



Омский  
государственный  
университет

# Моделирование ДКМВ радиосети с использованием транзитных узлов с направленными антеннами

Подготовил: студент ОмГУ им. Достоевского  
*Шад Сергей Викторович*

Омск 2024

Цель работы: исследовать модель КВ радиосети с использованием вынесенных в умеренные широты пункты связи с применением направленных логопериодическими антеннами.

# Исходные данные

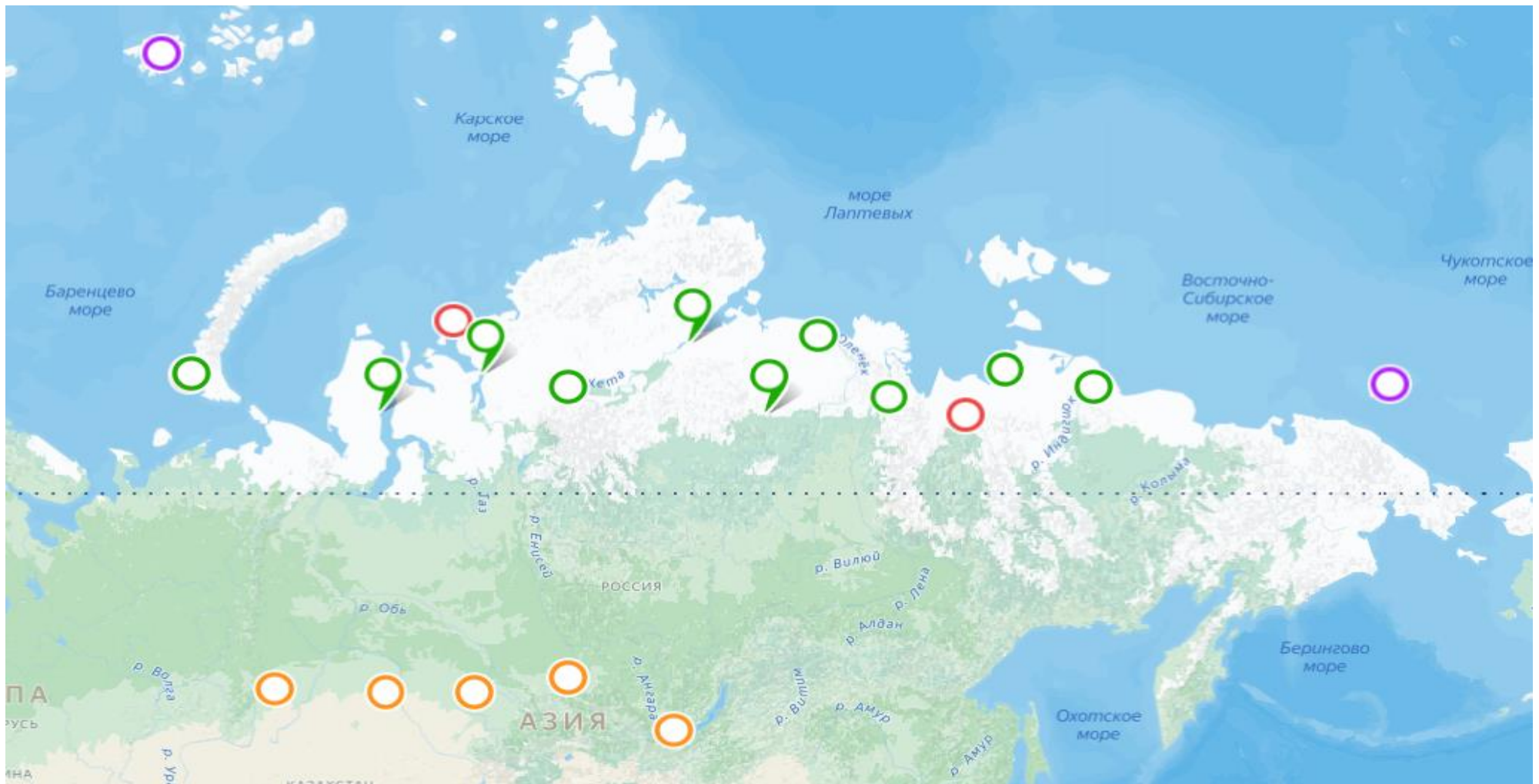


Рис 1. Перечень географических пунктов на карте

# Методика проведения вычислительного эксперимента

- 1. Определение расстояния и азимута между пунктами связи
- 2. Поиск информации о индексах солнечной активности
- 3. Выбор антенны и определение ее параметров
- 4. Вычисление максимально применимой частоты
- 5. Рассчитать оптимально рабочие частоты
- 6. Подобрать рабочие частоты учитывая регламент радиосвязи
- 7. Вычислить отношение сигнал/шум
- 8. Рассчитать скорость передачи данных
- 9. Определить оптимальные маршруты для радиосвязи

