

**В.А. Глаголев, Р.М. Коган**

(Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН;  
e-mail: glagolev-jar@yandex.ru)

## **СИСТЕМА ПОЖАРНОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ ЕВРЕЙСКОЙ АВТОНОМНОЙ ОБЛАСТИ**

*Разработан комплекс лесоохранных мероприятий, включающий схему авиатрулирования лесных участков, ограничение доступа к ним и проведение разъяснительной работы среди населения.*

*Ключевые слова: растительность, пожары, авиатрулирование.*

**V.A. Glagolev, R.M. Kogan**

## **FIRE MONITORING SYSTEM OF FOREST PLOTS OF JEWISH AUTONOMOUS REGION**

*Developed a set of forest protection activities, including a scheme of aircraft patrol of forest plots, restricting access to them and conducting explanatory work among the population.*

*Key words: vegetation, fire, aircraft patrol.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 августа 2015 г.

Анализ лесных пожаров на *Дальнем Востоке России (ДВР)* показывает, что в начале XXI века здесь наблюдается повышенная степень фактической горимости, что во многом обусловлено климатическими, лесорастительными и геоморфологическими особенностями региона. Природная пожарная опасность лесов – одна из самых высоких в России, поскольку более 80 % территории лесного фонда относится к высшим (I-III) классам природной пожарной опасности. Наиболее высокая горимость лесов, согласно данным Федеральной службы государственной статистики (<http://www.gks.ru>), с 1992 г. по 2012 г. на территории ДВР наблюдалась в 1998, 2002 и 2003 гг. Количество пожаров при этом составило 3592, 3282 и 3819 соответственно. Наибольшая пройденная огнем площадь была зафиксирована в 2008 и 2009 гг. (1471 и 1601 *тыс. га.* соответственно).

В *Еврейской автономной области (ЕАО)* также наблюдается положительный тренд количества лесных пожаров и повышенная фактическая горимость как по относительному числу – 2,7 пожаров / 100 *тыс. га.*, так и относительной площади пожаров – 213,6 *га* / 100 *тыс. га.* Высокая горимость может быть следствием расположения подавляющей части лесного фонда вне охраняемой зоны и крайне низкой доступности и степени освоенности некоторых территорий. Поэтому для эффективного лесопожарного мониторинга территории лесного и нелесного фондов все большее значение приобретают методики и модели прогноза пожарной опасности растительности, а также профилактические противопожарные мероприятия, минимизирующие последствия горения растительных горючих материалов.

**Лесопожарный мониторинг** включает следующие этапы:

- оценка и прогноз метеорологической пожарной опасности;
- анализ возникновения и развития лесных пожаров по природно-антропогенным условиям в пределах пожароопасных участков растительности;
- проведение профилактических противопожарных мероприятий.

Под профилактическими противопожарными мероприятиями понимают действия по предупреждению возникновения и распространения пожаров в лесах [9], одними из основных являются **авиапатрулирование** территории лесного фонда, противопожарная **пропаганда** и массово-разъяснительная работа.

Принципы **авиационной охраны лесов от пожаров** заложены в работе Г.Н. Коровина [5], в которой приведены общие характеристики территории лесного фонда Российской Федерации, дан анализ существующих и перспективных технологических схем и режимов их работы, применяемых технических средств и способов борьбы с лесными пожарами.

Согласно нормативным документам [9], маршруты авиапатрулирования должны прокладываться через наиболее пожароопасные лесные массивы, где вероятность возникновения пожаров наиболее высокая, вместе с этим должна быть обеспечена просматриваемость всей обслуживаемой территории. Повышение эффективности авиапатрулирования достигалось использованием статистических и оптимизационных методов. Например, описан метод построения маршрутов авиапатрулирования кварталов лесничеств с учётом пространственного распределения вероятности возникновения пожаров растительности [1], практическое применение которого проверено П.А. Егарминым при тестировании авторской системы детальной оценки пожарной опасности [3]. Также предложена и построена модель процесса противопожарной охраны отдельным авиазвеном на закрепленной за ним территории на основе имитационного моделирования вложенных сетей Петри [10]. Однако, проверка качества построения маршрутов авиапатрулирования на территории лесного фонда в описанных выше работах не рассматривалась.

