

## МЕТОД ЗА ПРОГНОЗА НА РАДИАЦИОННИ МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

ЕЛЕНА ТОПУЗОВА<sup>1,2</sup>, НИКОЛАЙ РАЧЕВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ДП "РВД", ЛЦ за ОВД Бургас, РПЦ, София

<sup>2</sup> Катедра „Метеорология и геофизика“

*Елена Топузова, Николай Рачев.* МЕТОД ЗА ПРОГНОЗА НА РАДИАЦИОННИ  
МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

Анализирани са 112 случая с мъгла на летище Бургас през периода 2010–2015 г. Приложен е методът на Saunders за прогноза на температурата на точката на мъглата по данните от атмосферните аерологични сондажи и приземните наблюдения. Установено е, че за близо 80% от случаите на радиационни и адвективно-радиационни мъгли този прогностичен метод е успешен. Установено е също така, че методът е неприложим за мъглите, формирани при доминация на адвективния фактор.

*Elena Topuzova, Nikolay Rachev.* A FORECASTING METHOD OF THE RADIATION  
FOGS AT BURGAS AIRPORT

One hundred twelve fogs at Burgas airport during 2010–2015 period are analyzed. The Saunders' forecasting method of the fog point temperature by means of aerological sounding data and surface weather observations is used. It is established that the method is reliable for 80% of the cases of radiation or radiation-advection fogs. It is established also that Saunders' method is inapplicable to the fogs formed under domination of the advection.

**Keywords:** fog

**PACS numbers:** 92.60.-e

---

*За контакти:* Елена Топузова, Катедра „Метеорология и геофизика“, Физически факултет, Софийски университет „Св. Климент Охридски“, бул. "Джеймс Баучър" 5, София 1164, тел.: +359 2 9623157, факс: +359 2 962 52 76; E-mail: elipeter780@yahoo.com

## 1. УВОД

Сигурността на авиационните полети се определя от летателните апарати, техническото оборудване на летищата, квалификацията на летателния и обезпечаващия състав и метеорологичните условия. Понастоящем общата тенденция за намаляване на авиационните инциденти се дължи главно на усъвършенстване на летателните апарати, подобряване на техническото осигуряване на полетите и повишаване на квалификацията на пилотите. В значително по-малка степен обаче намаляват инцидентите поради опасните метеорологични условия [1]. Около 30–35% от самолетните катастрофи в САЩ са вследствие на опасни метеорологични условия, като мъглата и ниската облачност са основната причина за 60–70% от тях. Ето защо надеждните прогнози на мъглите и ниската облачност са от съществено значение за минимизиране на негативните ефекти от намалената видимост върху сигурността на полетите.

Формирането или разсейването на мъглите е резултат от съвместното влияние на многобройни и различни по естество физични фактори. Съществено е и специфичното влияние на локалните условия. Видимо това са основните причини, поради които въпреки многото разработени статистически, синоптични, числени, с използване на спътникова информация и др. методи за прогноза на мъглите засега за тази цел все още да не се разполага с достатъчно надеждна методика [2]. Като правило предлаганите методи не са и всеобхватни. Те са успешни само в рамките на районите, за които са създадени [3]. Например приложимостта на статистическите методи, оценяващи по емпирични данни редица параметри, е ограничена само за конкретни физико-географски условия [3–5]. Поради трудностите при отчитане на местните ефекти и процесите в граничния слой числените модели за прогноза на времето също не са достатъчно ефективни при прогнозирането на мъгла и ниска облачност. Допълнително препятствие при тях е и изискването за висока хоризонтална (около 1 km) и вертикална разделителна способност, което води до проблеми с коректното задаване на началните условия [3]. Методите за прогноза с използване на синоптична информация [3, 6, 7] също имат своите затруднения, свързани с покритието на синоптичната мрежа, честотата на наблюденията и самите измервани характеристики.

Един метод за прогноза на мъгли, разработен и верифициран за определен район, не може със същия успех директно да бъде приложен и за друг район [3]. Поради тази причина за успешна прогноза на мъгли често се разчита на професионалния опит на местните метеоролози и използването на редица емпирични правила. Така очертаната актуална

ситуация налага извода, че за надеждно прогнозиране на мъглите е необходимо да се използват комбинации от различни методи, с което да се осигури възможно най-пълно използване на информацията от метеорологичните измервания, числените модели и адекватно отчитане на спецификата на разглеждания район.

