

УДК 551.509.326

МЕТОДИКА УЧЁТА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА ПОГОДЫ

С.Н. Андреев, Я.В. Петросян

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж

Работа посвящена разработке методики повышения качества прогноза опасных явлений погоды на основе учета влияния геофизических факторов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КАЧЕСТВО ПРОГНОЗА ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ, ВЛИЯНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.

Прогнозирование погоды относится к числу сложных многокритериальных задач, характеризующихся большой пространственно-временной изменчивостью, обусловленной влиянием множества различных факторов, в том числе и геофизических. На связь грозовой активности и геофизических взаимодействий в системе Земля—Луна—Солнце указывали многие ученые, однако, за редким исключением, глубоких систематических исследований в этом направлении не проводилось [1]. В то же время, в ряде публикаций указывается на необходимость изучения влияния геофизических факторов на протекание процессов в атмосфере Земли и климат планеты в целом.

В связи с этим, разработка новых методов прогноза гроз, учитывающих влияние геофизических факторов, способствует повышению качества метеорологического обеспечения и является актуальной.

Исследования изменчивости атмосферных параметров и коэффициентов грозоопасности по станции Воронеж, за тёплый период 2004–2005 гг. выявили периодичность в их поведении, анализ которой показал, что основное количество «ошибок пропуска» приходится на периоды максимума графика семидневного линейного фильтра, а «ошибок ложной тревоги» — на периоды минимума [2].

Выявленная закономерность хорошо согласуется с гипотезой о влиянии на протекание метеопроцессов атмосферных приливов, возникающих под воздействием гравитационных сил, создаваемых планетами Солнечной системы [1]. При этом расчет геофизических параметров (например, расстояние до Луны, её фаза и горизонтальный азимут, а так же расстояние от Земли до Солнца) показывает, что колебания этих величин не синфазны, что в свою очередь приводит к возникновению неперiodических (или псевдо-неперiodических) резонансных явлений, затрудняющих поиск закономерности в их проявлениях.

Тем не менее, при анализе временного ряда распределения параметров вертикального зондирования атмосферы, совмещенного с графиками геофизических параметров (рис. 1), хорошо прослеживается зависимость в периодических колебаниях метеовеличин и прогностических коэффициентов грозоопасности, от параметров обращения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца.

К числу геофизических факторов, оказывающих влияние на пространственно-временные вариации метеорологических величин и явлений, прежде всего, стоит отнести взаимодействия в системе Земля—Луна—Солнце [2].

В связи с этим в работе предлагается методика повышения качества методов прогноза гроз, основанная на введении дополнительных параметров, характеризующих взаимодействие планет в системе Земля—Луна—Солнце.

Предлагаемая методика основывается на предположении, что в атмосфере Земли под действием приливных сил, вызванных гравитацией Луны и Солнца, возникают упорядоченные макромасштабные токи (как горизонтальные, так и вертикальные), имеющие противоположные знаки в определенных точках пространства и приводящие либо к поддержанию, либо к компенсации конвективных сил, обуславливающих развитие кучево-дождевой облачности и гроз. При этом необходимо учитывать, что Луна обращается вокруг Земли с сидерическим периодом на 2,2 суток меньшим чем синодический, то есть сила и направление ее воздействия на один и тот же участок Земли постоянно изменя-

