

14. Shcherbakov M. V. O proaktivnoy intellektualnoy podderzhke prinyatiya upravlencheskikh resheniy [About proactive intellectual support for making management decisions]. *Informatsionnye tekhnologii i tekhnologii kommunikatsii: sovremennye dostizheniya : materialy Vtoroy mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii* [Information and Communication Technologies: Modern Achievements: Materials of the Second International Youth Conference], 2018, p. 5.
15. Al-Gunaid M. A., Shcherbakov M. V., Zadiran K. S., Melikov A. V. A survey of fuzzy cognitive maps forecasting methods. *8th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications, IISA 2017*, 2018, pp. 1-6.
16. Berners-Lee T., Hendler J. *The Semantic Web. Scientific American*. Stanford University, 2001.
17. *Mondeca Tourism Ontology*. Available at: <http://mondeca.com> (accessed 22.03.2019).
18. *Ontology Harmonise*. Available at: <http://aims.fao.org/ru/activity/blog/crop-ontology-harmonizing-semantics-phenotyping-and-agronomy-data> (accessed 22.03.2019).
19. *ONTOUR Ontology*. Available at: <http://ontour.deri.org/ontology/ontour-02.owl> (accessed 22.03.2019).
20. *Open Travel Alliance*. Available at: <https://opentravel.org/> (accessed 22.03.2019).
21. Orudjev N. Y., Poplavskaya O. V., Lempert L. B., Salnikova N. A., Kultsova M. B. Problems of Introducing Information technologies in Practice of Psychiatric Service. *IISA 2016 - 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, 2016, p. 7785417.
22. Raz Danny, Tapani Juhola Arto, Serrat-Fernandez Joan, Galis Alex. *Fast and Efficient Context-Aware Services. Wiley Series on Communications Networking & Distributed Systems*. John Wiley & Sons, 2006, p. 222.
23. Sadovnikova N., Matohina A., Shabalina O., Shirmanova D., Romanova A. Ontology-based urban transport system modelling for dynamic goal setting & decision making. *IISA 2016 – 7th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications*, 2016, p. 7785342.
24. Zhukova I. G., Sadovnikova N. P., Valovoy M. Y., Gnedkova E. P. Ontological approach in search optimization. *24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology Conference Proceedings. CriMiCo – 2014*, 2014, pp. 336–337.

УДК.: 621.391.812.6(575.2) + 004.02

## МОДЕЛИ И МЕТОДЫ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПО РАДИОКЛИМАТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ (НА ПРИМЕРЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ)

*Статья поступила в редакцию 20.02.2019, в окончательной варианте – 01.04.2019.*

**Оконов Манас**, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Сети связи и системы коммуникации», e-mail: [mokonov3@gmail.com](mailto:mokonov3@gmail.com)

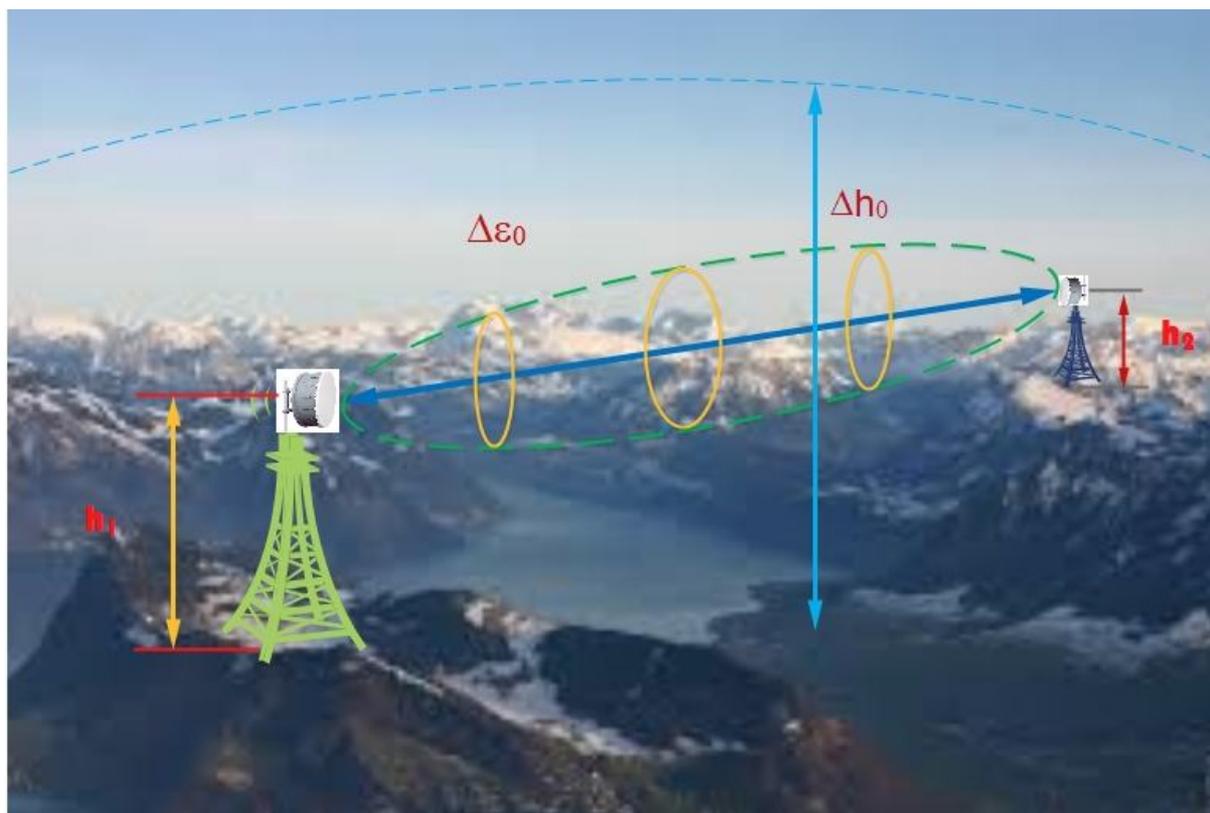
**Куцев Евгений Витальевич**, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, кандидат технических наук, доцент, e-mail: [evgeny230285@mail.ru](mailto:evgeny230285@mail.ru)

**Боскебеев Калычбек Джетмишбаевич**, Кыргызско-Российский Славянский университет имени Б.Н. Ельцина, 720000, Кыргызская Республика, г. Бишкек, ул. Киевская, 44, кандидат технических наук, доцент, e-mail: [kboskebeev@mail.ru](mailto:kboskebeev@mail.ru)

В горной и высокогорной местности при расположении корреспондирующих пунктов цифровых радиорелейных линий на господствующих высотах возможна прямая видимость на большие расстояния, иногда достигающие 200 и даже более километров. Благодаря этому оказывается возможным создание более экономичных сетей связи, чем в равнинной местности. Данная статья посвящена исследованию радиоклиматических параметров в части эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха. Они необходимы для оптимального выбора высот антенных опор и расчета субрефракционной составляющей неустойчивости, обусловленной влиянием рельефа местности при расчете качественных показателей цифровых радиорелейных линий. В данном исследовании методы математико-статистического анализа использованы для обработки данных аэрологического зондирования, выполнения расчетов значений метеорологических градиентов в слое  $\Delta h = 200$  м над поверхностью земли, значений отклонения диэлектрической проницаемости воздуха  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . В результате получены данные об усредненных значениях отклонения диэлектрической проницаемости воздуха  $\Delta \bar{\epsilon}_0$  от «единицы». Предложен метод прогнозирования параметров статистического распределения среднего вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха  $\bar{g}$  и его стандартного отклонения  $\sigma_g$  в приземном слое толщиной 200 м по величине  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ , выяснена высотная зависимость параметра  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . Полученные результаты могут быть использованы непосредственно при разработке или корректировке «Методики расчета трасс цифровых радиорелейных линий» в части методов расчета и выбора трасс высокогорных цифровых радиорелейных линий прямой видимости.