Противопожарная пропаганда и массово-разъяснительная работа осуществляются в течение всего года, при этом могут быть использованы, например, организация постоянных противопожарных выставок, установка противопожарных агитплакатов, проведение бесед и лекций, выступления в средствах массовой информации и т. д [8, 9]. Практические рекомендации оптимального выбора места и временного периода проведения массово-разъяснительной работы среди населения не разработаны.

Авторами проведена работа по созданию комплекса лесоохранных мероприятий, включающих авиапатрулирование лесных участков растительности, ограничение доступа к ним и проведение массово-разъяснительной работы среди населения (на примере территории Еврейской автономной области).

В этот комплекс входят: расчёт ежедневной и сезонной вероятности возникновения пожаров в зависимости от погодных условий, пирологических характеристик растительности и плотности источников возгорания; разработка схем оптимального ежедневного маршрута авипатрулирования наиболее опасных участков; выделение мест и временного периода проведения массово-разъяснительной работы среди населения.

Материалы для исследования: ежедневные данные о погодных условиях метеорологических интернет-служб, а также статистические сведения о пожарах растительности региональных отделов охраны лесов и государственного контроля и надзора в управлении лесами, авиаотделений и центров космического мониторинга.

Для построения оптимального маршрута авипатрулирования необходимо выполнить следующие этапы:

1. Построить сеть *операционно-территориальных единиц (ОТЕ)* на территории лесного и нелесного фонда.

2. Произвести расчёт фактических ( $P_i$ ) и прогнозных ( $P'_{i+n}$ ) значений комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды в центрах всех ОТЕ.

3. Вычислить в каждом ОТЕ вероятность возникновения пожаров растительности  $F_{i,j}(B)$  на  $i$ -й текущий день и  $n$ -е дни прогноза.

4. Выделить ОТЕ, в которых превышено пороговое значение вероятности возникновения пожаров в данный временной период.

5. Построить маршрут авипатрулирования, в площадь обзора которого попадает максимальное количество пожароопасных ОТЕ.

В качестве сети ОТЕ можно использовать нерегулярную квартальную сеть лесхозов или регулярную сеть участков нелесного фонда.

Расчёт фактических ( $P_i$ ) проводится по методу В.Г. Нестерова и прогнозных ( $P'_{i+n}$ ) – по методу, описанному в работах [2, 4].

Для определения участков растительности, имеющих в данный день высокий лесопожарный риск, использована авторская методика, основанная на детерминировано-вероятностной модели прогноза возникновения пожаров растительности по природно-антропогенным причинам, в которой, в отличие от существующих моделей [7], учтено происхождение источника огня и введено понятие "критическое расстояние" ( $R_{cr}$ ) – минимальное расстояние между исследуемой ОТЕ и населёнными пунктами или железными и автомобильными дорогами, за которым значительно уменьшается количество пожаров:

$$F_{i,j}(B) = \begin{cases} F_{i,j}(C) \left[ (F_{i,j}(N)F_{i,j}(B/N) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)) \right] & \text{при } R_N \leq R_{cr}; \\ F_{i,j}(C) \left[ (F_{i,j}(D)F_{i,j}(B/D) + F_{i,j}(M)F_{i,j}(B/M)) \right] & \text{при } R_N > R_{cr}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $i$  – день расчёта;

$j$  – номер ОТЕ;

$F_{i,j}(B)$  – вероятность возникновения пожаров растительности (событие  $B$ );

$F_{i,j}(C)$  – вероятность возгорания растительности при определённом значении комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды (событие  $C$ );

$F_{i,j}(N)$ ,  $F_{i,j}(D)$  – вероятность возникновения антропогенного источника огня в ОТЕ от ближайших населённых пунктов или железных и автомобильных дорог (события  $N$  и  $D$ );

$F_{i,j}(B/N)$ ,  $F_{i,j}(B/D)$  – вероятность возгорания вследствие возникновения антропогенных источников огня;

$F_{i,j}(M)$ ,  $F_{i,j}(B/M)$  – вероятность возникновения природного источника (событие  $M$ ) и возгорания вследствие его появления;

$R_N$  – расстояние от ОТЕ до ближайшего населённого пункта.

