

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85>**ПРОГНОЗ ГРАДА ПО ДИСКРИМИНАНТНОЙ ФУНКЦИИ НА ОСНОВЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АТМОСФЕРЫ**

Научная статья

Созаева Л.Т.^{1,*}, Кагермазов А.Х.²¹ORCID : 0000-0002-9840-3566;²ORCID : 0000-0002-8126-6008;^{1,2}Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ljk_62[at]rambler.ru)

Аннотация

Предложена дискриминантная модель для прогноза града, отличительной особенностью которой является использование прогностических данных модели атмосферы взамен фактических данных аэрологического зондирования атмосферы. В качестве прогностической модели атмосферы предлагается глобальная модель атмосферы GFS NCEP. Материалами данного исследования послужили фактические данные наблюдений о случаях выпадения града, предоставленные Северо-Кавказской службой по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы. Полученная дискриминантная модель позволяет прогнозировать град с общей оправдываемостью 85,3% и отвечает критериям качества прогнозов. Модель предназначена для использования в военизированных службах по борьбе с градом на Северном Кавказе.

Ключевые слова: прогнозирование града, аэрологическое зондирование, глобальная модель атмосферы, заблаговременность, метеорологические параметры.

A HAIL FORECASTING BY DISCRIMINANT FUNCTION BASED ON GLOBAL ATMOSPHERIC MODEL OUTPUT DATA

Research article

Sozaeva L.T.^{1,*}, Kagermazov A.K.²¹ORCID : 0000-0002-9840-3566;²ORCID : 0000-0002-8126-6008;^{1,2}High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation

* Corresponding author (ljk_62[at]rambler.ru)

Abstract

A discriminant model for hail forecasting is proposed, the distinctive trait of which is the use of atmospheric model prognostic data instead of actual aerological atmospheric sounding data. The global atmospheric model GFS NCEP is suggested as a prognostic atmospheric model. The materials of this study were actual observational data on hail occurrences provided by the North Caucasus Service for Active Impact on Meteorological and Other Geophysical Processes. The obtained discriminant model allows to predict hail with the total validity of 85.3% and meets the criteria of forecast quality. The model is intended for use in paramilitary hail services in the North Caucasus.

Keywords: hail forecasting, aerological probing, global atmospheric model, advance, meteorological parameters.

Введение

Предлагаемый метод прогноза града первоначально был разработан на основе концепции «идеального прогноза», с использованием метеорологических параметров атмосферы, рассчитанных по данным фактических наблюдений. Реализация таких методов на практике встречает некоторые трудности, связанные с тем, что такие данные доступны только на отдельных метеостанциях, расположенных достаточно далеко друг от друга, причем частота и время проведения измерений не соответствует моменту максимального развития конвекции.

В настоящее время в метеорологии получили развитие схемы расчета параметров атмосферы по концепции MOS (Model Output Statistics) – по прогностическим данным моделей атмосферы.

В данном исследовании в качестве прогностической модели атмосферы предлагается использовать глобальную систему прогнозов Национальных центров прогнозирования процессов в окружающей среде (GFS NCEP) США, которая была принята в эксплуатацию в начале 90-х годов [7], [8], [9] и в последствии многократно модифицировалась.

Правомерность замены данных фактического аэрологического зондирования, полученных на метеостанциях «Минеральные Воды» и «Дивное» на поля метеозащитных элементов из глобальной модели для географических координат этих метеостанций была подтверждена результатами исследований [3].

О возможности развития конвекции, сопровождающейся выпадением града, в метеорологии широко применяются статистические методы, наибольшее развитие и применение из которых получил дискриминантный анализ [2], [10]. При этом дискриминантная функция составляется по фактическим данным аэрологического зондирования атмосферы с заблаговременностью не более 12 часов.

Целью настоящего исследования является расчет дискриминантной функции для прогнозирования града в случае, когда параметры атмосферы рассчитываются по данным глобальной модели атмосферы, причем с заблаговременностью 30 часов. Для этого решались следующие задачи:

1. Сбор данных о событиях «град» и «не град» в градовом сезоне 2023 г. и расчет параметров атмосферы по выходной продукции глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 30 часов.