**Ключевые слова:** горная местность, цифровые радиорелейные линии (ЦРРЛ), диэлектрическая проницаемость воздуха, радиоклиматические параметры, аппроксимация, Кыргызская Республика

Графическая аннотация (Graphical annotation)



### MODELS AND METHODS OF ZONING THE TERRITORY BY RADIOCLIMATIC PARAMETERS (ON THE EXAMPLE OF THE KYRGYZ REPUBLIC)

The article was received by editorial board on 20.02.2019, in the final version – 01.04.2019.

**Okonov Manas**, Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: mokonov3@gmail.com

**Kutsev Evgeny V.**, Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: evgeny230285@mail.ru

**Boskebeev Kalychbek Dzh.**, Kyrgyz-Russian Slavic University named after B.N. Yeltsin, 44 Kievskaya St., Bishkek, 720000, Kyrgyz Republic,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, e-mail: kboskebeev@mail.ru

In the mountainous and high-mountainous terrains, with the location of the corresponding points of digital radio relay links at the prevailing heights, line-of-sight over long distances is possible, sometimes reaching 200 or even more kilometers. This makes it possible to create cheaper communication networks than in flatland terrain. This article is devoted to the study of radio climatic parameters (in terms of the effective gradients of the dielectric constant of air necessary) for the optimal choice of the height of antenna supports and the calculation of the subrefractive component of instability due to the effect of the terrain when calculating the quality indicators of digital radio relay links. In the study, the method of mathematical-statistical analysis was used to process the upper-air sounding, calculate the values of meteorological gradients in the layer  $\Delta h = 200$  m above the ground surface, the values of air dielectric permittivity deviations  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . As a result, data were obtained on the averaged values of the deviation of the dielectric constant of air  $\Delta \bar{\epsilon}_0$  from “one”, a method was proposed for predicting the parameters of the statistical distribution of the average vertical gradient of the dielectric constant of air and its standard deviation in the 200 m thick ground layer  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ , the height dependence of the parameter  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . The obtained results can be used directly in the development or adjustment of the “Methodology for calculating the routes of digital radio relay links” (in terms of methods for calculating and choosing the routes of high-altitude digital radio relay line-of-sight links).

**Key words:** mountainous terrain, digital radio relay links (DRRL), dielectric constant of air, radio climatic parameters, approximation, Kyrgyz Republic

**Введение.** Радиорелейная связь представляет собой разновидность радиосвязи, осуществляемой посредством цепочки приёмопередающих радиостанций, как правило, отстоящих друг от друга на расстоянии прямой видимости их антенн.

По своим техническим возможностям, количеству передаваемых сообщений, дальности и устойчивости действия радиорелейные линии (РРЛ) сопоставимы с кабельными линиями связи. В условиях сложного рельефа стран с горным рельефом местности РРЛ нашли широкое применение. Для построения магистралей РРЛ сооружают там, где кабельные линии проложить очень трудно или невозможно (в горных районах, через водные преграды и т.д.), а также при необходимости быстрого развертывания систем связи [2, 13].

Таким образом, вопросы принятия и реализации решений, связанных с районированием территорий в отношении возможностей обеспечения устойчивой радиосвязи с помощью РРЛ являются достаточно актуальными. Однако в существующей литературе эти вопросы рассмотрены недостаточно полно. Целью настоящей работы является попытка устранить указанный недостаток. Для определенности модели и методы районирования рассматриваются применительно к Кыргызской Республике. Однако описанные подходы применимы также для районирования горных районов в России, в частности в Республике Дагестан, некоторых районов республик Северного Кавказа.

**Общая характеристика проблематики работы.** В настоящее время РРЛ являются важной составной частью цифровых сетей связи, начиная с мелких организаций и заканчивая крупными национальными компаниями. Основные преимущества РРЛ:

- возможность быстрой установки оборудования при небольших капитальных затратах (малые габариты и масса радиорелейных систем (РРС) позволяют размещать их, используя уже имеющиеся помещения, опоры и всю инфраструктуру сооружений);
- экономически выгодный, а иногда и единственно возможный метод организации многоканальной связи на участках местности со сложным рельефом (лес, горы, болота и др.);
- возможность применения для аварийного восстановления связи в случае бедствий, при спасательных операциях и др.;
- высокое качество передачи информации по РРЛ, сопоставимое с волоконно-оптическими линиями связи (ВОЛС) и другими видами кабельных линий [1, 8, 11],

При расчете качественных показателей цифровых радиорелейных линий (ЦРРЛ) необходимо учитывать радиоклиматические особенности различных участков территорий в отношении статистики эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха [3, 4, 12]. Эти данные требуются для следующих целей:

- оптимального выбора высот антенных опор и расчета субрефракционной составляющей неустойчивости, обусловленной влиянием рельефа местности [14, 15];
- для расчета среднего ослабления сигнала на закрытых и полукрытых трассах [10, 17, 18].

Для большинства равнинных и малопересеченных регионов в различных странах (включая Кыргызскую Республику) уже произведено районирование по радиоклиматическим параметрам.

В то же время для горных и высокогорных регионов районирование во многих случаях не производилось ввиду сильной зависимости параметров распределений эффективного вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха  $T(g_{зф})$  от времени года и местных условий. Частично также сказывается и меньшая плотность населения, постоянно проживающего в горных районах. Тем не менее проблема районирования для горных районов также является актуальной; требует разработки соответствующих подходов к ее решению.

**Материалы и методы исследования.** Исходными материалами для разработки методики расчета распределений  $T(g)$  для территории Кыргызской Республики являются следующие:

- данные аэрологического зондирования атмосферы, производившиеся на трех станциях (Жалал-Абад, Бишкек и Нарын) 2–3 раза в сутки;
- данные наземных измерений температуры, давления и влажности воздуха на 16-ти метеорологических станциях республики. Список метеорологических станций с некоторой дополнительной информацией приведен в таблице 1. Все исходные (экспериментальные) материалы были получены из архивов ВНИИ Гидрометеорологической информации Российской Федерации за период 2015–2017 гг.

По данным одновременных измерений за трехлетний период (см. табл. 1) была сделана попытка исследования взаимосвязи следующих параметров:

- среднего вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха  $\bar{g}$  и его стандартного отклонения  $\sigma_g$  в приземном слое тропосферы (эти данные были получены по результатам аэрологического зондирования);
- усредненных данных для приземных значений  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ , которые являются отклонением диэлектрической проницаемости воздуха  $\epsilon$  от «единицы».

