

Метод фильтрации аномального радиозеха

М.Т. Абшаев², М.В. Жарашуев¹, А.М. Абшаев²

¹Высокогорный геофизический институт

² Научно-Производственный Центр "Антигра"

Аннотация: На основе обработки радиолокационной информации радиолокационной сети штормооповещения Северного Кавказа, была предложена методика фильтрации с использованием комплексной информации от нескольких метеоролокакторов.

Ключевые слова: Радиолокация, автоматизация, рефракция, идентификация, радиолокационная сеть.

1. Введение

Задача распознавания образов - это сложная и многогранная задача, которой посвящено множество работ [1-4]. Не менее серьезной проблемой является задача фильтрации сигналов от местных предметов при аномальной рефракции [5]. Данная работа посвящена фильтрации аномальной рефракции, одной из актуальных проблем метеорологической радиолокации в целом и системе оповещения об опасных явлениях погоды в частности [6,7].

Принцип радиолокации, основанный на прямолинейном распространении электромагнитного излучения с постоянной скоростью, как известно, нарушается вследствие изменения скорости и направления, связанного с неоднородностью вертикальных и горизонтальных профилей коэффициента преломления воздуха, который в свою очередь зависит от вертикальных и горизонтальных профилей плотности, температуры и влажности воздуха по пути распространения радиоволн. Неоднородность вертикального профиля коэффициента преломления приводит к искривлению радиолуча по вертикали, а неоднородности по горизонтали (воздушные линзы) - к искривлению радиолуча поперек направления распространения.

Эти искривления радиолуча, называемые рефракцией, наблюдаются повседневно. Непрерывное изменение погоды и смена воздушных масс, адвекции холода и тепла, ночное радиационное выхолаживание почвы, разная степень прогрева подстилающей поверхности и приземной атмосферы, приводят к непрерывному изменению условий распространения радиоволн и рефракции радиоволн [8, 9].

При адвективных и радиационных туманах, оседании воздуха в областях повышенного давления, районах испарения осадков и таяния града могут формироваться условия повышенной рефракции и суперрефракции.

Наиболее часто условия повышенной положительной рефракции радиоволн формируются за счет радиационного выхолаживания земной поверхности в ясные безоблачные ночи, когда формируется приземный слой инверсии температуры и влажности воздуха. При этом метеорологические радиолокаторы (МРЛ) обнаруживают радиоэхо местных предметов (неоднородности рельефа, возвышенности, здания и сооружения), расположенные ниже уровня радиогоризонта в стандартной атмосфере. В некоторых ситуациях во второй половине ночи и утром формируются условия для положительной суперрефракции радиоволн, когда аномальное радиоэхо имеет большую мощность и может расцениваться, как радиоэхо интенсивных ливневых осадков, гроз и града. Эти ложные очаги являются серьезной помехой при автоматизированных наблюдениях. При суммировании осадков во времени могут создавать большой слой ложных осадков. Аномальная рефракция приводит также к искажению высот радиоэха.

При верхней рефракции, помимо самих предметов, видны и их изображения, расположенные сверху. Явления нижней рефракции могут быть обусловлены ростом плотности воздуха вверх. Нижняя рефракция наблюдается в пустынях и в степях в теплое время года, когда прилегающий

к земной поверхности слой воздуха сильно нагрет, а его плотность и показатель преломления быстро возрастают с высотой. В горах, хотя и редко, наблюдается боковая рефракция, связанная с изменением показателя преломления воздуха в боковом направлении.

В случае применения доплеровских радиолокаторов эта проблема решается путем селекции радиоэха неподвижных целей, создающих радиоэхо с нулевым или близким к нулю доплеровским сдвигом [10]. К сожалению, действие ветра приводит к колебаниям веток деревьев, травы и к появлению доплеровского сдвига частот радиоэха местных предметов, что осложняет использование указанного простого алгоритма.

