

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведен анализ точности прогнозирования лесных пожаров с помощью используемого в настоящее время индекса Нестерова. Предложено модифицировать прогностический показатель, используя накопленный дефицит точки росы. Рассмотрены различные периоды накопления дефицита точки росы, построены регрессионные зависимости количества и площади лесных пожаров от накопленного дефицита точки росы по различным районам Иркутской области, в которых наблюдалось наибольшее число пожаров в 2015–2016 гг. Для сравнения был проведен также анализ в районе с наименьшей горимостью лесов. Показатель накопленного дефицита точки росы предлагается использовать для принятия управленческих решений по профилактике и тушению лесных пожаров.

Ключевые слова: лесные пожары, индекс Нестерова, прогнозирование, регрессионная зависимость, лесной комплекс.

**E. V. Boldanova,
G. V. Davydova**

METHODICAL APPROACHES FOR FORECASTING FOREST FIRE IN THE IRKUTSK REGION

The article analyzed the accuracy of forecasting forest fires using the Nesterov index currently used. It was proposed to modify the prognostic indicator using the accumulated deficit of the dew point. Different periods of accumulation of the dew point deficit have been considered, regression dependences of the quantity and area of forest fires on the accumulated deficit of the dew point have been constructed in various regions of the Irkutsk region, in which the greatest number of fires occurred in 2015–2016. For comparison, the analysis was also carried out in the area with the least burning forest. The indicator of the accumulated deficit of the dew point is proposed to be used for making managerial decisions on the prevention and suppression of forest fires.

Keywords: forest fires, the Nesterov index, forecasting, regression dependence, forest complex.

Для прогноза пожароопасности в лесах России на практике используется индекс Нестерова, описанный в ГОСТ Р 22.1.09-99 [1; 2]. Расчет данного индекса проводится по всем метеостанциям и представлен на сайте ФГУ «Авиалесоохрана» [3].

Для проверки точности данного индекса были проведены расчеты по районам, прилегающим к Иркутску, за период 2015 г. Сопоставление индекса Нестерова и числа крупных пожаров за пожароопасный период с 1 апреля по 1 октября 2015 г. показало, что связь если есть, то очень слабая, коэффициент корреляции составил 0,51.

Анализ зависимости между индексом Нестерова и площадью крупных пожаров выявил еще более слабую связь, коэффициент корреляции составил 0,45.

Выдвинута гипотеза, что не нужно обнулять индекс в случае осадков, даже если они превышают 2,4 мм за сутки. Если лесные горючие материалы (ЛГМ) высушены до предела, то даже такой дождь существенно не изменит ситуацию с высокой вероятностью возгорания. Поэтому необходим показатель, учитывающий предыдущую обстановку за месяц. Кроме того, индекс Нестерова дважды включает в себя температуру воздуха. Предложено взять только дефицит точки росы.

Индекс Нестерова требует расчета по данным, полученным в 12 часов дня. Такая привязка тоже может быть скорректирована. Предлагается брать значения температуры воздуха и точки росы в 8 утра и в 8 вечера. Таким образом будет описана средняя погода за сутки. Если день был ясным и солнечным, то вечерний дефицит точки росы (разница между температурой воздуха и температурой точки росы) будет больше, по сравнению с пасмурным днем. Если утром наблюдается значительный дефицит точки росы, влажности недостаточно не только в воздухе, но и в почве и прилегающем слое, ЛГМ.

Итак, индекс Нестерова выглядит следующим образом:

$$G = \sum_{i=1}^n T_i d_i, \quad (1)$$

$$d_i = T_i - r_i, \quad (2)$$

где G – индекс Нестерова, $(^{\circ}\text{C})^2 \cdot \text{сут}$; T – температура воздуха на 12 ч дня по местному времени, $^{\circ}\text{C}$; r – точка росы на 12 ч дня по местному времени, $^{\circ}\text{C}$; d – дефицит точки росы; n – число дней после последнего дождя.

