

9. *Shiyatov S. G.* Dinamika drevesnoj i kustarnikovej rastitel'nosti v gorah Polyarnogo Urala pod vliyaniem sovremennyh izmenenij klimata. Ekaterinburg: IEHRiZH UrO RAN, 2009. 216 p.
  10. *Shiyatov S.G., Terent'ev M.M., Fomin V.V.* Prostranstvenno-vremennaya dinamika lesotundrovyyh soobshchestv na Polyarnom Urale [Spatio-temporal dynamics of forest-tundra communities in the Polar Urals] // *Экология*. 2005. № 2. Pp. 1–8.
  11. *Evans J.* Compound Topographic Index // <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=11863>, 2003.
  12. *Dahdouh-Guebas F., Koedam N.* Long-term retrospection on mangrove development using transdisciplinary approaches: A review // *Aquatic Botany*. 2008. V. 89. Pp. 80–92.
  13. *Hall F. C.* Ground-Based Photographic Monitoring // General Technical Report PNW-GRT-503 U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station – Portland. 2001. Pp. 1–40.
  14. *Hendrick L.E., Copenheadver C.A.* Using Repeat Landscape Photography to Assess Vegetation Changes in Rural Communities of the Southern Appalachian Mountains in Virginia, USA // *Mountain Research and Development*. 2009. V. 29. № 1. Pp. 21–29.
  15. *Webb R. H., Boyer D. E., Turner R. M.* Repeat photography: methods and applications in the Natural Sciences. Washington, Covelo, London: IslandPress, 2010. 338 p.
- 

УДК 630\*43

А.С. Плотникова<sup>1</sup>, Д.В. Ершов<sup>2</sup>, П.П. Шуляк<sup>3</sup>

#### МЕТОД ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ЗАКОНА ПУАССОНА

**Резюме.** В статье описан метод оценки вероятности возникновения лесных пожаров с использованием закона Пуассона распределения дискретной случайной величины. В качестве параметра ( $\lambda$ ), оценивающего распределение, используется среднее число пожаров в день для каждого класса пожарной опасности в заданный временной интервал. Так, параметр  $\lambda$  вычислялся независимо для весеннего, летнего и осеннего интервалов. Исходными данными для статистического анализа являются многолетние ежедневные данные расчета классов пожарной опасности по условиям погоды и карта очагов пожаров по спутниковым данным. В результате исследования получена база данных значений вероятности возникновения одного и более пожара. Валидация полученных значений вероятности проводилась по данным о пожарах 2013-го года на территории Иркутской области. Была определена ежедневная средневзвешенная оценка вероятности возникновения пожара, которая демонстрирует рост числа детектируемых пожаров по мере увеличения её значений. В тоже время, ряд пожаров возникает в дни с небольшими значениями прогнозируемой вероятности. Выдвинута гипотеза, объясняющая детектирование пожаров при низких значениях вероятности.

---

<sup>1</sup> Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru.

<sup>2</sup> Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: ershov@ifi.rssi.ru.

<sup>3</sup> Федеральное государственное учреждение науки Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук (ЦЭПЛ РАН), 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д.84/32; e-mail: pavel@ifi.rssi.ru.

*Ключевые слова:* вероятность возникновения лесного пожара, закон Пуассона, применение спутниковых данных о пожарах.

**Введение.** В Центре по проблемам экологии и продуктивности лесов (ЦЭПЛ РАН) на протяжении последних лет проводятся исследования и адаптация различных подходов к оценке вероятности возникновения лесных пожаров. Одним из таких исследований было использование в 2011 году детерминированно-вероятностного подхода Томского государственного университета, базирующегося на положениях теории вероятностей и физико-математических моделях сушки и зажигания лесных горючих материалов (Гришин, Фильков, 2005; Кузнецов, Барановский, 2009).

