

ПРОГНОЗА НА МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

ЕЛЕНА ТОПУЗОВА^{1,2}, НИКОЛАЙ РАЧЕВ¹

¹ Катедра „Метеорология и геофизика“

² ДП “РВД”, РЦ за ОВД София, ЕПЦ; София 1540 бул. „Брюксел“ 1

Елена Топузова, Николай Рачев. ПРОГНОЗА НА МЪГЛИ НАД ЛЕТИЩЕ БУРГАС

Разработени са 43 случая, при които няма мъгла, за есенно-зимния период на летище Бургас за 2014 г. За тях е приложен методът на Saunders за прогноза на температурата на точката на мъглата по данните от моделни сондажи и приземни наблюдения. Установено е, че за около 84 % от случаите без мъгли този прогностичен метод е успешен. Приложен е методът на Saunders за прогноза на температурата на разсейване на мъглата. Анализирани са 38 случая с мъгла на летището за 2014 г., от които в близо 74 % методът на Saunders дава успешни резултати. За случаите с мъгла на летище Бургас за 2014 г. е изчислен *FOGSI* индексът за оценка на вероятността за образуване на радиационна мъгла. Установено е, че за почти 73 % от случаите индексът прогнозира вярно наличието на мъгла.

Elena Topuzova, Nikolay Rachev. A FORECAST OF FOGS AT BURGAS AIRPORT

Forty three cases without fogs for the autumn-winter period at Burgas airport during 2014 are elaborated. The Saunders' forecasting method of the fog point temperature by means of sounding data and surface weather observations is used. It is established that this forecasting method is reliable for 84 % of the cases without fogs. The Saunders' forecasting method for the temperature of fog dissipation is used, also. Thirty-eight cases with fog over the airport for 2014 are analyzed and about 74 % of them give reliable results using the Saunders' forecasting method. The *FOGSI* index for the cases with fog at Burgas airport for 2014 is calculated, in order to assess the probability of radiation fog development. It is established that almost 73 % of the cases the *FOGSI* index forecast fog well.

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, телефон: +359 2 9623157, факс: +359 2 962 52 76; E-mail: elipeter780@yahoo.com

1. УВОД

Според статистическите данни на федералната авиационна администрация (FAA), приблизително 70 % от закъсненията, регистрирани от системата за национално въздушно пространство в САЩ, се дължат на метеорологичните условия. Опасните синоптични обстановки продължават да оказват съществена роля за редица авиационни произшествия. Оказва се, че те са първопричината за 23 % от общия брой на самолетните катастрофи. Ниската долна граница на облачността и намалената видимост са от опасните явления за всякакъв тип авиация. Според статистическите доклади на САЩ [1] за периода 1989–1997 г. тези два фактора са допринесли за 24 % от общия брой на авиационните инциденти.

В друг доклад на САЩ [2], изготвен за 32-годишен период, са класифицирани 10-те най-опасни за авиацията метеорологични явления, станали причина за авиационни произшествия с фатален край. На първо място по значимост (40 %) е ниската долна граница на облачността, на второ място (28 %) е мъглата. Затова най-често фокусът в авиационната литература е насочен върху прогнозата на намалената видимост, която съществено влияе върху безопасността на полетите.

За формирането и разсейването на мъглите влияние оказват множество физични, орографски и местни (с антропогенен характер) фактори. За прогноза на мъгли се използват комбинации от различни подходи – синоптичен, числена прогноза на времето, анализ на спътникови изображения, прилагане на емпирични техники за прогноза и др. Въпреки това формирането на мъгла и ниска слоеста облачност са едни от най-сложните за прогноза метеорологични явления [3, 4].

Методът на Saunders [5] е приложен в предишно изследване [6] за прогноза на температурата на формиране на мъглите над летище Бургас. Една от целите на настоящото изследване е да се провери дали техниката на Saunders [5] за прогноза на радиационни мъгли с нейните модификации дава така наречените „фалшиви аларми“ за дни, в които не се е формирала мъгла на летище Бургас. Изследвани са 43 случая за 2014 г. за месеците с най-голяма честота на формиране на мъгла: януари, февруари, март, ноември и декември. Друга цел е да се изследва приложимостта на метода на Saunders с неговите модификации за прогноза на температурата на разсейване на мъглата. Анализирани са 38 ситуации с мъгла за 2014 г., за които са получени надеждни резултати.

Като допълнителен метод за прогноза на радиационна мъгла е изчислен индексът *FOGSI*, който оценява вероятността за образуване на мъгла. Индексът е пресметнат за 40 случая с мъгла на летище Бургас за 2014 г. Направена е проверка за „фалшиви аларми“, които биха се

получили, като са направени изчисления за 43 обстановки за 2014 г., при които не се е формирала мъгла.