Размерность G есть $(^{\circ}\text{C})^2 \cdot \text{сут}$. Суммирование производится по последовательным дням без осадков (осадки менее 2,5 мм за сутки не учитываются) теплой половины года по суткам с положительной температурой. Суммирование начинается в первый сухой день после дождя и производится по n дням до выпадения осадков 2,5 мм за сутки или более [2, с. 269].

Предлагается использовать индекс накопленного дефицита точки росы:

$$d_M = \sum_{i=1}^M (T_i - r_i), \quad (3)$$

где d_M – накопленный дефицит точки росы за M дней, $^{\circ}\text{C}$; T – температура воздуха на 8 и 20 ч дня по местному времени, $^{\circ}\text{C}$; r – точка росы на 8 и 20 ч дня по местному времени, $^{\circ}\text{C}$.

Чтобы выбрать наиболее подходящий период накопления дефицита точки росы, рассмотрим диапазоны 10, 15, 30 и 45 дней. Сопоставим полученные индексы с количеством пожаров и площадью пожаров. Сопоставления приведены в сводной таблице коэффициентов корреляции (табл. 1).

Как мы видим, предлагаемый индекс накопленного дефицита точки росы за более длительные периоды времени (30 и 45 дней) особенно чувствителен к

площади пожара, в то время как более краткосрочные суммы за 10 и 15 дней лучше подходят для описания числа крупных пожаров.

Таблица 1

Таблица парных коэффициентов корреляции по Иркутску

Показатель	Площадь лесного пожара, га	Количество пожаров
Накопленный дефицит точки росы за 10 дней	0,418085	0,574063
Накопленный дефицит точки росы за 15 дней	0,478485	0,586629
Накопленный дефицит точки росы за месяц	0,672429	0,605402
Накопленный дефицит точки росы за 45 дней	0,838579	0,744881
Индекс Нестерова	0,447275	0,513261

Проведем регрессионный анализ для описания этих зависимостей.

Регрессионная модель, описывающая зависимость количества пожаров и накопленного дефицита точки росы за 45 дней, выглядит следующим образом:

$$\text{Количество лесных пожаров} = -9,32 + 0,02 \cdot d_{45}. \quad (4)$$

Данная модель надежна по критерию Фишера ($454,94 > 3,87$), коэффициенты модели надежны по критерию Стьюдента ($13,61 > 1,97$ и $21,33 > 1,97$). Коэффициент детерминации составляет 0,55, что говорит о том, что на 55 % данная модель описывает изменение числа лесных пожаров.

Зависимость площади лесных пожаров (в га) от накопленного дефицита точки росы за 45 дней:

$$\text{Площадь лесных пожаров} = -34724,8 + 82,8 \cdot d_{45}. \quad (5)$$

Данная модель также надежна (критерий Фишера $864,8 > 3,87$), коэффициенты модели тоже надежны (критерий Стьюдента соответственно $17,59 > 1,97$ и $29,4 > 1,97$). Коэффициент детерминации 0,70 показывает, что площадь лесных пожаров на 70 % объясняется влиянием накопленного дефицита точки росы за 45 дней.

Преимущество предлагаемого индекса – накопленного дефицита точки росы за 45 дней – в том, что он не обнуляется в случае осадков и учитывает изменение влажности воздуха за длительный период времени, достаточный для усреднения влажности ЛГМ и воздуха.

Подобный анализ был проведен по другому центру района – Баяндаю. Получены сходные результаты.

Для проверки правильности гипотезы был проведен анализ по Качугскому и Казачинско-Ленскому району за 2016 г. Горимость этих районов в 2016 г. была высокой. Данные о количестве пожаров и площади лесов, пройденной огнем, к сожалению, еще не сверены с данными космического мониторинга, как в случае с данными за 2015 г. Но даже в таких условиях были получены удовлетворительные данные о зависимости индексов и данных о пожарах (табл. 2 и 3). Как видно из приведенных данных, накопленный дефицит точки росы за 10–15 дней хорошо коррелирует с числом лесных пожаров, а аналогичный показатель за более длительный период (45 дней) тесно связан с площадью лесных пожаров.