А при использовании некогерентных МРЛ задача фильтрации аномального радиоэха еще более осложняется. В [5] предложен автоматический метод фильтрации аномального радиоэха путем подавления сигналов ниже некоторых углов возвышения по трем ступеням:

- «Мягкая», отсекающая приземное радиоэхо в слое $H_{\text{МРЛ}} + 1$ км, при условии, что выше этого в слое облакообразования нет радиоэха с $Z > 5$ dBZ;

- «Средняя», отсекающая приземное радиоэхо, при условии, что при угле обзора выше 1 градуса нет радиоэха с $Z > 5$ dBZ. Эту фильтрацию можно ужесточить при повышенной рефракции, установив угол 2 или 3 градуса;

- «Жесткая», отсекающая приземное радиоэхо, у которых значения Z максимальны у поверхности земли и быстро уменьшаются с высотой. Эта фильтрация может применяться в условиях формирования атмосферных волноводов с суперрефракцией.

Недостатком этого метода является необходимость периодической коррекции ступени фильтрации.

Целью данной работы является поиск более эффективных методов фильтрации аномального радиоэха.

2. Фильтрация аномальной рефракции с помощью двух МРЛ

Для фильтрации радиоэха аномальной рефракции в автоматическом режиме на сети МРЛ или противорадовой защиты штормоповещения прежде всего необходимо распознать появление аномально-рефракционной картины радиолокационного обзора. Для этого была разработана методика автоматического определения появления радиоэха аномальной рефракции, заключающаяся в следующем:

- преобразование географических координат МРЛ в декартовы;
- преобразование декартовой системы координат одного МРЛ в декартовую систему другого МРЛ;
- преобразование декартовой системы координат в сферическую систему двух и более МРЛ относительно некоторого эталонного;
- определение общих точек для двух или нескольких МРЛ;
- определение момента появления аномальной рефракции по разности отражаемостей с двух и более МРЛ;
- идентификация области аномального радиоэха по разности отражаемостей одних и тех же точек по данным разных МРЛ.

Для решения поставленной задачи необходимо перевести географические координаты в декартовы, а затем провести следующие преобразования:

$$l = L_2 - L_1, \quad (1)$$

$$p = \sin l * \cos B_2, \quad (2)$$

$$q = \cos B_1 * \sin B_2 - \sin B_1 \cos B_2 * \cos l, \quad (3)$$

$$Az = a \tan\left(\frac{p}{q}\right), \quad (4)$$

$$R = a \tan\left(\frac{p * \sin Az + q * \cos Az}{\sqrt{1 - (p * \sin Az + q * \cos Az)^2}} * 6371.117\right), \quad (5)$$

$$X = R * \sin Az, \quad (6)$$

$$Y = R * \cos Az. \quad (7)$$

Здесь $B_2 L_2$ и $B_1 L_1$ широта и долгота точки стояния МРЛ и точки, принятой за центр карты, соответственно; X , Y - координаты точки $B_2 L_2$, переведенные в декартову систему относительно точки $B_1 L_1$. Позиция одного из МРЛ принимают за центральную точку карты. Координаты другого МРЛ преобразуются в декартову систему координат относительно первого МРЛ. Далее сферические координаты МРЛ преобразуются в декартовы

$$dx = \rho \cos \theta * \cos(90 - \varphi), \quad (8)$$

$$dy = \rho \cos \theta * \sin(90 - \varphi), \quad (9)$$

$$dz = \rho \sin(\theta), \quad (10)$$

$$X = x + dx, \quad (11)$$

$$Y = y + dy. \quad (12)$$

Полученные значения координат X , Y преобразуются в сферические относительно первого МРЛ по следующим формулам:

$$\rho' = \sqrt{X^2 + Y^2 + dz^2}, \quad (13)$$

$$\varphi' = 90 - a \tan\left(\frac{Y}{X}\right), \quad (14)$$

$$\theta' = a \sin\left(\frac{\rho}{\rho'}\right) * \sin \theta. \quad (15)$$

Позиции обоих МРЛ преобразуются в декартову систему координат по формулам (8-12) и получают близлежащие точки с координатами ($X_1 Y_1 Z_1$)

и $(X_2 \ Y_2 \ Z_2)$. После этого по формуле (16) находим расстояние dL между этими точками.

$$dL = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2} \quad (16)$$

Используя данную методику, были вычислены парные точки с расстоянием, не отличающимся более чем на 0.5 км для Ставропольского и Зеленокумского МРЛ-5 (см. рис. 1).