В последната част на работата са описани два случая с адвективна и фронтална мъгла на летището.

2. МЕТОД НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА РАЗСЕЙВАНЕ НА МЪГЛАТА

Методът на Saunders за прогноза на температурата на разсейване на мъглата T_{fogclear} , се прилага успешно в оперативната практика на UK MetOffice. Приложим е за прогноза на разсейване на мъглите вследствие на слънчевата радиация. При останалите механизми на разсейване – адвекция на облачна покривка, усилване на вятъра, адвекция на сух въздух – е необходимо използването на други методи [7].

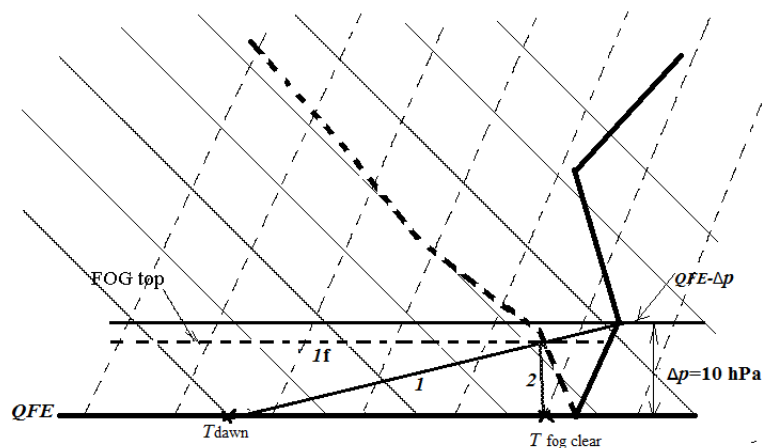
За прилагане на метода е необходим представителен сондаж на атмосферата в разглежданата станция или в близост до нея в полунощ. На тефиграмата се нанася изобарното ниво на станцията (QFE) и температурата при изгрева на Слънцето (T_{dawn}) – фиг. 1. Температурата T_{dawn} може да бъде прогнозна или от измервания. Построяването на конструкцията на Saunders има три модификации в зависимост от вертикалния профил на температурата при земната повърхност:

А. Небето се вижда от станцията, на аерологичната диаграма няма добре изразена приземна инверсия на температурата (фиг. 1).

В. Небето не се вижда от станцията, на аерологичната диаграма има добре изразена приземна инверсия.

С. Небето не се вижда от станцията, на аерологичната диаграма няма добре изразена приземна инверсия.

В случай А се приема, че при земята може да се формира слаба инверсия с дебелина $\Delta p = 10 \text{ hPa}$. Тази стойност на Δp се приема за универсална за всички сезони и за всяка станция. На тефиграмата се нанася изобарно ниво $QFE - \Delta p$ и от точката на пресичане с кривата на стратификация се прекарва права до точка T_{dawn} (линия 1 на фиг. 1). Точката, където тази линия пресича кривата на точката на оросяване, определя горната граница на слоя с мъгла (Fog top) – тънката пунктирна права линия I_f . От тази точка се прекарва влажната адиабата 2 до ниво QFE и се определя температурата, при която мъглата ще дисипира T_{fogclear} .



Фиг. 1. Процедура на Saunders за определяне на температурата на разсейване на мъглата $T_{\text{fog clear}}$, когато небето се вижда от станцията и няма добре изразена инверсия на аерологичния сондаж. Тънките непрекъснати линии са сухите адиабати, прекъснатите наклонени линии са изограмите. Дебелата непрекъсната начупена линия е кривата на стратификацията, а дебелата прекъсната линия е кривата на точката на оросяване. Аерологичната диаграма е само за ниските слоеве на тропосферата (до ~800 hPa)

Процедурата при разработването на сондажа в случаите В и С е аналогична, като единствената разлика е в определянето на изобарното ниво, до което се разпространява ефектът от нощното понижаване на температурата. За случай В над нивото на наблюдаваната приземна инверсия се добавят следните емпирично установени от UK Metoffice стойности на Δp : 6 hPa за май, юни и юли; 12 hPa за февруари, март, април, август, септември и октомври; 18 hPa за ноември, декември и януари. При случай С нивото се определя, както в случай А ($QFE - \Delta p$), но стойностите на Δp са определени емпирично за отделните месеци на годината и са, както следва: 30 hPa за май, юни и юли; 35 hPa за февруари, март, април, август, септември и октомври; 40 hPa за ноември, декември и януари [5]. За определяне на $T_{\text{fog clear}}$ се следват стандартните стъпки, илюстрирани на тефиграмата на фиг. 1.

