

DOI 10.31509/2658-607x-2019-2-1-1-28

УДК 630.43

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РЕГИОНА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ И РАССТОЯНИЯ НАЗЕМНОЙ ДОСТАВКИ СИЛ И СРЕДСТВ ДО ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

© 2019 г. Е.С. Подольская<sup>1</sup>, К.А. Ковганко<sup>1</sup>, Д.В. Ершов<sup>1</sup>, П.П. Шуляк<sup>1</sup>, А.И. Сучков<sup>2</sup><sup>1</sup> *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН**Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д 84/32, стр. 14*<sup>2</sup> *Региональная диспетчерская служба ОГБУ «Иркутская база авиационной охраны лесов»**Россия, 664081 Иркутск, ул. Депутатская, д. 85**E-mail: podols\_kate@mail.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2019

В статье приводятся результаты исследований применения экспериментальной лесопожарной транспортной модели для проектирования кратчайших маршрутов специального наземного транспорта от пожарно-химических станций (ПХС) к очагам лесных пожаров. Для модели использовались пространственно-распределённые данные о средней скорости пожарной техники для разных типов дорог и рельефе местности на примере Иркутской области. На основе модели были получены оценки времени перемещения транспорта и расстояния до пожаров, зарегистрированных по спутниковым данным в период с 2002 по 2017 гг. в наземной зоне и зоне лесоавиационных работ тестового региона; за весь период построен и проанализирован 16251 маршрут. Оценка корректной работы модели осуществлялась для пожаров, зарегистрированных в наземной зоне. В результате для 98% (2661) лесных пожаров, зарегистрированных в зоне наземной охраны, время перемещения транспортного средства по рассчитанным моделью маршрутам составило не более трех часов, что косвенно подтверждает корректность настройки модели. Транспортная модель может использоваться для выбора способа доставки сил и средств (наземный/авиационный) к лесным пожарам. Многолетняя база данных маршрутов от ПХС до пожаров является полезной информацией для ежегодной коррекции границ зон охраны лесов от пожаров.

**Ключевые слова:** *транспортная модель, ArcGIS, Network Analyst, лесной пожар, зоны пожарной охраны, пожарно-химическая станция (ПХС)*

Активные исследования по организации доступа в условиях чрезвычайных ситуаций, доставки различных товаров, при планировании городов, управлении лесным хозяйством и транспортной логистике, других прикладных областях ведутся как зарубежными, так и отечественными научными коллективами (Liu, Zhu, 2004; Kumar et al., 2005; Соколов, Герасимов, 2009; Akay et al., 2012; Forkuo, Quaye-Ballard, 2013; Ni et al.; 2014; Akay, Aziz, 2015;

Idhoko et al., 2015; Abousaeidi et al., 2016a; Abousaeidi et al., 2016b; Malladi, Sowlati, 2017; Feng et al., 2017; Keramati, 2018).

Лесные пожары, ежегодно возникая в разных регионах России, наносят значительный ущерб экономике страны. Помимо своевременного обнаружения, встает задача оперативной доставки пожарных бригад и специальной техники к месту возникновения лесного пожара. В условиях высокой и чрезвычайной горимости лесов выбор способа (наземный или авиационный) доставки сил и средств от мест базирования на пожарно-химических станциях (ПХС) к действующему очагу возгорания в минимально возможное время является актуальной задачей при организации борьбы с лесными пожарами на региональном уровне. Для решения задачи проектирования лесотранспортной сети и оптимизации доступа к лесным участкам используются методы математического моделирования (Ходаков, Жарикова, 2011; Рунова, Костяев, 2012; Таранцев, 2013; Фараонов, 2014). Моделирование ведется как известными офисными программами, так и при помощи инструментария геоинформационных систем. Отметим, что важный вопрос определения границ зон охраны освещался в научных публикациях в дискуссионном порядке (Таранцев, 2015), где для анализа использовался инструментарий Microsoft Excel. Новым уровнем развития этого направления может стать комплексное использование транспортных пространственных моделей и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) о лесных пожарах в современных геоинформационных системах. ГИС-технологии позволяют проектировать маршруты движения в пространстве, оценивать набор параметров для обоснованного принятия решений при организации мероприятий по борьбе с лесными пожарами (Lourian et al., 2006) и логистике (Abousaeidi et al., 2016b; Feng et al., 2017).