Для этой цели были обработаны данные аэрологического зондирования для трех вышеуказанных станций и рассчитаны значения метеорологических градиентов в слое 200 м над поверхностью земли. Одновременно с этим по измеренным наземным метеорологическим параметрам рассчитывались значения  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ .

Анализ произведен по данным за апрель, июль, октябрь и ноябрь 2015–2017 гг., как это указано в таблице 1.

Таблица 1 – Список метеорологических станций

№ станции на карте (рис. 4)	Название станции	Координатный номер станции	Высота станции, м
1	Хайдаркан	399713	2000
2	Ноокат	403726	1325
3	Ош	406728	873
4	Жалал-Абад	409730	764
6	Ортокойское водохранилище	414715	1616
7	Кызыл-Адыр	427716	921
8	Талас	425722	1217
9	Бишкек	428745	756
11	Чаек	419745	1652
13	Баетово	412750	2000
14	Нарын	414760	2039
15	Балыкчи	425762	1660
16	Чолпон-Ата	426770	1616
17	Каракол	424784	1716
18	Кызыл-Суу	424780	1768
19	Токмок	428753	816

*Примечание:* Координатный номер станции представляет собой сочетание широты и долготы станции до минут (без десятых долей). Первые три цифры координатного номера – широта станции, с четвертой по шестую – долгота станции. Например: Чолпон-Ата 426770, т.е. 42.6 С.Ш., 77 В.Д.

Расчет выполнен по формулам, взятым из [19]:

$$\Delta \mathcal{E}_0 = \frac{1,552 \times 10^{-4}}{T} \left( P + \frac{4800e}{T} \right), \quad (1)$$

$$g_0 = \frac{\Delta \mathcal{E}_0(h_2) - \Delta \mathcal{E}_0(h_1)}{h_2 - h_1}, \quad 1/\text{м}, \quad (2)$$

где  $T$  – температура воздуха по абсолютной шкале, град. Кельвина;  $P$  – давление воздуха, миллибар;  $e$  – давление водяных паров, миллибар;  $h_1$  – высота приземной точки измерения метеопараметров относительно уровня моря, м;  $h_2$  – высота точки измерения метеопараметров на верхней границе слоя ( $\Delta h = 200$  м) относительно уровня моря, м.

Значения вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха  $g$  были статистически обработаны и по методу из [16] определены среднее значение  $\bar{g}$  и его стандартного отклонения  $\sigma_g$  за каждый месяц. Проанализировав полученные данные установлено, что указанные параметры подчиняются нормальному закону. Следует отметить, что в отдельных случаях, когда измеренные точки не соответствовали толщине слоя 200 м, значения  $\sigma_g$  корректировались и приводились к толщине слоя  $\Delta h = 200$  м по методу, предложенному в [16].

По материалам высотного зондирования на 3-х станциях Кыргызской Республики в среднепересеченной местности значения  $\sigma_g$  падают с увеличением толщины слоя примерно пропорционально квадратному корню из отношения толщины слоев. Что же касается величины  $\bar{g}$ , то до толщины слоя  $\Delta h \approx 1000$  м величина  $\bar{g}$  практически не изменяется.

Полученные данные проанализированы и сравнены со среднемесячными значениями  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . По результатам проведенного сравнительного анализа установлено, что наблюдается взаимосвязь между значениями  $\bar{g}$  и  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ , а также между  $\sigma_g$  и  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . Результаты сравнительного анализа приведены на рисунках 1 и 2.

Усредненные зависимости  $\bar{g}(\Delta \bar{\epsilon}_0)$  и  $\sigma_g(\Delta \bar{\epsilon}_0)$  описываются следующими аппроксимациями (регрессионными уравнениями), которые приведены на рисунках 1, 2:

$$\bar{g} = (-5,4 - 3,59 \times 10^{-5} e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\epsilon}_0}) \times 10^{-8}, \quad 1/\text{м}, \quad (3)$$

$$\sigma_g = (-1,64 - 3,78 \cdot 10^{-6} e^{2,335 \cdot 10^4 \times \Delta \bar{\varepsilon}_0}) \times 10^{-8}, \text{ 1/м.} \quad (4)$$

При этом выбор экспоненциальной зависимости для аппроксимаций определялся размещением экспериментальных точек на графиках.