3. ИЗПОЛЗВАНА МЕТЕОРОЛОГИЧНА ИНФОРМАЦИЯ

Голяма част от метеорологичната информация, използвана в настоящото изследване, е получена от редовните аерометеорологични съобщения тип METAR на Световната организация за гражданска авиация (ICAO) [8]. Архивът след 2005 г. е свободно достъпен в интернет [9]. Удобството е, че съобщенията тип METAR се излъчват на всеки 30 минути. Те съдържат информация за вятъра, видимостта,

метеорологичните явления в момента на наблюдението, облачността (или вертикалната видимост), приземната температура, температурата на точката на оросяване, атмосферното налягане, явления в изтекло време, тренд-прогноза-тенденция за следващите два часа и др.

Голямата честота на излъчване на сведенията позволява точното регистриране на часа на формиране 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 счита моментът, в който тя преминава в димка. От съобщенията METAR са определени моментите на формиране и разсейване на мъглите на летище Бургас през 2014 г. и съответните температури. Разгледани са петте месеца с голяма честота на формиране на мъгла – януари, февруари, март, ноември и декември.

За петмесечния период са изключени фронталните мъгли след направен синоптичен анализ на Европа по архивни данни на числени модели за прогноза на времето [10, 11], атмосферни анализи и реанализи [12–14] и разработване на моделни сондажи [15]. Изброените материали са със свободен достъп в интернет. За 2014 г. са идентифицирани 40 ситуации с мъгла на летището от радиационен и адвективно-радиационен тип и 43 случая с благоприятни условия за мъгла, но без тя да се формира. Разгледани са и 38 случая на разсейване на радиационни и адвективно-радиационни мъгли. За всички случаи е приложена методиката на Saunders. Тя изисква представителен сондаж на атмосферата от 12:00 UTC за станцията при определяне температурата на формиране и от 00:00 UTC при определяне на температурата на разсейване. За целта се ползват архивните моделни сондажи за летище Бургас на глобалния числен модел GFS [15]. Те се модифицират с приземната температура и температурата на точката на оросяване или температурата преди изгрева на слънцето, взети от сведенията METAR за Бургас. След разработване на тефиграмата се получава прогностичната температура на точката на мъглата, която е сравнена с реалната температура от сведението METAR за летището, при която се е формирала/дисипирала мъглата.

За изчисляване на *FOGSI* индекса за оценяване вероятността за формиране на радиационна мъгла на летище Бургас са разгледани 40 дни с мъгла и 43 дни без мъгла за 2014 г. Фронталните мъгли са изключени. От архивните данни на сведенията METAR са взети приземната температура и температурата на точката на оросяване, необходими за изчисляването на индекса. От глобалния архивен прогностичен числен модел GFS са взети температурата на 850 hPa и вятърът на същото ниво, участващи във формулата на *FOGSI*. За летището е намерен численият интервал на индекса, при който има условия за формиране на мъгла.

4. РЕЗУЛТАТИ

4.1. МЕТОД НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА ТОЧКАТА НА МЪГЛАТА

От предходно изследване [6] е установено, че в 78,6 % от случаите методът на Saunders дава надеждни резултати за точката на формиране на мъгла от радиационен и адвективно-радиационен тип за летище Бургас. В настоящата работа е продължено изследването с помощта на техниката на Saunders за температурата на точката на формиране на мъглата, като идеята е да се провери дали методът дава така наречените „фалшиви аларми“. За целта за месеците с голяма честота на образуване на мъгла: януари, февруари, март, ноември и декември през 2014 г., са разработени обстановките, при които метеорологичните условия са били благоприятни, но не се е формирала мъгла.

