

**Среднесрочный прогноз степени пожарной опасности в лесах по  
метеорологическим условиям**

*Информационный сборник №35. Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. М., 2008, с.149-165.*

Лесные пожары остаются одним из самых мощных природных катастрофических явлений. Обеспечению своевременной и эффективной подготовки людей и техники к тушению пожаров во многом способствуют знания ожидаемой степени пожарной опасности с разной заблаговременностью. Почти век человечество занимается разработкой и уточнением критериев, отражающих вероятность возникновения пожаров, однако создать показатель, идеально соответствующий фактически возникающим пожарам, не удается, во-первых, по причине многообразия условий, присущих возникновению огненной стихии, и сочетаний различных факторов, включая антропогенный, во-вторых, из-за недостатка и большой дискретности начальных данных наблюдений различных природных параметров.

Метеорологические условия относятся к одним из главных факторов вероятности возникновения пожаров в природе. Количественным отражением данной вероятности, официально принятым в России, является комплексный показатель пожароопасности (КПО) по метеорологическим условиям [1], разработанный В.Г.Нестеровым еще в сороковые годы прошлого столетия и применяемый на практике до сих пор, в некоторых регионах с небольшими модификациями. Начиная с 1936 года обновляющимися Постановлениями государственного Правительства, Гидрометслужба обязана ежедневно в пожароопасный сезон предоставлять фактический и прогностический (на последующие три дня и месяц) класс пожарной опасности. Переход к разработке в Сибирском региональном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (СибНИГМИ) современного метода

автоматизированного прогноза КПО на сроки 1-5 суток показал, что требуется уточнить расчет и фактического КПО.

На первом этапе исследования была поставлена задача, во-первых, оценить авторское уточнение индекса пожароопасности и, во-вторых, определить степень соответствия некоторых модификаций индекса Нестерова фактической пожарной обстановке на территории Новосибирской области с целью выбора лучшего.

## **1 Анализ фактических показателей пожарной опасности по территории Новосибирской области**

Получить фактические сведения о пожарах можно от наземных и авиационных лесоохранных служб. Однако в последнее десятилетие для решения задач раннего обнаружения лесных пожаров к этим службам контроля все более активно добавляются системы спутникового мониторинга. Особенно актуально использование космического мониторинга в малонаселённых районах Сибири и Дальнего Востока, где традиционные методы наблюдения не эффективны. В Западно-Сибирском региональном центре приема и обработки спутниковой информации (ЗапСибРЦПОД) отрабатываются и уточняются различные алгоритмы обнаружения точек возгорания. Одной из решаемых проблем при этом является отсеечение ложных точек при отражении сигналов от воды, облачности и других подобных объектов. Несмотря на то, что эффективность алгоритмов детектирования пожаров и их верификация до конца не исследованы [8], ценность этой информации доказана на практике оперативных лесоохранных служб.

В предлагаемом анализе в качестве информации о пожарах использованы вероятные точки возгорания, обработанные специалистами из ЗапСибРЦПОДа. Для расчетов КПО привлечены данные стандартных метеорологических наблюдений на 30 станциях Новосибирской области.

Показатель Нестерова (КПО<sub>н</sub>) отражает баланс иссушающих и увлажняющих факторов:

$$\text{КПО}_n = \sum_1^n (T - \tau) * T \quad (1)$$

где T-температура воздуха,  $\tau$ -температура точки росы, n-число дней без осадков.

За факт осадков принимаются любые значения, начиная с 3мм за 24 часа, осадки меньше 3 мм не учитываются. Известно, что дефицит точки росы связан с дефицитом упругости насыщения психрометрической формулой на основании закона Дальтона о скорости испарения и закона охлаждения Ньютона [9]:

$$E - E_\tau = aP(T - \tau) \quad , \quad (2)$$

где E - упругость водяного пара,  $E_\tau$  - максимальная упругость водяного пара при температуре смоченного термометра, P - атмосферное давление, a - психрометрическая постоянная.