Целта на настоящото изследване е да се провери дали разработената от Saunders [6] техника за прогноза на радиационни мъгли с нейните модификации може да бъде успешно използвана за прогноза на мъгла на летище Бургас. Този метод се прилага оперативно с много добри резултати от UKMetoffice за прогноза на температурата на формиране на мъглата [8]. Основен проблем за използване на метода е липсата на представителен аерологичен сондаж за мястото, в което ще се прогнозира формирането на мъгла. При решаването на този проблем в настоящата работа са използвани прогностични аерологични сондажи от числен модел за прогноза на времето [9] и данни от преки измервания на летище Бургас [10]. Периодът на изследването е 2010–2015 г. с 112 регистрирани случая с мъгла, основна причина за формирането на която са радиационните фактори. В последната част на работата са приведени няколко случая, за които методът на Saunders не води до удовлетворителни резултати, като чрез анализ на конкретните синоптични обстановки са установени причините за това.

## 2. МЕТОД НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА РАДИАЦИОННА МЪГЛА

В литературата се предлагат редица методи за определяне на температурата на формиране на мъглата, а от там и прогнозата на мъгла в дадена метеорологична станция. Докато някои от техниките използват само приземната температура и влажността в станцията [11], то методът на Saunders [6] се базира на допълнителна обработка на аерологичните диаграми и информацията за промените на температурата и температурата на точката на оросяване във височина.

Силното радиационно охлаждане на земната повърхност води до постепенно насищане на водната пара в слоя на непосредствен контакт. С понижаване на температурата на повърхността до точката на оросяване ( $T_d$ ) започва отлагането на роса, с което точката на оросяване на приземния въздух постепенно се понижава. Чрез дифузия от по-високите нива постъпва водна пара, възстановяваща частично влагосъдържанието на въздуха в приземния слой, намалено при отлагането на росата. За формирането на мъгла е необходимо температурата на въздуха да падне под точката на оросяване на въздушната маса [8]. Температурата, при която се образува мъгла, се нарича точка на мъглата ( $T_f$ ). Разликата между

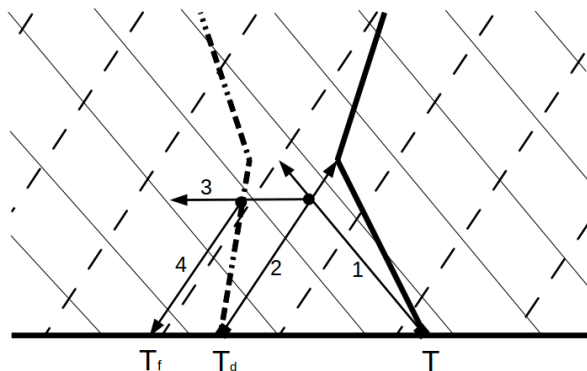
$T_d$  и  $T_f$  зависи от разпределението на водната пара в най-ниските 30–50 hPa от атмосферата (около 240–400 m). Методът на Saunders отчита това важно обстоятелство, като включва допълнително и информацията за вертикалната стратификация в ниските слоеве на атмосферата. По този начин, макар и неявно, той отчита някои важни физични процеси при образуване на мъглите.

Методиката на Saunders за определяне на температурата на точката на мъглата ( $T_f$ ) се състои от следните стандартни стъпки, илюстрирани на тефиграмата на фиг. 1.

1. Намира се точката на Норманд, като от точка  $T$  се прекарва правата 1, успоредна на сухата адиабата, а от точка  $T_d$  се прекарва правата 2, успоредна на изограмите. Точката, където правите се пресичат, е точката на Норманд, наричана също ниво на кондензация (Lifting Condensation Level (LCL)).

2. На това ниво се прекарва изобарата 3 до пресичането ѝ с кривата на  $T_d$ .

3. От точката на пресичане на изобарата 3 и кривата на  $T_d$  успоредно на изограмите се прекарва правата 4 до пресичането на приземната изобара. Температурата в тази пресечна точка е точката на мъглата  $T_f$ .