# Определение расстояния и азимута

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	1017/191,8	1013/191,7	1203/153,4	954/133,1	1186/132,6	1359/119,9	1448/100,4	1827/96,6	1699/85,9	2048/82,7	2236/76	2168/70,4	2370/63,1	2846/41,6	2813/175,7	2917/159,9	2946/147,7	3537/122,9	2953/134,9
2		0	5/17,7	747/90,8	965/63,8	1093/74,7	1418/71,9	1784/60,7	2163/63,9	2201/54,6	2561/55,9	2825/52,3	2830/47,7	3105/43,4	3760/28,8	2813/175,7	2917/159,9	2946/14,7	3537/122,7	2953/134,9
3			0	746/91,2	962/64	1091/74,9	1415/72,1	1781/60,8	2160/64	2197/54,7	2558/56	2821/52,4	2826/47,7	3101/43,5	3756/28,9	1859/161,9	2121/140,5	2318/125,6	3294/102,4	2534/111,1
4				0	452/34,4	429/64,9	750/70,3	1196/61,9	1533/70,6	1655/58,7	1993/63,1	2284/60,3	2337/54,8	2652/51,3	3465/38,1	1759/203,8	1726/177,8	1752/158	2566/124,3	1849/137,6
5					0	232/152,7	481/115	822/84	1198/90,8	1257/74,6	1610/78,2	1888/73,7	1920/66,9	2224/62,2	3017/46,2	2201/213,5	2106/192,7	2036/175,9	2602/141,4	2000/157,5
6						0	329/92,4	768/70,6	1107/83,2	1230/67	1564/73	1857/69,7	1916/63	2237/59,3	3087/45,3	2098/221,7	1934/199,9	1825/181,6	2375/143,2	1768/161
7							0	478/64,5	784/88	943/67,1	1258/76,7	1558/73,8	1637/66,2	1969/62,9	2872/49,5	2320/236,5	2056/217,1	1849/200,2	2181/158,3	1675/179,9
8								0	394/129,2	465/82,1	797/96,3	1089/90,1	1159/79,3	1491/74,8	2413/59,1	2794/250,1	2490/234,3	2216/221,0	2261/182,3	1929/204,9
9									0	349/34,2	512/79,5	821/80,4	953/68,7	1301/68,5	2307/58	3015/263,	2619/249,9	2262/238,3	2049/198,5	1870/224
10										0	364/127,9	631/109,4	695/90,7	1031/84,9	1993/67,5	3251/265,1	2906/251,6	2584/240,9	2386/206,3	2215/228,1
11											0	308/94,7	460/69,6	804/74,4	1840/65,2	3526/276,1	3126/264,2	2745/254,8	2339/222	2306/244
12												0	223/41,4	525/70,4	1578/67,4	3834/283,6	3430/272,7	3037/264,3	2537/234,9	2576/255
13													0	347/92,4	1381/75,4	3942/285	3573/274,1	3204/265,7	2754/237,8	2764/256,5
14														0	1054/79,1	4282/293,3	3920/283,1	3549/275,5	3046/250,4	3100/267,3
15															0	5182/315,5	4899/306,4	4569/299,8	4091/280	4145/293
16																0	769/89,3	1352/81,6	2804/78,7	1953/74,1
17																	0	599/81,6	2053/84,7	1227/74,7
18																		0	1456/93,6	637/76
19																			0	870/303,9
20																				0