Детерминированно-вероятностный подход учитывает влияние погодных условий, человеческого фактора на возможность возгораний в лесу и вероятность воспламенения лесных горючих материалов вследствие молниевых разрядов. Вероятность возникновения пожара определяют три составляющие – антропогенная, природная и вероятность по метеоусловиям (Барановский и др., 2003).

Для нахождения вероятности пожара по метеоусловиям вместо физико-математической модели сушки лесных горючих материалов, проводилась статистическая оценка предельных значений индексов пожарной опасности, при которых начинают возникать лесные пожары. Этот подход выбран ввиду отсутствия на федеральном уровне фактических данных, позволяющих настроить параметры физико-математической модели для различных лесорастительных условий России (Подольская и др., 2011).

Полученные с помощью модифицированного детерминированно-вероятностного подхода оценки вероятности возникновения пожаров на территорию всей России сравнивались с фактической горимостью лесов в 2010 году. В результате сравнения 73.5% лесных пожаров спрогнозировано с различной степенью вероятности, из которых 48.2% соответствовали вероятности более 0.8. Однако в отдельные дни пожароопасного сезона количество пожаров, для которых не была дана оценка вероятности их возникновения, достигала 40%. Это связано в основном с отсутствием данных по пожарам за предыдущий многолетний период наблюдения.

Следующим исследуемым подходом к оценке вероятности возникновения лесных пожаров стал метод, основанный на использовании закона Пуассона распределения дискретной случайной величины. Изучением вопроса применимости закона Пуассона в исследовании динамики суточного числа лесных пожаров ранее занимался Г.Н. Коровин (Коровин и др., 1984). Его исследования включали выбор множества законов распределения, исходя из следующих соображений. Источники огня в лесу вызывают пожар с некоторой вероятностью независимо друг от друга. При таких условиях число пожаров можно считать распределенным по биномиальному закону. Считая вероятность очень малой, а количество источников огня большим и, пользуясь теоремой о сходимости биномиального закона распределения к пуассоновскому, было получено, что закон Пуассона может быть адекватным для приближения эмпирического распределения. Помимо закона Пуассона были исследованы распределения Пуассона-Линдли и отрицательное биномиальное. Отрицательное биномиальное распределение и распределение Пуассона-Линдли употребляются, когда эмпирическая дисперсия больше эмпирического среднего настолько, что гипотеза об адекватности закона Пуассона отвергается.

Территориальным (или пространственным) уровнем оценки динамики суточного числа лесных пожаров для авиационной охраны рассматривались авиаотделения, для наземной – лесохозяйственные предприятия. По результатам исследований Г.Н. Коровина для выбранного территориального уровня наилучшее приближение дало отрицательное биномиальное распределение, наименее удовлетворительное – распределение Пуассона. Распределение Пуассона-Линдли в большинстве случаев имело лучшее приближение, чем пуассоновское, но худшее, чем отрицательное биномиальное. Распределение Пуассона хорошо аппроксимировало эмпирическое распределение суточного числа пожаров в условиях низкой горимости.

Была исследована возможность оценки вероятности возникновения лесных пожаров по закону Пуассона для внутри сезонного (весна, лето, осень) временного интервала определе-

ния среднего числа пожаров в день. Правдоподобие гипотезы о распределении случайной величины по закону Пуассона было подтверждено нахождением математического ожидания и дисперсии, значения которых оказались близкими (Гмурман, 2003).

Выбор закона Пуассона обусловлен тем, что задача нахождения вероятности возникновения пожаров удовлетворяет всем условиям его применения: число испытаний велико; вероятность появления события в каждом испытании очень мала; события происходят независимо друг от друга; события происходят с постоянной интенсивностью в одинаковых промежутках времени (период оценки) или на одинаковых отрезках пространства (ячейки регулярной сети). Применительно к задаче определения вероятности возникновения пожаров испытанием является день, событием – возникновение пожара.

**Материал и методы исследований.** Была исследована территория Иркутской области, которая располагается в Центральной Сибири и характеризуется разнообразными лесорастительными условиями, наземными и авиационными уровнями охраны лесов от пожаров, а также зонами космического мониторинга (Плотникова и др., 2014).

