

Гидрометеорология и экология. 2026. № 83. С. 294—304.  
Hydrometeorology and Ecology. 2026;(83):294—304.

Научная статья  
УДК 621.371:556.55(203)(282.247.212)  
doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-294-304

**Модельное представление возникновения  
сверхрефракции радиоволн сантиметрового диапазона  
над обширными водными поверхностями  
на примере Ладожского озера**

*Анатолий Дмитриевич Кузнецов<sup>1</sup>, Владимир Юрьевич Жуков<sup>1</sup>,  
Виктория Сергеевна Никитина<sup>2</sup>, Татьяна Евгеньевна Симакина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия, victoriaflint01@gmail.com

*Аннотация.* В статье рассматриваются сроки, в которые ДМРЛ-С, расположенный в поселке Воейково Ленинградской области, фиксировал северный берег Ладожского озера в качестве цели. Приводятся доказательства наличия сверхрефракции волн в исследуемые сроки. Рассматривается физическая природа появления сверхрефракции над водной поверхностью. Выдвигается гипотеза о том, что в тёплые дни при стабильной атмосфере, сопровождающейся приподнятой температурной инверсией, над озером посредством бризовой циркуляции формируется призма, ограниченная линиями равных концентраций водяного пара. Клинь призмы выступает на сушу, создавая зону влажного и прохладного воздуха, в которой происходит преломление радиоволны по типу сверхрефракции. Приводится модель траектории распространения волны над озером при сверхрефракции.

*Ключевые слова:* атмосферная рефракция, сверхрефракция, радиолокация, коэффициент преломления, моделирование.

*Для цитирования:* Кузнецов А. Д., Жуков В. Ю., Никитина В. С., Симакина Т. Е. Модельное представление возникновения сверхрефракции радиоволн сантиметрового диапазона над обширными водными поверхностями на примере Ладожского озера // Гидрометеорология и экология. 2026. № 83. С. 294—304. doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-294-304.

Original article

## **A model illustrating superrefraction of centimeter-wave radio signals over large water surfaces using Lake Ladoga as an example**

*Anatoly D. Kuznetsov<sup>1</sup>, Vladimir Yu. Zhukov<sup>1</sup>,  
Victoria S. Nikitina<sup>2</sup>, Tatiana E. Simakina<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia,  
victoriaflint01@gmail.com

*Summary.* The article explores the periods during which the DMLR-C located in Voeikovo settlement, in the Leningrad region, recorded the northern shoreline of Lake Ladoga as a target. The study presents evidence confirming the presence of superrefraction phenomena of radio waves within these specific time-frames. The authors analyze the physical mechanisms responsible for the occurrence of superrefraction over water surfaces, aiming to deepen the understanding of the atmospheric conditions that facilitate such optical and radio wave phenomena. A hypothesis is proposed suggesting that during warm days, under stable atmospheric conditions characterized by an elevated temperature inversion layer, a refractive prism can form over the lake. This prism is believed to be bounded by lines of equal water vapor concentration, effectively creating a lens-like structure. The apex of this prism extends onto land, resulting in a zone of moist, cool air. Within this zone, radio waves experience bending, similar to the effect observed in superrefraction events, which enhances the distance and clarity of radio wave propagation. The paper details a model describing the trajectory of radio waves as they pass over the lake under conditions of superrefraction. The model takes into account the influence of the proposed refractive prism and its interaction with the atmospheric layers. The research findings contribute to a more comprehensive understanding of atmospheric refraction mechanisms, especially over large aquatic surfaces, which is vital for improving the accuracy of radar and radio observations in such environments. Furthermore, this study has practical implications for the field of radio science and remote sensing, offering insights that could enhance the reliability and precision of radar detection and measurement near expansive water bodies. By understanding the conditions under which superrefraction occurs, scientists and engineers can better predict and compensate for these effects, thereby increasing the effectiveness of communication, navigation, and observation systems operating in these regions. Overall, this research advances the theoretical knowledge of atmospheric optical phenomena and opens pathways for future studies aimed at managing the challenges posed by atmospheric refraction in various applications.