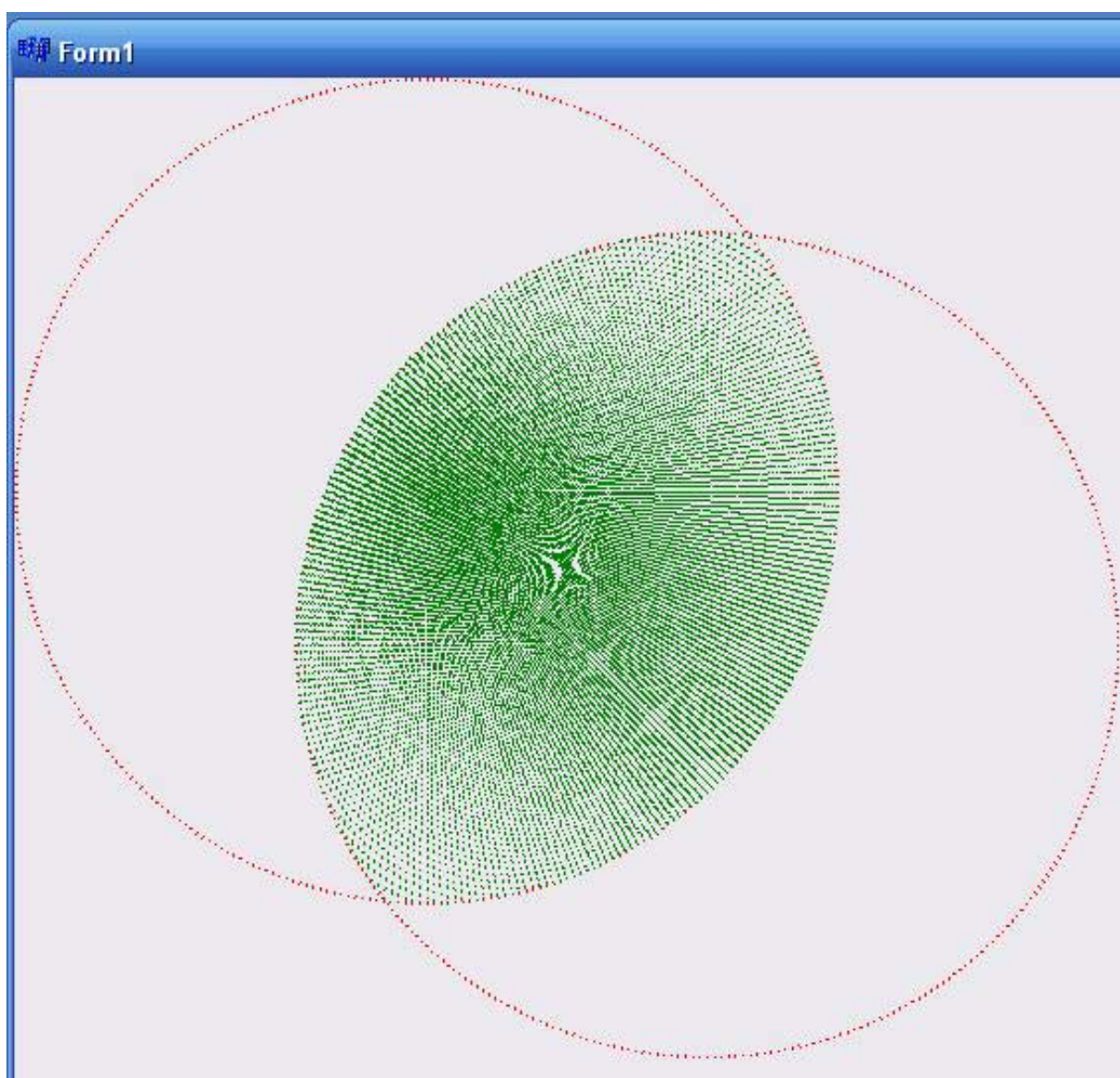


Рис.1. Парные точки с расстоянием, не отличающимся более чем на 0.5 км для Ставропольского и Зеленокумского локаторов.

Для анализа радиолокационной информации с двух МРЛ в случае отображении сигналов от местников при аномальной рефракции, подбирается время файлов обзора, которое не отличалось бы более чем на 2,5 минут. И если в близлежащих точках есть разница в отражаемости более 40 dBZ, в утренние и ночные часы, когда часто наблюдаются случаи с аномальной рефракцией, за реальное принимается наименьшее из двух значений. При этом в случае нахождения более 50-60 точек с разностью в отражаемости более 30 dBZ, можно утверждать, что имеет место явление аномальной рефракции (см. рис. 2).

