

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДЕКСОВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ АТМОСФЕРЫ К ОПЕРАТИВНОМУ ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ГРОЗЫ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Н.Ш. Гусейнов¹, А.А. Агаева²

¹ Национальная академия авиации Азербайджанской Республики, dr.Nazim@azans.az

² StormGeo LT

В статье определена эффективность применения индексов неустойчивости атмосферы для прогнозирования грозы в районе международного аэропорта Гейдар Алиев на основе модельных данных за 2005—2018 гг. Выполнена оценка эффективности применения программы расчета индексов неустойчивости атмосферы, разработанной на языках программирования DELPHI и C# (C sharp), и оправдываемости прогнозов гроз в международном аэропорту Гейдар Алиев. Также рассматриваются практические аспекты применения этих индексов для прогноза гроз.

Ключевые слова: энергия неустойчивости атмосферы, кучево-дождевые облака, язык программирования.

APPLICATION OF ATMOSPHERIC INSTABILITY INDEXES FOR OPERATIONAL THUNDER FORECASTING BASED ON THE MODEL DATA

N.Sh. Huseynov¹, A.A. Agayeva²

¹ National Aviation Academy of Azerbaijan Republic

² StormGeo LT

The effectiveness of application of atmospheric instability indices for forecasting thunders on the territory of Heydar Aliyev International Airport has been determined based on the computer simulation data for 2005 and 2018. The effectiveness of automatic calculation of the atmospheric instability indexes has been evaluated. In Heydar Aliyev International Airport diagnostic parameters of thunderstorm were verified by means of software that uses the programming languages DELPHI and C#.

Keywords: atmospheric instability energy, cumulonimbus clouds, programming language.

Введение

На территории Азербайджанской Республики в теплое время года часто наблюдаются кучево-дождевые облака и связанные с ними опасные атмосферные явления, такие как ливневые осадки, грозы, град и др. При этом из-за неоднородности рельефа среднее число грозовых дней в году изменяется в широких пределах: от пяти до 43. Реже грозовые дни фиксируются станциями, расположенными на море и вдоль побережья. Их число возрастает с удалением от Каспийского моря и с увеличением высоты местности.

На станциях, расположенных в море и у побережья (Нефть Дашлары, Пираллахы, Баку, Сумгаит), число грозовых дней составляет пять — семь. Уменьшению грозовой активности здесь способствует равнинный рельеф местности. В Баку и

на Апшеронском полуострове воздушные потоки, связанные с бризом, не встречают препятствий и поэтому не подвержены вынужденным поднятиям. По этой причине на этих территориях редко наблюдаются внутримассовые грозы. Однако фронтальные грозы на указанной местности наблюдаются, и, поскольку в Баку расположен самый большой в Республике аэропорт, точное прогнозирование здесь гроз и других опасных конвективных явлений весьма актуально [2, 3, 6].

Цель работы — определить эффективность применения индексов неустойчивости атмосферы для прогнозирования грозы в районе международного аэропорта Гейдар Алиев на основе модельных данных за 2005—2018 гг.

Материалы и методы исследования

Для оценки условий неустойчивости атмосферы для прогнозирования гроз необходим расчет индексов неустойчивости: Lifted, Showalter, Total Totals, S, Thompson, Vayting и SWEAT (Severe Weather Threat Index). Расчет индексов обычно производится на основе данных аэрологических наблюдений. В настоящей работе в качестве исходной информации использованы метеорологические данные для различных высот с веб-сервера Air Resources Laboratory, которая функционирует при поддержке Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA), и регулярные данные о погоде международного аэропорта Гейдар Алиев. Однако в последнее время в качестве исходных данных могут быть использованы и модельные данные.

Национальные центры прогнозирования окружающей среды Национальной метеорологической службы США (NCEP) проводят серию компьютерных анализов и оперативных прогнозов. Одной из операционных систем является GDAS (Глобальная система ассимиляции данных). Информацию об этой системе можно найти на веб-сайте <https://www.emc.ncep.noaa.gov>. Каждые три часа архивные данные поступают из GDAS — NCEP. К ним относятся следующие характеристики на различных высотах: геопотенциальная высота, давление, температура воздуха, температура точки росы, направление и скорость ветра. На веб-сервере Air Resources Laboratory (<https://www.ready.noaa.gov>) восемь раз за сутки обновляется информация. Из-за сохранения этой информации в виде архива появляется необходимость обработки большого количества данных, что возможно осуществить только в автоматическом режиме.