Рис 2 . Таблица расстояния и азимута между пунктами связи

# Выбор антенны и определение ее параметров

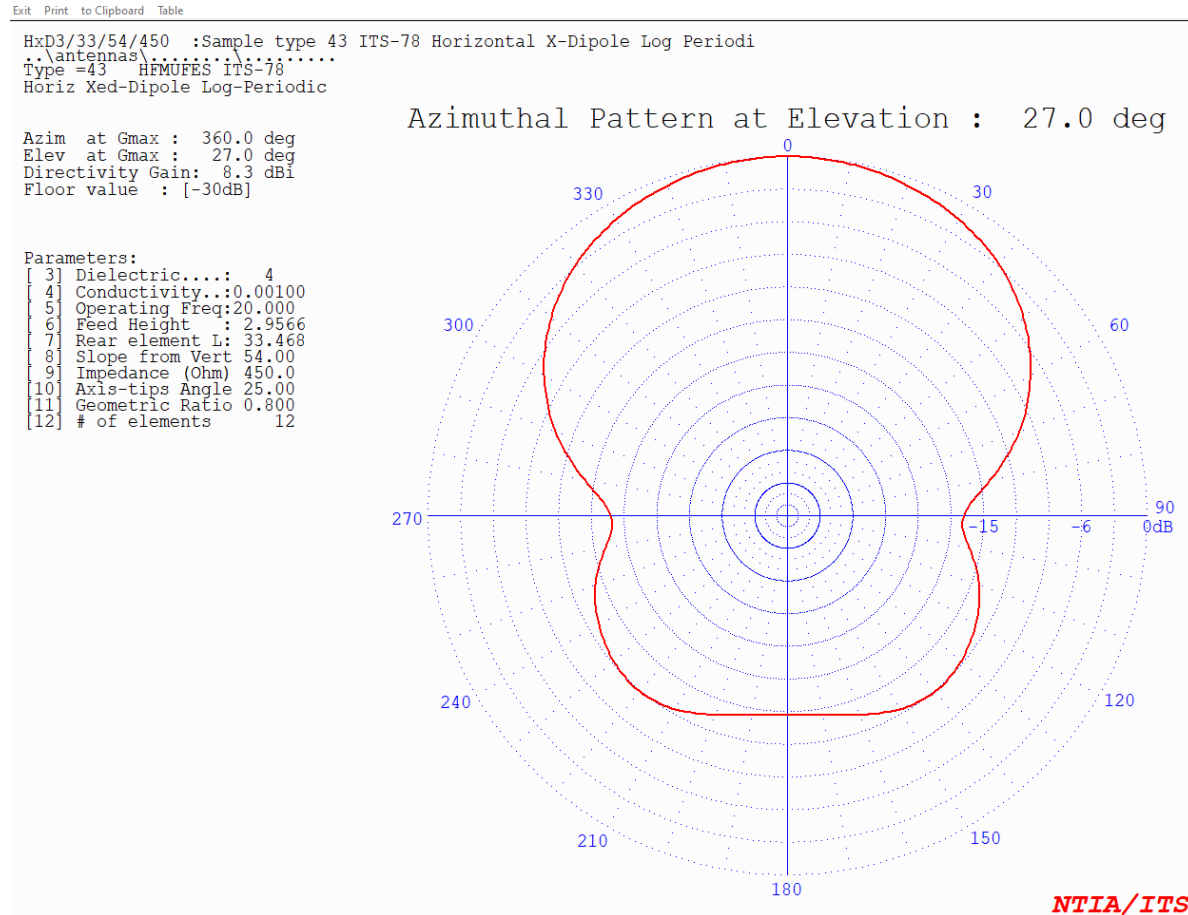


Рис 3. Горизонтальная диаграмма направленности логопериодической антенны

# Выбор антенны и определение ее параметров

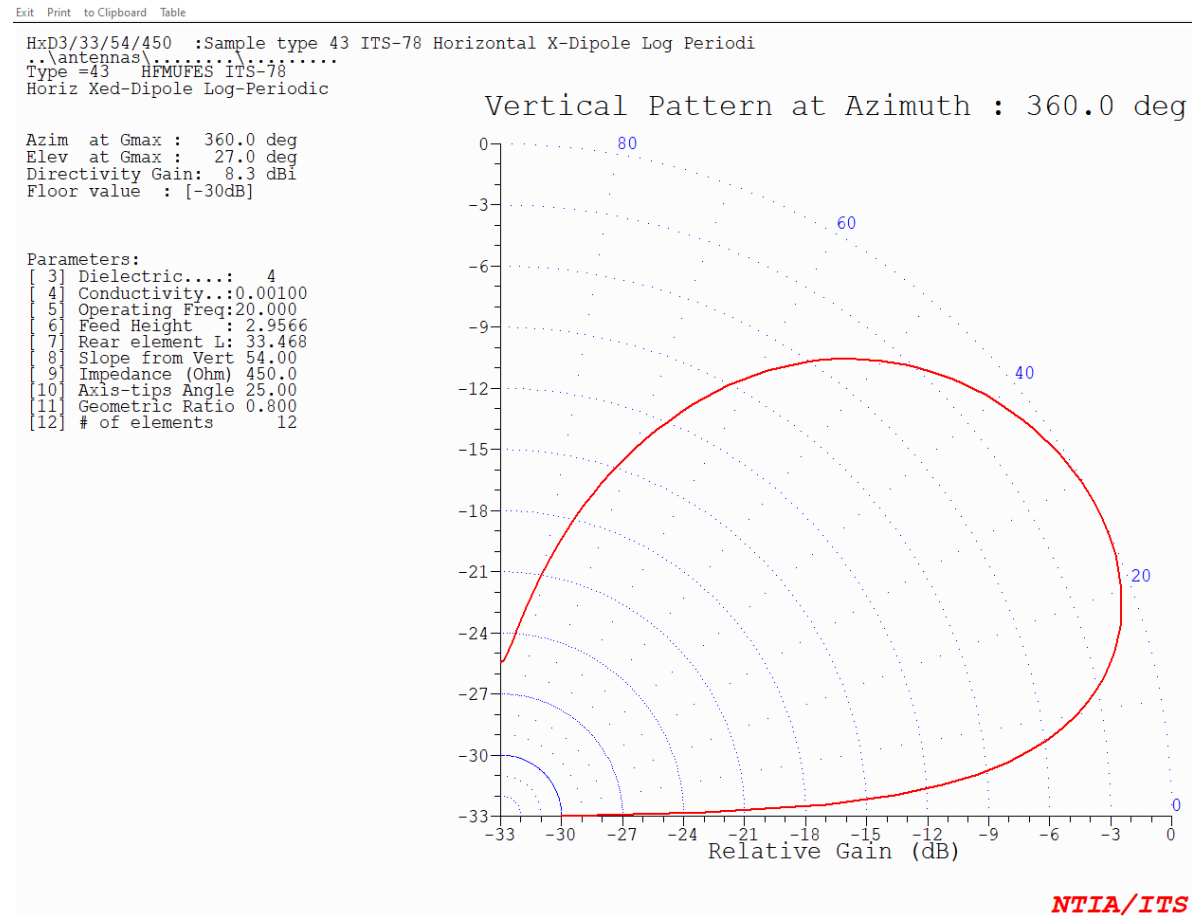


Рис 4. Вертикальная диаграмма направленности

# Расчет максимально применимой частоты

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	11,7	11,6	13,4	11,2	13,3	14,7	15,2	17,4	16,6	18,1	18,5	18,2	18,4	18,1	19,5	20	20,1	20,8	20,1
2		0	7,7	9,4	11,5	12,7	15,4	17,5	18,9	18,8	19,3	19,3	19	19,5	19,7	18,2	19,3	19,7	21,8	19,9
3			0	9,4	11,5	12,7	15,3	17,4	18,9	18,8	19,3	19,3	19	19,5	19,7	18,2	19,3	19,7	21,8	19,9
4				0	7,6	7,6	9,6	13,7	16,3	16,9	18,5	19,2	19,1	19,2	19,5	17,9	17,9	18,1	20,2	18,6
