

УДК 621.396.94

DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-241-249

Перспективные методы повышения скорости передачи информации в каналах метеорной связи

¹Сердюков В.С., ²Белов С.П., ²Орехов А.О.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: kaf-otzi-zav@bukep.ru, belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Аннотация. В статье предложены перспективные направления развития и способы реализации каналов метеорной связи, позволяющие существенно увеличить коэффициент использования канала. Применение многонаправленной антенной решетки позволяет увеличить соотношение сигнал/шум на приемной стороне, не увеличивая энергетические затраты. Также применение предварительной оценки образовавшегося метеорного канала связи на передающей стороне позволит увеличить начальный объем передаваемых данных за счет применения многопозиционной модуляции в момент, когда электронная плотность канала максимальна. Актуальность исследований в данном направлении обусловлена увеличением реализации удаленного взаимодействия между территориально распределенными абонентами с применением метеорных инфокоммуникационных систем.

Ключевые слова: инфокоммуникационная система метеорной связи, многонаправленная антенная решетка, коэффициент использования метеорного канала, многопозиционная модуляция

Для цитирования: Сердюков В.С., Белов С.П., Орехов А.О. 2024. Перспективные методы повышения скорости передачи информации в каналах метеорной связи. Экономика. Информатика. 51(1): 241–249. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-241-249

Promising Methods for Increasing the Speed of Information Transmission in Meteor Communication Channels

¹Vladimir S. Serdyukov, ²Sergey P. Belov, ²Andrey O. Orekhov

¹ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law,
Russia, 308023, Belgorod, st. Sadovaya, 116a

² Belgorod State National Research University
Russia, 308015, Belgorod, st. Pobedy, 85

E-mail: kaf-otzi-zav@bukep.ru, belovssergei@gmail.com, orekhovip@yandex.ru

Abstract. At present, the problems of stable communication in Arctic latitudes are relevant. The basic ways of communication used today are satellite and decameter communications, which allow transmitting information over long distances, but in turn, have several disadvantages. In this context, we should consider meteor communication channels in which the radio signal is reflected below the ionized layer. The current level of development of computer technology makes it possible to fundamentally change the structure of the meteor communication channel, methods for estimating the parameters of the communication channel and the process of generating channel signals with a given reception reliability. The article proposes promising areas of development and methods for implementing meteor communication channels, which can significantly increase the channel utilization rate. The use of multidirectional antenna array allows you to increase the signal-to-noise ratio on the receiving side without increasing energy costs. Also, the use of preliminary assessment of the formed meteor communication channel on the transmitting side will allow increasing the initial volume of transmitted data through the use of multi-position modulation at the moment when the electron density of the channel is maximum. The relevance of research in this direction is due to

the increase in the implementation of remote interaction between geographically distributed subscribers using meteor infocommunication systems.

Keywords: meteor-burst communication system, multi-directional antenna array, meteor channel utilization factor, multi-position modulation

For citation: Serdyukov V.S., Belov S.P., Orekhov A.O. 2024. Promising Methods for Increasing the Speed of Information Transmission in Meteor Communication Channels. Economics. Information technologies. 51(1): 241–249. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-1-241-249

Введение

Одним из видов радиосвязи, применяемых в настоящее время для реализации информационного взаимодействия между территориально распределенными абонентами с использованием в качестве среды распространения радиоволны ультракоротковолнового диапазона, является метеорная связь. Физически образование канала для передачи информации в указанных системах обусловлено периодическим появлением областей неоднородностей ионосферы с повышенной плотностью ионизации, образованных при сгорании метеоров в верхних слоях атмосферы Земли, что и вызывает эффект зеркально отраженных радиоволн. Однако, так как время появления метеоров и их геометрические размеры, а также длительность существования ионизированного облака, являются случайными величинами, то естественно и реализация информационного обмена также носит вероятностный характер, [Зюко и др. 1986; Капралов, Кирик, 2018].