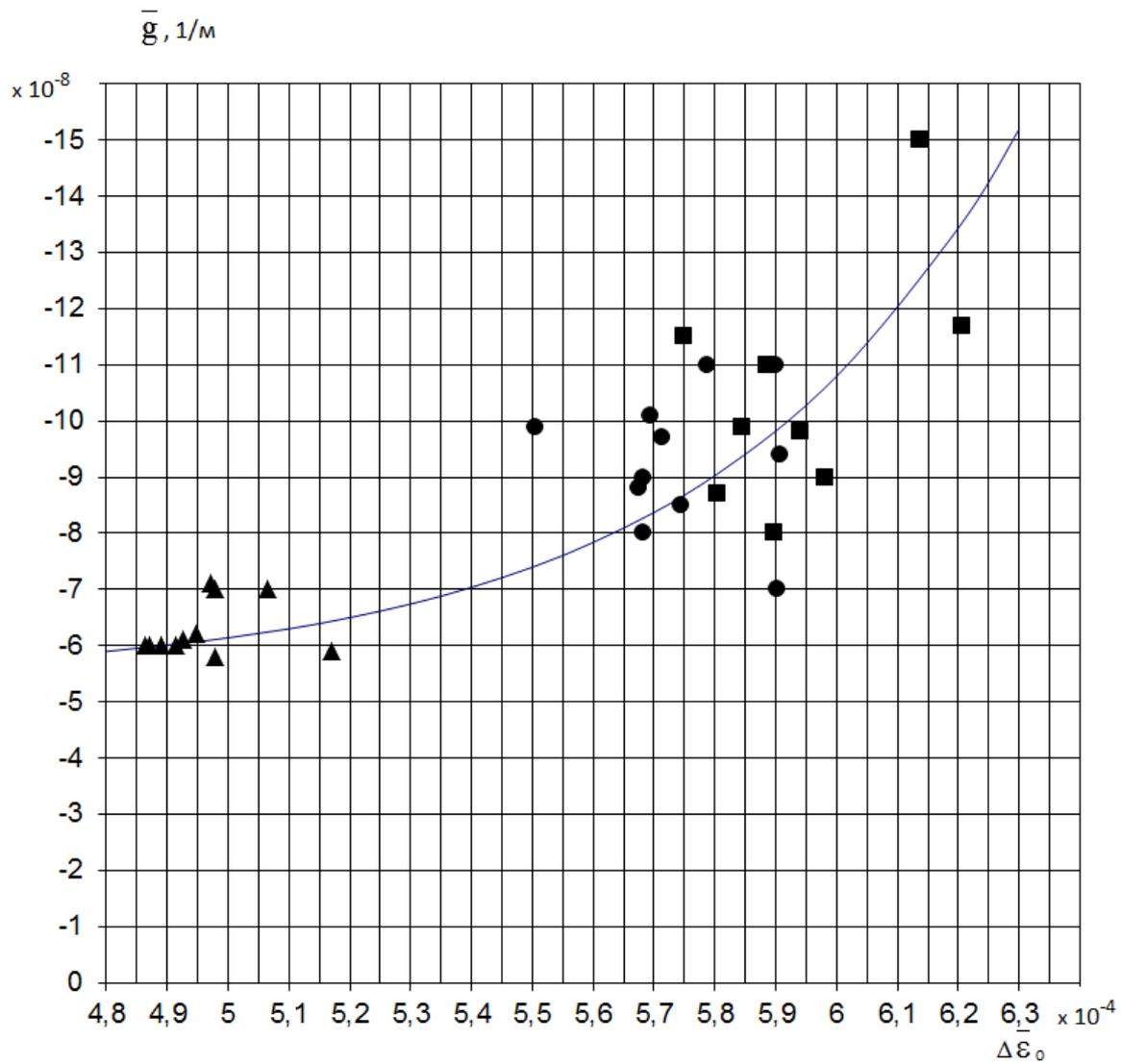


Рисунок 1 – Зависимость среднемесячных значений  $\bar{g}$  от  $\Delta \bar{\varepsilon}_0$ . Обозначения: — значения, рассчитанные по формуле (3); измеренные величины:  $\blacktriangle$  – ст. Нарын (№ 14);  $\bullet$  – ст. Бишкек (№ 9);  $\blacksquare$  – ст. Жалал-Абад (№ 4)

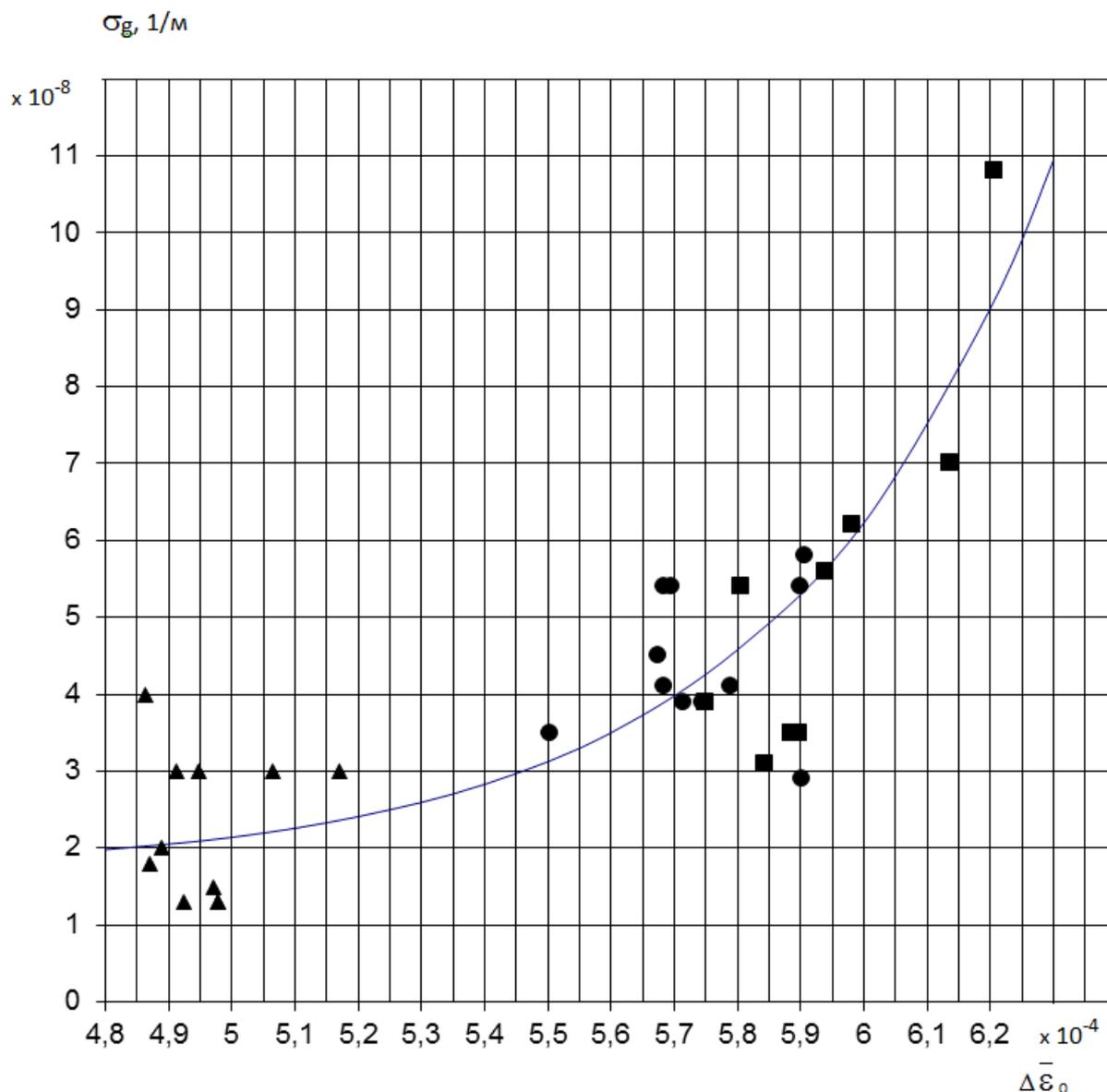


Рисунок 2 – Зависимость среднемесячных значений  $\sigma_g$  от  $\Delta \bar{\epsilon}_0$ . Обозначения: — результаты расчетов по формуле (4); измеренные величины:  $\blacktriangle$  – ст. Нарын (№ 14);  $\bullet$  – ст. Бишкек (№ 9);  $\blacksquare$  – ст. Жалал-Абад (№ 4)

Анализ относительных отклонений расчетных значений от экспериментальных величин дал следующие результаты:

- для зависимости  $\bar{g}(\Delta \bar{\epsilon}_0)$  среднее значение относительной ошибки  $\bar{E} = -1,57\%$  (отклонений экспериментальных значений от расчетных, полученных с использованием регрессионных зависимостей), ее стандартное отклонение  $\sigma_E = 14,5\%$ . При этом средняя абсолютная ошибка составила соответственно: для  $\bar{E} = 0,29 \times 10^{-8} \text{ 1/m}$ , а для  $\sigma_E = 1,32 \times 10^{-8} \text{ 1/m}$ ;

- для зависимости  $\sigma_g(\Delta \bar{\epsilon}_0)$  среднее значение  $\bar{E} = 8,05\%$ , стандартное отклонение  $\sigma_E = 33,4\%$ . Эти данные соответствуют абсолютным ошибкам  $\bar{E} = -0,12 \times 10^{-8} \text{ 1/m}$ , а  $\sigma_E = 1,05 \times 10^{-8} \text{ 1/m}$ .

Такие значения параметров отклонений соизмеримы с точностью измерений метеопараметров. На основании этого можно считать, что предложенная модель определения  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$  по среднемесячным значениям  $\Delta \bar{\epsilon}_0$  может считаться приемлемой для прогнозирования статистики эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха.

В таблице 2 представлены экспериментальные значения  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$  и прогнозируемые значения  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$  в слое толщиной 200 м для 14 пунктов Кыргызской Республики для апреля, июля и октября, характеризующих разные сезоны года. Они получены в результате усреднения исходных данных за период 2015–2017 гг.