*Keywords:* atmospheric refraction, superrefraction, radar, refractive index, modeling.

*For citation:* Kuznetsov A. D., Zhukov V. Yu., Nikitina V. S., Simakina T. E. A model illustrating superrefraction of centimeter-wave radio signals over large water surfaces using Lake Ladoga as an example *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2026;(83):(294—304). doi: 10.33933/2713-3001-2026-83-294-304. (In Russ.).

### **Введение**

Точность решения радиолокационных задач во многом определяется необходимостью учета типов рефракции радиоволн в атмосфере. Различные виды рефракции по-разному воздействуют на траектории распространения радиоволн, что необходимо учитывать для повышения точности радиолокационных измерений. Глубокое понимание этих процессов важно для правильной интерпретации радиолокационных сигналов и повышения качества наблюдений.

Актуальность исследований по разработке методов и средств для учета типов рефракции радиоволн обусловлена прежде всего важностью правильного учета искривления луча, что позволило бы повысить точность определения координат метеорологических целей радиолокационными методами. Особую роль такой учет играет при интерпретации данных, получаемых с помощью современных метеорологических радиолокационных станций (МРЛ, ДМРЛ).

Установлено, что наибольшие погрешности в определении координат исследуемых объектов возникают именно из-за явления сверхрефракции [1]. Такой тип рефракции нередко наблюдается над крупными водными поверхностями, что подтверждается многолетними наблюдениями, проводящимися ДМРЛ-С «Воейково» в посёлке Воейково Ленинградской области.

В жаркие летние дни при наличии температурной инверсии и стабильных атмосферных метеоусловий (блокирующего антициклона, малоградиентного теплового сектора циклона или размытого барического поля) радиолокатор фиксирует в качестве цели контуры северного берега Ладожского озера. На рис. 1 показан такой пример. Поскольку радиолуч при этом явно достигает поверхности земли, делается вывод о наличии сверхрефракции. Это означает, что траектория распространения радиоволны в подобных условиях изгибается значительно сильнее, чем при обычных условиях, что влияет на точность определения координат объектов.

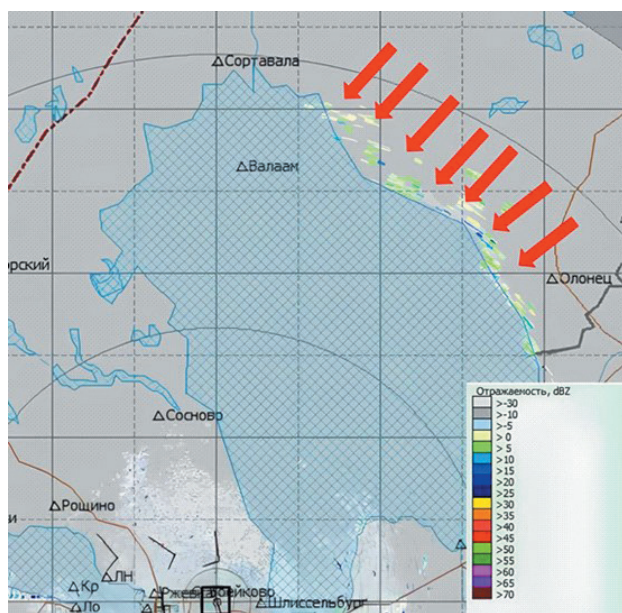


Рис. 1. Случай сверхрефракции, отображенный на радиолокационной карте в канале вертикальной отражаемости, зарегистрированный 10 сентября 2024 г. в 12:00 ВСВ.

Fig. 1. A superrefraction event displayed on a radar map in the vertical reflectivity channel, recorded on September 10, 2024, at 12:00 UTC.

