

В.М. Хан, Р.М. Вильфанд, Д.Б. Киктев

МЕТОД ПРОГНОЗА НА МЕСЯЦ ПОКАЗАТЕЛЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ГРАДАЦИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ (В ПОЖАРООПАСНЫЙ СЕЗОН)

Введение

Прогнозы пожарной опасности (ПО) на краткие сроки составляются в ФГБУ «Гидрометцентр России» на протяжении многих лет, однако на сроки месяц и более в Росгидромете такие прогнозы до настоящего времени не составлялись по причине отсутствия метода и реализующей его технологии. Со стороны отдельных социально-экономических секторов проявляется большая заинтересованность в получении прогностической информации об уровне риска возникновения лесных пожаров, связанных с метеоусловиями, во временных масштабах месяц–сезон. Такого рода прогнозы востребованы для более эффективного планирования и осуществления комплекса мероприятий, связанных с предотвращением и ликвидацией лесных пожаров и чрезвычайных ситуаций. Принимая во внимание потребность в регулярном обеспечении долгосрочной прогностической информацией о пожарной опасности подразделений Федерального агентства лесного хозяйства и МЧС, в ФГБУ «Гидрометцентр России» впервые разработан метод прогноза показателя пожарной опасности (ППО) в градациях относительно климатического распределения на месяц по территории России.

Метод прогноза

Метод прогноза показателя пожарной опасности в лесах по территории России на месяц в пожароопасный сезон основан на использовании расчетного индекса Нестерова, выходных данных

гидродинамических сезонных прогнозов и климатической информации. Температура воздуха у Земли и осадки с суточным разрешением, входящие в расчетную формулу индекса Нестерова, рассчитываются по ансамблевым сезонным прогнозам по моделям ПЛАВ (ФГБУ «Гидрометцентр России», Толстых и др., 2010) и CFS (Климатический прогностический центр США, Saha и др., 2014). Данные ансамблевых полей имеют по 20 реализаций для модели ПЛАВ и 28 – для модели CFS. Предварительная обработка входной информации связана с раскодировкой, форматированием, осреднением данных по всем членам ансамбля и отбором узлов сетки, ближайших к географическим координатам станций, для которых составляется прогноз ППО. Блок-схема технологической линии выпуска прогнозов ППО на месяц представлена на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема технологической линии выпуска прогнозов ППО на месяц.

Для повышения надежности прогностических данных в методе предусмотрена ассимиляция среднесрочных прогнозов ППО на декаду с суточным разрешением, которые в оперативном режиме составляются под руководством П.П. Васильева в Отделе среднесрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России по 1335 станциям на территории России [1]. Прогностические суточные значения ППО осреднялись за каждый месяц пожароопасного сезона. Вместо традиционной шкалы пожароопасности, состоящей из пяти классов, в данном методе было предложено прогноз пожарной опасности на месяц рассматривать в терминах градаций «выше нормы», «норма» и «ниже нормы». Был введен новый термин «Градации пожарной опасности» (ГПО). Прогностическому значению ППО присваивалось «1», если оно попадает в интервал значений градации «ниже нормы», «2» – градации «норма» и «3» – градации «выше нормы».

Пороговые значения градаций вычислялись на базе ежедневных фактических значений ППО по 1335 станциям, расположенных на территории России, за период с 2000 по 2013 год. По частотным распределениям ППО находились значения ППО, соответствующие 33 и 66 % процентилям, для определения интервалов градаций. В отличие от классов пожарной опасности, для определения которых используются фиксированные значения интервалов показателя пожарной опасности, для ГПО пороговые значения определялись для каждой станции в отдельности исходя из характеристик вероятностного распределения ПО на ретроспективной выборке. При расчете ожидаемых градаций пожарной опасности учитывалось климатическое распределение снежного покрова, оцененное по еженедельным спутниковым данным о снежном покрове и протяженности морского льда со спутника NOAA-NESDIS, полученным с помощью радиометра AVHRR в видимом диапазоне. Были отобраны данные в узлах, ближайших к каждой из 1335 наземных станций. По исторической выборке за 20-летний период была оценена вероятность наличия или отсутствия снежного покрова для каждой станции за каждый месяц пожароопасного периода. Прогностической градации пожарной опасности присваивалось значение «2» при вероятности наличия снежного покрова в данном месяце более 50 %.