Вероятность возникновения пожара  $F_{i,j}(C)$  в  $j$ -й ОТЕ равна единице, если ежедневный комплексный показатель  $P_i$  в центре ОТЕ превышает значение показателя  $P_{cr}$ , либо вычисляется по формуле:

$$F_{i,j}(C) = \frac{P_i}{P_{cr}}, \quad (2)$$

где  $P_{cr}$  – минимальное значение комплексного показателя пожарной опасности, при котором возможно появление пожаров на данном участке [6].

Вероятность возникновения источников огня  $F_{i,j}(M)$ ,  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$  в  $j$ -й ОТЕ определяется по относительной частоте возникновения молниевых разрядов и возникновения пожаров от антропогенной деятельности жителей ближайших населённых пунктов и прибывших по дорожной сети:

$$F_{i,j}(N) = \frac{QN_R}{Q}, F_{i,j}(D) = \frac{QD_R}{Q}, F_{i,j}(M) = \frac{QM_{i,j}}{Q}, \quad (3)$$

где  $Q$  – количество сезонов за базовый период;

$QN_R$ ,  $QD_R$  – количество сезонов, в которых были зафиксированы пожары, возникшие в пожароопасной зоне в радиусе  $R$  от населённого пункта или дорожной сети;

$QM_{i,j}$  – количество сезонов, в которых наблюдались молниевые разряды.

Вероятность возгорания вследствие возникновения молниевых разрядов либо от населения из близлежащих пунктов или дорожной сети вычисляются следующим образом:

$$F_{i,j}(B/M) = \frac{NMP_{i,j}}{NP}, F_{i,j}(B/N) = \frac{NNP_{i,j}}{NP}, F_{i,j}(B/D) = \frac{NDP_{i,j}}{NP}, \quad (4)$$

где  $F_{i,j}(B/M)$ ,  $F_{i,j}(B/N)$  и  $F_{i,j}(B/D)$  – вероятности возникновения огня от разных источников;

$NMP_{i,j}$ ,  $NNP_{i,j}$ ,  $NDP_{i,j}$  – количество пожаров от молниевых разрядов, антропогенной деятельности жителей населённых пунктов или прибывших по дорожной сети;

$NP$  – общее количество пожаров за базовый период.

Построение маршрутов авиапатрулирования осуществляется в инструментальной геоинформационной системе MapInfo Professional 8.5. Для каждого дня пожароопасного сезона создается векторный слой, в котором авторским модулем, реализованным в среде программирования MapBasic, выполняются поиск и обрисовка контрольных точек облета авиасудна вблизи пожароопасных участков растительности.

Противопожарную пропаганду и массово-разъяснительную работу предлагается регламентировать по значениям вероятности возникновения антропогенных источников огня  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$  и сезонной частоте возникновения пожаров на лесных и нелесных участках. Даты ограничения доступа населения на опасные участки и появление об этом информации в СМИ определяются по пятидневным периодам пожароопасного сезона, во время которых в определённых ОТЕ с наибольшей вероятностью могут возникнуть пожары. Места расположения информационных стендов и определение наиболее опасных населённых пунктов фиксируется по их расположению относительно ОТЕ с высокой вероятностью возникновения лесных и нелесных пожаров.