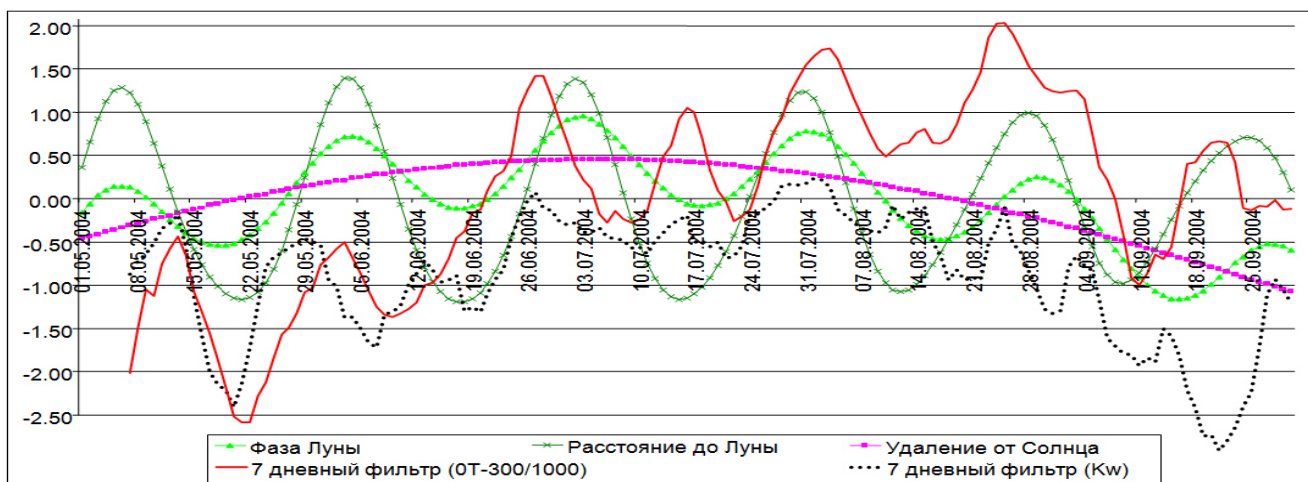


Рис. 1. Временной ряд изменений планетарных параметров и семидневных фильтров относительного геопотенциала (OT300/1000) и коэффициентов грозоопасности Вайтинга (K_w) за 2004 г.

ются, что может обуславливать снижение оправдываемости физико-статистических прогностических методов со временем. К тому же следует учитывать притяжение Солнца — в одних случаях оно складывается с притяжением Луны, в других — действует в противоположном направлении.

Кроме того, Луна движется не по круговой, а по эллиптической орбите, ось которой также медленно поворачивается в пространстве, совершая полный оборот за 8,5 лет, а сама лунная орбита имеет прецессию с периодом 18,6 лет. Все эти сложные движения постоянно изменяют гравитационное воздействие на атмосферу и океаны, приводя к колебаниям приливообразующей силы во времени с периодами примерно в 6, 12, 24 часов, 9, 14, 27 суток, полгода, год и более длительными, которые в данной работе не рассматриваются.

Основное содержание методики построения метеорологических прогностических методов, в данном случае методов прогноза гроз, учитывающих влияние геофизических факторов, заключается в следующем.

1. Осуществляется подбор наиболее информативных предикторов, в соответствии с известной методикой [3].

2. Уточняются пороговые значения прогностических методов [3].

3. Поскольку пороговые значения прогностических методов, под влиянием геофизических факторов, могут варьироваться относительно некоторого уровня, то, в зависимости от требуемой степени точности разрабатываемого метода, осуществляется аппроксимация вариаций комплекса геофизических факторов, а получаемое в результате расчетов численное значение используется как переменный по времени коэффициент порогового значения прогностического метода [4].

4. В соответствии с известной методикой [3], рассчитываются основные показатели успешности метода прогноза гроз и при необходимости заново уточняются его пороговые значения на обучающей выборке.

5. При соответствии основных показателей успешности разрабатываемого прогностического метода заданным критериям, метод проверяется на контрольной выборке.

6. В случае если результаты проверки работоспособности прогностического метода на контрольной выборке не противоречат результатам, полученным на обучающей выборке, то метод может считаться работоспособным. В противном случае необходимо повторить процесс создания прогностического метода, начиная с первого пункта.