В качестве объекта исследований выступают очаги лесных пожаров, зарегистрированные спектрометрией MODIS на спутниках TERRA и AQUA за период с 2006 по 2012 годы и содержащиеся в базах данных Информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ Рослесхоз) (Барталев и др., 2010). По каждому пожару доступна информация о географических координатах очага возгорания и дате обнаружения.

Вторым информационным источником исходных данных для проведения исследования являются данные метеонаблюдений (температура воздуха, осадки, и др.) и производные от них классы пожарной опасности по условиям погоды (Нестеров, 1961; Вонский, Жданко, 1976). Временной ряд данных метеонаблюдений со всех метеостанций Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) доступен в ИСДМ с 2006 года. Пространственными единицами оценки вероятности возникновения пожаров рассматриваются ячейки регулярной сети размером  $1^\circ \times 1^\circ$ .

Закон Пуассона является аппроксимацией отрицательного биномиального закона распределения дискретной случайной величины:

$$P_m = \frac{\lambda^m}{m! * e^\lambda}, \quad (1)$$

где  $P_m$  – вероятность возникновения пожаров,  $\lambda$  – параметр распределения Пуассона,  $m$  – число пожаров в день. Параметр распределения  $\lambda$  определяется как среднее число пожаров в день для каждого класса пожарной опасности (КПО). Вычисляется параметр  $\lambda$  в рамках временного интервала оценочного периода путем нахождения отношения числа возникших при определенном КПО пожаров к числу дней того же КПО. Нахождение среднего числа пожаров в день проводится по всем КПО, следовательно, для каждого класса пожарной опасности находится свое значение вероятности возникновения пожаров. Переменная  $m$  моделируется как прогнозируемое число пожаров в день (от нуля до бесконечности). Таким образом, при помощи закона Пуассона вычисляется вероятность возникновения того или иного числа пожаров в день.

Оценка вероятности возникновения лесных пожаров базируется на ретроспективном статистическом анализе многолетних метеорологических наблюдений погоды и спутниковых данных о пожарах. На основе данных о среднесуточной температуре воздуха для каждой ячейки регулярной сети определялись даты начала и конца весеннего, летнего и осеннего периодов. Начало весеннего и конец осеннего периодов определялись устойчивым переходом среднесуточной температуры через отметку  $+5$  градусов Цельсия. Границы между периодами «весна» – «лето» и «лето» – «осень» устанавливались при устойчивом переходе среднесуточной температуры через отметку в  $+10$  градусов.

Метеоданные в ИСДМ-Рослесхоз поставляются по метеостанциям, поэтому сначала были найдены даты периодов для метеостанций. Далее даты границ периодов с метеостанций пространственно интерполировались с целью определения среднего значения для каждой ячейки сети. Ежедневные данные классов пожарной опасности, зафиксированные на метеостанциях, аналогично датам границ периодов интерполировались и находились средние значения КПО на территории ячеек сети.

Подготовка данных по пожарам включала проведение пространственной идентификации очагов пожаров относительно ячеек сети и периодов вегетационного сезона (весна, лето и осень). Для каждого лесного пожара также определялся КПО в день его обнаружения. По всем периодам вегетационного сезона вычислялось число дней и лесных пожаров относительно классов пожарной опасности. На рис. 1 приводится блок-схема подготовки исходных данных и расчета вероятности возникновения пожаров. На основе подготовленных наборов данных рассчитывался параметр  $\lambda$  и вероятность возникновения лесного пожара для каждого класса пожарной опасности.