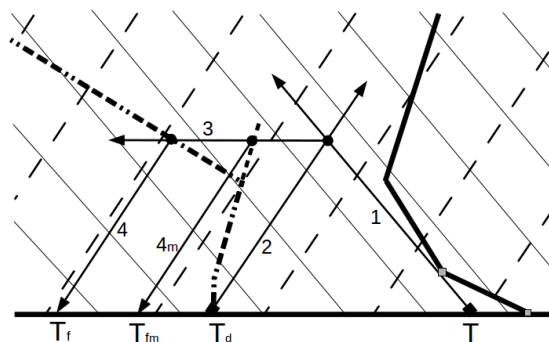


**Фиг. 1.** Процедура на Saunders за определяне точка на мъглата  $T_f$ .

Тънките непрекъснати линии са сухите адиабати, прекъснатите линии са изограмите. Аерологичната диаграма е само за ниските слоеве на тропосферата (до около 800 hPa)

В повечето случаи описаната процедура дава много добри резултати. Saunders обаче установява, че при определени профили на температурата и температурата на точката на оросяване методиката изисква известно модифициране. Той предлага три модификации на стандартната процедура от фиг. 1. Те са, както следва.

I. При свръхadiaбатен температурен градиент при земята той не се отчита, а за определяне на точката на Норманд се използва само частта от кривата на стратификация над свръхadiaбатния градиент (фиг. 2).



Фиг. 2. Модифицирана конструкция на Saunders [6] от I и II тип

II. При наличие на много по-сух въздух във височина, както се вижда от фиг. 2, стандартната процедура дава нереалистично ниска температура на точката на мъглата. В този случай долната част от кривата на оросяване се екстраполира във височина, както е показано с прекъснатата линия на фиг. 2. След прекарването на успоредната на изограмите нова линия  $4_m$  се получава по-реалистична температура за точката на мъглата ( $T_{fm}$ ).

III. Когато точката на оросяване при земята е наляво от продължението на горния участък от кривата, т. е. въздухът в слоя с дебелина около 30 hPa (около 240 m) е по-сух от този над него, в зависимост от статичната устойчивост възможните варианти са два. При устойчива стратификация се следва стандартната процедура, а при неустойчива стратификация температурата на точката на мъглата се приема равна на температурата на точката на оросяване при земята ( $T_f = T_d$ ).

Прилагането на метода на Saunders от UKMetoffice [8] включва избор на представителен аерологичен сондаж на атмосферата от 12 UTC и построяване на аерологична диаграма, която може да е модифицирана предварително, ако сондажът не е в станцията на прогнозиране. В този случай на изобарното ниво, съответстващо на измереното в станцията атмосферно налягане, върху диаграмата се нанасят максималната температура и съответната температура на точката на оросяване в разглежданата станция, предполагайки, че вертикалните профили на температурата между станцията, в която е сондажът, и станцията на

прогнозата се различават само в ниския приземен слой, а на по-големите височини те съвпадат. Кривите на температурата и точката на оросяване между повърхността и горната граница на граничния слой се модифицират допълнително според конкретните метеорологични условия. Например при ясен слънчев ден и слаб вятър кривата на стратификация в слоя при земята с дебелина до 20 hPa (около 160 м) се модифицира така, че да представя свръхadiaбатния температурен градиент. Подобни модификационни правила за профили са предложени и за случаите на добре изразена бризова циркулация, облачен ден със слаб вятър и др. Трябва да се отбележи, че тези правила са на базата на метеорологичните наблюдения в станциите на UKMetoffice [8]. Директното им прилагане за други станции, естествено, изисква предварително изследване за влиянието на местните метеорологични условия.

Ако се налага, определената по метода на Saunders точка на мъглата може се коригира в зависимост от очакваните промени на времето. Например при очакван проливен валеж или усилваща се бризова циркулация точката на мъглата трябва да е по-висока от оценената. Ако точка на мъглата е отрицателна, за да се отчете намаленото в резултат на отлагането на скреж влагосъдържание, формирането на мъглата трябва да е при по-ниска температура [8].