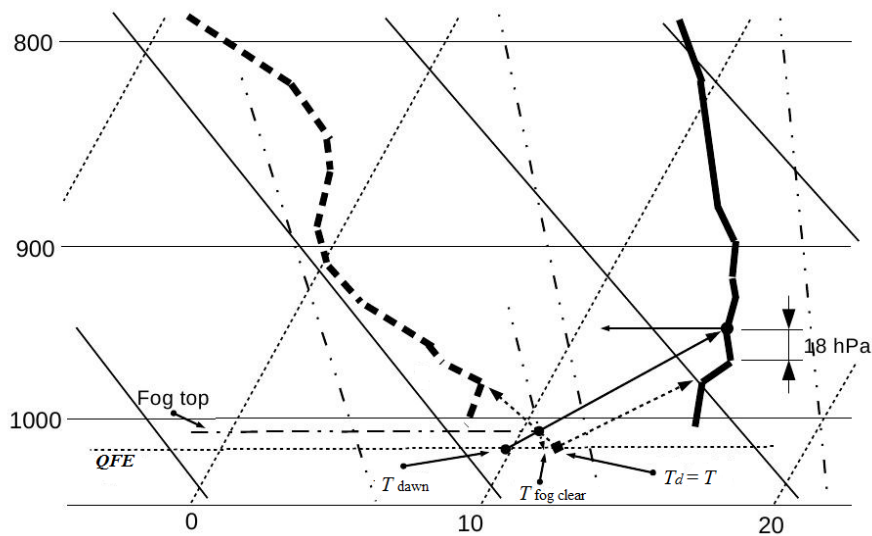
Според UK MetOffice [7] при получена разлика между прогнозираните температури на точката на мъглата и минималната ($T_f - T_{\min}$) по-малка или равна на -2°C не може да се очаква намалена видимост от мъгла или димка. След разработване на аерологичните диаграми за летището се установи, че при 36 случая (83,7 %) $T_f - T_{\min} \leq -2^\circ\text{C}$. Само при 7 случая (16,3 %) $T_f - T_{\min} > -2^\circ\text{C}$. В този смисъл се стига до заключение, че методът на Saunders е надеждно приложим при прогнозиране на радиационни и адвективно-радиационни мъгли на летище Бургас – в около 80 % от случаите прогнозира правилно точката на формиране на мъглата и не дава т. нар. „фалшиви аларми“.

4.2. МЕТОД НА SAUNDERS ЗА ПРОГНОЗА НА ТЕМПЕРАТУРАТА НА РАЗСЕЙВАНЕ НА МЪГЛАТА

Методът на Saunders за прогноза на температурата на разсейване на мъглата T_{fogclear} е приложен за 38 случая с мъгла на летище Бургас за 2014 г. За представителен сондаж на атмосферата се използва моделен сондаж за летището на глобалния числен прогностичен модел GFS от 00:00 UTC. Численият модел е с хоризонтална разделителна способност от $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ и е невъзможно да опише добре орографските особености, съответно да прогнозира добре приземното налягане и температури. Затова тефиграмата се модифицира с нанасяне на измереното в станцията налягане, приземните температура, точка на оросяване и температура при изгрева на слънцето (T_{dawn}), взети от сведенията METAR за летище Бургас от 00:00 UTC. Тези стъпки са в съответствие с резултатите от предишни изследвания [6, 16].

На фиг. 2. е представена ситуация на летище Бургас с мъгла, формирала се на 08.11.2014 г. в 17:30 UTC. Плътните линии на диаграмата са моделният сондаж на числения модел GFS за 00:00 UTC на 09.11.2014 г.

Според сведенията METAR на летището има мъгла и $T = T_d = 11^\circ\text{C}$. От наблюденията на летището е определена $T_{\text{dawn}} = 10^\circ\text{C}$. В 00:00 UTC над станцията има плътна слоеста облачност с долна граница 90 m (небето не се вижда), има добре изразена приземна инверсия и е необходимо прилагането на модификация. В на техниката на Saunders. Поправката за месец ноември е $\Delta p = 18 \text{ hPa}$. Следвайки стъпките, описани в параграф 2, се получава температура на разсейване на мъглата $T_{\text{fog clear}} = 10,7^\circ\text{C}$. Реалната температура на дисипиране на мъглата от сведенията METAR е $T_{\text{clear}} = 10^\circ\text{C}$.



Фиг. 2. Прогноза на температурата на разсейване на мъглата по метода на Saunders по сондаж от 09.11.2014 г., 00:00 UTC. Непрекъснатите хоризонтални линии са изобари, непрекъснатите наклонени линии – сухи адиабати, прекъснатите линии с точки – влажни адиабати, наклонените пунктирани линии – изотерми, хоризонталната пунктирана линия е изобарата за летище Бургас (*QFE*). Дебелата непрекъсната начупена линия е кривата на стратификацията, дебелата прекъсната линия е кривата на точката на оросяване. Аерологичната диаграма е за ниските слоеве на тропосферата (до около 800 hPa)

Анализът на синоптичната обстановка на 08.11.2014 г. показва, че формиралата се мъгла над летище Бургас е адвективно-радиационна. В следобедните часове на 08.11.2014 г. е имало адвекция на по-влажнен въздух от изток-североизток и е наблюдавано снижение на долната граница на облачността. Последвалото радиационно охлаждане води до създаване на приземна инверсия на температурата и допринася за усилване на мъглата. Във височина е разположен по-топъл и сух въздух и разликата между кривите на стратификация и на точката на оросяване нараства (фиг. 2). Трябва да се отбележи, че методът на Saunders успява да даде точни оценки

на височината на горната граница на мъглата и на температурата ѝ на разсейване, въпреки че мъглата не е чисто радиационна.