В настоящее время исследования влияния типов рефракции ограничиваются рассмотрением преимущественно безводной подстилающей поверхности. Такие исследования подробно освещены в более ранних работах авторов [1, 2, 3]. В то же время в монографии по распространению радиоволн над морской поверхностью [4] рассматриваются условия сверхрефракции и особенности тропосферного распространения радиоволн над однородной водной поверхностью, включая механизмы формирования приповерхностных волноводов в атмосфере.

Однако, несмотря на наличие исследований, посвящённых сверхрефракции над водой, механизм её формирования в условиях пространственного перехода от суши к водной поверхности остаётся недостаточно изученным. Это особенно важно в связи с наблюдаемыми искажениями радиолокационных изображений в прибрежных зонах водоёмов, проявляющимися, например, в виде ложных целей или смещённых отражений, в том числе в районе Ладожского озера. Указанный переходный режим характеризуется резкой сменой теплофизических свойств подстилающей поверхности и соответствующими изменениями вертикальных профилей температуры и влажности в приземном слое атмосферы, что может приводить к локальному формированию условий сверхрефракции и аномальному распространению радиоволн.

### **Предмет исследования**

В сентябре 2024 г. наблюдалось 14 дней с появлением сверхрефракции над Ладожским озером. В эти периоды ДМРЛ-С «Воейково» фиксировал очертания северного берега озера, аналогичные представленным на рис. 1. Такие случаи имели место 2, 4, 6-15, 17 и 25 сентября, преимущественно в период с 9 до 14 часов по Всемирному координированному времени (ВСВ).

Следует отметить, что обнаруженные цели абсолютно точно не связаны с метеорологическими явлениями. Доказательством этому служит, во-первых, анализ синоптических карт за указанные сроки, который показывает отсутствие облачности (0 баллов) на северном побережье Ладожского озера. Во-вторых, получаемая картина отражаемости от берега идентична для всех сроков, что является невозможным в случае регистрации сигнала от метеорологических целей. В-третьих, величина модуля коэффициента кросскорреляции поляризационных составляющих отраженного сигнала для полученных целей не превышает 0,6, что подтверждает вывод о том, что цель, наблюдаемая локатором, не является метеорологической.

Анализ данных аэрологических зондирований, включающих высотные профили влажности, температуры и давления, показал, что в дни наблюдения сверхрефракции, в 00 часов ВСВ присутствовала приземная температурная инверсия, а в 12 часов ВСВ — приподнятая на высоте 2—3 км. Исходя из этого, можно предположить, что именно наличие таких слоёв с температурной инверсией является основной причиной возникновения условий для сверхрефракции и сильного искривления луча.

Вместе с тем, в существующей литературе рассмотрена общая связь температурной инверсии с возникновением сверхрефракции и тропосферных волноводных

режимов. Однако этот вопрос не исследован для переходных зон «суша—вода», где наблюдается резкая перестройка приземного слоя атмосферы.

Цель статьи заключается в анализе механизмов формирования сверхрефракции в переходных условиях, поскольку без их учёта затруднена разработка методов компенсации погрешностей определения координат целей, возникающих вследствие аномального искривления траекторий радиоволн.

### **Механизм связи температурной инверсии и сверхрефракции над протяженной водной поверхностью**

В случае приподнятой инверсии над водой водяной пар может циркулировать в подинверсионном слое под действием бриза. В таком случае влажность воздуха в этом слое достигает максимальных значений, что приводит к искривлению траектории электромагнитной волны с образованием сверхрефракции, поскольку волна переходит из оптически менее плотного слоя в оптически более плотный слой атмосферы.

В настоящее время аэрологическое зондирование над внутренними водными объектами России не проводится. Отсутствие высотных распределений метеовеличин над водой усложняет понимание механизма образования сверхрефракции. Однако можно предположить, что обнаруженная зондом приподнятая инверсия распространяется и над акваторией Ладоги.

Ладожское озеро — крупный водоем с большой площадью поверхности. Из-за своей протяженности и объема озеро обладает высокой теплоемкостью, что замедляет нагрев и охлаждение воды по сравнению с сушей. Это приводит к тому, что, во-первых, в теплый период вода в озере прогревается медленнее, чем окружающая суша. Во-вторых, испарение с поверхности озера насыщает нижний слой атмосферы влагой, повышая влажность воздуха над поверхностью воды и в прибрежной зоне.