Основные результаты авторских испытаний метода на ретроспективных прогнозах за период в 6 лет изложены в [5].

Испытание метода

Программа официальных испытаний предложенного метода рассмотрена и одобрена на заседании секции Ученого Совета по метеорологическим прогнозам ФГБУ «Гидрометцентр России» в 2012 г. Советом был утвержден период испытаний: 08.2012 – 07.2014 гг.

Расчет прогнозов пожарной опасности в испытательный период осуществлялся в отделе долгосрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России. Прогноз составлялся на месяц в течение всего пожароопасного сезона с апреля по октябрь. Срок выдачи прогноза – 28 число месяца, предшествующего прогнозируемому. Прогнозы составлялись по 1335 пунктам, расположенным на территории Российской Федерации. Качество прогнозов оценивалось посредством сравнения прогнозистических и фактических градаций пожарной опасности.

Суточные фактические значения показателя пожарной опасности для 1335 пунктов на территории России рассчитывались в оперативном режиме в отделе среднесрочных прогнозов погоды Гидрометцентра России на основе данных ежедневных срочных наблюдений, получаемых в коде «SYNOP». Осредненные за месяц значения ППО переводились в термины градаций пожарной опасности.

Способ оценки качества прогнозов

Спрогнозированные и фактические градации среднемесячных значений пожарной опасности оценивались по рекомендованным методическим указаниям по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды [2] в применении к оценке прогнозов не классов, а градаций показателя пожарной опасности. Если фактическая градация ПО совпадала с прогнозируемой, прогноз в данной точке оценивался как 100 %. В случае расхождения на один смежный класс прогнозу присваивалась оценка 50 %. В случае предсказания градации противоположной наблюдавшейся прогнозу присваивалась оценка 0 %. Общая оценка прогноза представляла собой осредненную статистику успешности по всем 1335 станциям, далее именуемая как оценка по Наставлению (Р %).

В дополнение для оценки успешности использовались относительная оперативная характеристика (ROC, ССПО-ДП, 2005), общая оправдываемость (PC) и систематическая ошибка (BIAS) [6]. Таблица сопряженности (табл. 1) и формулы (1)–(3) для расчета сравнительной

оперативной характеристики (ROC) для детерминистских категориальных прогнозов приведены ниже.

Таблица 1

	Данные наблюдений			
		Наличие	Отсутствие	
Прогнозы	Наличие	O1	NO1	O1 + NO1
	Отсутствие	O2	NO2	O2 + NO2
		O1 + O2	NO1 + NO2	

Коэффициент совпадений (HR):

$$HR = \frac{O1}{O1 + O2} . \quad (1)$$

Коэффициент ложных тревог (FAR):

$$FAR = \frac{NO1}{NO1 + NO2} . \quad (2)$$

$$ROC = (HR - FAR + 1) / 2 = \frac{O1 NO2 - O2 NO1 + 1}{2(O1 + O2)(NO1 + NO2)} .$$

Результаты испытаний

Перекрестная оценка успешности прогнозов включала сопоставление с тривиальными (климатический или случайный) прогнозами. Общий объем выборки данных равен 20 случаям. Расчеты производились как для трех градаций, так и с учетом только крайних градаций. В табл. 2 представлены оценки успешности по Наставлению. В целом успешность методических прогнозов существенно превышает уровень успешности тривиальных прогнозов. Осредненная величина Р % на 16 % превышает уровень успешности случайных прогнозов. Наиболее «удачными» месяцами с точки зрения предсказуемости являются апрель и октябрь. Этот факт легко объясним, поскольку над большей частью территории России велика вероятность присутствия снежного покрова, что заранее предсказуемо. Наименее же успешные оценки характерны для июля и августа.