Методът на Saunders е приложен за всички случаи с радиационни и адвективно-радиационни мъгли над летище Бургас за 2014 г. Получената температура на разсейване на мъглата (T_{fogclear}) е сравнена с реалната температура (T_{clear}), при която е дисипирала мъглата по данни от сведенията METAR. При 28 от случаите (73,7 %) методът прогнозира успешно температурата, при която мъглата ще се разсее. Само при 10 ситуации (26,3 %) резултатите не са удовлетворителни (табл. 1).

Таблица 1. Класификация на случаите с мъгла за 2014 г. по разминаването между прогнозираната по метода на Saunders и измерената от сведениято METAR температура на разсейване на мъглата

$ T_{\text{fogclear}} - T_{\text{clear}} $ [°C]	0	1	2	3	Неприложим
Брой	5	11	12	3	7
%	13,2	28,9	31,6	7,9	18,4
Кумулативен %	13,2	42,1	73,7	81,6	100

При 5 от случаите (13,2 %) методиката прогнозира точно температурата на разсейване на мъглата. Абсолютната стойност на разликата $|T_{\text{fogclear}} - T_{\text{clear}}|$ е по-малка или равна на 2 °C в 73,7 % от случаите. За 10 от ситуацияите, при които техниката на Saunders не прогнозира успешно дисипирането на мъглата, може да се каже, че при 7 от тях тя не може да бъде приложена поради факта, че температурата при изгрева на слънцето е по-висока от температурата на точката на оросяване в 00:00 UTC ($T_{\text{dawn}} > T_d$). Очевидно при тези случаи причина за разсейване на мъглата не е радиационното нагряване от слънцето, а адвекция на по-топъл въздух.

Трите случая, при които разликата $|T_{\text{fogclear}} - T_{\text{clear}}| = 3$ °C, са на 14.01., 20.04. и 07.11. 2014 г. Те са разгледани по-подробно.

През целия ден на 14.01.2014 г. вятърът е ориентиран от ESE със скорост 5–6 m s⁻¹ и пренася относително топъл и влажен въздух от морето. След стихването на вятъра в началото на нощта следва радиационно охлаждане с около 2 °C. В 22:00 UTC вятърът става североизточен, температурата се понижава с още 2 °C и в 23:00 UTC се формира мъгла. След 00:00 UTC на 15.01. вятърът отслабва до 1–2 m s⁻¹ и се преориентира от WSW до SW. На моделния сондаж се вижда добре изразена приземна инверсия, но температурата на най-ниското моделно ниво е с около 4 °C по-висока от наблюдаваната на летището. Мъглата се разсейва в 09:30 UTC на 15.01.2014 г. при скорост на вятъра 2 m s⁻¹. От направения анализ се стига до заключение, че доминираща е адвективната компонента както при

формирането, така и при разсейването на мъглата, и затова приложеният метод на Saunders не прогнозира успешно температурата на разсейването ѝ.

В следобедните часове на 20.04.2014 г. вятърът е североизточен със скорост 3–4 m s⁻¹, около полунощ се преориентира в югозападен, скорост 2–3 m s⁻¹. В 23:00 UTC в сведенията METAR е регистрирана мъгла над летището, следва временно подобрене на видимостта и в 04:00 UTC на 21.04. отново е регистрирана мъгла. В този случай причините за формирането на мъглата са основно адвективни, като е наблюдавано снижение на ниска облачност. Разсейването на мъглата в 06:30 UTC също е главно по адвективни причини – вятър със скорост 3 m s⁻¹.

При третия случай в последните часове на 07.11.2014 г. на летището е наблюдаван югозападен вятър със скорост 3–4 m s⁻¹. Регистрирана е димка с хоризонтална видимост 2–3 km. След отслабване на вятъра в 03:00 UTC на 08.11. се формира мъгла. Тя се разсейва в 09:00 UTC след разрушаването на приземната инверсия по радиационни причини. Методът на Saunders дава с 3 °C по-ниска температура на разсейване на мъглата, понеже моделният сондаж е от 00:00 UTC и не отразява последвалите адвективни процеси.

За прилагане на метода на Saunders в оперативната практика на летище Бургас е предвидено да се използва прогностичен сондаж от GFS, модифициран с прогнозираната минимална приземна температура от локалния прогностичен числен модел ALADIN на НИМХ-БАН.