### 3. ИЗПОЛЗВАНА МЕТЕОРОЛОГИЧНА ИНФОРМАЦИЯ И ПРЕДВАРИТЕЛЕН АНАЛИЗ

За определяне броя на случаите с мъгла на летище Бургас през разглеждания период от 01.01.2010 г. до 01.05.2015 г. са използвани редовните авиометеорологични съобщения тип METAR на Световната организация за гражданска авиация (ICAO) [12]. Съответните архиви са свободно достъпни в интернет [10]. Съобщенията METAR са на всеки 30 минути и съдържат данни за вятъра, видимостта, метеорологичните явления в момента на наблюдението, облачността, температурата, точката на оросяване, атмосферното налягане, явления в изтекло време и др. Тези данни позволяват прецизно идентифициране на моментите на падане и разсейване на мъглата. За мъгла се приемат случаите с хоризонтална видимост под 1 km, независимо дали мъглата е повсеместна, частична или на вълма. За край на мъглата се смята моментът, в който тя преминава в димка. От съобщенията METAR за 12 UTC са използвани данните за температурата и температурата на точката на оросяване, а също така и температурата в момента на формиране на мъглата.

След изключването на фронталните мъгли регистрираните през разглеждания период мъгли от радиационен и адвективно-радиационен тип

на летище Бургас са 112. В предишни изследвания [13, 14] е стигнато до заключение, че преобладаващите мъгли на летището са от адвективно-радиационен тип (47–61 %) и само малка част са от чисто радиационен тип (4–5 %). Това разделяне по типове мъгли е направено по анализ на синоптичните обстановки, водещи до формиране на мъглите [13, 14], а не по анализ на причините за образуването им. Както е добре известно [11], факторите за формирането на мъглата действат съвместно и затова в повечето случаи е трудно да се идентифицира водещият от тях. В настоящата работа се приема, че радиационните фактори участват при формирането на мъгла във всичките 112 случая и те са подложени на анализ по метода на Saunders. Това предположение е оправдано в светлината на по-нататъшните резултати, които показват, че най-големите разминавания между прогнозираната и реалната температура на падане на мъглата са обикновено при доминация на адвективния фактор.

Методът на Saunders изисква данни от аерологичен сондаж в мястото на прогнозата, какъвто засега не се прави на летище Бургас. При това положение възможностите са две – да се използва сондажът на най-близката синоптична станция или данните за станцията на прогнозата от числен модел за прогноза на времето. Markova and Mitzeva [15] демонстрират, че за територията на северна България могат да се използват с еднакъв успех както аерологичните сондажи от Букурещ (Румъния) [16], така и прогностичните сондажи от модела GFS [9]. В настоящата работа са използвани аерологичните сондажи в 12 UTC от Истанбул (Турция) [16] и архивни прогностични данни от модела GFS [9].

При избора на представителен аерологичен сондаж на атмосферата за 12 UTC са разгледани следните четири варианта:

1. Сондаж на атмосферата от Истанбул.
2. Сондаж на атмосферата от Истанбул, но модифициран с приземните температура и точка на оросяване от сведението METAR за 12 UTC на летище Бургас.
3. Прогностичен сондаж за летище Бургас от модела GFS.
4. Прогностичен сондаж за летище Бургас от модела GFS, но модифициран с приземните температура и точка на оросяване от сведението METAR за 12 UTC за летището.

След прилагане на метода на Saunders за прогноза на точката на мъглата последната е сравнена с наблюдаваната температура при формиране на мъгла на летище Бургас. При необходимост са използвани описанията в предишния параграф модификации на метода от I и II тип. Резултатите от сравнението за пет произволно избрани случая с радиационна или адвективно-радиационна мъгла над летището от 2014 г. са представени в табл. 1. В първата колона на табл. 1 са дадени датите и часа

на формиране и дисипиране на мъглата. Във втората колона е измерената температура ( $T_{fog}$ ) при образуването на мъглата според редовното летищно сведение METAR. В трета и четвърта колона са дадени резултатите, получени за температурата на точката на мъглата ( $T_f$ ) от сондажа на атмосферата за Истанбул, съответно без и с модифициране на приземната температура, и точка на оросяване от сведението METAR за 12 UTC за летище Бургас. В петата и шестата колона са дадени температурата на точката на мъглата  $T_f$ , пресметната чрез представителни сондажи от прогностичния числен модел GFS, съответно без и с модифициране на приземната температура, и точка на оросяване от сведението METAR за 12 UTC в летище Бургас. В скобите е представена разликата  $T_f - T_{fog}$ .