В связи с вышеизложенным, для определения влияния геофизических факторов на протекание атмосферных процессов, необходимо:

- построить временной ряд аэрологических и метеорологических наблюдений;
- рассчитать эфемериды (экваториальные координаты, горизонтальные координаты, расстояние до светил и фаза Луны) на моменты выпуска радиозонда и объединить полученные данные с выборкой аэрологических и метеорологических данных;
- уточнить коэффициенты грозоопасности классических методов прогноза гроз;
- разработать новый (или усовершенствовать существующий) метод прогноза гроз, учитывающий влияние геофизических факторов;

- провести численный эксперимент по оценке зависимости оправдаваемости прогнозов гроз от геофизических факторов.

Для расчета эфемерид (таблиц орбитальных параметров планет) использовались астрометрические данные, полученные с помощью программы «StarCalc 5.72» (рис. 2). Фрагменты эфемерид Луны и Солнца для пункта Воронеж (51.67° с.ш., 39.19° в.д.) представлены в таблицах 1 и 2.

StarCalc 5.72 (Быстрый просмотр)

Просмотр Операции Параметры Консоль О программе...

Луна

Дата	Экв. координаты на текущую эпоху (Часов.угол/Склонение)		Гориз. координаты (Азимут/Высота)		Фаза	Расстояние
	ч	м ° ' "	°	°		
01.05.2003	12	03.1 +09 37	000.862	-28.714	0.00	409489 км
02.05.2003	11	22.8 +14 16	350.174	-23.569	0.00	408934 км
03.05.2003	10	40.7 +18 23	340.241	-17.840	0.02	407632 км
04.05.2003	09	56.2 +21 45	330.807	-11.733	0.05	405587 км
05.05.2003	09	09.3 +24 12	321.605	-05.418	0.10	402786 км
06.05.2003	08	20.2 +25 32	312.366	+01.306	0.16	399214 км
07.05.2003	07	29.6 +25 36	302.813	+07.348	0.24	394874 км
08.05.2003	06	38.4 +24 22	292.662	+13.320	0.33	389811 км
09.05.2003	05	47.6 +21 47	281.620	+18.855	0.43	384142 км
10.05.2003	04	57.6 +17 50	269.417	+23.661	0.54	378073 км

100% 18 ноя 2010 н.э. 21ч 23м 37с Шир/Долг: 51.67°/39.20°

Рис. 2. Фрагмент таблицы эфемерид для Луны, рассчитанной программой «StarCalc».

Таблица 1.
Фрагмент таблицы эфемерид для Луны

Луна

Дата	Экв. Координаты на текущую эпоху (Часов.угол/Склонение)		Гориз. координаты (Азимут/Высота)		Фаза	Расстояние	
	ч	м ° ' "	°	°			
01.05.2003	12	03.1	+09 37	000.862	-28.714	0.00	409489 км
02.05.2003	11	22.8	+14 16	350.174	-23.569	0.00	408934 км
03.05.2003	10	40.7	+18 23	340.241	-17.840	0.02	407632 км

Таблица 2.
Фрагмент таблицы эфемерид для Солнца

Солнце

Дата	Экв. Координаты на текущую эпоху (Часов.угол/Склонение)		Гориз. координаты (Азимут/Высота)		Фаза	Расстояние
	ч	м ° ' "	°	°		
01.05.2003	11	39.6	+14 51	354.626	-23.339	1.0074 а.е.
02.05.2003	11	39.7	+15 09	354.678	-23.038	1.0077 а.е.
03.05.2003	11	39.8	+15 27	354.727	-22.740	1.0079 а.е.

Поскольку данные эфемерид из таблиц 1 и 2 синхронизированы со временем производства аэрологических наблюдений, то эти данные можно объединить в общую выборку.

Имея такой электронный архив метеорологической и геофизической информации за достаточный промежуток времени (от 3–5 лет и более) можно осуществить проверку рассмотренных выше гипотез, а также реализовать предложенную методику построения расчетных методов прогноза опасных явлений погоды (грозы) с учетом геофизических факторов.

Для достижения поставленных целей, на основе спектрального анализа была осуществлена оценка влияния приливных сил на процессы и явления, протекающие в атмосфере (рис. 3).