2. Составление дискриминантной функции для прогнозирования града и оценка ее качества.

Данные наблюдений были предоставлены ФГБУ «Северо-Кавказская военная служба по активному воздействию на метеорологические и другие геофизические процессы».

Построение дискриминантной функции осуществлялось на основе статистического пакета программ SPSS [1].

Материалы и методы исследования

Первостепенной задачей при реализации статистической прогностической схемы (прогноза как конвекции, так и явлений, связанных с нею) является отбор признаков, описывающих рассматриваемое явление и характеризующих физику конвективных явлений в атмосфере.

Рассчитывается около 45 признаков (метеорологических параметров атмосферы), обуславливающих возникновение, развитие и интенсивность опасных конвективных процессов, в том числе и града [4]. Расчет этих параметров основан на стратификации температуры и влажности воздуха, направления и скорости ветра, которые являются прогностическими выходными данными глобальной модели атмосферы [5].

Такое количество признаков не только делает вычислительную процедуру чрезвычайно трудоемкой, но и предъявляет слишком жесткие требования к объему эмпирических данных. Поэтому возникает необходимость в выборе наиболее информативных из них. Такой выбор был сделан с помощью бисериального коэффициента корреляции и в результате было получено, что на формирование явлений конвективной природы (град, ливень и т.д.) оказывают наибольшее влияние следующие параметры атмосферы [4]:

DTM – максимальная разность температур в облаке и окружающем воздухе;

HM – уровень, на котором разность температур в облаке и окружающем воздухе максимальна;

DTK – вертикальный градиент температуры в слое выше уровня конденсации на 4-4,5 км;

SQZ5 – суммарная удельная влажность в слое Земля-5 км;

TDSR5 – средний дефицит влажности в слое выше уровня конденсации на 5 км;

PH1 – уровень конвекции;

TH1 – температура на уровне конвекции;

DJ – индекс неустойчивости Джорджа;

TTMI – индекс интегральной суммы Миллера;

DSS – энергетическая характеристика подоблачного слоя.

По отобранным параметрам строилась дискриминантная функция вида:

$$D + a_1DTM + a_2HM + a_3DTK + a_4SQZ5 + a_5TDSR5 + a_6PH1 + a_7TH1 + a_8DJ + a_9TTMI + a_{10}DSS + const \quad (1)$$

где *d* – зависимая номинальная переменная;

a_n – коэффициенты при независимых переменных;

const – постоянный член.

Зависимая номинальная переменная имеет два значения: *d=1* («град») и *d=0* («не град»).

Результаты исследования и их обсуждение

По данным наблюдений Северо-Кавказской службы в расчет было принято 109 событий, из которых в 34 случаях был зафиксирован град, а в 75 случаях не было града.

Разделение явлений на «град» или «не град» осуществлялось по следующему принципу: событие относилось к группе «град», если град фиксировался на земле по данным наземных наблюдений, а также в облаке по данным радиолокационных наблюдений. В остальных случаях фиксировался «не град».

Для всех событий были рассчитаны параметры атмосферы по данным глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 30 часов, и с учетом всех отобранных признаков построена дискриминантная функция вида (1) (пошаговый анализ с исключением).

Дискриминантный анализ предполагает исключение зависимых переменных по критериям равенства групповых средних. Для проведения теста на равенство средних значений в группах применяется коэффициент Лямбда Уилкса. В данном исследовании значимость этого коэффициента оказалась *Sig.>0,05* для переменных *DSS* и *DTK*, что потребовало исключения их из дальнейшего анализа.

Далее оставшиеся переменные проверяются на независимость друг от друга, для этого рассчитываются коэффициенты корреляции между всеми переменными, характеризующие связи между ними. Оказалось, что имеется сильная связь между следующими парами переменных:

$$PH1 - TH1; PH1 - DTM; DJ - TTMI; DJ - SQZ5$$

Вклады переменных *DTM*, *TH1* и *DJ* в дискриминантную функцию в соответствии со значениями ненормированных канонических коэффициентов оказались наименьшими, что позволило их также исключить из анализа.