Таблица 2 – Прогнозируемые значения  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$  в слое  $\Delta h = 200$  м

№ пункта	Название пункта	Значения параметров								
		$\Delta \bar{\mathcal{E}}_0 \times 10^4$			$\bar{g} \times 10^8, 1/м$			$\sigma_g \times 10^8, 1/м$		
		апрель	июль	октябрь	апрель	июль	октябрь	апрель	июль	октябрь
1	Хайдаркан	5,044	5,125	4,925	-6,2	-6,3	-6,0	2,1	2,2	2
2	Ноокат	5,503	5,760	5,466	-7,4	-8,8	-7,3	3,1	4,3	3,0
3	Ош	5,766	5,966	5,735	-8,8	-10,5	-8,6	4,3	5,9	4,1
4	Жалал-Абад	5,852	6,061	5,79	-9,4	-11,5	-9,0	4,9	6,9	4,5
7	Кызыл-Адыр	5,725	5,906	5,703	-8,5	-9,9	-8,4	4,1	5,4	3,9
8	Талас	5,482	5,646	5,442	-7,3	-8,1	-7,2	3,0	3,6	2,9
9	Бишкек	5,784	5,909	5,768	-8,9	-9,9	-8,8	4,4	5,4	4,3
11	Чаек	5,199	5,436	5,151	-6,5	-7,2	-6,4	2,3	2,9	2,3
13	Баетово	5,049	5,226	5,041	-6,2	-6,6	-6,2	2,1	2,4	2,1
14	Нарын	4,870	5,103	4,903	-6,0	-6,3	-6,0	2,0	2,2	2,0
15	Балыкчи	5,072	5,408	5,185	-6,3	-7,1	-6,4	2,2	2,8	2,3
16	Чолпон-Ата	5,214	5,60	5,321	-6,5	-7,8	-6,8	2,4	3,4	2,6
17	Каракол	5,132	5,566	5,262	-6,4	-7,7	-6,6	2,2	3,3	2,5
18	Кызыл-Суу	–	5,384	–	–	-7,0	–	–	2,7	–

Необходимо обратить внимание на особенности высокогорных интервалов ЦРПД, когда пункты передачи и приема оказываются на сильно отличающихся высотных отметках [5]. В этом случае при расчете субрефракционной составляющей неустойчивости необходимо учитывать параметры распределения эффективных градиентов, усредненные по длине трассы. Расчеты можно производить по приближенным формулам, полученным с учетом приведенных выше аппроксимирующих выражений для  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$  (3), (4):

$$\bar{g} = \frac{1}{\Delta \mathcal{E}02 - \Delta \mathcal{E}01} \int_{\Delta \mathcal{E}01}^{\Delta \mathcal{E}02} (-5,4 - 3,59 \times 10^{-5} e^{1,987 \times 10^4 \Delta \bar{\mathcal{E}}_0}) \times 10^{-8} d\Delta \bar{\mathcal{E}}_0 =$$

$$= -5,4 \times 10^{-8} - \frac{1,807 \times 10^{-17}}{\Delta \mathcal{E}02 - \Delta \mathcal{E}01} (e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\mathcal{E}}_02} - e^{1,987 \times 10^4 \times \Delta \bar{\mathcal{E}}_01}), 1/м \quad (5)$$

$$\sigma_g = 1,7 \times 10^{-8} + \frac{1,62 \times 10^{-17}}{\Delta \mathcal{E}02 - \Delta \mathcal{E}01} (e^{2,335 \times 10^4 \times \Delta \bar{\mathcal{E}}_02} - e^{2,335 \times 10^4 \times \Delta \bar{\mathcal{E}}_01}), 1/м, \quad (6)$$

где разнящиеся высотные отметки пунктов (условно 1 и 2) заложены в значения  $\Delta \bar{\mathcal{E}}01$  и  $\Delta \bar{\mathcal{E}}02$ .

**Особенности районирования территории Кыргызской Республики по радиоклиматическим параметрам.** Специфика районирования высокогорных регионов по радиоклиматическим параметрам, включающим как градиенты диэлектрической проницаемости воздуха, так и абсолютную влажность воздуха, обусловлена следующими факторами:

- топографическими и климатическими особенностями участков территории;
- значительной зависимостью от сильно разнящихся высот различных пунктов.

Эти факторы приводят к сильной зависимости метеопараметров от местных условий и трудностям районирования участков территории.

Для устранения (уменьшения) влияния высотного фактора путем «приведения» радиоклиматических параметров к какой-либо одной высоте была исследована зависимость метеопараметра  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$  от высоты станций над уровнем моря  $h$ . Результаты этих исследований приведены на рисунке 3.

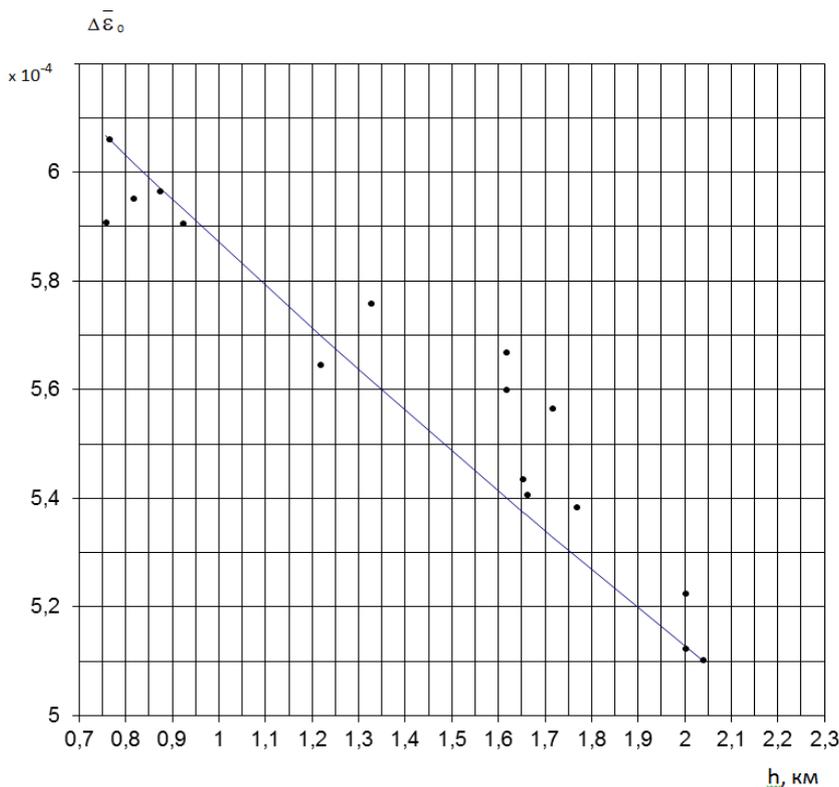


Рисунок 3 – Зависимость среднемесячного значения  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$  от высоты станции  $h$ . Обозначения: ● – измеренные величины, усредненные за июль; \_\_\_\_\_ – расчет по формуле (7)

Аппроксимирующая зависимость удовлетворительно описывается следующей формулой:

$$\Delta \bar{\mathcal{E}}_0 = 6,72 \times 10^{-4} e^{-h/7,4}, \tag{7}$$

где  $h$ , км.