5					0	7,2	7,6	10,2	13,7	14,1	16,6	17,9	17,9	18,7	18,4	19,4	19,3	19,2	20,1	19,1
6						0	7,3	9,7	13	13,9	16,4	17,9	18	18,8	18,7	19,3	18,9	18,5	20,1	18,2
7							0	7,6	9,9	11,4	14,2	16,3	16,7	18,1	18,1	19,7	19,3	18,6	19,8	17,7
8								0	7,4	7,5	9,9	12,6	13,2	15,6	18,2	20,4	20	19,7	19,9	18,9
9									0	7,3	7,7	10,2	11,4	14,3	18,2	21,3	20,1	19,8	19,5	18,7
10										0	7,3	8,2	8,7	11,9	17,3	21,5	20,8	20	20	19,6
11											0	7,2	7,6	9,7	16,8	21,1	21,4	20,3	20	19,8
12												0	7,2	7,9	15,3	21,6	21,8	21	20,1	20
13													0	7,4	13,9	21,6	21	21,2	20	19,9
14														0	11,3	21,9	21,6	20,8	20,5	20,5
15															0	18,2	18,3	22,1	22,2	21,8
16																0	11,2	15,9	22,3	19,4
17																	0	10	20,1	115
18																		0	17	9,8
19																			0	11,7
20																				0