Затем была перестроена дискриминантная функция и определены ее коэффициенты (табл. 1).

Таблица 1 - Ненормированные коэффициенты канонической дискриминантной функции

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85.1>

Параметр	Функция
----------	---------

	1
HM	0,00008
SQZ5	-0,0732
TDSR5	-0,0555
TTMI	0,0697
PH1	0,0002
(Константа)	-1,929

По данным табл. 1 была построена прогностическая дискриминантная модель:

$$d = 0,00008HM - 0,0732SQZ5 - 0,0555TDSR5 + 0,0697TTMI + 0,0002PH1 - 1,929 \quad (2)$$

Параметры, вошедшие в дискриминантную функцию, в основном отражают запас энергии неустойчивости и влагосодержания, которые в разной степени используются в других методах альтернативного прогноза града. Это свидетельствует о том, что запасы конвективной неустойчивости в разных слоях тропосферы играют главную роль в формировании интенсивной конвекции.

Результаты классификации предлагаемой модели представлены в табл. 2, в которой для каждого наблюдения построчно приводится информация о значении дискриминантной функции («1» или «0») и прогнозируемая принадлежность к одной из двух групп «град» и «не град».

Таблица 2 - Результаты классификации

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.85.2>

Признак	D	Предсказанная принадлежность к группе		Итого
		0	1	
Частота	0	64	11	75
	1	5	29	34
%	0	85,3	14,7	100
	1	14,7	85,3	100

Получено, что из 34 явлений «град» 29 корректно причислены к группе «град» и из 75 явлений «не град» 64 случая — «не град», а также 85,3% исходных сгруппированных наблюдений классифицировано правильно (табл. 2).

Результаты проверки методики «идеального прогноза» на многолетних данных фактического аэрологического зондирования атмосферы по нескольким пунктам Северного Кавказа на научно-исследовательском полигоне Высокогорного геофизического института (г. Нальчик) показали оправдываемость 78% при заблаговременности 3-12 часов [6].

Таким образом, оправдываемость прогнозирования града по данным глобальной модели атмосферы с заблаговременностью 30 часов оказалась несколько выше оправдываемости прогноза града по фактическим данным аэрологического зондирования, что свидетельствует о некотором их преимуществе.

Заключение

Схема прогнозирования града, основанная на использовании выходной продукции Глобальной системы прогнозов Национальных центров прогнозирования процессов в окружающей среде (GFS NCEP) США, показала свою работоспособность на независимых данных в градовом сезоне 2023 г.

Проведенное исследование показывает, что дискриминантная функция, построенная по выходной продукции глобальной модели, сохраняет прогностический потенциал при прогнозировании града даже при увеличении заблаговременности до 30 часов.