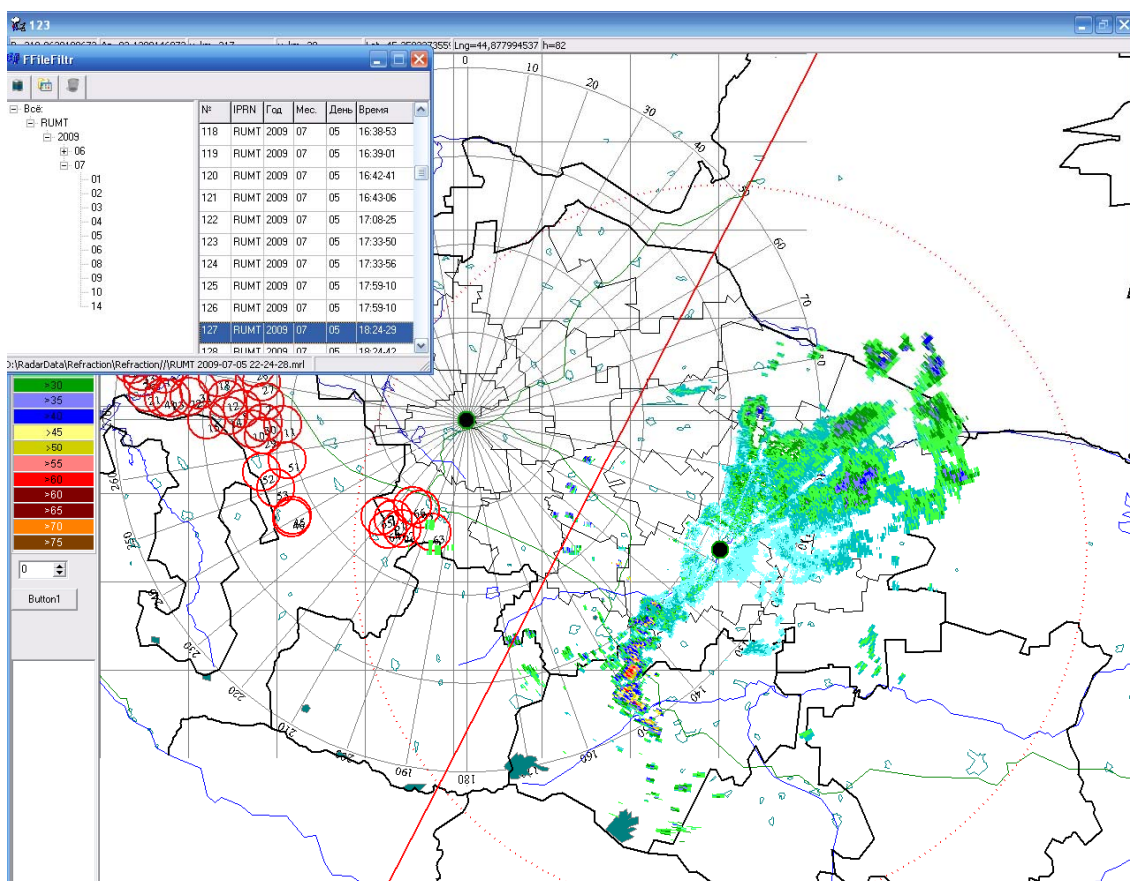


Рис. 2. Это пример автоматического обнаружения файла с аномальной рефракцией в области между Ставропольским и Зеленокумским МРЛ-5.

3. Метод фильтрации аномального радиозеха по месту появления

В автоматизированных системах МЕРКОМ и АКСОПРИ [2] с рефракцией борются обнулением сигналов от местников при нормальной и

аномальной рефракциях. Этот метод опасен тем, что при аномальной рефракции будут вырезаны области, где на самом деле нет местников, что, в свою очередь, приведет к необнаружению опасных явлений погоды на вырезанном участке. При этом, если автоматизированная система стоит в гористой местности, а нами неоднократно наблюдалось блуждание сигналов, полученных от местных предметов в зависимости от времени года, то использование данного метода чревато опасностью остаться без информации на большой территории в приземном слое.

Более действенным и эффективным является другой полуавтоматический метод фильтрации радиоэха аномальной рефракции. После того как было определено, что обзор был сделан в условиях аномальной рефракции, необходимо определить область и место появления псевдосигнала в условиях аномальной рефракции. Для этого необходимо:

- в ручном режиме один раз локализовать область появления аномально рефракционной картины;
- занести координаты локализованной области в базу данных;
- если данная зона расположена в области перекрытия двух и более МРЛ, вести автоматический сравнительный анализ псевдоконвективных ячеек по данным двух и более МРЛ. В случае разницы в отражаемости более 40 dBZ обнулять область псевдоконвективной ячейки.
- Если место аномального радиоэха находится в зоне обзора только одного МРЛ, то необходимо обнулить сигналы при нижних углах обзора в тех областях, которые были локализованы и занесены в базу данных в ручном режиме.

Для реализации данного метода необходимо в момент появления радиоэха аномальной рефракции в ручном режиме выделить область появления аномальной рефракции (см. рис. 3).

Далее задается угол возвышения антенны радиолокатора, до которого будут вырезаться данные. При этом изменение угла возвышения должно быть плавным, чтоб уменьшить возможную потерю данных о метеообъектах. Эти данные для каждой группы местников должны храниться в отдельном файле.

При появлении на карте АСУ выделенных областей радиоэха местных предметов вырезаются до заданного угла места. Периодически отключается фильтрация местников для просмотра картины, и если радиоэхо местных предметов не появляются, фильтрация может быть отключена.