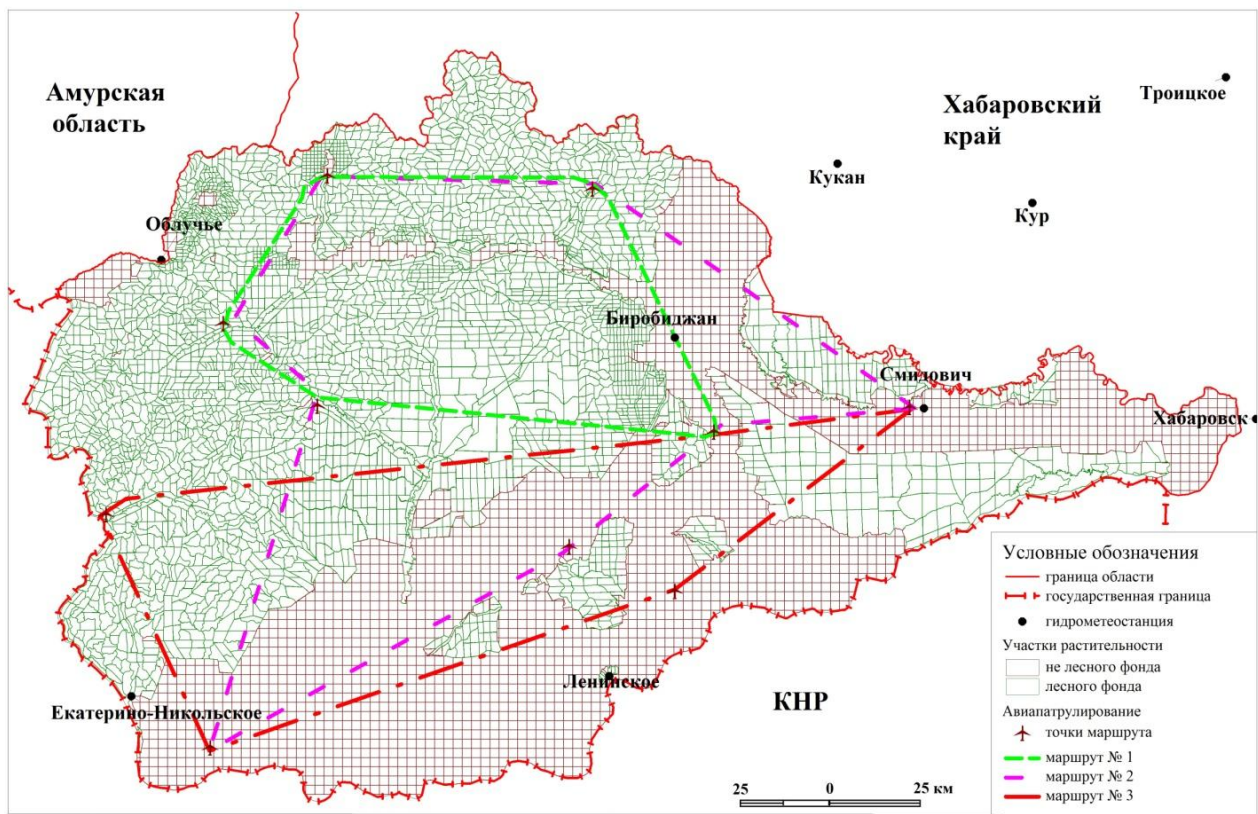
Для тестирования выбран типичный для территории ЕАО пожароопасный сезон 2010 г., когда в лесном фонде было зарегистрировано 116 пожаров, огнём пройдено 16,2 тыс. га, в том числе 3,2 тыс. га – на лесных землях. Анализ фактической горимости 2010 г. показал, что значительная часть пожаров возникла в ОТЕ с преобладанием растительности I и III степени природной пирологической опасности – 33,4 и 38 % соответственно, а наименьшее – с растительностью V степени опасности (0,4 %).

Источниками информации являются фактические и прогнозные данные гидрометеостанций, расположенных в ЕАО ("Биробиджан", "Екатерино-Никольское", "Ленинское", "Облучье" и "Смидович") и в южной части Хабаровского края ("Бичевая", "Кур", "Сутур", "Троицкое", "Кукан", "Хабаровск"). Сведения о пожарах растительности получены по данным "Авиалесоохраны", отдела охраны лесов и государственного контроля и надзора в управлении лесами правительств Хабаровского края и ЕАО.

На территории ЕАО построены две сети ОТЕ. Карта всех ОТЕ вместе с официальной сетью авиапатрулирования, которая зависит от погодных условий, приведена на рис. 1.

Нерегулярная сеть кварталов участковых лесничеств соответствует планам лесоустройства ОГКУ "Лесничество ЕАО", которое разделено на шесть филиалов лесничеств ("Биробиджанский", "Бирский", "Кульдурский", "Облученский", "Ленинский", "Октябрьский"); в них входят 22 участковых лесничества, содержащие 3977 кварталов. Регулярная сеть участков растительности нелесного фонда представлена в виде квадратных ячеек размером 2,5×2,5 км, общее их количество – 2623. Каждому ОТЕ присвоены порядковые номера и определены координаты центров. Степень пирологической устойчивости растительности, преобладающей в каждой ОТЕ, определена в соответствии с работой А.М. Стародумова [6].