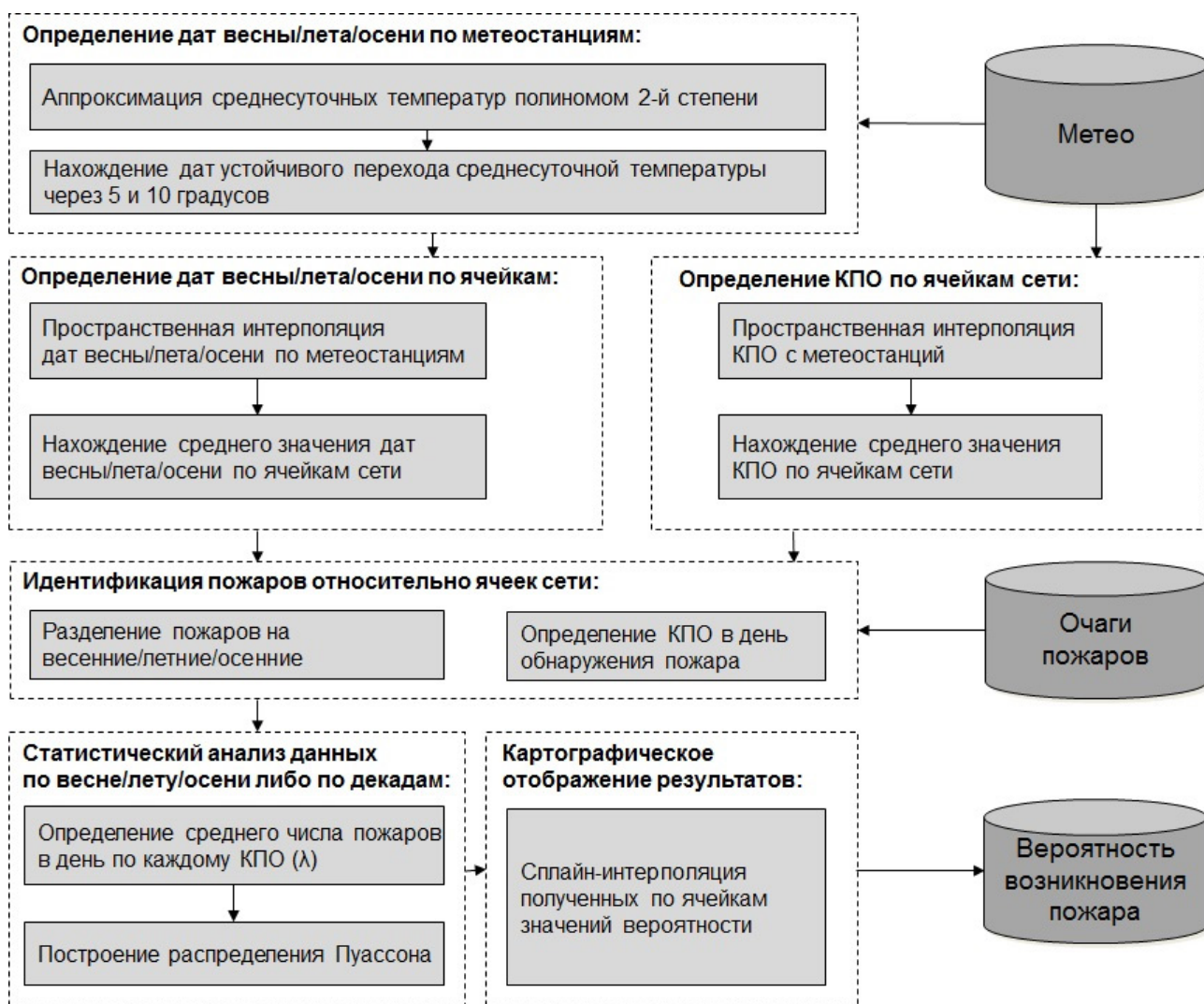


Рис. 1. Блок-схема подготовки исходных данных и расчета вероятности

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате исследования получена база данных значений вероятности одного и более пожара по ячейкам сети для всех классов пожарной опасности. Сравнение полученных значений вероятности проводилась с привлечением детектированных по спутниковым данным пожаров 2013-го года на территории Иркутской области. Каждый пожар был сопоставлен с вероятностью из базы данных в соответствии с днем обнаружения. Дальнейший сравнительный анализ проводился по дням. Была

определена средневзвешенная вероятность возникновения пожара для каждого дня по всем ячейкам регулярной сети Иркутской области.