**Таблица 1.** Температура на точката на мъглата по метода на Saunders при използване на модифицирани и немодифицирани атмосферни сондажи от Истанбул и прогностичния сондаж на GFS за летище Бургас

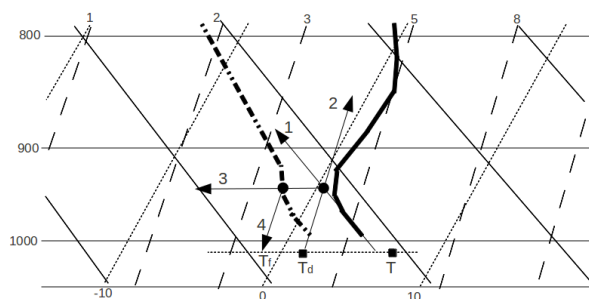
Случай с мъгла за летище Бургас	$T_{fog}$ Бургас [°C]	$T_f$ Истанбул [°C]	$T_f$ Истанбул mod [°C]	$T_f$ GFS [°C]	$T_f$ GFS mod [°C]
06.01.2014 г. 21:30-09:00 UTC	3	-1,5 (-4,5)	-1 (-4)	6,5 (3,5)	6 (3)
08.01.2014 г. 02:00-09:30 UTC	5	2,5 (-2,5)	3 (-2)	4 (-1)	3,5 (-1,5)
19.02.2014 г. 02:00-06:00 UTC	6	4 (-2)	5 (-1)	0 (-6)	6 (0)
07.03.2014 г. 01:00-07:00 UTC	4	-1 (-5)	-1 (-5)	4,5 (0,5)	4,5 (0,5)
12.04.2014 г. 01:30-04:00 UTC	4	6,5 (2,5)	5 (1)	2 (-2)	2,5 (-1,5)

Прегледът на табл. 1 води до следните изводи. Най-големи разлики  $T_f - T_{fog}$  има при използването на аерологичния сондаж от Истанбул, като те намаляват след замяната на приземните температура и точка на оросяване с тези от Бургас. Използването на прогностичния атмосферен сондаж на GFS подобрява съответствието между измерената и прогнозираната температура при образуване на мъглата в три от случаите. Най-малко е средното отклонение  $T_f - T_{fog}$  при използване на модифициран при земята прогностичен сондаж на GFS. Тези изводи са в съответствие и с резултатите от предишни изследвания [15].



#### 4. РЕЗУЛТАТИ

Прилагането на метода на Saunders е демонстрирано на фиг. 3 за една конкретна ситуация с мъгла на летище Бургас, формирала се на 07.02.2014 г. преди изгрева на слънцето. Плътните линии на тефиграмата са прогностичният сондаж на числения модел GFS за 12 UTC на 06.02.2014 г. Използваната версия на модела GFS е с хоризонтална разделителна способност от  $1^\circ \times 1^\circ$  и е невъзможно да опише добре орографските особености на разглеждания район – съответно да прогнозира добре приземните температура и точка на оросяване. На фиг. 3 се вижда, че кривите на  $T$  и  $T_d$  са с начало малко над изобара 1000 hPa. Първоначалната модификация на тефиграмата се състои в определяне на изобарното ниво на станцията по данни от измерванията и нанасяне върху него на измерените в 12 UTC на летище Бургас температура и точка на оросяване от сведението METAR. Това са точките  $T = 7^\circ\text{C}$  и  $T_d = 1^\circ\text{C}$ . От кривата на стратификацията веднага се забелязва, че вертикалният температурен градиент при земната повърхност е по-голям от адиабатния. Очевидно е, че се налага модификация на диаграмата от I тип, т.е. да се използва участъкът от кривата на стратификация над свръхадиабатния (фиг. 3). В крайна сметка модифицираната процедура на Saunders дава  $T_f = -1^\circ\text{C}$ . Точно толкова е и измерената температура на формиране на мъглата  $T_{\text{fog}}$ .



**Фиг. 3.** Прогноза на точката на мъглата по метода на Saunders по сондаж от 06.02.2014 г., 12 UTC. Непрекъснатите хоризонтални линии са изобари, непрекъснатите наклонени линии са сухи адиабати, прекъснатите линии са изограми, наклонените пунктирани линии са изотерми, хоризонталната пунктирана линия е изобарата за летище Бургас. Аерологичната диаграма е за ниските слоеве на тропосферата (до около 800 hPa)

Методът на Saunders е приложен за всичките 112 ситуации с радиационни и адвективно-радиационни мъгли над летище Бургас за периода от 01.01.2010 г. до 01.05.2015 г. В 54 от случаите мъглата е паднала

в ранните утринни часове и е използван прогностичният сондаж от 12 UTC на предишния ден. В останалите 58 случая мъглата се е формирала в следобедните или вечерните часове и е използван прогностичният сондаж от 12 UTC на същия ден. В някои от случаите са прилагани модификации от I и II тип. При модификация от II тип температурата на точката на оросяване е екстраполирана линейно във височина до ниво около 900 hPa.