Несмотря на это, в западных странах, особенно в США, с 1977 года используется сеть метеорной связи для сбора телеметрических метеоданных. Сегодня в этой сети работает более пятисот периферийных комплексов, отвечающих на запрос с базовой станции информацией о скорости ветра, температуре окружающей среды, количестве осадков. Более того, в США активно происходит совершенствование и развитие метеорной связи, конечной задачей которой является включение ее в систему оперативного управления стратегическими и оборонными наступательными силами [Титков, 2006].

Принимая во внимание достаточно широкое распространение систем метеорной связи за рубежом, научные знания о метеорной радиосвязи, накопленные в России, современные технологии создания оборудования радиосвязи, используемые сегодня, представляется целесообразным проектирование аппаратуры метеорной связи следующего поколения. Создание такой аппаратуры должно отталкиваться от современных подходов к оценке параметров канала метеорной связи, а также учитывать необходимость использования для передачи большего числа регистрируемых метеорных следов для увеличения вероятностно-временных характеристик передачи [Электронный ресурс]. В работе рассматриваются перспективные направления в разработке оборудования и способы организации связи на метеорных следах.

Метеорный канал связи

В верхних слоях атмосферы Земли постоянно происходит сгорание метеоров (метеорных роев, спорадических метеоров), которое при достаточной массе метеора образует регистрируемый метеорный след. Этот след, в большинстве случаев, приближенно представляет собой конус ионизированного вещества общей протяженностью до 24 километров. Процессы образования метеорных следов, а также физические и электрические свойства метеорного следа, достаточно хорошо исследованы [Метеорная связь на ультракоротких волнах..., 1961; Бабаджанов, 1987; Белькович 2008; Карпов и др. 2008].

Ненасыщенные метеорные следы формируются слабыми метеорами. Согласно данным ИМО (International Meteor Organization), ненасыщенными называются следы с линейной электронной плотностью $N < 2 \times 10^{14}$ электронов/м (на самом деле это справедливо

только для длины волны излучения $\lambda=4$ м. Для каждой длины волны существует своя критическая плотность, однако в теоретических материалах на сайте ИМО этот факт упускается из виду). Рассеяние радиоволн на ионизированных метеорных следах наиболее детально было рассмотрено в статье Т. Кайзера и Р. Клосса. Они показали, что в зависимости от характера отражения радиоволн различаются два типа метеорных следов. При $N < 2 \times 10^{14}$ электронов/м в диапазоне длин волн 4–10 м ионизированные метеорные следы ненасыщенные (неуплотненные), т. е. падающая волна без существенных искажений проходит сквозь след. При $N \geq 2 \times 10^{14}$ электронов/м след насыщенный (переуплотненный), т. е. внутри следа имеется область, в которой электронная плотность выше критической. В этом случае отражение происходит от границы критической плотности.

На приемной стороне амплитуда радиосигнала, отраженного от ненасыщенного метеорного следа, затухает во времени согласно экспоненциальному закону:

$$U = U_0 e^{-t/\tau}, \quad (1)$$

где t – время с момента образования метеорного следа, U_0 – максимальная амплитуда радиосигнала, τ – постоянная времени, характеризующая физические свойства ионизированного метеорного следа [Белькович, 1986]. Применяв формулу (1), можно оценить величину τ для конкретного метеорного следа по двум измеренным спустя определенный интервал времени значениям U и U_2 . При использовании передатчика с мощностью излучения $P_{\text{изл}} \approx$ от 0,4 до 1,1 кВт и приемной и передающей антенн с общим коэффициентом усиления $GA_{\text{прд}} + GA_{\text{прм}} \approx 15$ дБ время существования канала связи, с заданной достоверностью приема информации, не превышает 0,5 секунды.