Полученный результат будет полезен в работе служб по борьбе с градом.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Бююль А. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цёфель. — СПб.: ДиаСофтЮП, 2005. — С. 608.
2. Имас Л.И. Обзор работ по дискриминантному анализу / Л.И. Имас // Труды САРЖШИ. — 1976. — Вып. 31. — С. 3-26
3. Кагермазов А.Х. Валидация выходных данных глобальной модели атмосферы в дни с развитием конвекции по данным аэрологического зондирования с двухсуточной заблаговременностью / А.Х. Кагермазов, Л.Т. Созаева // Труды ГГО. — 2019 — Вып. 593. — С. 150-159.
4. Кагермазов А.Х. Цифровая атмосфера. Современные методы и методология исследования опасных метеорологических процессов и явлений / А.Х. Кагермазов. — Нальчик: Печатный двор, 2015. — 215 с.
5. Официальный сайт Национальных центров экологического прогнозирования США. Центр экологического моделирования. — <https://www.emc.ncep.noaa.gov/> (дата обращения: 16.04.2023)
6. Федченко Л.М. Использование статистических методов для прогноза градовых процессов и их характеристик / Л.М. Федченко, А.Х. Кагермазов // Метеорология и гидрология. — 1988. — № 4. — С. 41-50
7. Kalnay E. Global Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center / E. Kalnay, M. Kanamitsu, W.E. Baker // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1990. — Vol.71. — P. 1410-1428
8. Kanamitsu M. Description of the NMC Global Data Assimilation and Forecast System / M. Kanamitsu // Wea. and Forecasting. — 1989. — Vol. 4. — P. 335-342
9. Kanamitsu M. Recent Changes Implemented into the Global Forecast System at NMC / M. Kanamitsu, J.C. Alpert, K.A. Campana [et al.] // Wea. and Forecasting. — 1991. — Vol. 6. — P. 425-435
10. Miller R.G. Statistical Predication by Discriminant Analysis. Meteorological Monographs / R.G. Miller // American Meteorological Society. — 1962. — Vol. 4. — № 25. — P. 54.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Buyul A. SPSS: Iskusstvo obrabotki informacii. Analiz statisticheskikh dannyh i vosstanovlenie skrytyh zakonornostej [SPSS: The Art of Information Processing. An Analysis of Statistical Data and Recovery of Hidden Patterns] / A. Buyul, P. Zöfel. — SPb.: DiaSoftJuP, 2005. — P. 608. [in Russian]
2. Imas L.I. Obzor rabot po diskriminantnomu analizu [Review of Works on Discriminant Analysis] / L.I. Imas // Trudy SARZhShI [Proceedings of SARZHShI]. — 1976. — Iss. 31. — P. 3-26 [in Russian]
3. Kagermazov A.H. Validacija vyhodnyh dannyh global'noj modeli atmosfery v dni s razvitiem konvekcii po dannym aerologicheskogo zondirovaniya s duvsutochnoj zablagovremennost'ju [Validation of the Global Atmospheric Model Output Data on Days with Convection Development from Airborne Sounding Data with Two-Day Advance] / A.H. Kagermazov, L.T. Sozaeva // Trudy GGO [Works of GGO]. — 2019 — Iss. 593. — P. 150-159. [in Russian]
4. Kagermazov A.H. Cifrovaja atmosfera. Sovremennye metody i metodologija issledovanija opasnyh meteorologicheskikh processov i javlenij [Digital Atmosphere. Modern Methods and Methodology of Research of Hazardous Meteorological Processes and Phenomena] / A.H. Kagermazov. — Nalchik: Printing House, 2015. — 215 p. [in Russian]
5. Oficial'nyj sajt Nacional'nyh centrov jekologicheskogo prognozirovaniya SShA. Centr jekologicheskogo modelirovaniya [Official website of the US National Centres for Environmental Prediction. Centre for Ecological Modelling]. — <https://www.emc.ncep.noaa.gov/> (accessed: 16.04.2023) [in Russian]
6. Fedchenko L.M. Ispol'zovanie statisticheskikh metodov dlja prognoza gradovyh processov i ih harakteristik [Use of Statistical Methods for Forecasting of Hail Processes and Their Characteristics] / L.M. Fedchenko, A.H. Kagermazov // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and Hydrology]. — 1988. — № 4. — P. 41-50 [in Russian]
7. Kalnay E. Global Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center / E. Kalnay, M. Kanamitsu, W.E. Baker // Bull. Amer. Meteor. Soc. — 1990. — Vol.71. — P. 1410-1428
8. Kanamitsu M. Description of the NMC Global Data Assimilation and Forecast System / M. Kanamitsu // Wea. and Forecasting. — 1989. — Vol. 4. — P. 335-342
9. Kanamitsu M. Recent Changes Implemented into the Global Forecast System at NMC / M. Kanamitsu, J.C. Alpert, K.A. Campana [et al.] // Wea. and Forecasting. — 1991. — Vol. 6. — P. 425-435
10. Miller R.G. Statistical Predication by Discriminant Analysis. Meteorological Monographs / R.G. Miller // American Meteorological Society. — 1962. — Vol. 4. — № 25. — P. 54.