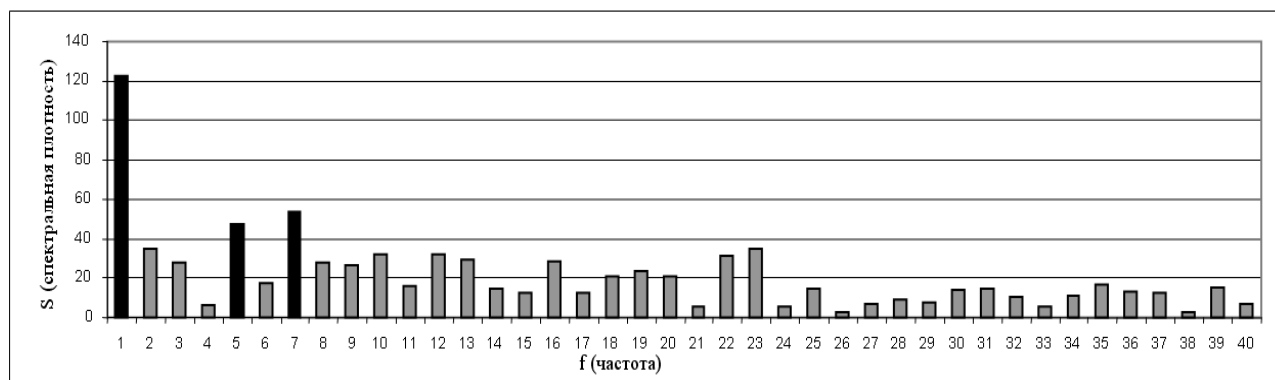


Рис. 3. Спектр вариаций геопотенциала ОТ300/1000 за теплый период 2004 г.