Время существования канала связи, образованного на насыщенном метеорном следе вследствие отличия физических процессов при зеркальном отражении радиоволны, может быть ограничено несколькими десятками секунд. Следует отметить, что при разрыве метеорного следа высотными ветрами наблюдается явление многолучевости на приемной стороне, которое приводит к замираниям, не позволяющим использовать более высокую частоту сигналов в канале связи. [Мирошников и др. 2019]

Одним из основных параметров радиосвязи является максимальная удаленность приемника от передатчика, при которой возможен уверенный прием сигнала с заданной вероятностью возникновения ошибки. В метеорной связи этот параметр так же определяет варианты использования такого вида связи. Следует отметить и тот факт, что отражение радиоволн от метеорного следа всенаправленно, и может регистрироваться в том числе и на передающей стороне. Максимальное удаление приемника d_{max} определяется высотой возникновения метеорного следа, в среднем $h \approx 100$ км, и кривизной Земной поверхности

$$d_{\text{max}} \approx (8R_3 \times h)^{1/2} \approx 2250 \text{ км}, \quad (2)$$

где R_3 – радиус Земли. Практически, системы метеорной связи строятся на радиотрассах до 2000–2400 км, в зависимости от применяемого оборудования и способа размещения антенн.

Опираясь на эмпирические и теоретические исследования, можно получить количество метеорных следов K , образующихся в зоне пресечения диаграмм направленности, передающей и принимающей антенн. От спорадических метеоров 1–5 звездных величин с применением 3–5 элементной антенны Яги-Уда составляет $K \approx 40$ в час, а от метеоров 6–10 звездных величин (регистрируемых оборудованием отражение волн от метеорных следов) составляет $K \approx 10\ 500$ в час. Учитывая основной недостаток метеорной связи – прерывистый характер, существуют статистически устойчивые вероятности возникновения канала связи. [Crook, Sytma, 1989; Асири, 1989, Качнов, 2016].

Исходя из накопленной статистики, метеорные следы с наибольшей вероятностью образуются с июля по октябрь для северного полушария в утренние часы. В эти периоды

количество метеорных следов, образующих каналы связи, может приближаться к нескольким сотням в час. Средняя скорость передачи в таких условиях около 3 Кбит/с при протяженности радиотрассы от 650 до 1300 км. В неблагоприятные периоды и при больших протяженностях радиотрасс средняя скорость передачи значительно уменьшается и составляет около 40 бит/с. Для определения скорости передачи прерывающегося метеорного радиоканала используется среднечасовая скорость передачи.

Для увеличения пропускной способности, а также увеличения коэффициента использования метеорной системы связи воспользуемся обобщенной формулой, позволяющей оценить мощностные характеристики принимаемого радиосигнала, отраженного от ионизированной области: [Theory of Meteor Reflection 2024]

$$P_{\text{пр}}(\text{max})=P_{\text{изл}}G_{\text{Апрд}}G_{\text{Апрм}}\lambda^3 F(\xi), \quad (3)$$

где $F(\xi)$ – функционал, описывающий физические характеристики определенного метеорного следа, его пространственное определение относительно направления и протяженности радиотрассы, а также свойства приемника; $P_{\text{изл}}$ – мощность излучаемого сигнала; $G_{\text{Апрд}}$, $G_{\text{Апрм}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно; λ – длина излучаемой волны.

При закрепленных параметрах функционала для конкретного метеорного следа, можно отметить, что мощность сигнала на приемнике можно увеличить, повысив мощность излучателя радиосигнала, но увеличение излучаемой мощности выше 1 кВт приводит к значительному удорожанию и усложнению такой системы метеорной радиосвязи. К тому же возрастут и эксплуатационные расходы. На практике чаще применяют устройства с мощностью излучения $P_{\text{изл}} = 0,1-0,8$ кВт.