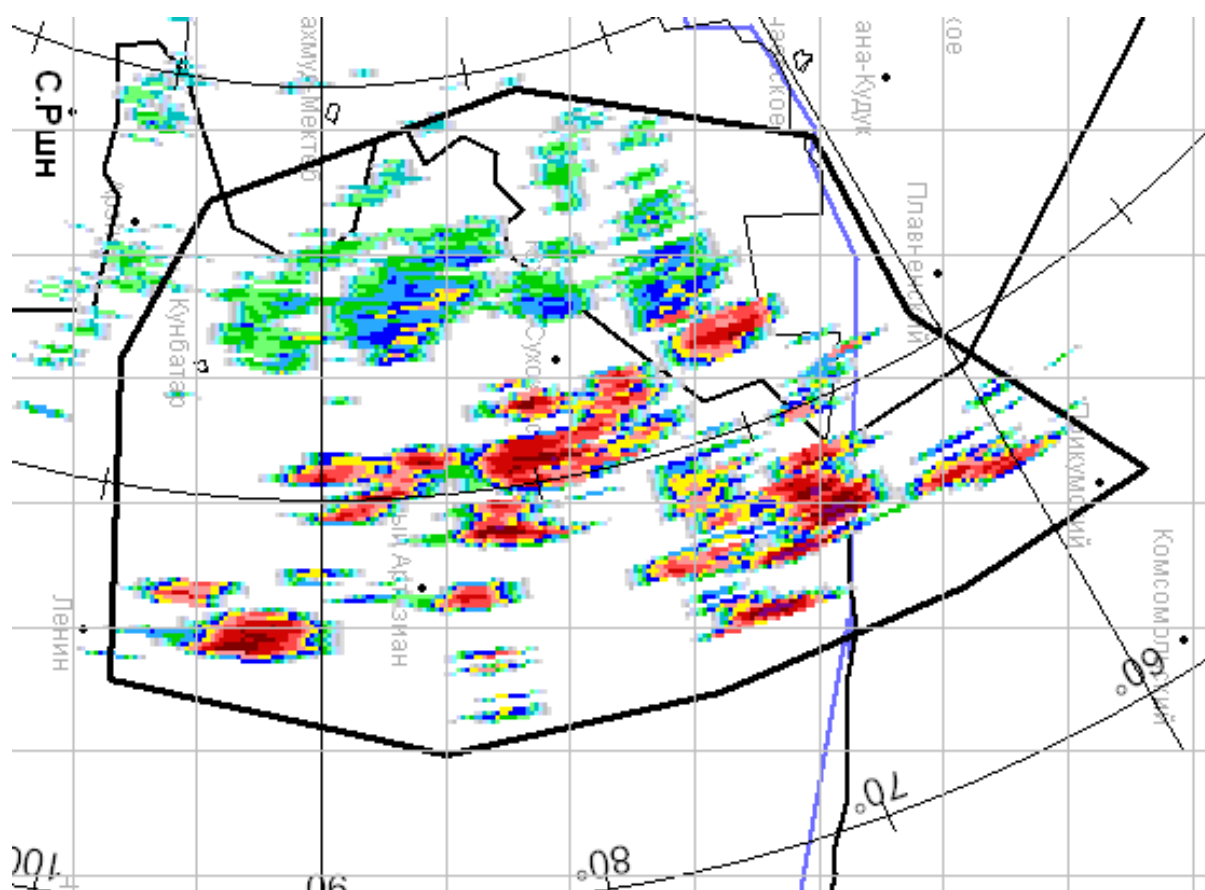


Рис. 3. Выделение области аномальной рефракции.

Заключение

В дополнение к предложенным выше двум методам фильтрации радиоэха аномальной рефракции можно использовать метод автоматической

идентификации конвективных ячеек, который все области радиоэха в радиусе обзора относит к ячейкам, имеющим свой идентификационный номер [2]. Непрерывный мониторинг полей облачности позволяет вести временной ход параметров каждой ячейки с последующим определением скорости и направления движения. Это позволяет выявить ячейки облачности, не имеющие скорости перемещения, и отфильтровать эти ложные ячейки облачности.

Кроме того, если новое радиоэхо с высокой отражаемостью появилось в утренние или ночные часы в области, которая была ранее занесена в базу данных о местах появления радиоэха аномальной рефракции, то можно автоматически обнулить радиолокационную информацию в заданных углах обзора.

Для эффективной работы этого алгоритма следует свести к минимуму люфт в антенной колонке, который может привести к ошибкам идентификации радиоэха местных предметов и малоподвижной облачности.

Фильтрация аномального радиоэха местных предметов в полуавтоматическом режиме является наиболее оптимальной, но она нуждается в участии персонала. Фильтрация же в автоматическом режиме требует набора большого экспериментального материала и подбора оптимальных вариантов определения коэффициентов движения облачных масс.