Формула (7) была получена с применением метода наименьших квадратов в программном средстве Statistica v. 6.0.

Тогда величина отклонения среднемесячных значений диэлектрической проницаемости воздуха  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$  для условно принятой (приведенной) высоты может быть вычислена по следующей формуле:

$$\Delta \bar{\mathcal{E}}_{0 \text{ пр}} = \Delta \bar{\mathcal{E}}_{0 \text{ изм}} - [\Delta \bar{\mathcal{E}}(h)_{\text{расч}} - \Delta \bar{\mathcal{E}}_0(h_{\text{пр}})_{\text{расч}}], \tag{8}$$

где  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0(h)_{\text{расч}}$  рассчитывается по формуле (7) для истинной высоты пункта;  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0(h_{\text{пр}})_{\text{расч}}$  рассчитывается по формуле (7) для условно выбранной приведенной высоты.

Высотная поправка (величина в квадратных скобках в формуле 8) корректирует значение  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$ , измеренное на реальной высоте, и характеризует климатическую ситуацию в заданном месте. В результате она трансформируется в величину  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_{0 \text{ пр}}$ , ожидаемую на приведенной высоте  $h_{\text{пр}}$ .

Преобразуя формулу (8) с учетом формулы (7), получим

$$\Delta \bar{\mathcal{E}}_{0 \text{ пр}} = \Delta \bar{\mathcal{E}}_0 + 6,72 \times 10^{-4} \times e^{-h/7,4} (e^{-(h_{\text{пр}}-h)/7,4} - 1), \tag{9}$$

где  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0 = \Delta \bar{\mathcal{E}}_{0 \text{ изм}}$ ;  $h$ , км.

Для исследования радиоклиматических особенностей различных регионов Кыргызской Республики значения  $\Delta \bar{\mathcal{E}}_0$  приводились к высоте Бишкека ( $h_{\text{пр}} = 0,756$  км). Далее с учетом формулы (9) по формулам (3), (4) рассчитывались значения  $\bar{g}_{\text{пр}}$  и  $\sigma_{g \text{ пр}}$  для различных пунктов. Результаты расчетов приведенных значений  $\bar{g}_{\text{пр}}$  и  $\sigma_{g \text{ пр}}$  по усредненным трехлетним данным за июль приведены в таблице 3. Отметим, что указанный месяц отличается неблагоприятными (с точки зрения обеспечения устойчивости работы ЦРРЛ) условиями с наибольшей дисперсией эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха [20].

Таблица 3 – Значения приведенных параметров

№ пункта	Название пункта	Значения параметров			
		$\Delta \bar{\mathcal{E}}_0 \times 10^4$	$\Delta \bar{\mathcal{E}}_{0пр} \times 10^4$	$\bar{g}_{np} \times 10^8, 1/м$	$\sigma g пр \times 10^8, 1/м$
1	Хайдаркан	5,125	6,064	-11,5	7,0
2	Ноокат	5,76	6,209	-13,6	9,1
3	Ош	5,966	6,061	-11,5	6,9
4	Жалал-Абад	6,061	6,067	-11,6	7,0
5	Ортокойское водохранилище	5,669	6,335	-15,9	11,7
7	Кызыл-Адыр	5,906	6,04	-11,3	6,7
8	Талас	5,646	6,013	-10,9	6,4
9	Бишкек	5,909	5,909	-9,9	5,4
11	Чаек	5,436	6,128	-12,4	7,8
13	Баетово	5,226	6,165	-12,9	8,4
14	Нарын	5,103	6,069	-11,6	7,0
15	Балыкчи	5,408	6,106	-12,1	7,5
16	Чолпон-Ата	5,6	6,266	-14,6	10,2
17	Каракол	5,566	6,304	-15,3	11,0
18	Кызыл-Суу	5,384	6,16	-12,8	8,3
19	Токмок	5,952	6,001	-10,8	6,2

На основании анализа и обобщения полученных данных произведено районирование территории Кыргызской Республики по приведенным радиоклиматическим параметрам (рис. 4). Значения приведенных параметров для различных районов, указанных на карте, даны в таблице 4.

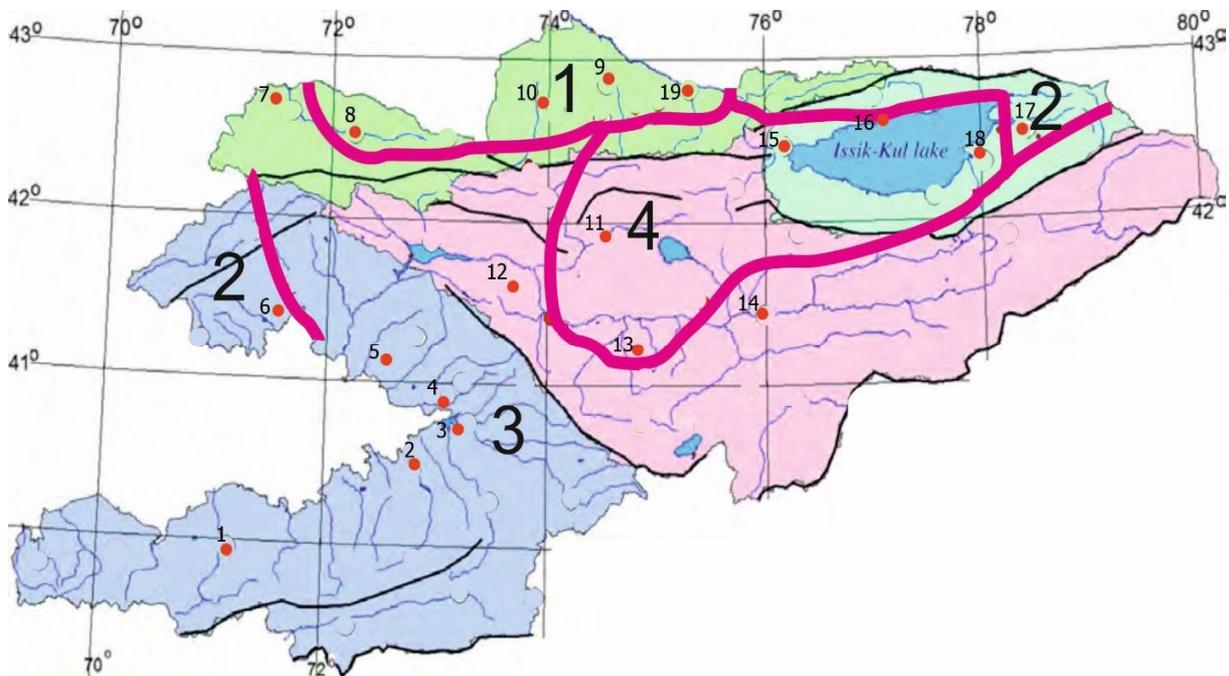


Рисунок 4 – Карта радиоклиматического районирования территории Кыргызской Республики по приведенным параметрам