Из формулы (3) видно, что максимальная мощность сигнала на приемнике значительно снижается при увеличении рабочей частоты. Стоит отметить, при частотах, превышающих 60 МГц, увеличиваются потери информации, связанные с отрицательным влиянием многолучевого распространения сигнала. При использовании рабочих частот менее 30 МГц увеличивается влияние атмосферных помех, промышленного шума и космического шума. Выбор рабочих частот из диапазона 35–60 МГц подтверждается эмпирическими данными, которые указывают что в данном диапазоне достигается наибольшая средняя скорость передачи канала метеорной связи.

Для получения значения среднечасовой пропускной способности канала метеорной связи следует учесть не только пропускную способность конкретного метеорного следа, но и общее количество метеорных следов, подходящих для образования канала связи, попадающих в рабочую эффективную область атмосферы на пересечение диаграмм направленности антенн. (Рис. 1).

Очевидно, что при уменьшении площади эффективной области S количество метеорных следов, обеспечивающих создание канала связи, уменьшается, вместе с этим уменьшается и его среднечасовая пропускная способность.

Для увеличения мощности сигнала на приемнике следует увеличить коэффициент усиления антенной системы $G_{\text{Апрд}}$ и $G_{\text{Апрм}}$ что, как правило, ведет к сужению диаграммы направленности антенны. Такой подход имеет негативный эффект, так как при этом уменьшается область атмосферы, в которой образуются метеорные следы и сокращается средняя скорость передачи информации созданного таким образом канала метеорной связи. Избежать такого эффекта можно, применив в приемнике метеорной системы связи антенную решетку с узконаправленными антеннами, полностью перекрывающими рабочую область S (Рис. 2).

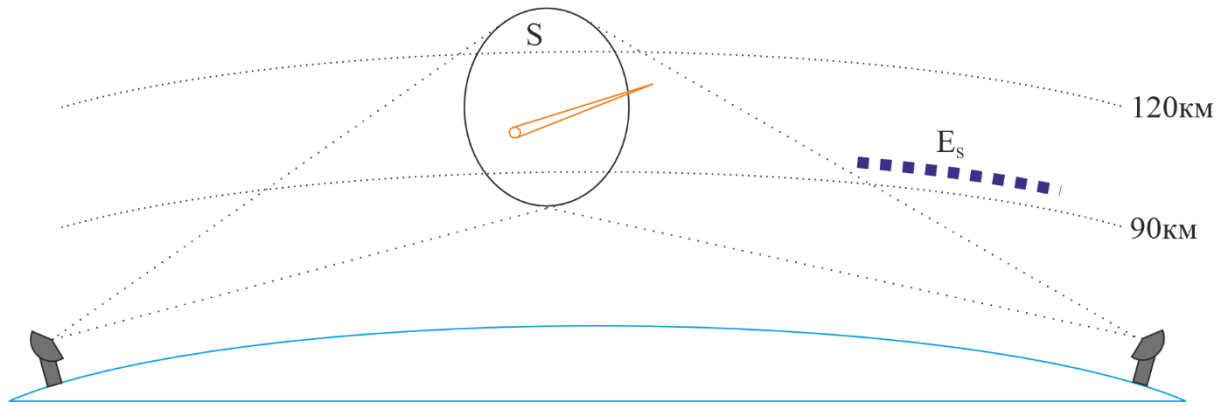


Рис. 1. Образование эффективной области атмосферы на метеорной трассе
Fig. 1. Creation of an effective region of the atmosphere on the meteor track

Использование многонаправленной антенной решетки снижает требования к соотношению сигнал/шум на приемной стороне и позволяет снизить потери мощности сигнала при отдалении области S от плоскости большого круга небесной сферы [Белькович и др. 1991]. Более того, применение мультидиаграммной антенной системы дает возможность сильно уменьшить мощность сосредоточенных помех, частота появления которых увеличивается вместе с увеличением частотного диапазона радиосигнала, за счет относительного смещения областей неуверенного приема парциальных диаграмм направленности.