В КПО<sub>н</sub> более просто определяемая правая часть этой формулы связывается с температурой воздуха произведением. Такой достаточно грубый учет связи влажности и температуры предложен Нестеровым в эпоху отсутствия компьютерной техники. На самом деле упругость насыщения имеет экспоненциальную зависимость от температуры. В метеорологии давно известны и используются достаточно точные параметрические выражения этой зависимости, например, эмпирическая формула Магнуса [5]:

$$E = E_0 * 10^{\frac{aT}{b+T}} \quad (3)$$

где  $E_0$  (6,1078 мб) - упругость насыщения при температуре  $T_0=273,15$  (°К), a и b - постоянные, определены для поверхностей воды и льда.

В уравнении Клаузиуса-Клапейрона, a и b определены на базе закона сохранения энергии при фазовых переходах:

$$E = E_0 * 10^{\frac{8,61503T}{273,15+T}} \quad (4)$$

Модифицированный индекс Нестерова при этом будет представлять из себя сумму дефицита упругости насыщения, накапливаемую за дни без осадков (< 3мм):

$$КПО_{н1} = \sum_1^n (E_T - E_i) \quad (5)$$

Для перевода суммарного показателя КПО<sub>н1</sub> в принятые классы ПО получены соответствующие градации на опытных данных.

Сравнительные расчеты КПО<sub>н</sub> и КПО<sub>н1</sub> в 2006 году показали полное соответствие обоих индексов в весенне-летний период: различия в среднем по месяцам с мая по сентябрь находились в пределах 1 - 3%. В октябре, когда уже подстилающая поверхность периодически покрывалась снегом, разница в показателях увеличилась до 18%, что говорит о необходимости более тонкого расчета упругости насыщения при переходах температуры воздуха через ноль. В целом за пожароопасный период доказана правомерность использования модифицированного индекса. Этот вывод очень важен при переходе к построению физико-статистической прогностической схемы для классов ПО. Полученные уравнения для дефицита упругости насыщения показали на прогнозе до пяти суток более устойчивый результат, чем использование произведения дефицита точки росы и температуры, поскольку в любом произведении накладываются ошибки определения множителей.

Предложенная Нестеровым эмпирическая формула не до конца удовлетворяет потребителей главным образом из-за достаточно грубого учета осадков. Так, обнуление показателя при разовом выпадении осадков около 3мм после продолжительного бездождного периода не будет отражать сохранившуюся реальную угрозу пожаров, и, наоборот, длительный период с пасмурной погодой и слабыми осадками снижает вероятность возникновения стихии. В связи с этим показатель пожарной опасности (ПО) постоянно подвергается модификациям,

оставляя неизменным саму идею оценки накопленной засушливости. В данной работе для сравнения произведен параллельный расчет еще двух индексов.

Самым распространенным уточнением КПО<sub>н</sub> является корректировка накопленной суммы дефицита влаги коэффициентом, зависящем от количества осадков:

$$\text{КПО}_{\text{н}2} = K_r * \sum_I^n (T - \tau) * T \quad (6)$$

где коэффициент  $K_r$  получен эмпирически для разных градаций осадков [2].

В рекомендациях для лесов Хабаровского края [7] определен уровень значений показателя ПО для его сбрасывания в зависимости от количества выпавших осадков – чем больше значение КПО<sub>н</sub>, тем большее количество осадков требуется для его обнуления. В этой же методике предложен вариант учета скоростей ветра поправочным коэффициентом (КПО<sub>н3</sub>). Расчеты показателя по методике СибНИГМИ –КПО<sub>н1</sub> были сравнены с КПО<sub>н2</sub> и КПО<sub>н3</sub> на пожароопасном сезоне 2006 года (с 23 апреля по 1 октября). Анализ проведен для случаев с наличием спутниковых снимков, всего 112 суток для каждой станции или 3360 случаев в сумме по области.