С этой целью была создана программа с использованием языка программирования C#. Программа выбирает необходимые для расчета индексов метеорологические параметры и размещает их в таблице Excell (рис. 1). На рисунке в первом столбце указана изобарическая поверхность, во втором — геопотенциальная высота изобарической поверхности, в третьем — температура воздуха, в четвертом — температура точки росы, в пятом — направление ветра, в шестом — скорость ветра. Отобранные ряды данных используются как исходные для расчета индексов.

Создание программ для расчета индексов Lifted, Showalter и SWEAT обусловлено большой трудоемкостью и значительными затратами времени, необходимыми

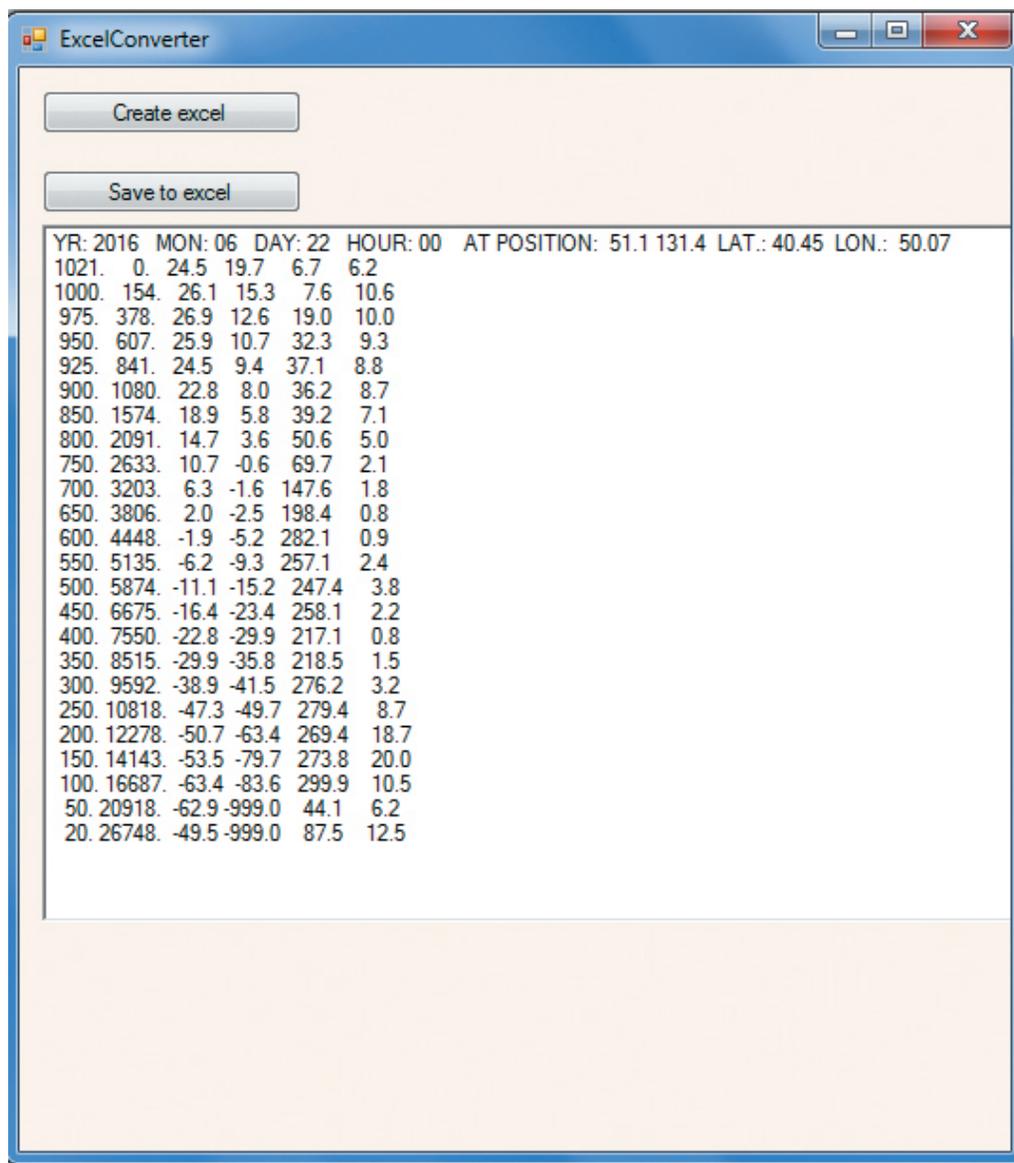


Рис. 1. Общий вид программы, созданной на языке программирования C#.