Образование спорадического слоя E_s (см. рис. 1) может экранировать метеорные следы на время более 10 часов [Николашин, 2016]. Этот эффект следует принять во внимание при проектировании метеорной системы связи. На практике используемый частотный диапазон и механизм обмена информацией обеспечивают уверенный прием при наличии такого эффекта.

При организации канала связи необходимо учитывать влияние эффекта поворота плоскости поляризации в магнитоактивной плазме (эффект Фарадея), потери в производительности в метеорном канале связи с использованием антенн линейной поляризации могут достигать 48 % в дневное время и до 15 % в вечерние часы [Карпов, 1998].

Исходя из вышесказанного, для построения стабильной метеорной системы связи в условиях возможного возникновения спорадического слоя E_s требуется применять антенны с круговой поляризацией, в качестве примера можно использовать антенны типа Яги – Уда со смещенными на 90 градусов осями поляризации [Ротхаммель, Кришке, 2011].

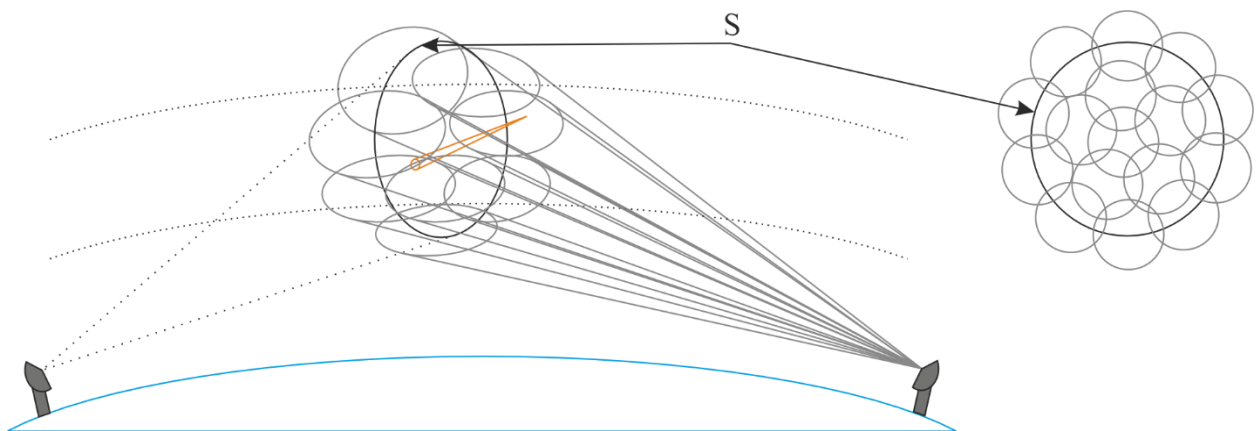


Рис. 2. Образование системы диаграмм направленности многолучевой антенной решеткой в эффективной области атмосферы
Fig. 2. Creation of a system of directivity pattern by the multipath antenna array in the effective region of the atmosphere

Из анализа статистических данных о количестве метеоров, сгорающих в верхних слоях атмосферы, следует, что без применения способов многопозиционной модуляции для использования переменной пропускной способности канала связи, с помощью построения средств связи с многонаправленной антенной решеткой, уверенно увеличивающей мощность сигнала на приемнике на 9–11 дБ, можно добиться увеличения коэффициента использования канала в три раза, за счет увеличения количества используемых метеорных следов для передачи.

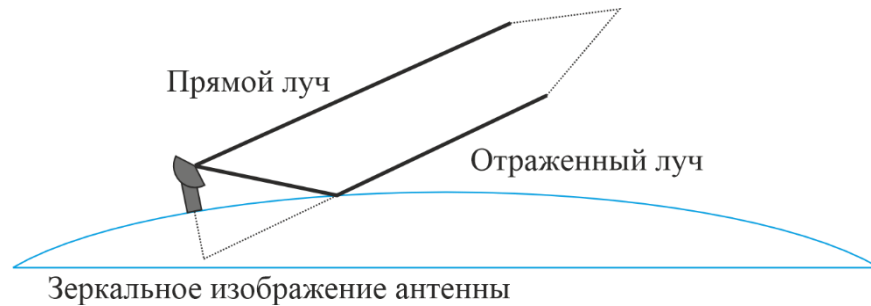


Рис. 3. Влияние подстилающей поверхности на распространения радиосигнала
Fig. 3. The influence of the underlying surface on the propagation of radio waves