При детальном рассмотрении испытываемого периода по дням классы КПО<sub>н1</sub> и КПО<sub>н2</sub> различаются преимущественно в пределах одной единицы, а вот комплексный показатель КПО<sub>н3</sub> при достижении больших значений «ждет» выпадения значительных осадков (по замыслу автора), и поэтому отличается от остальных. Это же подтверждает суммарное распределение по классам по всем станциям области (рис. 1а): варианты КПО<sub>н1</sub> и КПО<sub>н2</sub> имеют минимум числа случаев 5 класса ПО, тогда как КПО<sub>н3</sub>-наоборот.

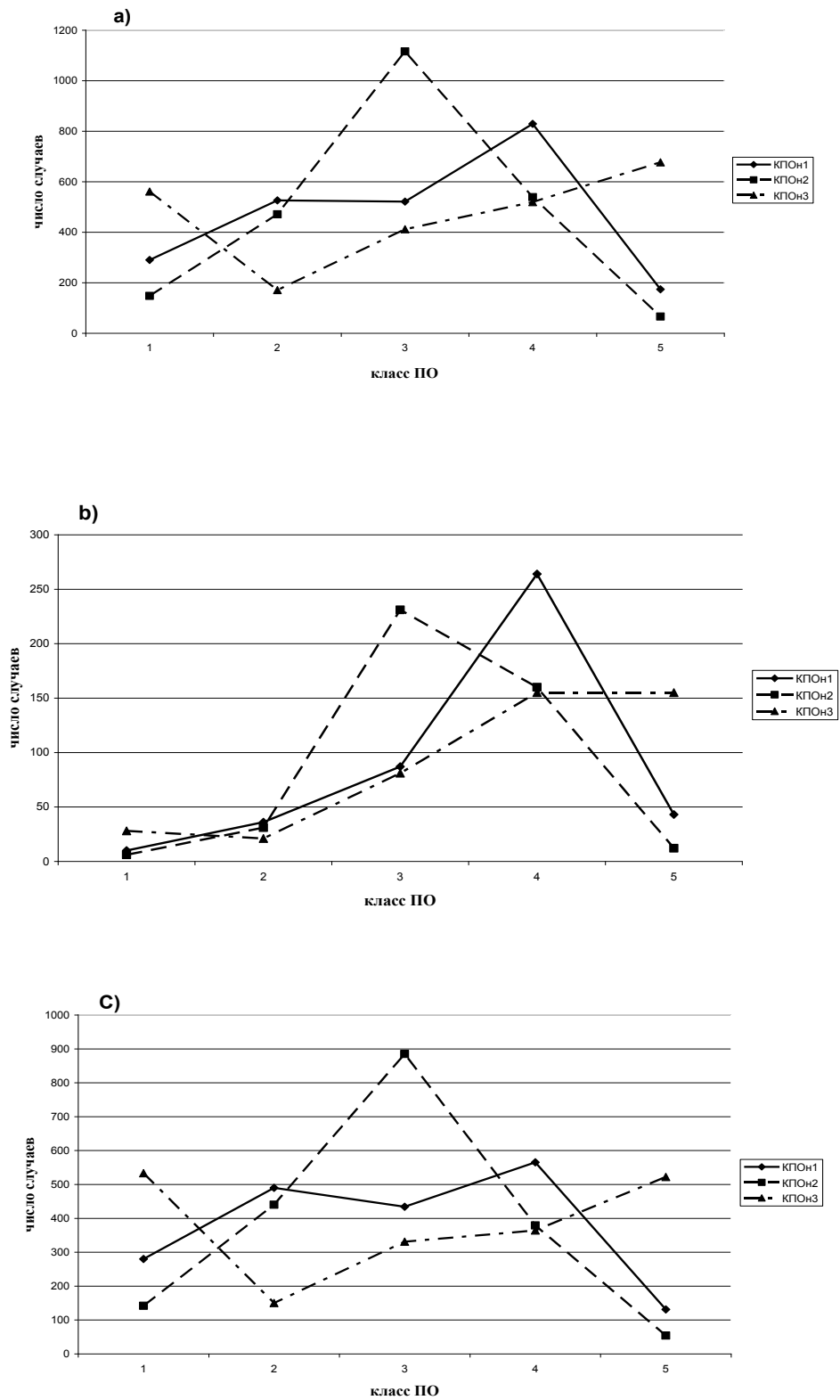


Рис.1. Распределение классов пожарной опасности, определенным по трем вариантам расчетных индексов: **а)** по всем ситуациям, **б)** в случаях с обнаруженными пожарами, **в)** в случаях без обнаруженных пожаров