Рис 5. Максимально применимая частота 22 июня 2023



# Расчёт оптимально рабочих частот

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	7,91	7,84	9,31	8,05	9,31	10,29	10,57	12,53	11,62	13,23	13,93	13,37	13,86	14,35	17,29	18,34	20,79	21	18,83
2		0	5,6	7,63	8,47	9,31	11,06	12,67	14,63	14,35	15,96	16,59	16,24	16,73	16,66	14,42	16,31	17,43	21	18,41
3			0	7,56	8,47	9,31	11,06	12,67	14,63	14,35	15,96	16,59	16,24	16,73	16,66	14,42	16,31	17,43	21	18,41
4				0	6,65	6,72	8,19	10,43	12,46	12,81	14,56	15,75	15,54	16,45	17,43	14,63	14,98	15,33	19,74	15,82
5					0	6,16	6,93	8,4	10,57	10,57	12,53	13,79	13,65	14,7	16,31	16,45	16,66	17,99	19,67	16,31
6						0	6,58	8,33	10,29	10,71	12,6	13,93	13,93	15,05	16,94	16,31	16,1	15,75	18,97	15,4
7							0	7,14	8,68	9,31	11,2	12,67	12,81	14,21	16,73	16,38	16,87	15,96	18,13	14,98
8								0	6,93	7	8,61	10,15	10,29	11,9	15,26	19,11	18,55	17,57	18,41	16,24
9									0	6,79	7,49	8,96	9,45	11,2	15,33	20,16	19,39	18,06	17,64	16,17
10										0	6,79	7,84	7,98	9,52	13,72	20,23	19,95	19,11	18,97	17,57
11											0	6,72	7,07	8,54	13,3	21	20,86	19,88	18,97	18,2
12												0	6,44	7,35	12,11	21	21	20,79	19,81	19,32
13													0	6,58	10,92	21	21	21	20,44	19,74
14														0	9,24	21	21	21	21	20,72
15															0	16,1	16,45	16,38	21	21
16																0	10,15	14,14	21	17,78
17																	0	9,38	19,11	13,58
18																		0	15,47	9,66
19																			0	11,34
20																				0

Рис 6. Таблица оптимально рабочих частот для 22 июля 2023

# Подбор рабочих частот

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	8,19	8,12	9,38	7,84	9,31	10,29	10,64	12,18	11,6	12,23	12,23	12,23	12,23	12,23	13,57	14	14	14,56	14
2		0	5,39	5,9	8,05	8,195	10,78	12,25	12,23	12,23	13,51	13,51	12,23	13,57	13,57	12,23	13,51	13,57	14,99	13,93
3			0	5,9	8,05	8,195	10,71	12,18	12,23	12,23	13,51	13,51	12,23	13,57	13,57	12,23	13,51	13,57	14,99	13,93
4				0	5,32	5,32	6,72	9,59	11,41	11,6	12,23	13,44	13,37	13,44	13,57	12,23	12,53	12,23	14	12,23
5					0	4,995	5,32	7,14	9,4	9,4	11,6	12,23	12,23	12,23	12,23	13,57	13,51	13,44	14	13,37
6						0	5,11	6,79	9,1	9,4	11,4	12,23	12,23	12,23	12,23	13,51	12,23	12,23	14	12,23
7							0	5,32	6,93	7,98	9,94	11,41	11,6	12,23	12,23	13,57	13,51	12,23	13,57	12,23
8								0	5,18	5,45	6,93	8,195	9,24	10,15	12,23	14	14	13,57	13,93	12,23
9									0	5,11	5,39	7	7,98	9,995	12,23	14,91	14	13,57	13,57	12,23
10										0	5,11	5,74	5,9	8,195	12,11	14,99	14,56	14	14	13,57
11											0	4,995	5,32	6,79	11,6	14,77	14,98	14	14	13,57
12												0	4,995	5,45	10,15	14,99	14,99	14,7	14	14
13													0	5,18	9,4	14,99	14,7	14,84	14	13,93
14														0	7,91	14,99	14,99	14,56	14,35	14,35
15															0	12,23	12,23	14,99	14,99	14,99
16																0	7,84	10,15	14,99	13,57
17																	0	7	14	8,05
18																		0	11,6	6,86
19																			0	8,19
20																				0