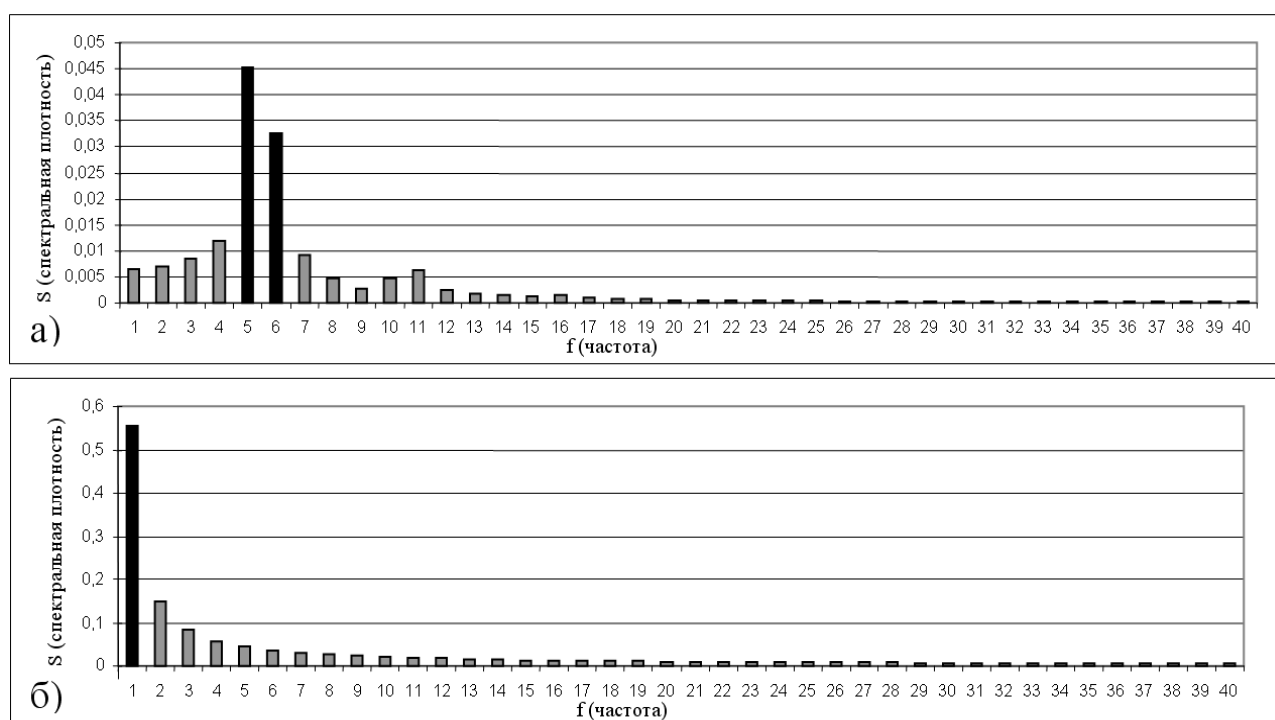


Рис. 4. Спектры вариаций расстояния от Земли до Луны (а) и от Земли до Солнца (б) за теплый период 2004 г.

Полученные результаты в целом согласуются с представленными в работе [5] спектрами вариаций гидрометеорологических параметров в диапазоне периодов от 7 дней до 12 месяцев, которые соответствуют субгармоникам и гармоникам вращения Луны вокруг Земли (5-я и 7-я гармоники на рисунке 4а) и частоте вращения Земли вокруг Солнца (1-я гармоника, рис. 4б).

В таблице 3 представлены значения периодов колебаний наиболее выраженных гармоник из приведенных на рисунках 3 и 4 спектров.

Таблица 3.
Значения периодов основных гармоник спектров метеопараметров

№ гармоники	1	5	6	7	10	12	23
Период, сут.	153,0	30,6	25,5	21,9	15,3	12,8	6,7

Очевидно, что статистически определенные по многолетней выборке пороговые значения прогностических методов (например, коэффициент Вайтинга) не учитывают вышеописанных вариаций метеозаэментов и снижают оправдываемость прогнозов.

В ходе исследования был разработан модифицированный метод прогноза гроз (на основе классического метода Вайтинга [3]), а также три нейросетевых метода прогноза гроз учитывающие взаимное расположение объектов в системе Земля-Луна-Солнце и проведен численный эксперимент, позволяющий оценить эффективность этих методов.

В табл. 4 представлены результаты проведения численного эксперимента с использованием классического метода Вайтинга (*B6*) с 6-ю метеорологическими параметрами, модифицированного метода Вайтинга (*MB7*) с дополнительным 7-м комплексным геофизическим параметром [4], и трех нейросетевых методов прогноза гроз — двух перцептронов и специализированной нейросети с 6-ю и 51-м метеопараметрами (соответственно *П6*, *П51* и *НС51*) [6].

Анализ успешности методов *B6* и *MB7* представленных в табл. 4 показывает, что общая оправдываемость (*U*) модифицированного метода прогноза гроз по сравнению с классическим методом Вайтинга повысилась на 2,6%. По критериям точности Обухова (*Q*), надежности Багрова (*H*) и качественному коэффициенту корреляции (*R_к*) также имеет место улучшение показателей на 6–7%.

Анализ результатов, полученных на контрольной выборке, подтверждает успешность модифицированного метода прогноза гроз *MB7*, который имеет достаточно стабильные показатели, т.е. расхождение с обучающей выборкой составляет не более 1,5%, а по критериям точности, надежности и качественному коэффициенту корреляции — на 4–5% успешнее классического метода Вайтинга. При этом качество прогнозов с использованием модифицированного метода *MB7* приближается к нейросетевым, а по ряду параметров (*Q*, *H* и *R_к*) даже превосходит перцептронные методы более чем на 2,5%.

