим фоном. Например, 14 декабря 1983 года (при ориентации антенн к западу  $\xi = -70^\circ$ ) значительное превышение наблюдалось с  $3^h$  до  $6^h$  местного времени: с  $0^h$  до  $1^h$  зарегистрировано 46 метеоров, с  $1^h$  до  $2^h$  — 56 метеоров, с  $2^h$  до  $3^h$  — 68 метеоров, с  $3^h$  до  $4^h$  — 610 метеоров, с  $4^h$  до  $5^h$  — 498 метеоров, с  $5^h$  до  $6^h$  — 312 метеоров, с  $6^h$  до  $7^h$  — 140 метеоров, с  $7^h$  до  $8^h$  — 53 метеора. В имитационном эксперименте значительное превышение наблюдалось с  $3^h$  до  $5^h$ . Если при спорадическом фоне ориентации в  $70^\circ$  и  $-70^\circ$  приблизительно равноценны, то при прохождении потока Геминид ориентация в  $\xi = -70^\circ$  является явно предпочтительной.

Результаты данной работы показывают, что метеорная система вполне пригодна для осуществления радиосвязи на трассе Душанбе — Ленинабад. Проведен выбор оптимальной ориентации антенных систем. Показано, что наибольший объем информации можно передавать при отклонении антенн от оси трассы под углом в  $70^\circ$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов А. В., Сидоров В. В. — Метеорное распространение радиоволн. — Казань: Гос. ун-т, 1980, вып. 15, с. 52.
2. Карпов А. В., Сидоров В. В. — Метеорное распространение радиоволн. — Казань: Гос. ун-т, 1981, вып. 17, с. 14.

# SIDE WAVE PROPAGATION IN THE DUSHANBE — LENINABAD METEOR RADIOLINE

*A. V. Karpov, A. Kodirov, K. Mirdzhamolov, L. N. Rubtsov*

The experimental results on the propagation of radiowaves in the meteor radioline Dushanbe—Leninabad are given. The optimum orientation of the antenna systems is chosen. The data are compared with the theoretical forecast obtained by the statistical simulation technique.

---

«ГЕОМАГНЕТИЗМ И АЭРОНОМИЯ», т. XXVI, № 6, 1986 г.

(Окончание)

**Соколов С. Н.** О связи аномалий сигналов СДВ на протяженных среднеширотных трассах с кольцевым током магнитосферной бури.

Анализируются аномалии суточных вариаций фазы сигналов СДВ на затемненных протяженных среднеширотных трассах, наблюдавшиеся во время магнитосферных бурь разной интенсивности. Показано, что длительность существования аномалий и их величина определяются временем восстановления и интенсивностью поля кольцевого тока, а также сезоном.

**Альперович Л. С., Гершензон Н. И., Крылов А. Л.** Флуктуации квазистационарных электрических и магнитных полей, вызванные случайными неоднородностями ионосферной проводимости.

В квазистационарном приближении получены выражения, связывающие случайные пространственные неоднородности ионосферной интегральной проводимости с флуктуациями электрического и магнитного полей в магнитосфере и магнитного поля на поверхности Земли. Приведенные формулы могут быть использованы для изучения спектральных характеристик ионосферных неоднородностей по данным спутниковых и наземных наблюдений.

**Иржичек Ф., Мальцева О. А., Титова Е. Е., Триска П., Яхнин Т. А.** Особенности распространения ОНЧ-хоров в магнитосфере.

По данным ИСЗ «Интеркосмос-19» проведен анализ пространственных характеристик зоны засветки ОНЧ-хоров в верхней ионосфере. Показано, что эта зона расположена в области  $L$ -оболочек, меньших  $L$ -оболочки плазмопаузы; с увеличением магнитной активности ее пространственный размер уменьшается, причем северная граница зоны смещается в соответствии с изменением положения плазмопаузы, а нижняя остается практически неизменной ( $L=2,0-2,5$ ). Определены разности времен прихода хоровых элементов на различные широты в верхней ионосфере. Показано, что влиянием градиента концентрации в районе плазмопаузы на траектории ОНЧ-волн и на их выход к ионосфере можно объяснить наблюдаемые пространственные и временные характеристики ОНЧ-хоров.