Таблица 4 – Дополнение к карте, приведенной на рисунке 4

Номер района на карте (рис. 4)	Номера учтенных метеостанций	Значения приведенных параметров		Максимальные отклонения от $\bar{g}_{np}$ и $\sigma_{g пр}$ , %	
		$\bar{g}_{пр} \times 10^8$ , 1/м	$\sigma_{g пр} \times 10^8$ , 1/м	$E_{\max}(\bar{g}_{пр})$	$E_{\max}(\sigma_{g пр})$
1	8, 9, 19	-10,5	6	6,1	11,1
2	6, 16, 17	-15,3	11,0	4,8	7,8
3	1, 2, 3, 4, 7, 14	-11,5	6,9	1,8	4,5
4	11, 13, 15, 18	-12,8	8,2	5,9	9,9

На основании проведенного районирования можно приближенно определить значения параметров  $\bar{g}_{пр}$  и  $\sigma_{g пр}$  для любого пункта на территории Кыргызской Республики, в том числе расположенного в горной местности. После этого с учетом реальной высоты местности в интересующем пункте рассчитываются значения  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$ . Эти значения могут использоваться на практике при проектировании интервалов ЦРРЛ и расчете их качественных показателей. Расчет производится по формулам, полученным с учетом формул (3) и (9):

$$\bar{g} = -5,5 \times 10^{-8} + 3,3 \times (\bar{g}_{пр} + 5,5 \times 10^{-8}) e^{-1,57h}, \quad 1/м, \tag{10}$$

$$\sigma_g = 1,7 \times 10^{-8} + 4,5 \times (\sigma_{g пр} - 1,7 \times 10^{-8}) e^{-1,85h}, \quad 1/м, \tag{11}$$

где  $h$ , км.

Формулы (10) и (11) применимы, если оба конечных пункта ЦРРЛ расположены на примерно одинаковых высотах [6, 7, 9]. В противном случае параметры статистического распределения эффективных градиентов определяются методом усреднения по трассе. В этом случае:

$$\begin{aligned} \bar{g} &= \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{h_1}^{h_2} (-5,5 \times 10^{-8} + 3,3 \times [\bar{g}_{пр} + 5,5 \times 10^{-8}] e^{-1,57h}) dh = \\ &= -5,5 \cdot 10^{-8} - 3,3 \times (\bar{g}_{np} + 5,5 \times 10^{-8}) \frac{e^{-1,57h_2} - e^{-1,57h_1}}{1,57(h_2 - h_1)}, \quad 1/м, \end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned} \sigma_g &= \frac{1}{h_2 - h_1} \int_{h_1}^{h_2} (1,7 \cdot 10^{-8} + 4,5 \times [\sigma_{g пр} - 1,7 \cdot 10^{-8}] e^{-1,85h}) dh = \\ &= 1,7 \times 10^{-8} - 4,5 \times (\sigma_{g пр} - 1,7 \times 10^{-8}) \frac{e^{-1,85h_2} - e^{-1,85h_1}}{1,85(h_2 - h_1)}, \quad 1/м, \end{aligned} \tag{13}$$

где  $h_1$  и  $h_2$  – высоты пунктов относительно уровня моря, км.

Если пункты расположены в разных климатических районах, то для определения значений  $\bar{g}$  и  $\sigma_g$  по формулам (12), (13) необходимо использовать средние значения приведенных параметров, т.е.

$$\bar{g}_{np} = \frac{\bar{g}_{np1} + \bar{g}_{np2}}{2}, \quad \sigma_{g пр} = \frac{\sigma_{g пр1} + \sigma_{g пр2}}{2}. \tag{14}$$

**Заключение.** В настоящей статье исследованы радиоклиматические параметры в части эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха, необходимые для оптимального выбора просветов (расстояний между приемопередающими станциями РРЛ) и расчета субрефракционной составляющей замираний на высокогорной территории (на примере Кыргызской Республики).

Предложен метод прогнозирования параметров статистического распределения эффективных градиентов диэлектрической проницаемости воздуха в слое толщиной 200 м над поверхностью земли по усредненным приземным значениям диэлектрической проницаемости воздуха.

Предложен метод районирования высокогорной территории по приведенным радиоклиматическим параметрам с последующим пересчетом к реальной высоте заданных пунктов.

Полученные результаты могут быть использованы непосредственно при разработке или корректировке «Методики расчета трасс ЦРРЛ» в части методов расчета и выбора трасс высокогорных ЦРРЛ прямой видимости.

Приведенные в данной статье методики расчетов и полученные результаты могут быть полезны для целей проектирования не только для территории Кыргызской Республики, но и горных районов России (включая Республику Дагестан, республики Северного Кавказа).

#### Библиографический список

1. Бакытов А. Б. Критерии качества связи цифровых радиорелейных линий связи / А. Б. Бакытов, Д. А. Нурпеисова, С. А. Медеуов, П. Е. Дарменалы // Технические науки: теория и практика : материалы III Международной научной конференции. – Чита : Молодой ученый, 2016. – С. 32–35.
2. Боскебеев К. Д. Анализ условий деятельности животноводческих фермерских хозяйств, направлений их информатизации и автоматизации (на примере Кыргызской Республики и Астраханской области) / К. Д. Боскебеев, Ж. Н. Иманалиева, Ж. Б. Мамадалиева, М. В. Скакунова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2018. – № 1. – С. 116–128.
3. Бутенко В. В. Цифровизация сети РРЛ прямой видимости / В. В. Бутенко // Вестник связи. – 2009. – № 8. – С. 15–21.
4. Быховский М. А. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи / М. А. Быховский, Ю. М. Кирик, В. И. Носов и др. : учебное пособие для вузов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 332 с.
5. Зимин И. В. Анализ целесообразных технических решений для обеспечения услуг связи в труднодоступных населенных пунктах Кыргызской республики / И. В. Зимин, К. Б. Нурматов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – № 1 (41). – 2018. – С. 103–116.
6. Калинин А. И. Распространение радиоволн на трассах наземных и космических радиолоний / А. И. Калинин. – М. : Связь, 1979. – 296 с.
7. Катков Е. К. Повышение точности позиционирования на местности низкодинамичных подвижных объектов с использованием информационной системы мониторинга ионосферы / Е. К. Катков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 2. – С. 145–155.
8. Коновалов Л. М. Цифровые радиорелейные станции. Обзор основных технических характеристик / Л. М. Коновалов // Технологии и средства связи. – 2006. – № 1. – С. 27–30.
9. Куцев Е. В. Определение критической частоты и критического угла отражения радиосигнала от ионосферы / Е. В. Куцев // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2015. – Т. 15, № 9. – С. 124–127.
10. Куцев Е. В. Распространение ультракоротких волн с учетом рельефа Кыргызской Республики / Е. В. Куцев, М. Оконов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 90–93.
11. Лукьянов А. С. Анализ и преимущества радиорелейных систем от проводных линий связи / А. С. Лукьянов, С. А. Петров, М. Н. Рыкунов // Символ науки. – 2016. – № 10-2. – С. 60–62.
12. Методика расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2-20 ГГц. ЗАО «Инженерный центр» и НИИР. – 1998. – 181 с.
13. Миркин В. В. Эволюция отечественных систем радиорелейной связи / В. В. Миркин // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 372. – С. 120–125.
14. Надененко Л. В. К расчету устойчивости сигнала на интервалах радиорелейных линий прямой видимости / Л. В. Надененко // Труды НИИР. – 1980. – № 2. – С. 61–64.
15. Надененко Л. В. Устойчивость работы интервалов РРЛ в диапазоне 8 ГГц / Л. В. Надененко, В. В. Святогор, В. П. Кривокубов // Электросвязь. – 1978. – № 9. – С. 8–17.
16. Надененко Л. В. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Л. В. Надененко. – Москва, 1963.
17. Пищин О. Н. Анализ моделей распространения радиоволн над водной поверхностью и их использование при расчетах уровней электромагнитного поля в системах подвижной радиосвязи / О. Н. Пищин, Н. В. Бестаева, А. Д. Зубова, А. А. Орлова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2017. – № 3. – С. 121–130.
18. Рекомендация МСЭ-Р P.530-13 10-2009. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования, необходимые для проектирования наземных систем прямой видимости. – 2009. – 50 с.
19. Справочник по радиорелейной связи / под ред. С. В. Бородича. – М. : Радио и связь, 1981. – 416 с.
20. Чернов Я. В. Особенности расчета устойчивости цифровых радиорелейных линий / Я. В. Чернов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2007. – № 20. – С. 111–114.