Получената по метода на Saunders температура на точката на мъглата ( $T_f$ ) е сравнена с реалната температура ( $T_{fog}$ ), при която се е формирала мъгла според сведенията METAR. Получените резултати са представени чрез честотната табл. 2. Стълбовете на таблицата съответстват на абсолютните стойности на разликата  $T_f - T_{fog}$ . Нулата означава съвпадение на двете температури, единицата разминаване от 1 °C, двойката от 2 °C и т.н. В първия ред е броят на случаите със съответното разминаване на температурите, във втория – процентът от всички случаи с мъгла, а в третия – броят на случаите в проценти от общия брой с разминаване, по-малко или равно на съответната температурна разлика между прогнозираната по метода на Saunders температура и температурата от сведението METAR.

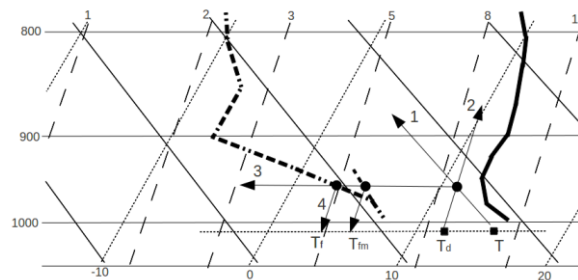
**Таблица 2.** Класификация на случаите с мъгла по разминаването между прогнозираната по метода на Saunders и измерената от сведението METAR температура на формиране на мъгла

$ T_f - T_{fog} $ [°C]	0	1	2	3	4	5	>5
Брой	31	40	17	8	4	1	11
%	27,7	35,7	15,2	7,1	3,6	0,9	9,8
Кумулативен %	27,7	63,4	78,6	85,7	89,3	90,2	100

Както се вижда, в 31 от случаите, или 27,7 % от общия брой, методът прогнозира точно температурата на формиране на мъглата. Абсолютната стойност на разликата  $|T_f - T_{fog}|$  е по-малка или равна на 2 °C в 78,6 % от случаите. Трябва да се отбележи, че докато в 55 от случаите  $T_f < T_{fog}$ , то  $T_f > T_{fog}$  само в 26 случая. Това показва, че прилагането на метода на Saunders върху всички случаи с мъгла над летище Бургас има тенденция да прогнозира по-ниска точка на формиране на мъгла от реално измерената. Този резултат можеше да се очаква, като се има предвид, че методът отчита предимно радиационните фактори, а както е показано в [13, 14], адвективните фактори имат не по-малко значение при формиране на мъглите над летище Бургас. В подкрепа на това е и фактът, че всички случаи с  $|T_f - T_{fog}| > 3$  °C са при  $T_f < T_{fog}$ .

За изясняване на причините, поради които в 14,3 % от случаите методът на Saunders не води до удовлетворителни резултати, са анализирани синоптичните обстановки в 16 от случаите с  $T_{fog} - T_f > 4$  °C.

Един от тези случаи е от 09.11.2013 г., показан на фиг. 4. Прилагането на метода на Saunders с използване на измерените  $T$  и  $T_d$  дава точка на мъглата  $T_f = 4$  °C. При модифициране на метода от II тип (много сух въздух във височина) определената точка на мъглата е  $T_{fm} = 6$  °C (фиг. 4). Тази температура е далеч от фактичката температура на формиране на мъглата  $T_{fog} = 11$  °C. За конкретния случай се оказва, че е по-добре да се приложат препоръките на UKMetOffice [8], според които при наличие на приповдигната инверсия е желателно да се предположи  $T_f = T_d$ .