Рассмотрим один день весеннего периода 2013-го года. Произошедшие в этот день на территории области пожары имеют различные вероятности возникновения. Для определения средневзвешенной оценки вероятности было найдено отношение суммы пожаров за день к сумме произведений числа пожаров на вероятность их возникновения. Результаты расчетов, проведенных по дням весеннего сезона 2013 года, представлены на диаграмме рис. 2. Как видно, по мере роста значений вероятности возникновения пожаров наблюдается увеличение числа их детектирования (Тренд 1). Однако на графике присутствует ряд пожаров, произошедших в дни с небольшими значениями вероятности, формирующих тренд 2.

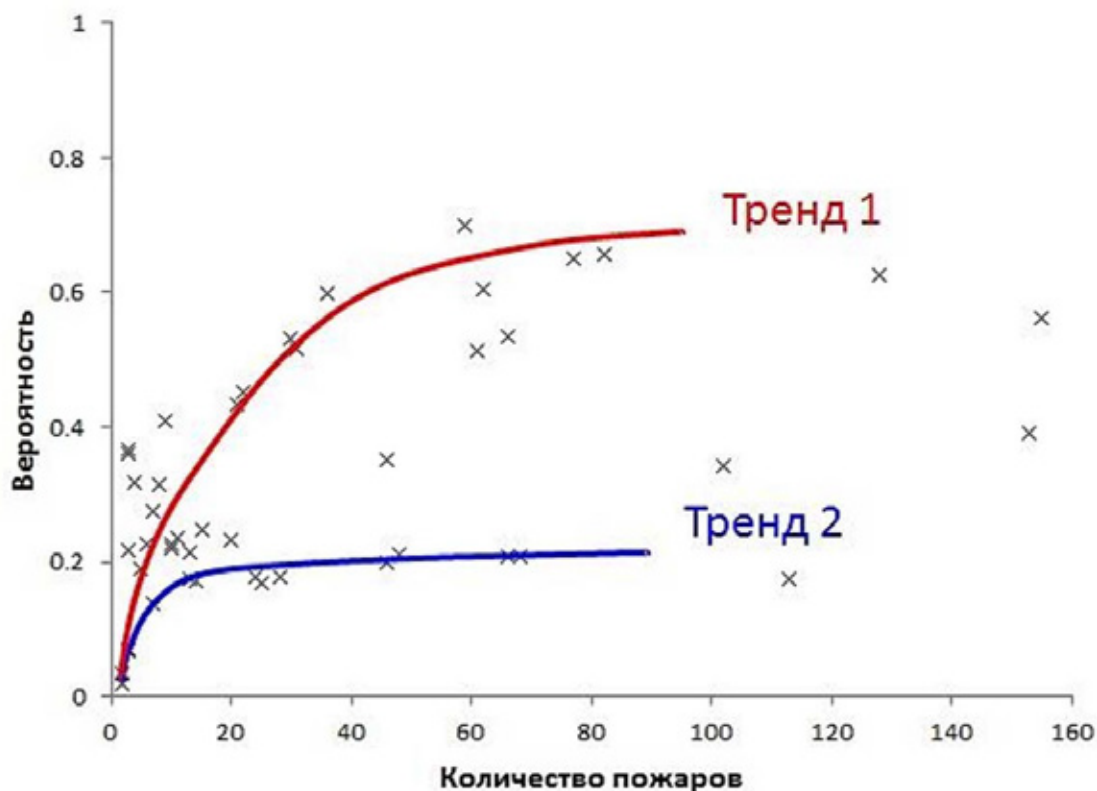


Рис. 2. Зависимость числа пожаров в день от вероятности их обнаружения

**Выводы.** Метод оценки вероятности возникновения пожаров по закону Пуассона может применяться при прогнозировании пожаров на территории Иркутской области. Детектирование пожаров при низких значениях вероятности можно объяснить двумя причинами. Во-первых, недостаточность статистической выборки по пожарам за исследуемый период (2006-2012 гг.). Необходимо расширить анализируемый временной интервал. Во-вторых, при определении размера ячейки регулярной сети не учитывались пожарные режимы территории.