Так как отражение радиосигнала от метеорного следа распространяется всенаправленно, то существует возможность зарегистрировать и оценить с некоторой достоверностью характеристики канала передачи данных. Предлагается так же, как и на передающей стороне использовать антенную решетку, которая позволит пространственно локализовать на участке неба возникший метеорный канал связи, при этом, адаптивно контролируя мощность передачи, а также за счет применения многопозиционной модуляции в момент, когда электронная плотность канала максимальна, можно добиться лучшего соотношения сигнал/шум на приемной стороне [Благов, Волвенко, 2010; Белокопытов, 2015; Рябов и др. 2016] Помимо прочего использование решетки узконаправленных антенн позволяет избавиться от влияния подстилающей поверхности (Рис. 3).

Заключение

Метеорная радиосвязь является перспективным видом связи для реализации информационного взаимодействия между территориально распределенными абонентами, особенно на дальнее расстояния, в том числе и в недоступных регионах, особенно в северных широтах. Использование в оборудовании метеорной связи антенно-фидерных решеток позволяет обеспечить повышение коэффициента использования канала в 2–3 раза по сравнению с единичной антенной. Также применение многонаправленной антенной решетки позволяет снизить воздействие некоторых видов помех и повысить рабочую частоту системы связи из-за снижения влияния многолучевого распространения радиоволн на канал связи.

Список литературы

- Асири Т., Карпов А.В., Кодиров А.И., Латипов, Д., Попов, В.И., Рубцов, Л.Н., Шарипов М. 1989. Боковое распространение радиоволн на коротких метеорных радиотрассах; Известия вузов. Радиофизика. Т. 32. № 7. с. 912–913.
- Бабаджанов П.Б. 1987. Метеоры и их наблюдения. М.: Наука. 176 с.
- Белокопытов АЕ. 2015. Выбор эффективного вида цифровой модуляции в системах радиосвязи по критериям эффективности; Научный альманах. № 11–3(13). с. 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035
- Белькович О.И. 1971. Статистическая теория радиолокации метеоров. Казань, КГУ. 103 с.