Рассмотрено распределение числа случаев по классам в ситуациях с отмеченными вероятными точками возгорания (440 случаев) (рис.1b) и в ситуациях с отсутствием пожаров согласно спутниковой информации (1900 случаев) (рис.1с). Поскольку наличие облачного покрова препятствует адекватному распознаванию ситуаций на подстилающей поверхности, дни с облачным покрытием >50% исключены из анализа (1020 случаев).

Положительным моментом является то, что все три варианта лишь в 1,5-8% случаях показывают 1-2 класс при пожарах (таблица 1). Индексы КПО<sub>н1</sub> и КПО<sub>н3</sub> примерно одинаково отражают высокую степень ПО (в сумме 4 и 5 классы) при пожарах, однако КПО<sub>н3</sub> завышает угрозу и в спокойных ситуациях.

Наиболее неудачный показатель пожарной обстановки в лесах Новосибирской области - индекс КПО<sub>н2</sub>, который примерно в 50% случаях показывает среднюю степень ПО как в ситуациях с пожарами, так и без них.

Таким образом, по результатам сравнительного анализа наиболее качественным отражением фактической пожарной обстановки в лесах Новосибирской области является рассчитанный через дефицит упругости насыщения индекс Нестерова. Поскольку перевод его значений в классы пожарной опасности настроен на стандартный КПО, то он соответствует используемому в оперативной практике показателю.

Выводы, полученные в ходе данного исследования, позволили определиться с лучшим показателем пожарной опасности, оценить уточненный вариант его расчета и подойти к разработке прогностического метода.

Таблица 1

**Вероятность (%) классов ПО по разным индексам за период 2006г.  
при анализе ситуаций на территории Новосибирской области**

Класс ПО	По всей выборке			В случаях с пожарами			Без пожаров		
	КПО <sub>н1</sub>	КПО <sub>н2</sub>	КПО <sub>н3</sub>	КПО <sub>н1</sub>	КПО <sub>н2</sub>	КПО <sub>н3</sub>	КПО <sub>н1</sub>	КПО <sub>н2</sub>	КПО <sub>н3</sub>
<b>1</b>	12,4	6,3	24,0	2,3	1,4	6,4	14,7	7,4	28,1
<b>2</b>	22,4	20,1	7,3	8,2	7,1	4,8	25,8	23,2	7,9
<b>3</b>	22,3	47,7	17,6	19,8	52,4	18,4	22,8	46,6	17,4
<b>4</b>	35,4	23,1	22,2	60,0	36,4	35,2	29,7	20,0	19,2
<b>5</b>	7,5	2,8	28,9	9,7	2,7	35,2	7,0	2,8	27,4

## **2 Метод среднесрочного прогноза класса пожарной опасности**

### **2.1 Направление исследования**

В настоящее время оперативные синоптические подразделения составляют прогнозы классов ПО на трое суток и месяц. Однако хорошей методической базы для этих прогнозов до сих пор нет. Поскольку прогнозов температуры точки росы не имеется, то в [6] рекомендуется пользоваться графиком суточного нарастания показателя ПО в зависимости от температуры воздуха, заранее построенного для каждой станции и месяца. Трудоемкость этого метода не компенсируется повышением качества результата. К тому же большой вес имеют ошибки в прогнозах осадков по станциям. Поэтому на практике прогнозист оценивает тенденцию пожарной опасности субъективно, исходя из анализа ожидаемой синоптической ситуации, и выдает прогноз по относительно большой территории, перечисляя при необходимости несколько классов и используя допустимый термин "местами", не уточняя районы.