На территорию одной ячейки могли попасть области с различными: антропогенной нагрузкой, классом природной пожарной опасности, а также уровнями охраны лесов от пожаров. Учет пожарных режимов территории при оценке вероятности возникновения пожаров требует дополнительного исследования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барановский Н.В., Гришин А.М., Лоскутникова Т.П. Информационно-прогностическая система определения вероятности возникновения лесных пожаров // Вычислительные технологии. 2003. № 2. С. 16–26.

2. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е.* Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 2. С. 97–105.
3. *Вонский С.М., Жданко В.А.* Принципы разработки метеорологических показателей пожарной опасности в лесу. Методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. 47 с.
4. *Гмурман В.Е.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высш.шк., 2003. 479 с.
5. *Гришин А.М., Фильков А.И.* Прогноз возникновения и распространения лесных пожаров: Монография. Кемерово: Изд-во Практика, 2005. 202 с.
6. *Коровин Г.Н., Покрывайло В.Д., Солодовникова Н.И.* Анализ и моделирование статистической структуры поля горимости лесов, ЛенНИИЛХ, 1984.
7. *Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
8. *Нестеров В.Г.* Вопросы современного лесоводства. М.: Сельхозгиз, 1961.
9. *Плотникова А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П.* Использование закона Пуассона для оценки вероятности возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы международной науч. конф. Красноярск: Сиб.федер. ун-т, 2014. С. 237–241.
10. *Подольская А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П.* Применение метода оценки вероятности возникновения лесных пожаров в ИСДМ-Рослесхоз // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 118–126.

**A.S. Plotnikova<sup>1</sup>, D.V. Ershov<sup>2</sup>, P.P. Shulyak<sup>3</sup>**

#### **METHOD OF FOREST FIRES PROBABILITY ASSESSMENT WITH POISSON LAW**

***Abstract.** The article describes the method for the forest fire burn probability estimation on a base of Poisson distribution. The  $\lambda$  parameter is assumed to be a mean daily number of fires detected for each Forest Fire Danger Index class within specific period of time. Thus,  $\lambda$  was calculated for spring, summer and autumn seasons separately. Multi-annual daily Forest Fire Danger Index values together with EO-derived hot spot map were input data for the statistical analysis. The major result of the study is generation of the database on forest fire burn probability. Results were validated against EO daily data on forest fires detected over Irkutsk oblast in 2013. Daily weighted average probability was shown to be linked with the daily number of detected forest fires. Meanwhile, there was found a number of fires which were developed when estimated probability was low. The possible explanation of this phenomenon was provided.*

**Key words:** risk of forest fire, Poisson law, use of satellite data on fires.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Baranovskiy N.V., Grishin A.M., Loskutnikova T.P.* Informazionno-prognosticheskaya sistema opredelenia veroiatnosti vozniknovenia lesnih pogarov [Information-prediction system of determination of forest fires probability] // Vichislitelnie tehnologii. 2003. № 2. Pp. 16–26.

<sup>1</sup> Center for forest ecology and productivity Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russia, Profsouznaya str., 84/32, Ph.D, researcher; e-mail: alexandra@ifi.rssi.ru.

<sup>2</sup> Center for forest ecology and productivity Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russia, Profsouznaya str., 84/32, Ph.D, Deputy Director; e-mail: ershov@ifi.rssi.ru.

<sup>3</sup> Center for forest ecology and productivity Russian Academy of Sciences, Moscow, 117997, Russia, Profsouznaya str., 84/32, researcher; e-mail: pavel@ifi.rssi.ru.