4.3. ИНДЕКСЪТ *FOGSI* КАТО КРИТЕРИЙ ЗА ФОРМИРАНЕ НА РАДИАЦИОННА МЪГЛА

Успеваемостта на числените прогнози на времето непрекъснато се увеличава, но моделите все още не са достатъчно надеждни при прогноза на намалена видимост и ниска облачност. Недостатък е фактът, че моделните параметризации на процесите в приземния слой и на локалните ефекти не описват достатъчно точно многобройните фактори, водещи до формирането на мъгла. Затова в оперативната практика се използват различни индекси, оценяващи вероятността за формиране на мъгла. Един от често използваните при прогноза на намалена видимост емпирични индекси е *FOGSI*. Той се изчислява по формулата [17–19]

$$FOGSI = 2 \left| T_{sfc} - T_{850} \right| + 2 (T_{sfc} - T_{dsfc}) + W_{850},$$

където T_{sfc} е приземната температура в [°C]; T_{dsfc} е приземната температура на точката на оросяване в [°C]; T_{850} – температура на ниво 850 hPa в [°C]; W_{850} – скоростта на вятъра на ниво 850 hPa във възли.

Предимствата на *FOGSI* са лесният начин за пресмятане и отчитането на най-важните фактори, водещи до формиране на мъгла. При изчисляването му се взема предвид вертикалният температурен градиент,

влиятието на приземната влажност и смесването на въздуха вследствие на вятъра в планетарния граничен слой. При ниски стойности на *FOGSI* условията за формиране на мъгла са благоприятни [19].

Стойностите на индекса *FOGSI* могат да бъдат използвани като допълнителен критерий при оценка на вероятността за формиране на радиационни мъгли на летище Бургас. Индексът е пресметнат за 40-те случая с мъгла и за 43-те случая без мъгла на летището през 2014 г. От сведенията METAR в 12:00 UTC са взети температурата и точката на оросяване. Температурата и вятърът на ниво 850 hPa са от моделния сондаж на GFS за 12:00 UTC.

Случаите с мъгла над летище Бургас през 2014 г. са разделени на три групи според причините за формирането им: радиационни (12); адвективно-радиационни с доминиращ радиационен фактор (18); адвективно-радиационни с доминиращ адвективен фактор (10). Установено е, че стойността за всички радиационни мъгли на $FOGSI \leq 39,1$, а за всички адвективно-радиационни с доминиращ адвективен фактор $FOGSI \geq 40,6$. В настоящото изследване е приета критична стойност на индекса $FOGSI = 41$. Тази стойност е с 6 единици по-голяма от приетата в изследването на други автори [20]. Причината за избора на тази стойност е необходимостта от отчитане на локалните условия, от които на първо място е наличието на бризова циркулация, водеща до увеличаване стойността на *FOGSI*, особено през пролетните месеци. Трябва да се има предвид и фактът, че оценките в предишното изследване [20] са направени по едночасови данни, а в настоящото изследване се пресмята стойността на индекса в 12:00 UTC. Това е една от причините и за по-високата минимална стойност на *FOGSI* в настоящото изследване (17,8), докато в [20] е 2,5.

При използване на критична стойност за $FOGSI = 41$ индексът успешно може да се приложи за прогноза на мъгла в 72,5 % от случаите. Ако се изключат адвективно-радиационните мъгли с доминиращ адвективен фактор, този процент нараства на 86.

За регистрираните 43 случая през 2014 г., в които мъгла не се е формирала, също е изчислен индексът *FOGSI*, с цел да бъде направена проверка за „фалшиви аларми“. За 25 от случаите (58,1 %) стойността на индекса е над критичната. Това са случаи с адвекция на сух (в повечето случаи топъл) въздух. В 16 от 18-те случая, при които стойността на *FOGSI* е под критичната, причината за невъзможността да се формира мъгла е наличието на плътна облачност. При комбинираното използване на стойностите на *FOGSI* и данните за облачността е възможно съществено намаляване броя на т. нар. „фалшиви аларми“ за формиране на мъгла.

Проверка за възможността да се използва индексът *FOGSI* като допълнително средство при прогноза на радиационни и адвективно-радиационни мъгли за летище Бургас е направена за ноември и декември

2016 г. За пресмятане стойностите на *FOGSI* са използвани прогнози на локалния числен модел ALADIN на НИМХ. За случая с мъгла на 25.11.2016 г. на летището е пресметнат $FOGSI = 33,6$, а за следващите дни без мъгла (30.11. – 05.12.2016 г.) стойностите на индекса са над критичната.

Изследването показва, че индексът *FOGSI* може успешно да се използва при 24-часовата прогноза на мъглите на летище Бургас. Планирано е по прогнозни данни от ALADIN да бъдат изчислявани часовите стойности на индекса, което ще даде възможност да се получи оценка и за промените във видимостта.

4.4. АДВЕКТИВНА МЪГЛА НА ЛЕТИЩЕ БУРГАС НА 22.03.2014 г.