- Белькович О.И. 1986. Статистическая теория метеоров. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. физ.-мат. наук. Казань. 301 с.
- Белькович О.И., Сидоров В.В., Филимонова Т.К. 1991. Вычисление распределения метеорных радиантов по наблюдениям на одной радиолокационной станции с угломером; *Астрономический Вестник*. Т. 25. № 2. с. 225–232.
- Белькович О.И. 2008. Метеорное распространение радиоволн; *Справ. пособие*. Зеленодольск. 48 с.
- Благов Д.С., Волвенко С.В. 2010. Повышение скорости передачи информации в метеорных системах связи путем использования сигналов переменной длительности; *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. № 5(108) с. 7–13.
- Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. 1986. Теория передачи сигналов; Изд. 2, перераб. и дополн. Москва: Радио и связь. 304 с.
- Капралов Д.Д., Кирик Д.И. 2018. Стохастическая модель метеорного радиоканала; *Труды учебных заведений связи*. Т. 4. № 3. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64 с. 54–64.
- Карпов А.В., Сидоров В. В., Сулимов А. И. 2008. Метеорная генерация секретных ключей шифрования для защиты открытых каналов связи; *Информационные технологии и вычислительные системы*. № 3. с. 45–54
- Качнов А.И., Пенкин А.А., Рыбаков А.В. 2016 Разработка мобильной системы информационного обеспечения с использованием каналов метеорной связи; V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании» (Санкт-Петербург, Россия, 10–11 марта 2016). Сборник научных статей. СПб.: СПбГУТ. с. 177–181.
- Метеорная связь на ультракоротких волнах; 1961. Сборник статей. под ред. А.Н. Казанцева. М.: Изд-во иностр. литературы. 287 с.
- Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2019. Основные направления развития метеорной связи; *Научно-технические технологии в космических исследованиях Земли*. Т. 11. № 4. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277 с. 30–47.
- Николашин Ю.Л., Мирошников В.И., Будко П.А., Жуков Г.А. 2016. Территориально распределенный стенд ПАО «Интелтех» и новые возможности проведения НИР и ОКР по созданию перспективных комплексов связи; *Морская радиоэлектроника*. № 3. с. 50–55.
- Ротхаммель К., Кришке А. 2011. Энциклопедия антенн: пер с нем. М.: ДМК «Пресс». 812 с.
- Рябов И.В., Толмачев С.В., Лебедева А.А. 2016. Аппаратно-программный комплекс для обнаружения метеорных следов с изменяемой полосой пропускания; *Радиотехнические и телекоммуникационные системы*. № 4(24). с. 66–75
- Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации до 2020 года. [Электронный ресурс]. URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/arkticzone/ (дата обращения 09.01.2024).
- Титков С.Б. 2006 Технические предложения по использованию метеорной связи; *Защита информации. Инсайд*. № 3. с. 74–80.
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition; *Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987)*. LAHS Publ. No. 178. Pp. 9–17.
- Theory of Meteor Reflection; *The International Meteor Organization (IMO)*. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/reflection/> (дата обращения 09.01.2024).

References

- Asiri T., Karpov A. V., Kodirov A. I., Latipov, D., Popov, V.I., Rubtsov, L.N., Sharipov M. 1989. Bokoვoe rasprostranenie radiovoln na korotkikh meteornykh radiotrassakh; *Izvestiya vuzov. Radiofizika*. Т. 32. № 7. pp. 912–913. (in Russian)
- Babadzhanov P.B. 1987. *Meteory i ikh nablyudeniya*. M.: Nauka, Gl. red. fizmat, lit., 176 p. (in Russian)
- Belokopytov A.E. 2015. Vyboreffektivnogo vida tsifrovoy modulyatsii v sistemakh radiosvyazi po kriteriyam effektivnosti; *Nauchnyy al'manakh*. № 11-3(13). pp. 35–38. DOI:10.17117/na.2015.11.03.035 (in Russian)
- Bel'kovich O.I. 1971. *Statisticheskaya teoriya radiolokatsii meteorov*; Kazan', KGU. 103 p. (in Russian)