#### References

1. Bakytov A. B., Nurpeisova D. A., Medeuov S. A., Darmanaly P. E. Kriterii kachestva svyazi tsifrovyykh radioreleynykh liniy svyazi [Quality criteries of digital radio relay link]. *Tekhnicheskije nauki: teoriya i praktika : materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Technical sciences: theory and practice: Materials of III International Science Conference], Chita: Molodoy uchenyy Publ., 2016, pp. 32–35.
2. Boskebeev K. D., Imanalyeva J. N., Mamadalyeva J. B., Skakunova M. V. Analiz usloviy deyatelnosti zhivotnovodcheskikh fermerskikh khozyaistv, napravleniy ikh informatizatsii i avtomatizatsii (na primere Kyrgyzskoy Respubliki i Astrahanskoy oblasti) [Operation conditions analysis of the cattle-breeding farms, directions of their informati-

zation and automation (by the example of the Kyrgyz Republic and the Astrakhan region)]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1, pp. 116–128.

3. Butenko V. V. Tsifrovizatsiya seti RRL pryamoy vidimosti [Digitalization of the radio relay line-of-sight link network]. *Vestnik svyazi* [Bulletin of Service], 2009, no.8, pp. 15–21.

4. Bykhovskiy M. A., Kirik Yu. M., Nosov V. I. et al. *Osnovy proektirovaniya tsifrovyykh radioreleinykh liniy svyazi : uchebnoe posobie dlya vuzov* [Design fundamentals of digital radio relay links : textbook for university]. Moscow, Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2014. – 332 p.

5. Zimin I. V., Nurmatov K. B. Analiz tselesoobraznykh tekhnicheskikh resheniy dlya obespecheniya uslug svyazi v trudnodostupnykh naseleennykh punktakh Kyrgyzskoy Respubliki [Creation of opportunities for communication services delivering to hard reachable settlements in Kyrgyz Republic]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2018, no. 1 (41), pp. 103–116.

6. Kalinin A. I. *Rasprostraneniye radiovoln na trassakh nazemnykh i kosmicheskikh radioliniiy* [Propagation of terrestrial and space link radio waves]. Moscow, Svyaz Publ., 1979. 296 p.

7. Katkov Ye. K. Povysheniye tochnosti pozitsionirovaniya na mestnosti nizkodinamichnykh podvizhnykh obektov s ispolzovaniem informatsionnoy sistemy monitoring ionosfery [Increasing positioning accuracy in the area for low dynamic mobile objects using information from the ionosphere monitoring system]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 2, pp. 145–155.

8. Kononov L. M. Tsifrovyye radioreleinye stantsii. Obzor osnovnykh tekhnicheskikh kharakteristik [Digital radio relay stations. Overview main technical characteristics]. *Tekhnologii i sredstva svyazi* [Service Technologies and Facilities], 2006, no. 1, pp. 27–30.

9. Kutsev E. V. Opredeleniye kriticheskoy chastoty i kriticheskogo ugla otrazheniya radiosignala ot ionosfery [Finding critical frequencies and critical angle of reflected radio signal from the ionosphere]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavonic University], 2015, vol. 15, no. 9, pp. 124–127.

10. Kutsev E. V., Okonov M. Rasprostraneniye ultrakorotkikh voln s uchetom reliefa Kyrgyzskoy Respubliki [Propagation of VHF taking into account relief of the Kyrgyz Republic]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiyskogo Slavyanskogo universiteta* [Bulletin of Kyrgyz-Russian Slavonic University], 2016, vol. 16, no. 1 pp. 90–93.

11. Lukyanov A. S., Petrov S. A., Rykunov M. N. Analiz i preimushchestva radioreleinykh sistem ot provodnykh liniy svyazi [Analysis and radio relay advantages from wired links]. *Simvol nauki* [Sciences Symbol], 2016, no.10-2, pp. 60–62.

12. *Metodika rascheta trass tsifrovyykh RRL pryamoy vidimosti v diapazone chastot 2-20 GGts. ZAO "Inzhenernyy tsentr" I NIIR* [Design methods of digital line-of-sight radio relay links in the frequency range 2-20 GGz. Company "Engineering center" and RRI], 1998. 181 p.

13. Mirkin V. V. Evolyutsiya otechestvennykh sistem radioreleinykh svyazi [Evolution of domestic systems of radio relay services]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 2013, no. 372, pp. 120–125.

14. Nadenenko L.V. K raschetu ustoychivosti signala na intervalakh radioreleinykh liniy pryamoy vidimosti [To calculate the signal's stability on the line-of-sight radio relay link]. *Trudy NIIR* [Proceedings of RRI], 1980, no. 2, pp. 61–64.

15. Nadenenko L. V., Svyatogor V. V., Krivozubov V. P. Ustoichivost raboty intervalov RRL v diapazone 8 GGts [Work stability of radio relay spans in the range 8 GGz]. *Elektrosvyaz* [Telecommunication], 1978, no. 9, pp. 8–17.

16. Nadenenko L. V. *Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk* [Dissertation for the degree of candidate of technical sciences]. Moscow, 1963.

17. Pishchin O. N., Bestaeva N. V., Zubova A. D., Orlova A. A. Analiz modeley rasprostraneniya radiovoln nad vodnoy poverhnostyu i ikh ispolzovanie pri raschetakh urovney elektromagnitnogo polya v sistemakh podvizhnoy radio svyazi [Analysis of models of radiowave propagation over water surface and use of them while calculating level of electromagnetic field in the mobile radio communication systems]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2017, no. 3, pp. 121–130.

18. *Rekomendatsiya MSE-R R.530-13 10-2009. Dannye o rasprostraneniі I metody prognozirovaniya, neobhodimyye dlya proektirovaniya nazemnykh sistem pryamoі vidimosti* [Recommendation ITU-R P.530-13. (10/2009). Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems]. 2009. 50 p.

19. *Spravochnik po radioreleinoy svyazi* [Handbook of radio relay services]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1981. 416 p.

20. Chernov Ya.V. Osobennosti rascheta ustoychivosti tsifrovyykh radioreleinykh liniy [Stability calculation features of radio relay links]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University], 2007, no.20, pp. 111–114.