для их вычисления при помощи аэрологических диаграмм. Поэтому авторами использован язык программирования Delphi, который, наряду с эффективностью, обладает сложной структурой программирования. Он является наиболее распространенной средой программирования в операционной системе Windows. Вообще говоря, то, что Delphi включает все новые технологии программирования,

позволяет повысить качество программирования и создать программы, которые охватывают широкий круг пользователей и обладают высокой производительной мощностью [1]. С его помощью возможно написание программ не только в Windows, но и в других операционных системах. Основной причиной такого широкого распространения Delphi является его высокая скорость в области визуального программирования и простота использования.

На данный момент версия этого языка Object Pascal очень хорошо развита и широко используется для решения различных программных задач в инженерии, экономике и т. д. Самым большим преимуществом программ, написанных на языке Object Pascal, является их простота считывания. Поэтому для расчета индексов SI и LI при помощи этой программы нам необходимы данные о температуре воздуха и температуре точки росы (в кельвинах) на изобарических поверхностях 950 и 850 гПа, а также температура воздуха (в кельвинах) на изобарической поверхности 500 гПа. Для автоматического расчета SWEAT индекса, который используется на практике для прогнозирования грозы, также была создана программа на этом языке. При применении созданных программ расчета всех трех индексов нет необходимости работы с аэрологическими диаграммами. Использование программ повышает оперативность прогнозов и экономит время, что позволяет использовать их синоптиками как вспомогательное средства [1—4].

Для определения атмосферной неустойчивости применяются два метода: один с использованием индекса Showalter (*SI*), а другой — индекса Lifted (*LI*). Оба метода предполагают расчет средней неустойчивости тропосферы на основе разности значений температуры среды и поднимающихся частиц воздуха на уровне 500 гПа:

$$SI = T_{500} - T_{p850},$$

$$LI = T_{500} - T_{p950},$$

где T_{500} — температура воздуха на уровне 500 гПа; T_{p850} и T_{p950} — температура частиц, поднятых с уровня изобарических поверхностей 850 и 950 гПа (1,5 км и 500 м над земной поверхностью соответственно).

Если $LI < 0$ и $SI < 0$, то следует ожидать грозы, если $LI > 0$ и $SI > 0$, то атмосфера считается устойчивой и грозы не ожидаются.

Индекс Total Totals (*TT*) представляет собой статическую устойчивость и определяется как вертикальный градиент температуры в слое 850—500 гПа с учетом точки росы на уровне 850 гПа:

$$TT = T_{850} + T_{d850} - 2 \cdot [T_{500}],$$

где T_{850} — температура воздуха на уровне 850 гПа; T_{d850} — температура точки росы на уровне 850 гПа; T_{500} — температура воздуха на уровне 500 гПа [5, 12].

Если значение параметра *TT* изменяется в пределах 45—50 °С, то состояние атмосферы умеренно неустойчиво. При значениях *TT*, равных 50—55 °С, атмосфера влажнонеустойчива и вероятность развития грозы высока. Если значения *TT*

составляют 55—60 °С, то состояние атмосферы крайне неустойчиво и над территорией вероятны сильные грозы.

Расчет индекса Vauiting (K) основан на вертикальном градиенте температуры и влажности воздуха в нижней тропосфере, а также учитывает вертикальную протяженность влажного слоя воздуха:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + (T_{d850} - d_{700}),$$

где T_{850} — температура окружающей среды на уровне 850 гПа; T_{500} — температура окружающей среды на уровне 500 гПа; T_{d850} — температура точки росы на уровне 850 гПа; d_{700} — дефицит точки росы на уровне 700 гПа.

Если в результате расчета окажется, что $K < 20$, то гроз ожидать не следует; при $20 < K < 25$ следует ожидать изолированные грозы; при $25 < K < 30$ в прогнозе следует указывать отдельные грозы, а если величина $K > 30$ — то грозы повсеместно.

Для оценки интенсивности грозы может быть использован индекс Thompson (Ti):

$$Ti = K - LI.$$

При $Ti < 25$ прогнозируется отсутствие грозы; при Ti от 25 до 34 — возможны грозы; при Ti от 35 до 39 — грозы, местами сильные; при $Ti \geq 40$ — сильные грозы.