В теплое время суток, особенно с утра и примерно до 13—15 часов по местному времени, солнечная радиация нагревает поверхность озера. В результате испарения воды с поверхности нижний слой атмосферы интенсивно насыщается водяным паром. При этом влажный воздух у поверхности воды может быть относительно прохладным, особенно если вода еще не сильно прогрелась, что создает условия для возникновения устойчивого вертикального слоя с высокой влажностью. Высота такого слоя будет примерно соответствовать высоте нижней границы температурной инверсии, поскольку выше этого слоя наблюдается резкое падение значений парциального давления водяного пара, а, следовательно, и влажности воздуха. Значения парциального давления будут постепенно уменьшаться от уровня поверхности воды, где парциальное давление равно давлению насыщения, до высоты температурной инверсии, где его значение должно быть рассчитано в соответствии с погодными условиями.

В результате подобного распределения линии равных значений парциального давления водяного пара формируют над озером призму. Такая призма представляет собой трехмерную область с резким вертикальным и горизонтальным

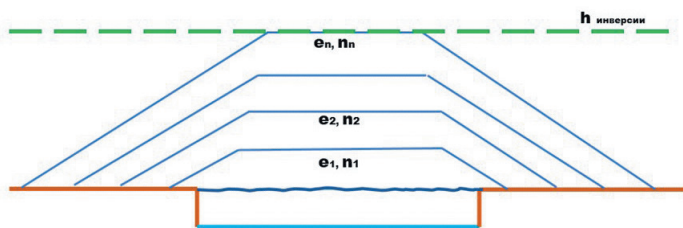


Рис. 2. Призма, образованная линиями равных значений парциального давления водяного пара (так же и коэффициента преломления).

Fig. 2. A prism formed by lines of equal values of partial pressure of water vapor (as well as refractive index).

градиентом парциального давления. Снизу она ограничена поверхностью озера, сверху — слоем инверсии, а по бокам распространяется на прилегающую сушу, формируя над сушей клин влажного и прохладного воздуха (рис. 2). В клине высокая влажность, а температура воздуха ниже, чем в окружающем более сухом и теплом воздухе над сушей.

Механизм формирования такой структуры следующий: в дневное время поверхность суши нагревается быстрее, чем поверхность озера, и это создает область пониженного давления над сушей и более высокого давления над озером. В результате более холодный и влажный воздух с озера начинает перемещаться в сторону суши: формируется дневная бризовая циркуляция [5]. Дневной бриз переносит прохладный и влажный воздух с поверхности Ладожского озера на сушу, поднимая его в слои атмосферы, ограниченные высотой нижней границы инверсии.

При антициклональном характере погоды (в случае ясного неба и при слабом ветре) вертикальное перемешивание воздуха ограничено. Влажный воздух, поднимающийся с озера, оказывается «заперт» под более теплым и сухим воздухом над сушей, поэтому клиновидная структура линий равных значений парциального давления водяного пара может довольно долго сохраняться, проникая вглубь суши.

Таким образом, призма, образуемая линиями равных значений парциального давления водяного пара, представляет собой особое распределение влажности, характерное для территории Ладожского озера и его прибрежных зон, возникающее при приподнятой температурной инверсии и поддерживаемое дневным бризом и устойчивой стратификацией атмосферы. В рамках данной работы такая структура рассматривается как модельное представление и гипотеза, требующая дальнейшей верификации на основе данных реальных наблюдений. Именно такая структура, согласно предложенной модели, эффективно способствует возникновению сверхрефракции радиоволн, фиксируемой ДМРЛ-С в поселке Воейково. Радиолокационный луч проходит через клин призмы, постепенно распространяясь из слоев с низкими значениями парциального давления в слои с высоким его значением. Следовательно, траектория волны постепенно проходит от слоев

с низкими значениями коэффициента преломления  $n$  к слоям с высокими значениями. То есть луч переходит из менее оптически плотных слоев в более оптически плотные, что вызывает его преломление и изгиб траектории, соответствующий сверхрефракции. При отсутствии приподнятой температурной инверсии призма влажного воздуха не формируется, и, как следствие, не возникает сверхрефракция радиоволн, поскольку температура с высотой имеет стандартный ход.