Таблица 2

Оценки успешности прогнозов (Р %)

Год	Месяц	Р %, методический прогноз	Р %, тривиальный прогноз
2012	5	77	64
	6	69	61
	7	70	58
	8	74	58
	9	79	59
	10	85	59
2013	4	92	62
	5	80	64
	6	70	61
	7	76	58
	8	76	59
	9	70	59
	10	89	59
2014	4	84	63
	5	72	62
	6	72	59
	7	71	58
	8	67	58
	9	71	57
	10	80	58

В табл. 3. представлены оценки успешности прогнозов (Р %) применительно к крайним градациям ПО. Результаты демонстрируют стабильное превышение, за исключением отдельных случаев (сентябрь 2013 г. и август 2014 г. для градации «ниже нормы», апрель и май 2014 г. для градации «выше нормы»), оправдываемости методических прогнозов по отношению к тривиальным. Под тривиальным прогнозом в конкретном случае подразумевается климатический прогноз, уровень успешности которого составляет 50 %. В целом в случае прогнозирования крайних градаций пожарной опасности качество методических прогнозов выше климатического прогноза на 6,1 % (градация «ниже нормы»), на 6,6 % (градация «выше нормы»).

Оценки успешности прогнозов (Р %) применительно к крайним градациям ПО

Год	Месяц	Градация «ниже нормы»		Градация «выше нормы»	
		Р %, методический прогноз	Р %, тривиальный прогноз	Р %, методический прогноз	Р %, тривиальный прогноз
2012	5	59	50	51	54
	6	64	54	57	50
	7	81	50	51	49
	8	50	49	57	50
	9	61	50	63	51
	10	70	51	54	51
2013	4	50	51	66	50
	5	53	50	53	50
	6	73	50	51	46
	7	50	46	60	53
	8	58	53	62	51
	9	15	51	78	50
	10	60	50	62	50
2014	4	50	50	48	49
	5	59	49	47	47
	6	62	47	54	48
	7	52	48	54	51
	8	34	51	54	50
	9	55	50	53	52
	10	67	52	58	50
Среднее		56,15	50,1	56,65	50,1

Расчетные показатели по сравнительной оперативной характеристике ROC приведены в табл. 4.

Обобщенные оценки ROC составили для градации «ниже нормы» (BN) 0,56, «около нормы» (NN) – 0,53, «ниже нормы» (AN) – 0,55. Расчетные оценки ROC превысили пороговое значение 0,5 (уровень успешности тривиального случайного прогноза), что указывает на наличие прогностической полезности прогнозов.

Оценки успешности прогнозов по ROC

Год	Месяц	ROC BN	ROC NN	ROC AN
2012	5	0,56	0,51	0,52
	6	0,53	0,47	0,59
	7	0,73	0,50	0,55
	8	0,51	0,49	0,53
	9	0,62	0,56	0,57
	10	0,65	0,59	0,58
2013	4	0,50	0,53	0,64
	5	0,52	0,48	0,51
	6	0,68	0,51	0,53
	7	0,50	0,52	0,55
	8	0,55	0,53	0,60
	9	0,50	0,63	0,56
	10	0,58	0,59	0,62
2014	4	0,49	0,54	0,52
	5	0,52	0,49	0,50
	6	0,58	0,53	0,56
	7	0,54	0,51	0,52
	8	0,47	0,53	0,52
	9	0,52	0,51	0,53
	10	0,62	0,57	0,59

По данным табл. 5 можно оценить систематическую смещенность прогностических градаций по отношению к фактическим. В идеальном случае, когда количество прогностических и фактических градаций совпадает на 100 %, BIAS равен 1. В методических прогнозах отмечена небольшая смещенность в сторону более частого прогнозирования градации «норма» в ущерб прогностической градации «выше нормы».

Информация об общей оправдываемости прогнозов за весь период испытаний приводится в табл. 6.