Индекс S используется для прогнозирования интенсивности грозы и покрытия территории по площади:

$$S = TT - (T_{700} - T_{d700}) - A,$$

где T_{700} — температура воздуха на уровне 700 гПа; T_{d700} — температура точки росы на уровне 700 гПа; TT — индекс Total Totals; коэффициент A зависит от разности значений температуры на уровнях 850 и 500 гПа:

$$A = 0, \text{ когда } (T_{850} - T_{500}) > 25;$$

$$A = 2, \text{ когда } (T_{850} - T_{500}) \text{ равно } 22\text{—}25;$$

$$A = 6, \text{ когда } T_{850} - T_{500} < 22.$$

Если $S < 39$, вероятность грозы не превышает 11 %; если S составляет от 40 до 45, то вероятность грозы 42 %; если $S > 46$, вероятность грозы 75 % и более.

Индекс $SWEAT$ представляет собой комплексный критерий для диагноза и прогноза опасных и стихийных явлений погоды, связанных с конвективной облачностью [4, 12]:

$$SWEAT = 12 \cdot T_{d850} + 20 \cdot (TT - 49) + 3,888 \cdot F_{850} + \\ + 1,944 \cdot F_{500} + (125 \cdot [\sin(D_{500} - D_{850}) + 0,2]),$$

где T_{d850} — температура точки росы на уровне 850 гПа; TT — индекс Total Totals; F_{850} и F_{500} — скорость ветра на уровнях 850 и 500 гПа; D_{500} и D_{850} — направление ветра на уровнях 850 и 500 гПа [12, 13].

При $SWEAT < 250$ условия для возникновения сильных гроз отсутствуют; при $SWEAT$ от 250 до 350 есть условия для сильных гроз, града и шквалов; при $SWEAT$ от 350 до 500 есть условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, смерчей; при $SWEAT \geq 500$ есть условия для очень сильных гроз, крупного града, сильных шквалов, сильных смерчей.

В последнее время вышеуказанные индексы неустойчивости используются для прогнозирования грозы на территории Баку. Необходимо отметить, что впервые для территории Баку осуществлено использование модельных данных (за 2005—2018 гг.) для расчета индексов неустойчивости и создание статистических рядов. При этом в статистические ряды включены параметры за те дни, когда более двух часов наблюдались кучево-дождевые облака.

Результаты расчетов

Сравнение спрогнозированного и наблюдаемого числа грозовых дней позволило выявить, что за указанный период времени наиболее высока была оправдываемость индексов $SWEAT$ (94,1 %), Lifted (84,7 %) и Thompson (74,0 %). Оправдываемость других индексов составила: S (68,2 %), Showalter (66,4 %), Total Totals (54,5 %).

Наименьшая оправдываемость была у индекса Vayting (36,4 %). Такая низкая оправдываемость связана с тем, что гроза прогнозируется при значении индекса, равном 20 и более, а реально наблюдается при значениях более 25.

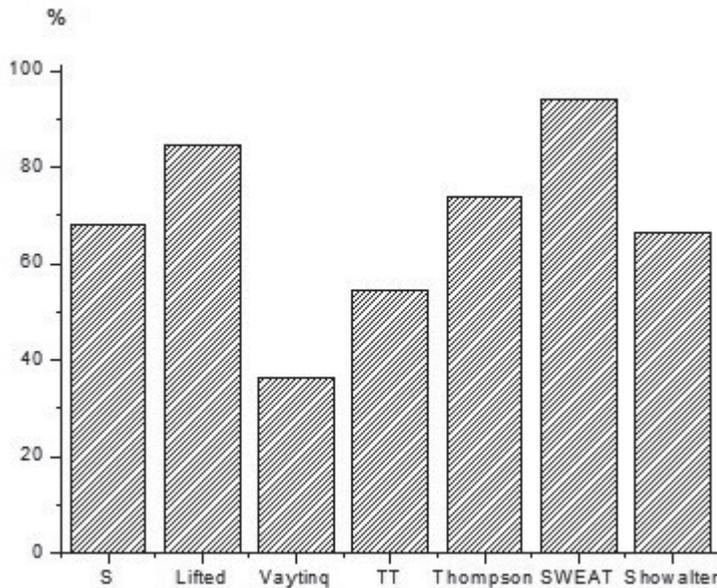


Рис. 2. Гистограмма оправдываемости индексов неустойчивости атмосферы за 2005—2018 гг.