Таким образом, сверхрефракция над водоемами (в частности над Ладожским озером) возможна лишь при стечении нескольких метеорологических факторов. Во-первых, необходима приподнятая температурная инверсия. Во-вторых, требуется динамическая устойчивость атмосферы. Совокупная оценка этих условий позволяет прогнозировать возникновение сверхрефракции в приземных слоях атмосферы акватории.

### Моделирование траектории распространения радиоволн при сверхрефракции над водоемами

Очевидно, что при радиолокационном зондировании участка атмосферы над озером волна, прежде всего, пройдет через клиновидную структуру, образованную линиями равных значений парциального давления водяного пара над берегом и над прибрежной частью озера, а затем через плоскопараллельный участок над самим озером. Геометрия распространения луча в клине призмы над сушей будет соответствовать рис. 3. Здесь  $\alpha$  — угол места лоатора;  $\beta$  — угол между лучом и поверхностью клина, образованного линиями равных значений парциального давления водяного пара;  $\gamma$  — угол наклона клина;  $\varphi$  — угол падения луча;  $\psi$  — угол преломления луча;  $\nu$  — угол между направлением луча и горизонталью;  $n_1$  и  $n_2$  — коэффициенты преломления в первом и втором слое.

Для аналитического расчета траектории луча необходимо знать расстояние от точки расположения радиолокатора до начала клиновидной части призмы. Для этого необходимо учесть особенности распространения бризовой циркуляции. Согласно исследованиям влияния Ладожского озера на климат прибрежных зон [5], бриз распространяется на расстояние 15 км от берега в обе стороны.

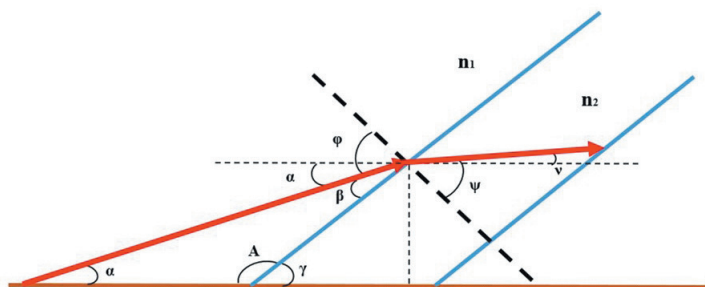


Рис. 3. Геометрия луча, проходящего через клин призмы (пояснения в тексте).

Fig. 3. Geometry of a beam passing through a prism wedge (explanation in the text).

Следовательно, воздух, насыщенный водяным паром, распространяется от озера вглубь суши именно на это расстояние. Здесь следует отметить, что при рассмотрении другого водоема, эта цифра может быть скорректирована в соответствии с особенностями местной циркуляции.

На верхней границе инверсионного слоя происходит обратное распространение сухого воздуха над озером. Значит, содержание водяного пара будет определяться, с одной стороны, его распространением на сушу от озера с одновременным подъемом наверх, что приводит к уменьшению парциального давления, а с другой стороны, перемещением сухого воздуха в верхних слоях инверсии над озером. Следовательно, парциальное давление водяного пара у поверхности земли на расстоянии 15 км от берега в сторону суши будет равно парциальному давлению на расстоянии 15 км от берега в сторону водной поверхности на верхней границе инверсионного слоя. Это приводит к равным значениям коэффициента преломления воздуха в точке начала клина на суше и в подинверсионном слое над водой ( $n = n'$  на рис. 4).

