

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 штормоповещения 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).

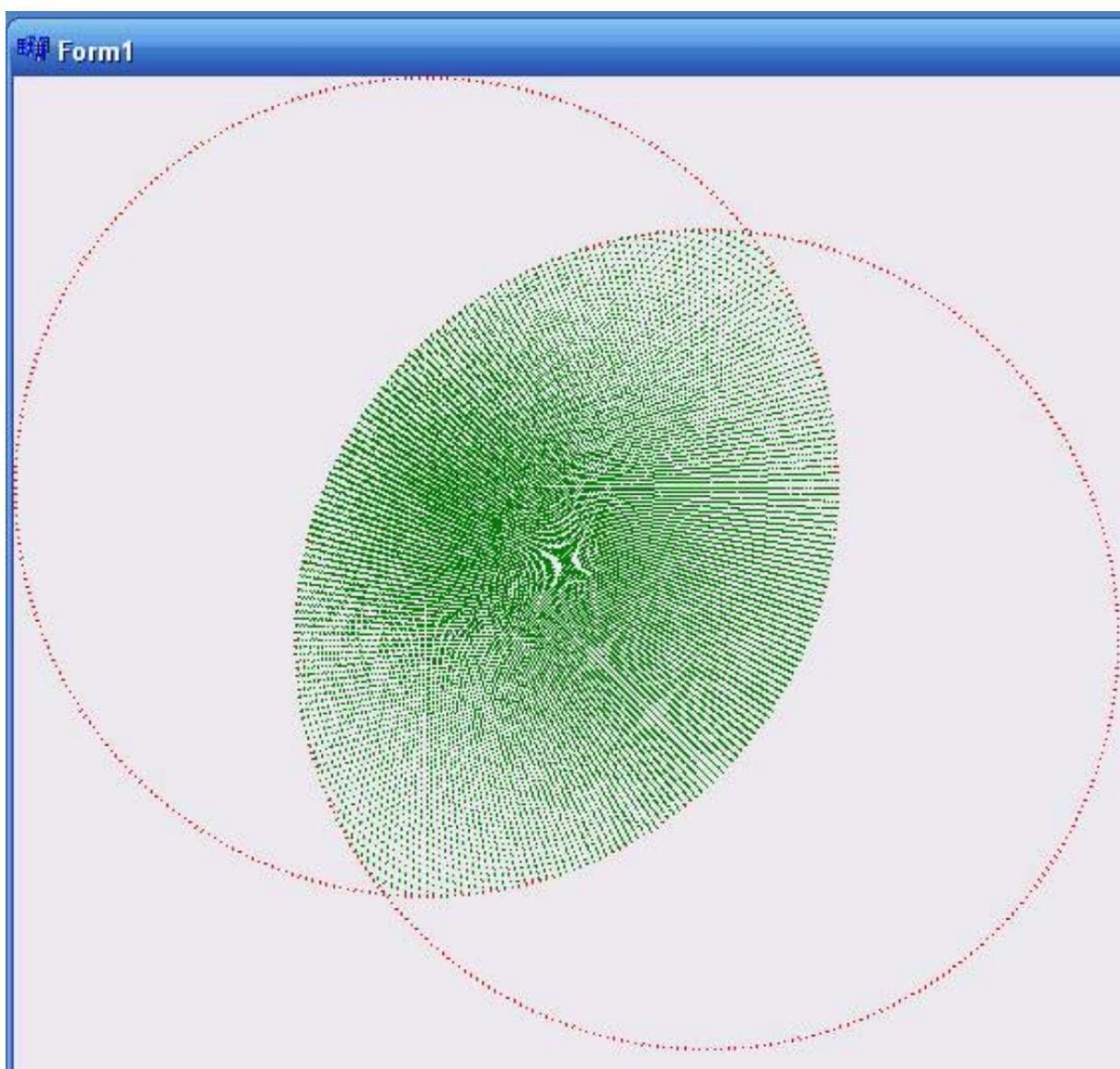


Рис.1. Парные точки с расстоянием, не отличающимся более чем на 0.5 км для Ставропольского и Зеленокумского локаторов.

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 отражаемых более 30 dBZ, можно утверждать, что имеет место явление аномальной рефракции (см. рис. 2).

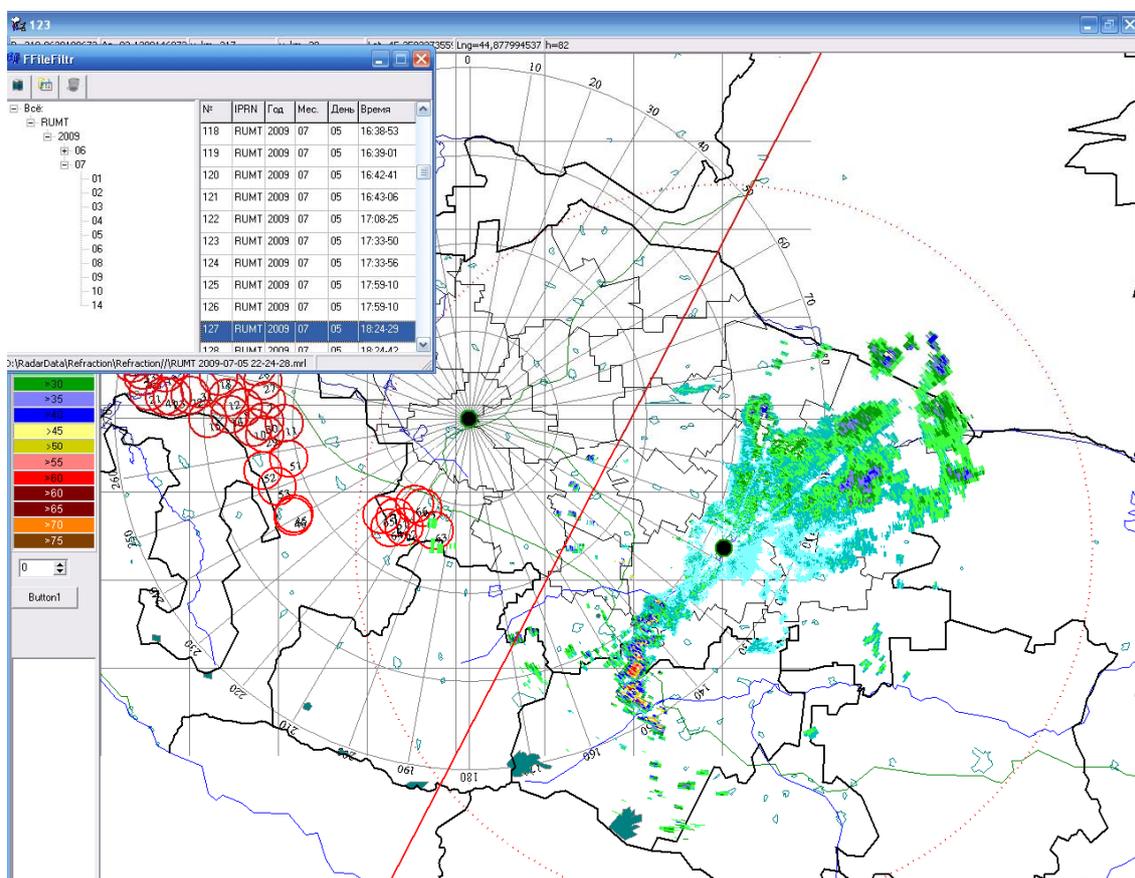


Рис. 2. Это пример автоматического обнаружения файла с аномальной рефракцией в области между Ставропольским и Зеленокумским МРЛ-5.

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).

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.