Растущий объем видов расчетной прогностической продукции и увеличение ее пространственно-временной детализации дают возможность решать задачи прогнозов многофакторных природных явлений. При построении прогностических схем на сроки более двух суток одним из самых эффективных подходов остается физико-статистическая интерпретация гидродинамических моделей атмосферы. При этом для восстановления



метеорологических величин применяется аппарат математической статистики и знания физических процессов. Учет погодных особенностей при различных синоптических процессах позволяет корректнее формировать исходные выборки и уточнять выходные значения метеовеличин. Значительно повышает качество методов предварительная кластеризация исходного объема данных по разным вариантам: сезонная классификация, подбор аналогов, выделение однородных массивов по значениям предиктанта или предикторов.

На базе данного направления в СибНИГМИ разработаны и к настоящему моменту внедрены в оперативную работу Западно-Сибирского Гидрометцентра физико-статистические схемы среднесрочных прогнозов температур воздуха и осадков по районам Новосибирской области, являющиеся базовыми элементами для подсчета комплексного показателя ПО. Неизвестным остается компонент, отражающий накопленный дефицит влаги в атмосфере.

$$\sigma_{\text{ср}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N [q_i(A) - q_i(B)]^2}{\sum_{i=1}^N q_i^2} \quad (7)$$

определяется типом решаемой задачи и поставленной целью.

Существенной характеристикой МГУА является возможность увеличить первоначально ограниченное число коэффициентов модели применением многорядной селекции.

В данном исследовании на первом шаге использован критерий регулярности, на втором - минимума смещения. В качестве критерия регулярности привлечена относительная среднеквадратическая ошибка:

$$\Delta^2(B) = \frac{\sum_{i=1}^{N_B} (q_i^* - q_i)^2}{\sum_{i=1}^{N_B} (q_i)^2} \rightarrow \min \quad (8)$$

где  $q_i$  и  $q_i^*$  - полученное по модели и действительное значение выходной величины в  $i$ -той точке,  $N_B$  - число точек проверочной последовательности.

В исследованиях, посвященных прогнозу или восстановлению тех или иных метеорологических полей, до настоящего времени незаслуженно редко используются индуктивные методы математического моделирования, основанные на принципе самоорганизации моделей по внешним критериям. Классический регрессионный анализ использует для построения единственной модели одну выборку, а вторая только констатирует снижение качества при проверке на независимом материале.

Применение МГУА к метеорологическим данным с целью получения прогностических методов должно дать более надежный результат, чем регрессионный подход.

Потенциальные предикторы должны отражать физическую связь с исследуемым объектом и их значения должны быть известны к началу оперативных расчетов прогнозов.

В настоящее время на достаточно высоком уровне по динамическим уравнениям на 1-5 суток прогнозируются поля приземного давления, геопотенциала на АТ-500 и температуры на АТ-850. Именно эти параметры и их производные в различных формах привлекаются в качестве признаков в физико-статистических схемах.

Базовый архив предиктантов в нашем случае представляет фактические значения дефицита точки росы и расчетного дефицита упругости насыщения водяного пара (по  $T_{\max}$ ,  $T_d(06)$ ,  $T_d(09)$ ) за пятилетний период 2001-2005 гг. За этот же период используются синхронные по времени данные  $P_0$ ,  $H_{500}$ ,  $T_{850}$  и их суточные тенденции в 18 узлах широтно-долготной сетки  $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ , соответствующих территории Новосибирской области. Данные для исходной последовательности взяты из объективных анализов центра Рединг за 00 и 12 ч UTC.

Ранг информативности предикторов меняется преимущественно в зависимости от сезона года и типа синоптического процесса. Для учета сезонных особенностей в режиме атмосферной температуры и влажности обучающие и контрольные выборки построены по трем периодам: апрель-май, июнь-июль-август, сентябрь-октябрь.