2. *Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Tshetinski V.E.* Osnovnie vozmozhnosti i struktura informazionnoy sistemy distanzionnogo monitoringa lesnih pogarov Federalnogo agentstva lesnogo hoziaystva (ISDM Rosleshoz) [The main functionalities and structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (SMIS-Rosleshoz)] // *Sovremennye problemy distanzionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2010. T.7. № 2. Pp. 97–105.
  3. *Vonskiy S.M., Gdanko V.A.* Prinziipy razrabotki meteorologicheskikh pokazateley pogarnoy opasnosti v lesu [Development of meteorological fire danger rating in the forest]. *Metodicheskie rekomendazii*. L.: LenNEELH. 1976. 47 p.
  4. *Gmurman V.E.* Teoria veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. M., Vysch.shk., 2003. 479 p.
  5. *Grishin A.M., Filkov A.E.* Prognoz vozniknoveniya i rasprostraneniya lesnix pogarov [The forecast of forest fires occurrence and spread]. Monografiya. Kemerovo: izd-vo Praktika, 2005. 202 p.
  6. *Korovin G.N., Pokryvaylo V.D., Solodovnikova N.E.* Analiz i modelirovaniye statisticheskoy struktury polia gorimosti lesov [Analysis and modeling of the statistical structure of burning forests field]. LenNEELH, 1984.
  7. *Kuznetsov G.V., Baranovskiy N.V.* Prognoz vozniknoveniya lesnix pogarov i ih ekologicheskix posledstiy [Forest fires and their environmental effects occurrence forecast]. Novosibirsk: izd-vo SO RAN, 2009. 301 p.
  8. *Nesterov V.G.* Voprosy sovremennogo lesovodstva [Questions of contemporary forestry]. M.: Selhozgiz. 1961.
  9. *Plotnikova A.S., Ershov D.V., Shulyak P.P.* Ispolzovanie zakona Puassona dlia ozenki veroyatnosti vozniknoveniya lesnih pogarov na territorii Irtutskoy oblasti [Using Poisson law for forest fires probability assessment on the Irkutsk region]. *Regionalnye problemy distanzionnogo zondirovaniya Zemli: materialy megdunarodnoy nauch.konf. Krasnoyarsk: Sib.feder.un-t, 2014. Pp. 237–241.*
  10. *Podolskaya A.S., Ershov D.V., Shulyak P.P.* Primeneniye metoda ozenki veroyatnosti vozniknoveniya lesnih pogarov v ISDM-Rosleshoz [Forest fire occurrence probability assessment: method and approach in Russian remote monitoring information system (ISDM-Rosleskhöz)]. *Sovremennye problemy distanzionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2011. T.8. № 1. Pp. 118–126.
- 

УДК 630\*43(571.621)

**В.А. Глаголев<sup>1</sup>, Р.М. Коган<sup>2</sup>**

## **ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕСЕННЕ-ОСЕННИХ ПОЖАРОВ ТРАВЫ**

***Резюме.** Травяные пожары являются одним из факторов, определяющих экологическое состояние территорий распространения луговой и степной растительности, саван и редколесий. Они также наносят большой вред лесным насаждениям в регионах России, где распространено такое явление, как весеннее и осеннее выжигание травы (сельхозпалы), поскольку являются одним из источников огня, в основном, антропогенного происхождения.*

*В работе описана геоинформационная система прогноза травяных пожаров, которая включает определение временных периодов проведения сельхозпалов; ежедневное определение степени высыхания травяных горючих материалов; расчет ежедневной пожарной опасности по условиям погоды и выделение дней, в которых возможно возникновение пожаров травы по метеорологическим условиям; расчет вероятности возникновения травяных пожаров по природным и антропогенным факторам; ежедневный расчет скорости распро-*

---

<sup>1</sup> Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН; e-mail: glagolev-jar@yandex.ru.

<sup>2</sup> Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН; e-mail: koganrm@mail.ru.