Методът на Saunders [5] и индексът *FOGSI* [18] дават добри резултати при прогноза на радиационни и адвективно-радиационни мъгли с доминиращ радиационен фактор. При прогноза на адвективни мъгли трябва да се използват други методи, като най-често се прилага синоптичният метод, използването на спътникови изображения и числени модели за прогноза на времето [17, 19]. В предишни изследвания [21, 22] е показано, че около 27 % от формиралите се над летище Бургас мъгли са адвективни. Затова ще бъде разгледан случай за летището с адвективна мъгла.

Благоприятни условия за формиране на адвективна мъгла са: температурата на точката на оросяване на адвектираната въздушна маса да бъде по-висока от приземната температура; умерен вятър с подходяща посока. При по-силни ветрове е по-вероятно образуване на ниска слоеста облачност, докато в условия на тихо време тенденцията е мъглата бавно да се разсейва [20, 25].

На 22.03.2014 г. на летище Бургас е регистрирано намаление на хоризонталната видимост под 1 km в 14 срока на сведенията METAR, групирани в 4 периода: 4:30–5:30; 7:30–9:30; 16:30–17:00 и след 21:30 UTC. Между тях е наблюдавано рязко подобрене на видимостта, достигнало над 10 km в периода 10:30–11:30 UTC. Анализът на синоптичната обстановка показва, че източните райони от страната ни попадат под влияние на антициклон с център над Югозападна Русия. Северните части на Европа са под влиянието на серия от три оклюдирали циклона, формиращи обща фронтална линия, разположена от Испания до северозападните части на Русия. Във височина на 500 hPa за 12:00 UTC източните райони на страната ни попадат в тила на баричен гребен. Въздушната маса е топла, суха и устойчиво стратифицирана с инверсия около ниво 970 hPa. Над Югоизточна Европа времето е ясно, но в сведенията METAR за летище Бургас в 11:00 UTC е отчетена ниска разкъсана облачност с височина около 130 m, която се снижава до 30 m в 12:30 UTC.

Причините за формирането на мъглата в 4:30 UTC са адвективно-радиационни. В следобедните часове на 21.03.2014 г. е регистриран източен вятър със скорост, достигаща до 7 m s^{-1} , пренасящ над сушата топъл и влажен въздух. В първите часове на 22.03.2014 г. вятърът отслабва и се преориентира от изток-североизток. Последвалото радиационно охлаждане довежда до формиране на мъгла, разсеяла се час след изгрева на слънцето.

Изясняването на причините за регистрираната мъгла в 7:30 UTC не може да се осъществи единствено по данните от сведенията METAR и/или по синоптични данни. Затова са анализирани спътникови изображения [23, 24], даващи допълнителна информация за облачната покривка и състоянието на морската повърхност. Анализът им показва, че в 07:00 UTC температурата на морската вода в близост до българския бряг е около $5\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$, а на сушата е $8 \text{ }^\circ\text{C}$. В открито море температурата на морската вода е $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$. От спътниковите изображения се вижда, че над студените крайбрежни води се е формирала мъгла с температура на горната граница $5 \text{ }^\circ\text{C}$, т. е. с дебелина около 100 m. Причината за формиране на мъглата над морската повърхност е адвективна – пренос на по-топъл и влажен въздух от открито море над по-студените води по крайбрежието. Така формиралата се мъгла е пренесена над сушата от слабия източен вятър. В резултат на усиляването на вятъра до $5\text{--}6 \text{ m s}^{-1}$ и продължаващото радиационно нагриване мъглата преминава в ниска слоеста облачност. Трябва да се отбележи, че в синоптичната станция на НИМХ в Бургас мъгла е регистрирана без прекъсване над 24 часа – от 06:00 UTC на 22.03 до 06:00 UTC на 23.03.2014 г. [9].

Временното намаляване на видимостта до 900 m в периода 16:30–17:00 UTC е свързано с намаляването на скоростта на вятъра до 4 m s^{-1} и снижение на ниската облачност при продължаващата от изток адвекция. След усиляване на вятъра до 5 m s^{-1} мъглата отново преминава в ниска облачност с долна граница от 30 m. В 21:30 UTC вятърът отслабва до 1 m s^{-1} с променлива посока и видимостта отново става под 1 km. Температурата на въздуха е $6 \text{ }^\circ\text{C}$ и остава непроменена до 23:30 UTC. Най-вероятната причина за формиране на мъглата е снижение на долната граница на ниската плътна облачност. След 04:00 UTC на 23.03.2014 г. вятърът се ориентира от запад-югозапад и е със скорост 3 m s^{-1} . Едва в 07:30 UTC видимостта трайно се подобрява и слоестите облаци се издигат и разкъсват.