Рис 7. Таблица рабочих частот 22 июля 2023

# Вычисление отношения сигнал/шум

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1		36	45	46	36	46	46	45	46	46	-7	33	44	9	27	5	5	4	1	5	
2			-52	12	34	32	39	37	1	1	1	-2	8	-6	9	3	49	10	6	8	
3				21	34	42	49	46	10	10	10	-2	17	4	18	3	49	9	6	8	
4					25	36	25	47	48	48	48	-32	43	7	17	50	51	52	8	50	
5						30	47	35	37	38	39	39	37	2	7	-20	50	51	8	51	
6							46	42	46	47	48	39	48	10	19	49	-1	51	5	51	
7								33	43	45	46	38	47	46	12	9	50	51	50	53	
8									46	38	43	34	46	46	21	22	6	49	-23	-1	
9										48	34	32	44	46	6	4	5	10	51	50	
10											48	20	27	45	39	8	4	5	3	-23	
11												39	47	24	40	-2	17	2	-27	9	
12													30	27	34	15	0	1	4	3	
13														47	40	18	-3	13	2	1	
14															39	24	18	-4	2	-1	
15																0	-6	23	23	21	
16																	-	-	-	-	
17																		-	-	-	
18																			-	-	
19																				-	
20																					-

Рис 8. Таблица отношения сигнал/шум без использования логопериодической антенны 22 июня 2023

# Расчёт скорости передачи данных

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	12,8	14,4	14,4	12,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	0	12,8	14,4	0	9,6	0	0	0	0	0
2		0	0	1,6	12,8	11,2	14,4	12,8	0	0	0	0	0	0	0	0	14,4	0	0	0
3			0	6,4	12,8	14,4	14,4	14,4	1,6	1,6	1,6	0	3,2	0	3,2	0	14,4	0	0	0
4				0	8	12,8	8	14,4	14,4	14,4	14,4	0	14,4	0	3,2	14,4	14,4	14,4	0	14,4
5					0	11,2	14,4	12,8	12,8	14,4	14,4	14,4	12,8	0	0	0	14,4	14,4	0	14,4
6						0	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	1,6	4,8	14,4	0	14,4	0	14,4
7							0	12,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	1,6	0	14,4	14,4	14,4	14,4
8								0	14,4	14,4	14,4	12,8	14,4	14,4	6,4	1,6	0	14,4	0	0
9									0	14,4	12,8	11,2	14,4	14,4	0	0	0	0	14,4	14,4
10										0	14,4	4,8	9,6	14,4	14,4	0	0	0	0	0
11											0	14,4	14,4	8	14,4	0	0	0	0	0
12												0	11,2	9,6	12,8	0	0	0	0	0
13													0	14,4	14,4	0	0	0	0	0
14														0	14,4	2,4	0	0	0	0
15															0	0	0	2,4	0	1,6
16																0	1000	1000	1000	1000
17																	0	1000	1000	1000
18																		0	1000	1000
19																			0	1000
20																				0

Рис 9. Таблица скорости передачи данных без использования логопериодической антенны для 06:00 22 июня 2023

# Определение оптимальных маршрутов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	0+	+	+	+	+	+	+	+	+		4+	+		7+		4	3	4	7	4	
2		0	7	17+	+	+	+		7	7	7	7	7	7	1	17+		17	17	17	
3			0	1+	+	+	+		1	1	6	6	1	7	1	17+		17	17	17	
4				0+	+	+	+	+	+	+		11+		8	10+	+	+			16+	
5					0+	+	+	+	+	+	+	+		7	10	17+	+			17+	
6						0+	+	+	+	+	+	+		7	10+		16+			16+	
7							0+	+	+	+	+	+	+		10	17+	+	+	+	+	
8								0+	+	+	+	+	+		10	18	18+			18	18
9									0+	+	+	+	+		10	19	19	19+		+	
10										0+		5+	+	+		4	4	4	4	7	4
11											0+		+	+		4	4	4	4	7	4
12												0+	+	+		6	5	5	5	7	5
13													0+	+		4	4	4	4	7	4
14														0+		8	7	7	7	7	7
15															0	10,4	10,4	10,4	10,7	10,4	
16																0+	+	+	+	+	
17																	0+	+	+	+	
18																		0+	+	+	
19																				0+	+
20																					0

Рис 10. Таблица оптимального маршрута без использования логопериодической антенны для 06:00 22 июня 2023.