**Рис. 1.** Операционно-территориальные единицы участков растительности и маршруты авиапатрулирования их по метеоусловиям на территории Еврейской автономной области

Для прогноза вероятности возникновения пожаров растительности по условиям погоды ( $F_{i,j}(C)$ ) (уравнение 2) использованы расчётные ежедневные значения ( $P_i$ ) по методике В.Г. Нестерова; значения ( $P_{cr}$ ), определённые для каждой преобладающей в каждом ОТЕ растительной формации, по шкале Т.В. Костыриной [6]. Достоверность прогноза на текущий день составила  $86 \pm 6 \%$  при вероятности 0,95. Достоверность краткосрочного прогноза незначительно уменьшается от  $82 \pm 7 \%$  до  $78 \pm 7 \%$ , но оставалась достаточно высокой.

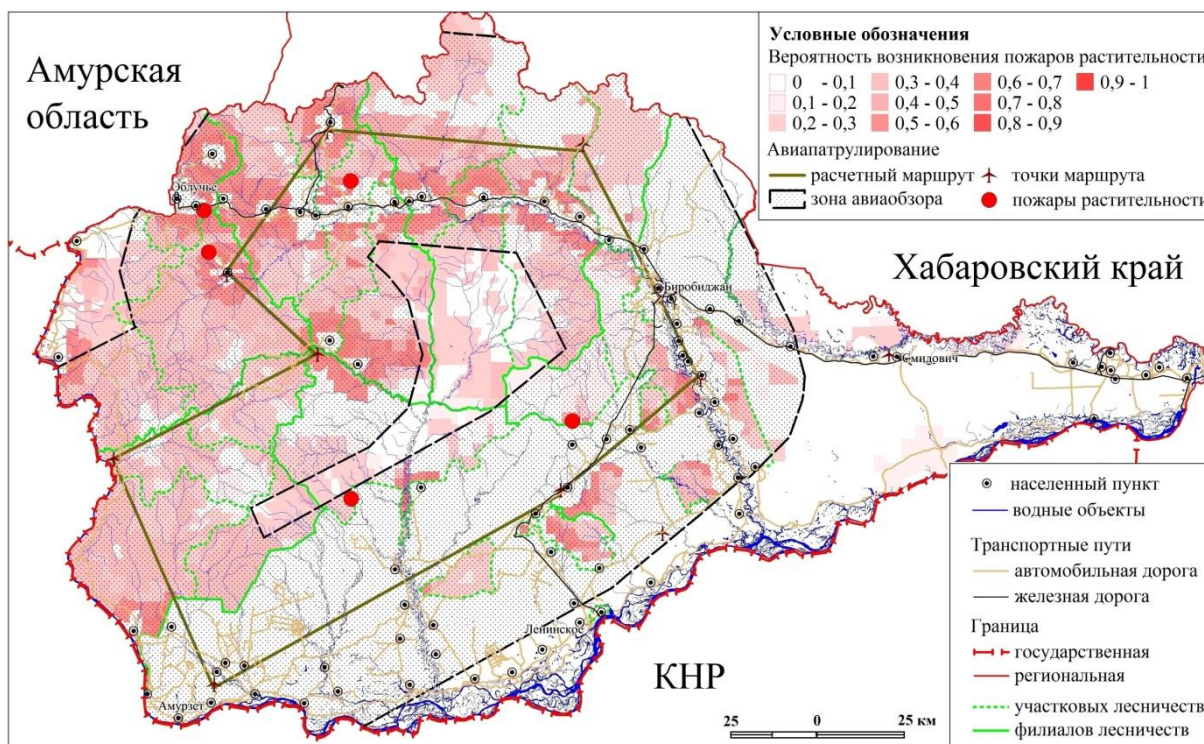
Для выбора базового периода  $Q$  (уравнение 3) обработан массив данных пожаров лесного фонда с 1999 г. по 2012 г. Он был разделён на 5 периодов продолжительностью 10 лет: 1999-2008 гг., 2000-2009 гг., 2001-2010 гг., 2002-2011 гг., 2003-2012 гг. В каждом периоде рассчитаны ежедневные значения  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$  появления антропогенных источников огня в 3-километровых зонах вокруг населённых пунктов и дорожной сети. В качестве базового (эталонного) выбран период 1999-2008 гг., имеющий минимальные суммы среднеквадратических отклонений  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$ , по сравнению с другими периодами.