На первом шаге генерируются все возможные матрицы ( $N \times M$ ) трех аргументов ( $M$ ) по всем событиям ( $N$ ) для данного ряда селекции. Выборка  $N$  делится на две части:  $N_1$  - обучающая и  $N_2$  - контрольная. При этом случаи в  $N_1$  и  $N_2$  попеременно чередуются из общей выборки и  $N_2 = N/2$  или  $N_2 = N/3$  в зависимости от типа критерия. По обучающей выборке  $N_1$  производится комбинаторный перебор всех частных описаний для данной тройки аргументов (таблица 2).

Отбор частных описаний производится по заданному критерию, рассчитанному по контрольной выборке  $N_2$ . В нашем случае на первом ряду селекции в качестве критерия использована минимальная относительная среднеквадратичная ошибка (8). По результатам первого ряда отбиралось десять лучших решений. С использованием совместно критерия регулярности (8) и оценки смещения (7) выбрано лучшее решение на втором ряду селекции.

Как показали эксперименты, для поставленной задачи достаточно одного-двух рядов селекции, поскольку дальнейшая минимизация ошибки либо не происходит, либо не превышает допустимую точность самих аргументов.

Таким образом, для каждой станции Новосибирской области в каждом выделенном периоде сезона определены уравнения восстановления дефицита точки росы и дефицита упругости водяного пара по данным термобарических полей. Подставляя вместо фактических прогностические значения базовых параметров с разной заблаговременностью, получаем прогноз искомых метеоэлементов. Такой подход, называемый PP (Perfect Prognose), широко используется в прогностических схемах, основанных на интерпретации гидродинамической продукции. До сих пор наиболее надежную гидродинамическую продукцию на сроки до семи суток выпускает Европейский Центр Среднесрочных Прогнозов Погоды (Рединг). Именно их поля приземного давления, геопотенциала на АТ-500 и температуры на АТ-850 являются основными компонентами базовой матрицы.

Типы частных описаний

номер типа	вид уравнения
1	$y_1 = a_1 + a_2x_3$
2	$y_2 = a_1 + a_2x_2$
3	$y_3 = a_1 + a_2x_2 + a_3x_3$
4	$y_4 = a_1 + a_2x_1$
5	$y_5 = a_1 + a_2x_1 + a_3x_3$
6	$y_6 = a_1 + a_2x_1 + a_3x_2$
7	$y_7 = a_1 + a_2x_1 + a_3x_2 + a_4x_3$

### 2.3 Окончательная схема прогноза

Ежедневно в оперативном автоматическом режиме из базовой метеорологической сети производятся выборки :

- прогнозов полей  $H_{500}$ ,  $P_0$ ,  $T_{850}$  и температуры воздуха у земли в коде GRIB на сроки 12-60 ч из центра Эксетер;
- прогнозов полей  $H_{500}$ ,  $P_0$ ,  $T_{850}$  в коде GRIB на сроки 48-144 ч из центра Рединг;
- фактических значений температуры воздуха и температуры точки росы за сроки 06 и 09 UTC предыдущих суток на 30 станциях Новосибирской области;
- фактических сумм осадков на станциях за предыдущий день (12 ч) и исходную ночь (0 ч).

По локальной сети поступают данные прогнозов максимальной температуры воздуха и осадков по 30 станциям Новосибирской области на 1-5 суток, полученные из ЗапСибРВЦ по физико-статистическим схемам СибНИГМИ.

На следующих этапах прогностической схемы для классов ПО производится:

- контроль и возможное восстановление ошибочных или отсутствующих данных;
- расчет исходных значений дефицита точки росы и дефицита упругости насыщения водяного пара;

- расчет суточных тенденций геопотенциала и давления у земли в узлах над территорией области по гидродинамическим данным и заполнение исходной матрицы переменных;
- расчет прогнозов дефицита точки росы и дефицита упругости по уравнениям МГУА для каждой станции;
- вычисление суммарного показателя Нестерова по двум вариантам с учетом осадков и перевод его в выходные классы ПО;
- запись полученных прогнозов классов ПО в файлы для дальнейшей оценки и для отображения результатов в АИС «ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ».