Литература

1. Zharashuev M.V. Statistical analysis of hail activity in Stavropol krai and Crimea // Russian Meteorology and Hydrology, 2012. №7. Pp. 455-460.
2. Жарашуев М.В. Метод идентификации конвективных ячеек и результаты его применения для исследования градовых процессов: дис. ... канд. ф.-м. наук: 25.00.30. Нальчик, 2010. С. 35-40.

3. Берестень М.П., Зенов А. Ю. Концепция организации обработки информации в системах диагностики и распознавания // Инженерный вестник Дона. 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1568

4. Дергачев В.В., Александров А.А. Методы анализа и структурированного распознавания лиц в естественных условиях // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4549

5. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Гергоков А.Х. Фильтрация аномального радиоэха при радиолокационных наблюдениях облаков и осадков // Тезисы конференции молодых ученых ВГИ, посвященной 100-летию проф. Сулаквелидзе Г. К. - 22-23 мая 2013 г. С 9-11.

6. Shapovalov V.A. System of warning about dangerous atmospheric phenomena in the north caucasus for objects of economic activity // Materials Science Forum. 2018. № 931. Pp. 1019-1024.

7. Шаповалов В.А. Распознавание и сопровождение облачных конвективных ячеек с целью текущего прогноза опасных погодных явлений. // Известия ЮФУ. 2018. №3. С. 14-22.

8. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Издательство «Связь», 1969. – 506 с.

9. Рефракция и ее непосредственное значение в стрельбе // Некоммерческий Интернет сервер «ADA WEB SITE». URL: ada.ru/guns/ballistic/refraction/index.htm (дата обращения: 2019).

10. Горелик А.Г., Коломиец С.Ф., Щукин Г.Г. Применение многоволновых доплеровских РЛС для ветрового зондирования атмосферы на разных высотах // II Всероссийские Армановские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред. Материалы V Всероссийской научной конференции. Муром: полиграфический центр МИВЛГУ, 2012. С. 30-36.

References

1. Zharashuev M.V. Russian Meteorology and Hydrology, 2012. №7. Pp. 455-460.
2. Zharashuev M.V. Metod identifikacii konvektivny`x yacheek i rezul`taty` ego primeneniya dlya issledovaniya gradovy`x processov: dis. ... kand. f.-m. nauk [Method of identification of convective cells and the results of its application for the study of hail processes: dis. ... Cand. f.-M. Sciences]: 25.00.30. Nal`chik, 2010. pp. 35-40.
3. Beresten M.P., Zenov A. Yu. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1568
4. Dergachev V.V., Aleksandrov A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4549
5. Abshaev A.M., Abshaev M.T., Gergokov A.X. Tezisy` konferencii molodyx uchenyx VGI, posvyashhennoj 100-letiyu prof. Sulakvelidze G. K. 22-23 maya 2013. Pp. 9-11.
6. Shapovalov V.A. Materials Science Forum. 2018. № 931. Pp. 1019-1024.
7. Shapovalov V.A. Izvestiya YuFU. 2018. №3. pp. 14-22.
8. Kolosov M.A., Armand N.A., Yakovlev O.I. Rasprostranenie radiovoln pri kosmicheskoy svyazi. [Propagation of radio waves in space communications].M. Izdatel`stvo «Svyaz», 1969. 506 p.
9. Refrakciya i ee neposredstvennoe znachenie v strel`be. Nekommercheskij Internet server «ADA WEB SITE». URL: ada.ru/guns/ballistic/refraction/index.htm. [Refraction and its direct meaning in shooting non-Commercial Internet server "ADA WEB SITE". URL: ada.ru/guns/ballistic/refraction/index.htm (accessed: 2019).]
10. Gorelik A.G., Kolomicz S.F., Shhukin G.G. II Vserossijskie Armandovskie chteniya: Radiofizicheskie metody` v distancionnom zondirovanii



sred. Materialy` V Vserossijskoj nauchnoj konferencii. Murom: poligraficheskij centr MIVLGU, 2012. Pp. 30-36.