Вероятность возникновения пожаров от гроз (уравнение 4) не рассчитывалась ввиду их практического отсутствия на данной территории [4].

Расчёт вероятности возникновения пожаров  $F_{i,j}(B)$  (уравнение 1) выполнен на каждый текущий день и каждые 1-3 дня метеопрогноза в течение сезона. Прогнозируемое распределение пожаров на всей территории ЕАО по вероятности их возникновения на текущий день выглядит следующим образом: 0 – 10 %; < 0,4 – 23 %; 0,4-1 – 67 %. Первая цифра соответствует значениям  $F_{i,j}(B)$ , а вторая – количеству пожаров (%). В качестве порога величины  $F_{i,j}(B)$  принято значение 0,4, поскольку при этом наблюдается наибольшее количество пожаров.

Проверка схемы авиапатрулирования проведена на примере 35 дней пожароопасного сезона 2010 г., в которых были зафиксированы пожары растительности. Для этого выбраны 10 контрольных точек из официальных маршрутов патрулирования ОГКУ "База авиационной и наземной охраны лесов ЕАО", облет по которым производится в зависимости от класса пожарной опасности по условиям погоды. Ширина обзора авиасудна принята равной 30 км. При построении ежедневных маршрутов авиапатрулирования выбирались те контрольные точки облета из официальных маршрутов, которые граничили с наибольшим количеством пожароопасных участков растительности (вероятность  $F_{i,j}(B)$  превышала значение 0,4). Полученные маршруты позволили охватить территорию, на которой происходило 90 % лесных пожаров. В 4-х маршрутах некоторые пожары располагались вне зоны облета, например, в центре автономии, что потребует в дальнейшем корректировки расположения контрольных точек.

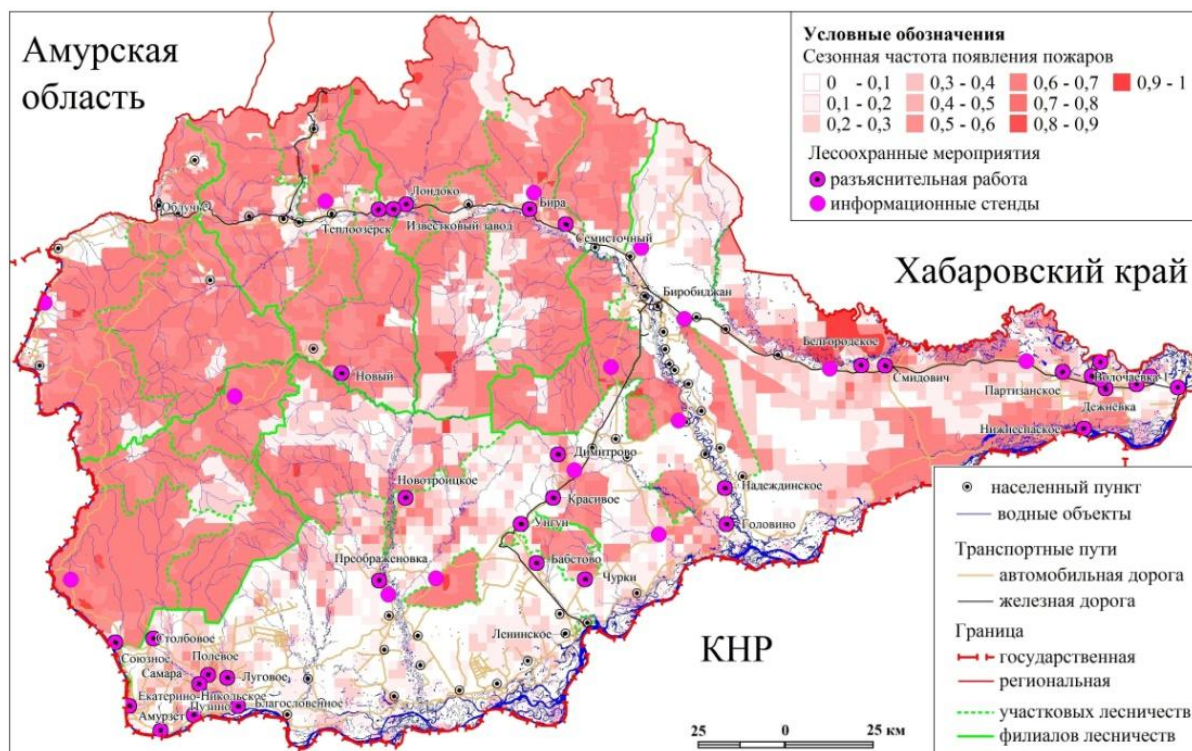
Пример маршрута авиапатрулирования на 5 мая 2010 г., построенного по результатам расчёта вероятности возникновения пожаров в 1476 ОТЕ, приведён на рис. 2.