Таблица 5

Оценки успешности прогнозов по BIAS

Год	Месяц	BIAS BN	BIAS NN	BIAS AN
2012	5	2,75	1,23	0,26
	6	7,94	1,31	0,28
	7	5,06	1,45	0,17
	8	3,31	1,31	0,41
	9	0,86	1,54	0,39
	10	1,60	1,17	0,21
2013	4	0,11	1,10	0,97
	5	0,31	1,43	0,23
	6	5,40	1,75	0,13
	7	2,45	1,37	0,42
	8	2,41	1,33	0,42
	9	0,06	0,95	1,52
	10	0,79	1,15	0,30
2014	4	0,56	1,37	0,04
	5	3,89	1,39	0,18
	6	3,81	1,61	0,20
	7	0,76	1,79	0,27
	8	3,07	1,71	0,34
	9	2,77	1,81	0,17
	10	1,34	1,24	0,35

Таблица 6

Общая оправдываемость прогнозов РС

Год	Месяц	РС	Год	Месяц	РС	Год	Месяц	РС
2012	5	0,57	2013	4	0,84	2014	4	0,71
	6	0,43		5	0,59		5	0,49
	7	0,46		6	0,44		6	0,48
	8	0,50		7	0,53		7	0,45
	9	0,57		8	0,53		8	0,42
	10	0,71		9	0,52		9	0,45
				10	0,78		10	0,61

Как и в случае с оценками по Наставлению, предсказуемость по РС выше в начале и конце пожароопасного периода. Наиболее скромные оценки качества по РС относятся к летним месяцам. Средняя по всей выборке общая оправдываемость составляет 0,55. Для тривиального прогноза (случайного) она равна 0,33.

Выводы

Метод прогноза пожарной опасности лесов на месяц по территории России разработан впервые. Оценки успешности демонстрируют качество устойчиво выше случайного прогноза и климатического прогноза (в случае прогнозирования крайних градаций ПО). Результаты испытаний метода рассматривались и обсуждались на заседании секции Ученого совета по метеорологическим прогнозам 27 ноября 2014 г. Секция Ученого совета по результатам оценок рекомендовала метод к внедрению в качестве консультативного.

Прогнозы, составляемые по данному методу, имеют значимую практическую ценность для повышения эффективности планирования и решения задач отдельных социально-экономических секторов, в частности подразделений лесного хозяйства.

Обсудив методические основы и рассмотрев результаты проведенных испытаний метода, Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам Росгидромета (ЦМКП) в своем решении от 4 декабря 2014 г. одобрила работу ФГБУ «Гидрометцентр России» по созданию метода, позволяющего прогнозировать показатель пожарной опасности (ППО) в градациях на месяц по территории России в пожароопасный сезон.

ЦМКП сочла необходимым:

1. Рекомендовать метод прогнозирования пожарной опасности в лесах на территории России на месяц (в пожароопасный сезон) к внедрению в качестве консультативного метода.
2. Рекомендовать авторам продолжить работы по усовершенствованию метода прогнозирования пожарной опасности на территории России на месяц, сезон.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность профессору П.П. Васильеву за ценные методические консультации и постоянную поддержку при выполнении данной работы.

Список литературы

1. *Васильев П.П., Васильева Е.Л.* Система статистической интерпретации выходной продукции гидродинамических моделей для среднесрочного прогноза погоды // 70 лет Гидрометцентра России. – СПб: Гидрометеоздат, 1999. – С. 118–133.

2. *Кац А.Л., Гусев В.А., Шабунина Т.А.* Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды. – М.: Гидрометеоздат, 1975. – 15 с.

3. Стандартная система проверки оправдываемости (ССПО) долгосрочных прогнозов (ДП). – Швейцария. Женева: Секретариат ВМО, 2005. – 173 с.

4. *Толстых М.А., Киктев Д.Б., Зарипов Р.Б., Зайченко М.Ю., Шашкин В.В.* Воспроизведение сезонной атмосферной циркуляции модифицированной полулагранжевой моделью атмосферы // Известия РАН. ФАО. – 2010. – Т. 46. № 2. – С. 149–160.

5. *Хан В.М.* Долгосрочное прогнозирование пожарной опасности лесов на основе ансамблевых сезонных прогнозов по модели ПЛАВ // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 8. – С. 5–17.

6. Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science // Editors Jolliffe I.T., Stephenson D.B. – Wiley, 2003. – 240 p.

7. Saha, Suranjana and Coauthors. The NCEP Climate Forecast System Version 2 // J. Climate. – 2014. – Vol. 27. – P. 2185–2208. – doi: <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00823.1>.