Угол наклона линий равных значений парциального давления водяного пара (угол  $\gamma$  на рис. 3) определяется геометрическими соотношениями с учетом высоты нижней границы инверсии, которая находится по данным аэрологического зондирования.

Затем для построения траектории луча с учетом значения угла наклона клина, необходимо определять углы падения и преломления в каждом слое и значения наклонной дальности и высоты луча при переходе из одного слоя в другой. В первом приближении можно допустить, что расстояние между двумя соседними слоями с разными значениями коэффициента преломления равно 100 м. Количество таких слоев должно быть определено исходя из высоты нижней границы слоя

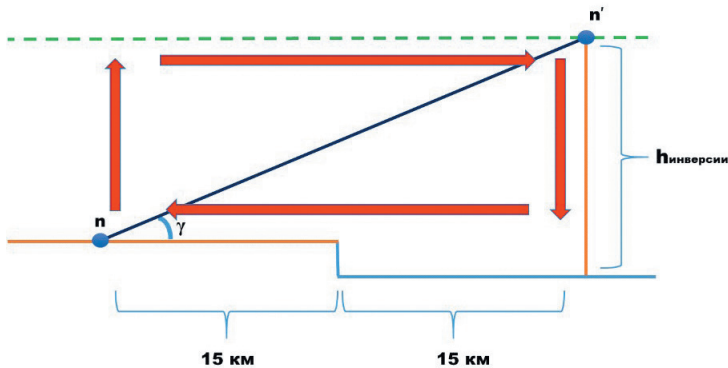


Рис. 4. Схематичное изображение процессов, происходящих при формировании клина.

Красными стрелками обозначено направление бризовой циркуляции, зеленый пунктир — нижняя граница инверсии.

Fig. 4. Schematic representation of the processes occurring during wedge formation.

The red arrows indicate the direction of breeze circulation, the green dotted line is the lower boundary of the inversion.

инверсии. Подробная методика расчета траектории, основанная на элементарной геометрии, описана в ранних работах авторов [2, 3].

Следует также учитывать, что в данном случае расчет состоит из трех этапов. Первый этап — расчет траектории волны над сушей и высоты ее входа в клин призмы; второй этап — расчет высоты ее перехода в слоях равного содержания водяного пара и горизонтальной дальности при прохождении через клин призмы; третий этап — расчет траектории на плоскопараллельном участке над озером.

Такая модель позволяет, зная характеристики атмосферы над сушей, рассчитать траекторию хода радиоволны над водной поверхностью и определить форму луча. Затем, с учетом полученной информации определить погрешности, характеризующие отклонение формы луча от стандартной. Такие погрешности следует вносить в качестве поправок в координаты исследуемых целей и делать соответствующие выводы.

### Заключение

В рамках проведенного исследования было установлено, что явление сверхрефракции радиоволн сантиметрового диапазона над обширными водными поверхностями возникает в специфических метеоусловиях, связанных с наличием устойчивых температурных инверсий. Показано, что в жаркую и тихую погоду при стабильной атмосфере над поверхностью водоема формируется призматическая структура, ограниченная линиями равных значений парциального давления водяного пара, которая выступает клином на сушу и создает условия для сильного искривления траектории радиоволн.

Анализ данных аэрологических зондирований и радиолокационных наблюдений подтвердил гипотезу о связи между наличием температурной инверсии и появлением сверхрефракции: приподнятая инверсия способствует циркуляции водяного пара, что создает условия для формирования слоя с повышенным показателем преломления и, следовательно, для возникновения сверхрефракции.

Разработана модель распространения луча в призматической структуре, образованной линиями равных значений парциального давления водяного пара над поверхностью воды. Подчеркивается, что расчет траектории будет состоять в таком случае из трех отдельных этапов.

Полученные результаты расширяют понимание физических механизмов возникновения атмосферной рефракции и ее влияния на точность радиолокационного зондирования. В дальнейшем рекомендуется проведение аэрологических зондирований над внутренними водоемами России для детализации характеристик атмосферы. Это позволит повысить надежность моделирования распространения волн над водой и увеличить точность радиолокационных наблюдений.