**Рис. 2.** Карта расчётного маршрута авиапатрулирования на территории Еврейской автономной области (5 мая 2010 г.)



Периоды ограничения посещаемости населением лесного и нелесного фондов определены на основе ежедневного анализа вероятности возникновения антропогенных источников огня  $F_{i,j}(N)$  и  $F_{i,j}(D)$  за базовый период (1999-2008 гг.). Показано, что наиболее вероятно возникновение пожаров (от 0,6 до 1) в периоды 18 апреля – 20 мая и 7-27 октября, во время которых необходимо обеспечить выполнение превентивных мер.



**Рис. 3.** Размещение информационных стендов и проведение разъяснительной работы в населённых пунктах на территории Еврейской автономной

Также выделены 34 населённых пункта, расположенные преимущественно в южной, северной и восточной частях области, вблизи которых находятся ОТЕ с высокой частотой (от 0,5 до 0,7) возникновения лесных и нелесных пожаров (рис. 3). В них необходимо усилить массово-разъяснительную работу с населением.

Таким образом, предложенная схема лесоохранных мероприятий позволяет проводить построение маршрутов авиапатрулирования с учётом ежедневного территориального распределения пожароопасных участков растительности, а также определять временные периоды повышенной опасности для регулирования посещаемости населением лесных территорий и расположение мест установки информационных и предупреждающих стендов для пропаганды и массово-разъяснительной работы среди населения.



## Литература

1. **Герасимов В.А., Доррер Г.А.** Расчёт маршрутов авиапожарного патрулирования лесов как задача оптимального управления // Лесной журнал. 1988. № 5. С. 21-24.
2. **Глаголев В.А., Коган Р.М.** Интерполяция комплексного показателя пожарной опасности на территории Еврейской автономной области и Хабаровского края // Региональные проблемы. 2013. Т. 16. № 2. С. 84-90.
3. **Егармин П.А.** Система детальной оценки пожарной опасности лесной территории: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. 21 с.
4. **Коган Р.М., Глаголев В.А.** Пространственный прогноз метеорологических показателей опасности лесных пожаров // Технологии техносферной безопасности. 2014. Вып. 4 (56). С. 87-95. <http://ipb.mos.ru/ttb/2014>.
5. **Коровин Г.Н., Андреев Н.А.** Авиационная охрана лесов. М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
6. **Костырина Т.В.** Прогнозирование пожарной опасности в лесах юга Хабаровского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск, 1978. 23 с.
7. **Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.** Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: СО РАН, 2009. 301 с.
8. **Работа с населением по предотвращению лесных пожаров: учебно-практическое пособие / под ред. Е.П. Кузьмичева.** М.: Алекс, 2005. 128 с.
9. **Указания по проектированию противопожарных мероприятий в лесах СССР.** М., 1982.
10. **Юшков Ю.В.** Моделирование авиационной противопожарной охраны лесов на базе формализмов раскрашенных сетей Петри // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 4/5. С. 419-422.