**Фиг. 4.** Определяне на точката на мъглата по метода на Saunders по сондаж от 09.11.2013 г., 12 UTC. Описанието на линиите е, както на фиг. 3

Анализирана е синоптичната обстановка на 09.11.2013 г. [17, 18], при която източните райони от България са разположени в югозападната част на антициклон с център над югозападна Русия. На ниво 500 hPa територията на България се намира в предната част на дълбока барична долина. Въздушната маса е топла, суха, устойчиво стратифицирана, с приповдигната инверсия около ниво 900 hPa. В следобедните часове настъпва бързо преустройство на баричното поле и се формира баричен гребен над Черно море и п-в Мала Азия. Приземният вятър се преориентира от изток и достига скорост около  $10 \text{ m s}^{-1}$ . Тъй като температурата на морската повърхност е по-висока от тази на сушата, мъглата се формира от адвекцията на относително топъл и влажен морски въздух, които след стихване на вятъра в късните вечерни часове се охлажда радиационно.

Аерологичният прогностичен сондаж на 14.01.2015 г. е качествено подобен на този от 09.11.2013 г., но с още по-добре изразена приповдигната температурна инверсия в слоя 950–850 hPa и много сух въздух във височина (специфичната влажност при насищане намалява от  $5 \text{ g kg}^{-1}$  при земята до  $0,4 \text{ g kg}^{-1}$  на ниво 750 hPa). Прилагането на метода на Saunders дава нереалистично ниска точка на мъглата. Очевидно и в този случай причините за формиране на мъглата не са само радиационни, което следва и от данните от наблюденията – в 12 UTC е определена  $T_d = -1$  °C, а мъглата

се формира при по-висока температура  $T_{\text{fog}} = 1$  °C. Анализът на синоптичната обстановка на 14.01.2015 г. показва, че територията на България се намира под влиянието на антициклонално барично поле, във вечерните часове се формира баричен гребен над п-в Мала Азия, вятърът се преориентира от WSW със скорост 3–4 m s<sup>-1</sup>. И в този случай основните причини за образуване на мъгла са адвективни.

На 30.09.2012 г. също има голямо разминаване между  $T_f$  и  $T_{\text{fog}}$ . И в този случай над влажния приземен въздух е разположен по-сух въздух. Специфичната влажност при насищане намалява от 12 g kg<sup>-1</sup> при земята до 4,5 g kg<sup>-1</sup> на ниво 900 hPa. Територията на България попада в размито барично поле с формиране на баричен гребен над Черно море. В следобедните часове вятърът се преориентира от изток със скорост до 10 m s<sup>-1</sup>. Характерното в случая е формирането във вечерните часове на ниска стратусова облачност с височина на долната граница около 300 m. Най-вероятната причина за регистрираната на летище Бургас мъгла е снижение на ниската облачност. В потвърждение на това е и фактът, че в намиращата се на около 10 km от летището синоптична станция на НИМХ в Бургас няма регистрирана мъгла [17]. В предишни изследвания е показано, че около 12 % от мъглите в Бургас се формират при снижение на ниска облачност [14].

Анализът на останалите случаи с мъгла на летище Бургас с  $T_{\text{fog}} - T_f > 4$  °C показва, че и при тях преобладаващите причини за формиране на мъгла са адвективни. Най-често наличието на много по-сух въздух във височина е причината за по-ниската температура на точката на мъглата, получена по метода на Saunders. В тези случаи методът не води до удовлетворителни резултати и надеждното прогнозиране на мъгла изисква детайлен анализ на синоптичната обстановка. Провеждането на синоптичен анализ е наложително и при случаите на необходимост от значително предварително модифициране на прогностичния сондаж при земята, при голяма разлика между измерените и прогнозните температури.

Точността на глобалните модели за числена прогноза на времето също налагат ограничения върху използването на метода на Saunders. Използваният в настоящата работа модел GFS е с разделителна способност 1°×1°. Използването на прогностичните сондажи от локален модел с по-добра разделителна способност естествено е за предпочитане. Доколкото данните за температурата в съобщенията METAR са закръглени към цяло число, то това също оказва влияние върху резултатите от прилагането на метода на Saunders.

Настоящата работа трябва да бъде продължена със сравняване на прогнозираната по метода на Saunders точка на мъглата и прогнозираната от локален числен модел минимална приземна температура. Наложително е

също така да се анализират и случаите без мъгла на летище Бургас, за да се оцени доколко методът на Saunders не води до т. нар. „фалшиви аларми“.