### **3 Результаты авторских испытаний прогнозов классов пожарной опасности**

Прежде, чем оценить прогнозы классов ПО, были получены отдельно прогностические расчеты дефицитов точки росы и дефицитов упругости насыщения по станциям области. Эксперименты показали, что относительные ошибки восстановления дефицита упругости насыщения по коэффициентам МГУА и восстановления дефицита точки росы на независимом материале одного уровня в пределах 0,7-1,8. Значения ошибок имеют слабые вариации в зависимости от заблаговременности, что подтверждает устойчивость полученных уравнений. Наблюдается пространственная изменчивость ошибок: худшие прогнозы на юго-востоке Новосибирской области, лучшие на севере.

Расчеты стандартного  $KPO_H$  и модифицированного  $KPO_H^M$  по разработанному методу проводились с мая по октябрь (кроме августа) 2006 года. Оценка прогнозов осуществлялась ежемесячно согласно указаниям в [6]. При совпадении прогностического и фактического классов ПО оправдываемость равна 100%, при различии на единицу - 50%, в остальных случаях -0%. Оценки рассчитаны для каждой станции Новосибирской области по каждой

заблаговременности прогнозов. В таблице 3 приведена средняя по территории области оправдываемость по двум вариантам.

По результатам видно, что если на первые сутки качество прогнозов по двум вариантам практически одинаково, то, начиная со вторых, преимущество подхода на базе модифицированного индекса растет. Связано это прежде всего с тем, что отдельное определение прогнозов температуры воздуха и дефицита точки росы при подстановке их в формулу Нестерова умножает ошибки.

Менее точные прогнозы классов ПО по модифицированному индексу, наблюдаемые в октябре, обусловлены прежде всего различием в фактической оценке степени пожароопасности из-за разного учета влажности в ситуациях с переходом температуры через ноль.

**В целом определение коэффициентов прогностических уравнений по МГУА дает достаточно устойчивый результат и применимо для прогностических целей до пяти суток вперед.**

Представляет интерес сравнение полученных автоматизированных прогнозов классов ПО с логическими прогнозами синоптиков ГУ Новосибирский ЦГМС-РСМЦ по территории Новосибирской области на 1-3 суток вперед. Для этой цели новые методические прогнозы, детализированные по станциям, были переведены в более общие прогнозы по территории области с использованием терминов, аналогичным синоптическим - "местами" и др..

В данном сравнении преимущество нового подхода заметно уже с первых суток (рис.2).