Таблица 4.
Показатели успешности методов прогноза гроз

Выборка	Критерии	Методы прогноза				
		<i>B6</i>	<i>MB7</i>	<i>П6</i>	<i>П51</i>	<i>НС51</i>
Обучающая	<i>U</i>	0,778	0,797	0,800	0,856	0,863
	<i>H</i>	0,376	0,454	0,461	0,576	0,622
	<i>Q</i>	0,341	0,429	0,441	0,543	0,628
	<i>R_к</i>	0,385	0,458	0,460	0,580	0,622
Контрольная	<i>U</i>	0,802	0,811	0,821	0,811	0,840
	<i>H</i>	0,388	0,428	0,403	0,180	0,470
	<i>Q</i>	0,410	0,460	0,395	0,161	0,554
	<i>R_к</i>	0,390	0,430	0,403	0,182	0,481

Таким образом, полученные результаты доказывают зависимость оправдываемости прогнозов гроз от геофизических факторов и показывают перспективность использования предложенной методики учета геофизических факторов для разработки новых методов прогноза опасных явлений погоды. Однако введение в нейросетевые методы прогноза гроз расчетных параметров, характеризующих взаимное расположение планет в системе Земля-Луна-Солнце, не только не приводит к повышению качества прогнозов гроз, но в некоторых экспериментах наоборот наблюдается снижение показателей успешности. Данный факт подтверждает известную способность нейронных сетей к когнитивному восприятию информации и выявлению скрытых связей в исходных коррелированных данных. То есть, нейросеть, в силу специфики её построения и способа обработки информации, уже на стадии обучения выявляет непосредственно в исходных данных взаимосвязь вариаций комплекса метеорологических параметров с циклическими процессами в системе Земля-Луна-Солнце. При этом в отличие от физико-статистических методов, использование в нейросетевых краткосрочных методах прогнозов опасных явлений погоды дополнительных расчетных геофизических параметров вносит шум в исходные данные, и приводит к снижению качества прогнозов гроз с использованием этих методов.

В ходе исследования были решены все поставленные задачи.

1. Разработана методика учета геофизических факторов при создании новых и уточнении существующих методов прогноза опасных явлений погоды.
2. Построен автоматизированный алгоритм прогноза гроз с учетом геофизических факторов.
3. Метод прогноза гроз с учетом геофизических факторов апробирован на основе созданной объединенной архивной выборки гидрометеорологических и астрометрических данных за 2004-2007 годы.
4. Показана зависимость общей оправдываемости прогнозов гроз от геофизических факторов и перспективность использования предложенной методики для разработки новых методов прогноза опасных явлений погоды.

Полученные результаты показывают перспективность использования предложенной методики для разработки новых методов прогноза опасных явлений погоды.

ACCOUNTING METHOD GEOPHYSICAL FACTORS IN DEVELOPING NUMERICAL METHODS OF WEATHER FORECASTS

S.N. Andreev, Ya.V. Petrosyan

Paper is devoted to the development of methods to improve the quality of weather forecast on the basis of excluding the influence of geophysical factors.

KEYWORDS: QUALITY OF WEATHER FORECAST, INFLUENCE OF GEOPHYSICAL FACTORS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. СПб., 2002. 144 с.
2. Сурдин В.Г. Пятая сила. М.: МЦНМО, 2002. 264 с.
3. Скирда И.А., Садовский В.И., Мозиков В.А., Авиационные прогнозы погоды. — М.: Военное издательство, 1995 — 316 с.
4. Ценных А.А., Андреев С.Н. Анализ влияния геофизических факторов на возникновение опасных явлений погоды. // Обеспечение безопасности в чрезвычайных ситуациях: Материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: ВГТУ, 2009. Ч.1. С. 160–164.
5. Chung J.Y., Ivanova K.V., Ivanov V.V., The variations of the air pressure, air temperature and sea level caused by the motion of the Moon and the planets. 1996 // Abstracts of the 1996 Spring Meeting at PUSAN // The Korean Society of oceanography. Pusan. P. 29.
6. Андреев С.Н. Построение нейросетевой системы прогнозирования термогидродинамических процессов (явлений) в атмосфере. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2007. — № 9. — С. 293–315.