Таблица 2

Таблица парных коэффициентов корреляции
по Качугу

Показатель	Площадь лес- ного пожара, га	Количество пожаров
Накопленный дефицит точки росы за 10 дней	0,544878	0,589968
Накопленный дефицит точки росы за 15 дней	0,544943	0,579365
Накопленный дефицит точки росы за месяц	0,616829	0,599846
Накопленный дефицит точки росы за 45 дней	0,679643	0,643309
Индекс Нестерова	0,288422	0,307645

Таблица 3

Таблица парных коэффициентов корреляции
по Казачинску

Показатель	Площадь лес- ного пожара, га	Количество пожаров
Накопленный дефицит точки росы за 10 дней	0,641903	0,686983
Накопленный дефицит точки росы за 15 дней	0,650771	0,681059
Накопленный дефицит точки росы за месяц	0,715769	0,664822
Накопленный дефицит точки росы за 45 дней	0,759579	0,669027

Регрессионный анализ по Качугу и Казачинску также дал удовлетворительный результат. Все модели отвечают требованиям надежности модели в целом и надежности коэффициентов в частности. Сводные данные представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Сводные результаты регрессионного анализа зависимости количества
лесных пожаров от накопленного дефицита точки росы

Место и период	Кон- станта	Коэффициент при d_M	Критерии Стьюдента	Критерий Фишера	Множе- ственный R
Иркутск 2015 (45 дней)	-9,32	0,02	13,6 и 21,3	454,94	0,74
Баяндай 2015 (45 дней)	-10,31	0,02	14,7 и 22,2	492,18	0,76
Качуг 2016 (10 дней)	-2,15	0,03	6,1 и 14,1	199,14	0,59
Качуг 2016 (45 дней)	-3,54	0,01	9,0 и 16,2	263,35	0,64
Казачинск 2016 (10 дней)	-2,15	0,03	7,7 и 18,3	333,37	0,68
Казачинск 2016 (45 дней)	-2,94	0,01	8,7 и 17,4	302,23	0,67

Таблица 5

Сводные результаты регрессионного анализа зависимости площади лесных пожаров от накопленного дефицита точки росы

Место и период	Кон- станта	Коэффициент при d_M	Критерии Стьюдента	Критерий Фишера	Множе- ственный R
Иркутск 2015 (45 дней)	–34 724,8	82,80	17,6 и 29,4	864,8	0,84
Баяндай 2015 (45 дней)	–36 508,1	75,35	16,9 и 27,7	766,1	0,82
Качуг 2016 (45 дней)	–22 244,4	49,03	10,9 и 17,9	320,2	0,67
Казачинск 2016 (45 дней)	–21 099,2	55,64	13,3 и 22,6	508,7	0,76

Для справки: табличное значение критерия Фишера при доверительной вероятности 95 % и числе наблюдений 367–375 составляет 3,87, табличное значение критерия Стьюдента – 1,97.

Начало пожаров приходится на апрель, значение накопленной суммы дефицита точки росы за 10 дней более 100 °С, полная ликвидация пожаров наблюдается при значении d_{10} порядка 80 °С.

Если рассматривать значение накопленной суммы дефицита точки росы за 45 дней, то начало пожаров наблюдается при достижении значений порядка 400 °С и выше, окончание пожаров – 300–400 °С.

Значит, пороговое значение для начала возгораний для $d_{10} = 80$ °С, для $d_{45} = 400$ °С.

Проверим это предположение на участке, мало подверженном горению. Таким участком может быть Слюдянское лесничество в части Хамар-Дабана. За 2015–2016 гг. здесь не было отмечено крупных пожаров. Место характеризуется повышенной влажностью. Среднее количество осадков, регистрируемое метеостанцией Хамар-Дабан, составляет порядка 1 300–1 400 мм в год. Сравнительная характеристика рассматриваемых районов представлена в табл. 6.