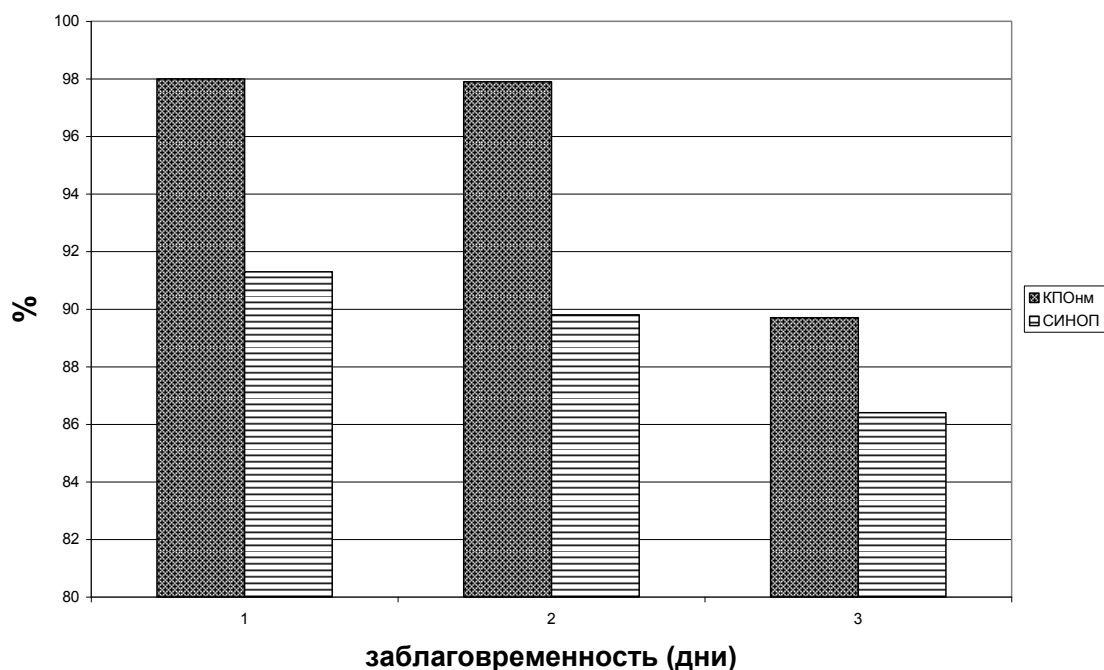


Рис. 2. Средняя оправдываемость прогнозов классов пожарной опасности по новой разработке в сравнении с синоптическими по Новосибирской области в 2006 году.

В дополнение к этому новая разработка СибНИГМИ по прогнозу классов пожарной опасности позволяет увеличить заблаговременность до пяти суток, дает возможность детализировать прогнозы по районам области, полностью автоматизирует получение результатов и доведение их до потребителя в удобной форме путем Гис-технологии «Лесные пожары». Все это позволяет утверждать, что данная работа делает шаг вперед в гидрометеорологическом обслуживании лесоохранных служб.

Таблица 3

**Средняя оправдываемость прогнозов классов ПО по территории Новосибирской области в отдельные месяцы 2006 года**

месяц	вариант	число прогнозов	заблаговременность				
			1 день	2 день	3 день	4 день	5 день
май	КПО <sub>Н</sub>	30	91.6	82.0	75.8	68.2	63.4
	КПО <sub>Н1</sub>	30	92.8	89.1	86.2	80.4	77.1
июнь	КПО <sub>Н</sub>	30	86.9	70.6	60.1	53.8	48.8
	КПО <sub>Н1</sub>	30	88.6	75.7	69.7	63.2	58.6
июль	КПО <sub>Н</sub>	20	84.4	67.1	61.6	58.1	56.7
	КПО <sub>Н1</sub>	20	82.8	71.3	66.2	61.6	60.6
сентябрь	КПО <sub>Н</sub>	11	80.8	64.2	54.8	46.7	38.6
	КПО <sub>Н1</sub>	11	85.2	76.4	70.6	65.3	58.5
октябрь	КПО <sub>Н</sub>	27	92.2	86.5	82.7	80.4	77.7
	КПО <sub>Н1</sub>	27	86.8	73.2	72.5	69.7	63.0
среднее	КПО <sub>Н</sub>	118	87,3	74,1	67.0	61.4	57.0
	КПО <sub>Н1</sub>	118	89.2	77.1	73.0	68.0	63.6



## Литература

1. ГОСТ Р 22.1.09-99. Группа Т58. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.
2. Жданко В.А., Гриценко М.В. Метод анализа лесопожарных сезонов: Практические рекомендации. Л.:ЛНИИЛХ, 1980.
3. Ивахненко А.Г., Коппа Ю.В., Степашко В.С. и др. Справочник по типовым программам моделирования. Киев:Теника, 1980. 184с.
- 4.Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. М.: "Радио и связь", 1987. 120с.
5. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 876с.
6. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды" /Сост.А.Кац, В.А.Гусев, Т.А.Шабунина. М.: Гидрометцентр СССР, 1975. 15 с.
7. Сверлова Л.И. Усовершенствованный метод оценки состояния пожарной опасности в лесах по условиям погоды. Хабаровск: Дальгидромет, 1998. 31с.
8. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы: Аналитический обзор / СО РАН. ИОА. ГПНТБ; ред. В.В.Белов. Сер. Экология. Вып.70. Новосибирск, 2003. 135с.
9. Хромов С.П., Мамонтов Л.И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.