# Вычисление отношения сигнал/шум

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		36	45	46	36	46	46	45	46	46	-7	33	44	9	27	-2	-1	-2	-6	-2
2			-52	12	34	32	39	37	1	1	1	-2	8	-6	9	-3	41	3	1	2
3				21	34	42	49	46	10	10	10	-2	17	4	18	-3	41	3	1	2
4					25	36	25	47	48	48	48	-32	43	7	17	41	42	42	2	41
5						30	47	35	37	38	39	39	37	2	7	-23	41	42	1	42
6							46	42	46	47	48	39	48	10	19	41	-6	41	-2	42
7								33	43	45	46	38	47	46	12	0	39	41	39	42
8									46	38	43	34	46	46	21	12	-4	39	-34	-10
9										48	34	32	44	46	6	-4	-3	1	39	40
10											48	20	27	45	39	-2	-5	-4	-9	-32
11												39	47	24	40	-11	7	-6	-38	1
12													30	27	34	6	-8	-7	-6	-6
13														47	40	8	-12	3	-7	-7
14															39	14	8	-13	-8	-9
15																-10	-15	13	-2	11
16																		-	-	-
17																			-	-
18																				-
19																				
20																				

Рис 11. Таблица отношения сигнал/шум с использованием логопериодической антенны 22 июня 2023

# Расчёт скорости передачи данных

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	12,8	14,4	14,4	12,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	0	12,8	14,4	0	9,6	0	0	0	0	0
2		0	0	2,4	12,8	11,2	14,4	12,8	0	0	0	0	0	0	0	0	14,4	1,6	0	0
3			0	6,4	12,8	14,4	14,4	14,4	1,6	1,6	1,6	0	3,2	0	4,8	0	14,4	0	0	0
4				0	8	12,8	8	14,4	14,4	14,4	14,4	0	14,4	0	3,2	14,4	14,4	14,4	0	14,4
5					0	11,2	14,4	12,8	12,8	14,4	14,4	14,4	12,8	0	0	0	14,4	14,4	0	14,4
6						0	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	1,6	4,8	14,4	0	14,4	0	14,4
7							0	12,8	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	14,4	2,4	0	14,4	14,4	14,4	53
8								0	14,4	14,4	14,4	12,8	14,4	14,4	6,4	6,4	0	14,4	0	0
9									0	14,4	12,8	11,2	14,4	14,4	0	0	0	10	14,4	14,4
10										0	14,4	6,4	9,6	14,4	14,4	0	0	0	0	0
11											0	14,4	14,4	8	14,4	0	3,2	0	0	0
12												0	11,2	9,6	12,8	3,2	0	0	0	0
13													0	14,4	14,4	3,2	0	2,4	0	0
14														0	14,4	8	3,2	0	0	0
15															0	0	0	8	8	6,4
16																0	1000	1000	1000	1000
17																	0	1000	1000	1000
18																		0	1000	1000
19																			0	1000
20																				0

Рис 12. Таблица скорости передачи данных с использованием логопериодической антенны для 06:00 22 июня 2023.

# Определение оптимальных маршрутов

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0+	+	+	+	+	+	+	+	+		4+	+		7+		4	2	4	7	4
2		0	1	1+	+	+	+		1	1	5	1	1	7	1	17+		17	17	17
3			0+	+	+	+	+		1	1	5	1	1	7	1	17+		17	17	17
4				0+	+	+	+	+	+	+		1+		8	10+	+	+			16+
5					0+	+	+	+	+	+	+	+		7	10	17+	+			17+
6						0+	+	+	+	+	+	+		7+	+		16+			16+
7							0+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		10	17+
8								0+	+	+	+	+	+	+	+		18	18+		18
9									0+	+	+	+	+		10	19	19	19+		+
10										0+	+	+	+	+		4	4	4	7	4
11											0+	+	+	+		4	4	4	7	4
12												0+	+	+		6	5	5	7	5
13													0+	+		4	4	4	7	4
14														0+		7,17	7	7	7	7
15															0	10,4	10,4	10,4	10,4	10,4
16																0+	+	+	+	
17																	0+	+	+	
18																		0+	+	
19																			0+	
20																				0

Рис 13. Таблица оптимального маршрута с использованием логопериодической антенны для 06:00 22 июня 2023.