В практиката на UKMetOffice [8] е прието правилото, че мъгла не може да се очаква, ако температурата на точката на мъглата е с 2 °C (или повече) по-висока от прогнозната минимална температура. Ако се приеме, че при настоящото изследване прогнозата е успешна при разлика до 2 °C между температурата на точката на мъглата и измерената температура при формиране на мъглата ( $|T_f - T_{fog}| \leq 2 \text{ °C}$ ), то в поне 78,6 % от случаите методът на Saunders е успешен (табл. 2). В този смисъл може да се каже, че методът е приложим при прогноза на радиационните и адвективно-радиационните мъгли на летище Бургас.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от анализа на 112-те случая на мъгла от радиационен и адвективно-радиационен тип през периода от 01.01.2010–01.05.2015 г., дават основание да се твърди, че методът на Saunders за прогноза на образуването на мъгла е приложим за летище Бургас. Резултатите са надеждни след предварително модифициране на прогностичните сондажи с измерените приземни температура и температура на точката на оросяване, взети от сведенията METAR за летище Бургас, и с евентуални модификации на метода от I и II тип.

Анализът показва, че прилагането на метода на Saunders не е удачно в случаите на мъгла на летище Бургас, във формирането на която доминира адвективният фактор. Нереалистично ниска температура на прогнозната точка на мъглата се получава и при наличието във височина на много по-сух въздух.

Резултатите от предишни изследвания [13, 14] показват, че преобладаващите мъгли на летище Бургас са от адвективно-радиационен и радиационен тип. Отчитайки това, методът на Saunders трябва да бъде в помощ при изготвянето на прогнозите на мъгли в около 60 % от всички случаи с мъгла. Това би било полезно за оперативната работа на авиометеоролозите на летище Бургас и ще доведе до подобряване качеството на краткосрочните 24 часови прогнози.

Настоящото изследване е от т. нар. тип hindcast. То ще бъде продължено чрез прилагане на метода на Saunders в оперативната дейност на авиометеоролозите на летище Бургас с използване на данни от локалния числен прогностичен модел ALADIN на НИМХ към БАН.

**Благодарности.** Настоящото изследване е осъществено с подкрепата на проект BG051 PO001-3.306-0057 „Изграждане на съвременна образователна и научно-изследователска среда за развитието на докторанти, постдокторанти и млади учени във Физическия факултет на СУ „Св. Климент Охридски“.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pearson, D. C. A Study of Weather-Related Fatal Aviation Accidents. NOAA/NWS, 2002, **18**, <http://www.srh.noaa.gov/topics/attach/html/ssd02-18.htm>
- [2] Gultepe, I., R. Tardif, S. C. Michaelides, J. Cermak, A. Bott, J. Bendix, M. D. Müller, M. Pagowski, B. Hansen, G. Ellrod, W. Jacobs, G. Toth, and S. G. Cober. *Pure appl. Geophys.*, 2007, **164**, 1121. DOI 10.1007/s00024-007-0211-x
- [3] COST 722, Short range forecasting methods of fog, visibility and low clouds, 2003.
- [4] Dejmál K., V. Repal. In: *New aspects of fluid mechanics, heat transfer and environment*, WSEAS, 2010, 283.
- [5] Stolaki, S. N., S. A. Kazadzis, D. V. Foris, and Th. S. Karacostas. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2009, **9**, 1541.
- [6] Saunders, W. E. *Meteor. Mag.*, 1950, **79**, 213.
- [7] Wantuch, F. *Idojaras*, 2001, **105**, 1, 29.
- [8] Met Office College. Radiation fog forecasting techniques, 30 November 2009.
- [9] [www.ready.noaa.gov/READYamet.php](http://www.ready.noaa.gov/READYamet.php).
- [10] <http://www.ogimet.com/metars.phtml.en>.
- [11] Богаткин, О. Г. *Авиационные прогнозы погоды*. Санкт-Петербург, 2010.
- [12] WMO. Manual on Codes - International Codes, Volume **I.1**, 2014, 306.
- [13] Топузова, Ел., Н. Рачев. *Ann. de l'Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 2015, **108**, 115.
- [14] Иванов, Г. Л. Мъглите на летище Бургас за периода 1985-1991 г., СДК, 1993.
- [15] Markova, B and R. Mitzeva. *Bul. J. Meteo & Hydro*, 2011, **16**, 1, 86.
- [16] <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>.
- [17] [www2.wetter3.de/Archiv/archiv\\_dwd.html](http://www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html).
- [18] [www.meteociel.fr/modeles/archives.php](http://www.meteociel.fr/modeles/archives.php).