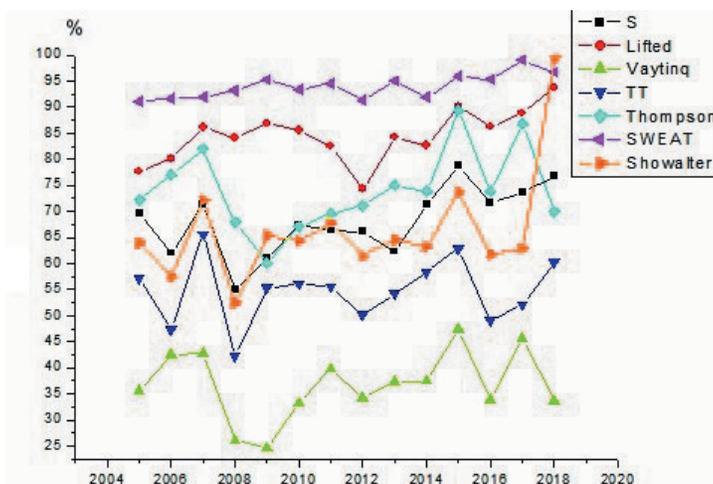


Рис. 3. Оправдываемость индексов по годам.

Если рассмотреть оправдываемость по годам, то можно заметить, что использование индекса SWEAT себя полностью оправдало (рис. 3). Его оправдываемость за указанный период времени (2005—2018 гг.) превысила 90 %. Отметим, что SWEAT индекс учитывает влажность в нижних слоях тропосферы, интенсивность атмосферной неустойчивости, скорость ветра в нижней и средней тропосфере и адвекцию теплого воздуха (изменение температуры между уровнями 850 и 500 гПа) [10, 11].

Выводы

Проведенные исследования позволили получить следующие результаты.

Оправдываемость применения различных индексов неустойчивости атмосферы для прогнозирования грозы в районе международного аэропорта Гейдар Алиев на основе модельных данных за 2005—2018 гг. составила: SWEAT 94,1 %, Lifted 84,7 %, Thompson 74,0 %, S 68,2 %, Showalter 66,4 %, Total Totals 54,5 % и Vaytingq 36,4 %.

Исследование оправдываемости индексов по годам показало, что наиболее предпочтительно использование индекса SWEAT. Его оправдываемость за указанный период времени (2005—2018 гг.) превысила 90 %.

С целью расчета значений индексов неустойчивости атмосферы разработаны программы на языках программирования DELPHI и C# (C sharp). Внедрены на практике в международном аэропорту Гейдар Алиев.

Список литературы

1. Ахмедов Л.Н., Хуришудов Ш.А. Информационные технологии. Баку: Элм, 2008. 128 с.
2. Гусейнов Н.Ш., Агаева А.А. Оценка неустойчивости атмосферы в течение грозовой активности // Научные труды Национальной авиационной академии. 2014. № 1. С. 142—149.

3. Гусейнов Н.Ш., Меликов Б.М. Анализ применения неустойчивости индексов в прогнозе грозы // Научные труды Национальной авиационной академии. 2012. Т. 14, № 1. С. 15—22.
4. Гусейнов Н.Ш., Ахмедов Л.Н., Агаева А.А. Автоматизированный метод расчета неустойчивости атмосферы // Научные труды Национальной авиационной академии. 2014. Т. 16, № 2. С. 51—54.
5. Еришова Т.В., Горбатенко В.П., Клинова О.А. Термодинамические параметры атмосферы при грозах и ливнях // Вестник ТГПУ. 2012. С. 9—13.
6. Сафаров С.Г. Грозоградовые и селевые явления на территории Азербайджана и радиолокационные методы их прогнозирования. Баку: Элм. 2012. 292 с.
7. Шакина Н.П., Иванова А.Р. Прогнозирование метеорологических условий для авиации. М.: Три-ада лтд, 2016. 312 с.
8. Chakina N.P., Skriptunova E.N. Convective activity automated forecasts and significant weather charts produced in the RAFC Moscow / Proc. 4th Intern. Conf. Aviation Weather Systems/ Paris, France, June 24—28, 1991. P. 319—320.
9. Chakina N.P. Convective activity automated forecasts and significant weather charts produced in the RAFC Moscow / Proc. 5th Intern. Conf. Aviation Weather Systems, Aug. 1 — 16, Vienna, 1993. Virginia & Preprint. P. 722.
10. Doswell C.A., Schutz D.M. On the use of indices and parameters in forecasting severe storms // Electronic J. Severe Storms Meteor. 2006. 1 (3). P. 1—22.
11. Doswell C.A., Brooks H.E., and Maddox R.A. Flash flood forecasting: An ingredients-based methodology // Weather and Forecasting. 1996. V. 11. P. 560—581.
12. <http://flymeteo.org/stat/indexneust.php>
13. <https://meteo-orw.ru>
14. <https://www.emc.ncep.noaa.gov>
15. <https://www.ogimet.com>