В предишни изследвания е показано, че около 12 % от мъглите в Бургас се образуват при снижаване на ниска облачност [21]. За адвективни мъгли, формирани при снижаване на долната граница на слоеста облачност или за адвекция на мъгла, формирана над морската повърхност, сателитните изображения могат успешно да се използват за прогнозирането им. В конкретния случай на 22.03.2014 г. формирането на мъгла над централните райони на Черно море е видимо още в 19:00 UTC, а на следващите

спътникови изображения се проследява придвижването и еволюцията на зоната с мъгла.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати от предишно изследване [6] и направената проверка за „фалшиви аларми“ дават основание да се твърди, че методът на Saunders за прогноза на точката на мъглата е приложим за летище Бургас. След направените модификации на моделните сондажи с реалните приземни температура и точка на оросяване, взети от сведенията METAR за Бургас, се получават удовлетворителни резултати.

За определяне температурата на разсейване на мъглата по метода на Saunders отново са извършени модификации на моделния сондаж с реалните приземни температура и точка на оросяване от сведенията за летището. Резултатите са надеждни и могат да се използват успешно в оперативната практика на авиометеоролога. Методиката не е приложима при мъгли с доминираща адвективна компонента.

Като допълващ емпиричен метод при изготвяне на прогноза за мъгла от радиационен или адвективно-радиационен тип за летище Бургас може да се използва *FOGSI* индексът.

Направена е проверка на настоящото изследване с използвани данни от локалния числен прогностичен модел ALADIN на НИМХ към БАН, с какъвто разполага в оперативната практика Летищната метеорологична служба на летище Бургас. Първоначалните резултати от тази година сочат голяма надеждност при изчисляване на *FOGSI* индекса. Предстоят по-нататъшни изследвания в тази насока.

Разгледан е случай с адвективна мъгла над летище Бургас. Показано е, че използването на спътникови изображения може съществено да подпомогне анализа и прогнозата на адвективни мъгли на летището.

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] Gloria Kulesa. The Potential impact of Climate Changes on Transportation; Weather and Aviation : How Does Weather Affect the Safety and Operations of Airports and Aviation, and How Does FAA Work to Manage Weather – related Effects?
<https://climate.dot.gov/documents/workshop1002/kulesa.pdf>
- [2] Andrew J, Fultz & Walker S, Ashley (2016) : Fatal weather –related general aviation accidents in the United States, Physical Geography,

- DOI : <http://chubasco.niu.edu/pubs/Fultz and Ashley 2016.pdf>
- [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] Saunders, W. E. *Meteor.Mag.*, 1950, **79**, 213.
- [6] Топузова, Ел., Н. Рачев. *Ann. of Sofia Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 2016, **109**, 80.
- [7] Met Office College. Radiation fog forecasting techniques, 30 November 2009, www.caem.wmo.int/_pdf/low_cloud_visibility/lowcloudvis_05_saunders.pdf
- [8] WMO. Manual on Codes - International Codes, Volume I.1, 2014, **306**.
- [9] www.ogimet.com/metars.phtml.en
- [10] www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html
- [11] www.wetterzentrale.de/topkarten
- [12] www2.wetter3.de/Archiv/archiv_dwd.html
- [13] www.meteociel.fr/modeles/archives.php
- [14] www.ecmwf.int/en/research/climate-reanalysis/era-interim
- [15] www.ready.noaa.gov/readyamet.php
- [16] Markova, B and R. Mitzeva. *Bul. J. Meteo & Hydro*, 2011, **16**, 1, 86.
- [17] Wantuch, F. Visibility and fog forecasting based on decision tree method, 2001, **2, 3**, 1. https://www.researchgate.net/.../228420283_Visibility_and_fog
- [18] Dejmál, K., J. Novotný. Application of Fog Stability Index for Significantly Reduced Visibility forecasting in the Czech Republic. In: *Recent advances in fluid mechanics and heat and mass transfer*, 2011, 317.
- [19] Holstlag, M. C., G. J. Steeneveld, A. A. M. Holstlag. Fog forecasting: "old fashioned" semi-empirical methods from radio sounding observations versus "modern" numerical models. Münster, Germany, 2010.
- [20] Science Plan-Forecast Demonstration Project - Fog <https://es.scribd.com/document/130208841/Fog-Sc-Plan>
- [21] Иванов, Г. Л. Мъглите на летище Бургас за периода 1985-1991 г., СДК, 1993.
- [22] Топузова, Ел., Н. Рачев. *Ann. of Sofia Univ. "St. Kl. Ohridski"*, 2015, **108**, 115.
- [23] <http://dvs.net.ru/mp/index.shtml>
- [24] <https://worldview.earthdata.nasa.gov>
- [25] Environment Canada–National Marine Weather Guide –Chapter 4-Fog <http://www.ec.gc.ca/meteo-weather/279ac7ed-E09d-4e2a-A884-57321ea46b24/Met%20101%20chapter%204%20Eng.pdf>