- Bel'kovich O.I. 1986. Statisticheskaya teoriya meteorov. Diss. na soisk. uch. st. dokt. fiz.-mat. nauk. Kazan', 301 p. (in Russian)
- Bel'kovich O.I., Sidorov V.V., Filimonova T.K. 1991. Vychislenie raspredeleniya meteornykh radiantov po nablyudeniya na odnoy radiolokatsionnoy stantsii s uglomerom; *Astronomicheskiy Vestnik*. T. 25. № 2. pp. 225–232. (in Russian)
- Bel'kovich O.I. 2008. Meteornoe rasprostranenie radiovoln; *Sprav. posobie*. Zelenodol'sk. 48 p. (in Russian)
- Blagov D.S., Volvenko S.V. 2010. Povyshenie skorosti peredachi informatsii v meteornykh sistemakh svyazi putem ispol'zovaniya signalov peremennoy dlitel'nosti; *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Informatika. Telekommunikatsii. Upravlenie*. № 5(108) 7–13. (in Russian)
- Zyuko A.G., Klovskiy D.D., Nazarov M.V., Fink L.M. 1986. *Teoriya peredachi signalov*; Izd. 2, pererab. i dopoln. Moskva: Radio i svyaz'. 304 p. (in Russian)
- Kapralov D.D., Kirik D.I. 2018. Stokhasticheskaya model' meteorogo radiokanala; *Trudy uchebnykh zavedeniy svyazi*. T. 4. № 3. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-3-54-64 p. 54–64. (in Russian)
- Karpov A.V., Sidorov V.V., Sulimov A.I. 2008. Meteoronaya generatsiya sekretnykh klyuchey shifrovaniya dlya zashchity otkrytykh kanalov svyazi; *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy*. № 3. pp. 45–54 (in Russian)
- Kachnov A.I., Penkin A.A., Rybakov A.V. 2016 Razrabotka mobil'noy sistemy informatsionnogo obespecheniya s ispol'zovaniem kanalov meteoronoy svyazi; V *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya i nauchno-metodicheskaya konferentsiya «Aktual'nye problemy infotelekkommunikatsiy v nauke i obrazovanii» (Sankt-Peterburg, Rossiya, 10–11 marta 2016)*. Sbornik nauchnykh statey. SPb.: SPbGUT. (in Russian) p. 177–181.
- Meteoronaya svyaz' na ul'trakorotkikh volnakh; 1961. Sbornik statey. pod red. A. N. Kazantseva. M.: Izdvo inostr. literatury. 287 p. (in Russian)
- Miroshnikov V.I., Budko P.A., Zhukov G.A. 2019. Osnovnye napravleniya razvitiya meteoronoy svyazi; *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli*. T. 11. № 4. doi: 10.24411/2409-5419-2018-10277 pp. 30–47. (in Russian)
- Nikolashin Yu.L., Miroshnikov V. I., Budko P. A., Zhukov G. A. 2016. Territorial'no raspredelennyy stend PAO «Inteltek» i novye vozmozhnosti provedeniya NIR i OKR po sozdaniyu perspektivnykh kompleksov svyazi; *Morskaya radioelektronika*. № 3. pp. 50–55. (in Russian)
- Rotkhammel' K., Krishke A. 2011. *Entsiklopediya antenn: per s nem*. M.: DMK «Press». 812 p. (in Russian)
- Ryabov I.V., Tolmachev S.V., Lebedeva A.A. 2016. Apparatno-programmnyy kompleks dlya obnaruzheniya meteornykh sledov s izmenyaemoy polosoy propuskaniya; *Radiotekhnicheskie i telekommunikatsionnye sistemy*. № 4(24). pp. 66–75 (in Russian)
- Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii do 2020 goda. [Elektronnyy resurs]. URL: https://minec.gov-murman.ru/activities/strat_plan/arkticzona/ (date 09.01.2024).
- Titkov S.B. 2006 Tekhnicheskie predlozheniya po ispol'zovaniyu meteoronoy svyazi; *Zashchita informatsii*. Insayd. № 3. p. 74–80. (in Russian)
- Crook A.G., Sytsma D. 1989. Meteor burst telemetry in hydrologic data acquisition; *Remote Data Transmission (Proceedings of the Vancouver Workshop, August 1987)*. LAHS Publ. No. 178. pp. 9–17.
- Theory of Meteor Reflection; The International Meteor Organization (IMO). [Elektronnyy resurs]. URL: <https://www.imo.net/observations/methods/radio-observation/reflection/> (date 09.01.2024).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 06.02.2024

Received February 06, 2024

Поступила после рецензирования 03.03.2024

Revised March 03, 2024

Принята к публикации 04.03.2024

Accepted March 04, 2024



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Сердюков Владимир Семенович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационной безопасности, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород

Белов Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

Орехов Андрей Олегович, аспирант кафедры информационных систем и технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vladimir S. Serdyukov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Security. Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod

Sergey P. Belov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies. Belgorod State National Research University, Belgorod

Andrey O. Orekhov, graduate student of the Department of Information Systems and Technologies. Belgorod State National Research University, Belgorod