Таблица 6

Сравнение исследуемых районов по количеству осадков, мм в год

Место расположения метеостанции	2015	2016
Иркутск	387	594
Баяндай	244	272
Качуг	266	216
Казачинск	369	338
Хамар-Дабан	1 352	1 398

Сравним среднее, максимальное и минимальное значения накопленного дефицита точки росы за 10 дней по Хамар-Дабану, Иркутску, Баяндаю, Качугу и Казачинску в 2015 и 2016 гг. за период с 1 апреля по 30 сентября (рис. 1).

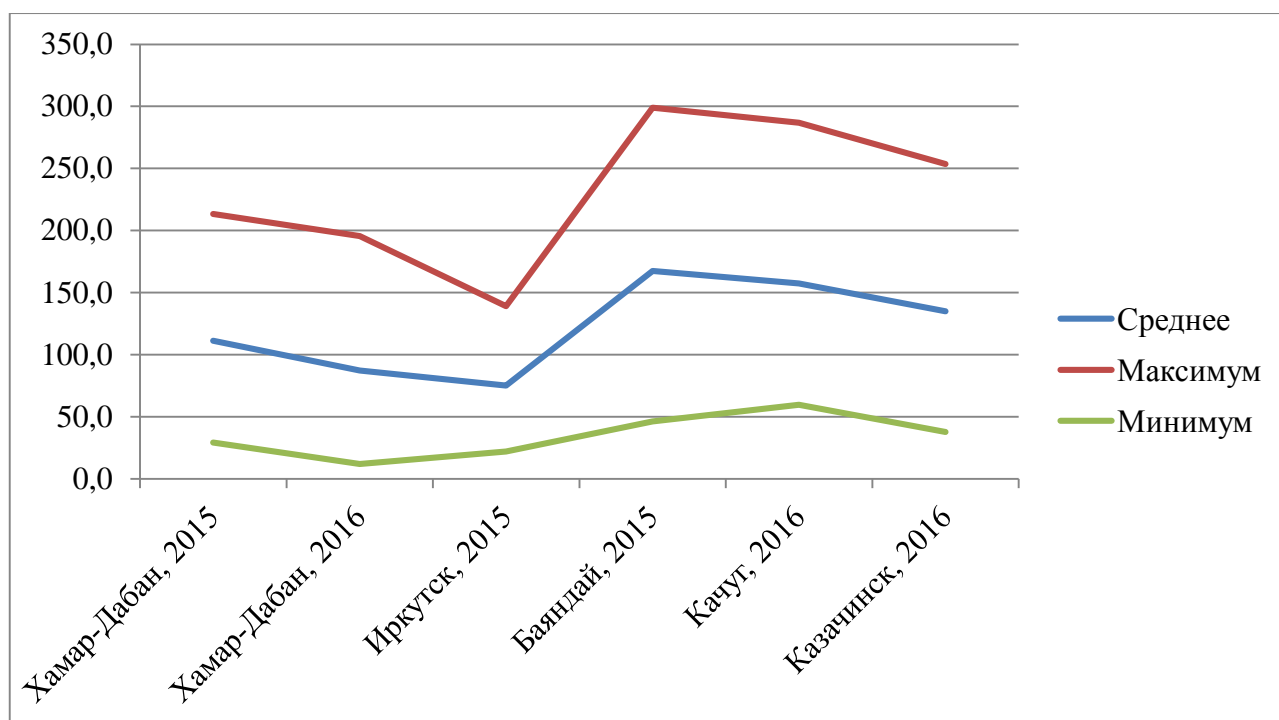


Рис. 1. Сравнение среднего, максимального и минимального значений накопленного дефицита точки росы за 10 дней

Показатели по Баяндаю, Качугу и Казачинску превышают значения по Хамар-Дабану. Иркутск оказался непоказательным.