# Результаты работы

Распределение средних скоростей

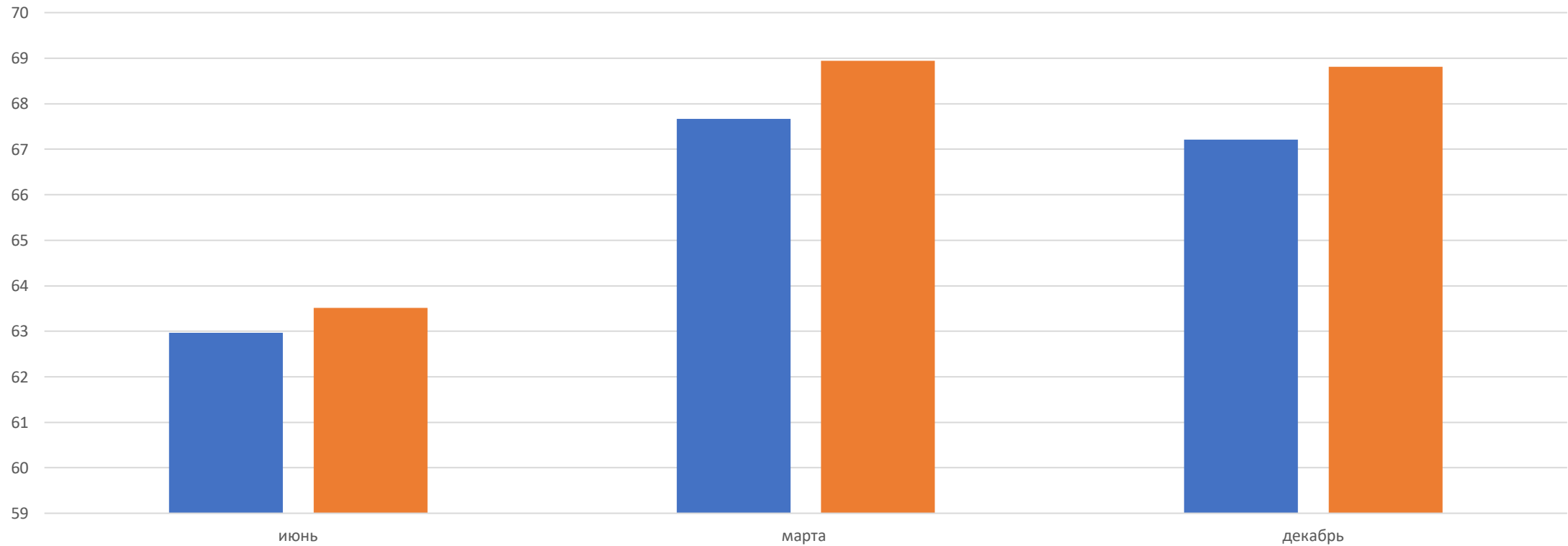


Рис 14 . Гистограмма распределения средних скоростей

# Заключение

- В выполненной работе была исследована модель кв радиосети арктического региона с использованием логопериодических антенн ретрансляторов на южном полушарии. Было получено распределение средних скоростей, откуда было определено, что с использованием направленных логопериодических антенн в умеренных широтах средняя скорость в среднем увеличивается на 1 кбит/с.
- Отдельная благодарность за проведения расчетов оптимальных путей по алгоритму Дейкстра, студенту ОмГУ им. Ф.М. Достоевского Андрею Пуцыковичу

# Список литературы

1. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_самых\\_северных\\_поселений\\_в\\_мире/](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_самых_северных_поселений_в_мире/)
2. [SWS - Solar Conditions - Monthly Sunspot Numbers \(bom.gov.au\)](http://www.bom.gov.au/solar/)
3. Романов, Ю. В. К вопросу о влиянии спектральной эффективности сигналов КВ модемов на их энергетическую эффективность / Ю. В. Романов // Радиолокация, навигация, связь: XXII международная научно-техническая конференция, Воронеж, 19–21 апреля 2016 года. Том 2. – Воронеж: НПФ «САКВОЕЕ», 2016. – С. 611-619.

Спасибо за внимание