### Список литературы

1. Жуков В. Ю., Кузнецов А. Д., Никитина В. С. Исследование возможности прогнозирования искривления траектории радиоволн в тропосфере земли // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2024. № 3(55). С. 5—15. DOI: 10.24412/2221-2574-2024-3-5-15. — EDN BUIGBA.

2. Жуков В. Ю., Кузнецов А. Д., Никитина В. С. Разработка метода прогнозирования рефракции радиоволн в тропосфере // *Метеорология и гидрология*. 2026. № 2. С. 97—101. DOI: 10.52002/0130-2906-2026-2-97-103.
3. Жуков В. Ю., Кузнецов А. Д., Никитина В. С. Моделирование влияния рефракции на определение координат цели при производстве радиолокационных наблюдений // *Труды Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского*. 2023. № 688. С. 55—60.
4. Еремка В. Д., Кабанов В. А., Логвинов Ю. Ф. и др. Особенности распространения радиоволн над морской поверхностью. Под редакцией В. Б. Разказовского. — С.: Вебер, 2013. 217 с.
5. Румянцев В. А., Кондратьев С. А. Ладога. Санкт-Петербург: Издательство Института озероведения РАН. 2013. 568 с.

### References

1. Zhukov V. Yu., Kuznetsov A. D., Nikitina V. S. A study into the possibility of predicting the curvature of radio wave trajectories in the Earth's troposphere. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy = Radio engineering and telecommunication systems*. 2024;(3):(5—15). (In Russ.). DOI: 10.24412/2221-2574-2024-3-5-15.
2. Zhukov V. Yu., Kuznetsov A. D., Nikitina V. S. Development of a method for predicting radio wave refraction in the troposphere. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*. 2022;(2):(97—101). (In Russ.). DOI: 10.52002/0130-2906-2026-2-97-103.
3. Zhukov V. Yu., Kuznetsov A. D., Nikitina V. S. Modeling the influence of refraction on the determination of target coordinates during radar observations. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii im. A. F. Mozhaiskogo = Proceedings of the A.F. Mozhaisky Military Aerospace Academy*. 2023; (688):(55—60). (In Russ.).
4. Eremka V. D., Kabanov V. A., Logvinov Yu. F., Myshchenko I. M., Razskazovskii V. B., Roenko A. N. *Osobennosti rasprostraneniya radiovoln nad morskoi poverkhnost'yu = Features of Radio Wave Propagation over the Sea Surface*. Sevastopol: Veber, 2013; 217 p. (In Russ.).
5. Rumyantsev V. A., Kondrat'ev S. A. *Ladoga = Ladoga Lake*. Saint Petersburg: Izdatel'stvo Instituta ozeroovedeniya RAN, 2013; 568 p. (In Russ.).

### Информация об авторах

*Кузнецов Анатолий Дмитриевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета, kuznetsov1946@inbox.ru.

*Жуков Владимир Юрьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета, vuzhukov2002@list.ru.

*Никитина Виктория Сергеевна*, ассистент кафедры физики Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I, victoriaflint01@gmail.com.

*Симакина Татьяна Евгеньевна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экспериментальной физики атмосферы Российского государственного гидрометеорологического университета, tatiana.simakina@gmail.com.

### Information about authors

*Kuznetsov Anatoly Dmitrievich*, Doctor of Sciences (Phys. and Mat.), Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

*Zhukov Vladimir Yur'evich*, Doctor of Sciences (Phys. and Mat.), Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

*Nikitina Victoria Sergeevna*, teaching assistant, Department of Physics, Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University.

*Simakina Tatyana Evgenevna*, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Experimental Atmospheric Physics, Russian State Hydrometeorological University.

**Конфликт интересов:** Конфликт интересов отсутствует.

*Статья поступила 20.04.2026*

*Принята в печать 27.05.2026*

*The article was received on 20.04.2026*

*The article was accepted on 27.05.2026*