Сравним аналогичные показатели, рассчитанные за 45 дней (рис. 2).

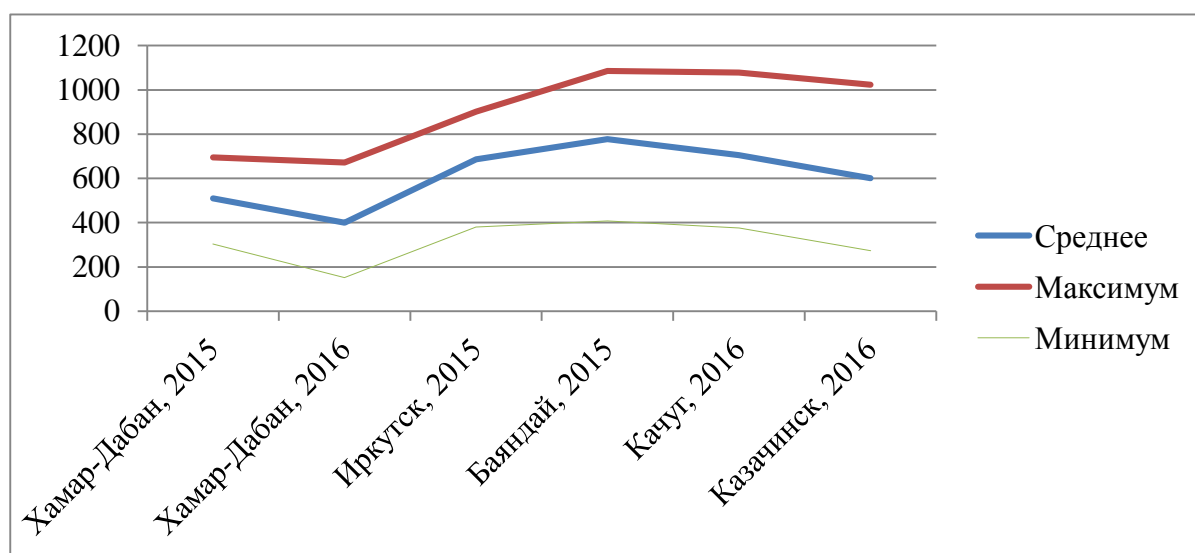


Рис. 2. Сравнение среднего, максимального и минимального значений накопленного дефицита точки росы за 45 дней

На данной диаграмме уже четко видны различия районов. Средние значения по Хамар-Дабану составляют 400–500 °С, в то время как в районах с лесными пожарами этот показатель находится в пределах 600–800 °С. Максимальные значения по Хамар-Дабану около 700 °С, по остальным районам – свыше 900 °С.

Предложенные показатели можно использовать для прогноза степени пожарной опасности в лесах Иркутской области. Повышение точности прогноза пожароопасной обстановки позволит более оптимально использовать бюджетные средства для предупреждения и тушения лесных пожаров.

Список использованной литературы

1. ГОСТ Р 22.1.09-99, 1999. Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. ОКС 13.020, ОКСТУ 0022, дата введения 01.01.2000, 13 с.
2. Семенов С. М. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / С. М. Семенов. – М. : Росгидромет, 2012. – 511 с.
3. ФГУ «Авиалесоохрана» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml.

Информация об авторах

Болданова Елена Владимировна – доцент, кафедра экономики и управления бизнесом, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: boldanova@bk.ru.

Давыдова Галина Васильевна – профессор, кафедра экономики и управления бизнесом, Байкальский государственный университет, г. Иркутск, e-mail: kafles@bgu.ru.

Authors

Boldanova Elena Vladimirovna – assistant professor, Chair of Economy and Management of Business, Baikal State University, Irkutsk, e-mail: boldanova@bk.ru.

Davydova Galina Vasilyevna – professor, Chair of Economy and Management of Business, Baikal State University, Irkutsk, e-mail: kafles@bgu.ru.