В литературе уже отмечено, что недостаточное финансирование работ по обнаружению и организации тушения лесных пожаров в России практически означают, что для принятия решений в области охраны лесов от пожаров нужна диспетчеризация (Котельников и др., 2017). Также в статье подчеркнута необходимость ретроспективного сбора данных и пополнения базы знаний по доступу к пожарам. Исследование, результаты которого описаны в настоящей статье, является развитием указанного направления и выполнено как в части создания многолетнего архива маршрутов движения спецтранспорта, так и в части его тематического анализа.

Проблема организации оперативной переброски сил и средств к лесным пожарам продолжает оставаться актуальной для многих «лесных» стран с учетом национальной специфики управления лесного хозяйства, лесорастительных условий, локального климата, рельефа местности и особенностей дорожной сети. Эта проблема активно обсуждается и в зарубежных работах (Akay et al., 2012; Akay, Aziz, 2015; Kumar et al., 2005).

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации обнаружением и тушением лесных пожаров в нашей стране занимаются субъекты административного деления. За последнее десятилетие на федеральном и региональном уровнях были сформулированы нормы, правила и терминология, описывающие организацию доступа к лесным пожарам (Об утверждении классификации..., 2011 и др.). Среди действующих нормативных документов по-прежнему остаются актуальными «Методические рекомендации по применению сил и средств для тушения лесных пожаров» (2014), в которых указывается, что доступ к месту обнаруженного пожара должен быть организован в течении трех часов с момента его обнаружения, а именно, п. 48 «Методических рекомендаций...» гласит, что для обеспечения оперативной ликвидации лесного пожара в районах применения наземных сил и средств пожаротушения силами группы (до 10 человек) с пожарной техникой и оборудованием, подразделение лесопожарной организации обязано прибыть на место лесного пожара и приступить к его тушению в лесах: (а) отнесенных к I классу природной пожарной опасности лесов – не позднее одного часа после обнаружения пожара; (б) отнесенных ко II классу природной пожарной опасности лесов – не позднее двух часов после обнаружения пожара; (в) отнесенных к III–V классам природной пожарной опасности лесов – не позднее трех часов после обнаружения пожара.

Важные аспекты взаимодействия наземных и авиационных подразделений рассмотрены в ряде работ (Брюханов, 2011; Брюханов, Коршунов, 2017), в которых отмечается насущная необходимость государственной поддержки и финансирования, значение взаимодействия авиационных экипажей с наземными силами в районе пожара при организации работ воздушными или наземными методами.

Цель настоящего исследования – на основе модели транспортной сети региона провести оценку времени доступа и расстояния от ближайшей ПХС до обнаруженного лесного пожара при движении специального транспорта (пожарная машина, автоцистерна, патрульная машина и т.п.) по дорогам общего и специализированного пользования, включая противопожарные дороги и просеки, в наземной зоне охраны на примере Иркутской области. Для этого решаются следующие задачи:

- создание наземной лесопожарной транспортной модели для тестового региона и построение кратчайших маршрутов от ПХС до лесных пожаров;
- определение длин маршрутов и времени перемещения специального транспорта до очагов возгорания в лесах за 16 лет (архив 2002-2017 гг.);
- статистическая оценка количества пожаров в наземной зоне и зоне лесоавиационных работ, к которым пожарная техника может быть доставлена за время не более трех часов;

- построение карты распределения пожаров в одно-, двух- и трех- часовой доступности в авиационной и наземной зоне охраны тестового региона (для границ зон охраны по состоянию на 2017 г.).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования включали этапы построения транспортной сети региона средствами ArcGIS с использованием инструментария Network Analyst, создания наземной лесопожарной транспортной модели на основе дорог общего пользования, лесных просек, данных о местоположении ПХС и об очагах возникновения лесных пожаров. На заключительном этапе выполнялось проектирование кратчайших маршрутов движения специализированного транспорта к лесным пожарам на основе созданной модели, расчет времени движения с учетом влияния рельефа местности (уклона) и формирование базы данных маршрутов. Таким образом, была реализована следующая последовательность «Станция ПХС (точка) – Маршрут (линия) – Пожар (точка)». На рис. 1 приведена логическая схема, включающая все этапы обработки данных и анализа полученных результатов.

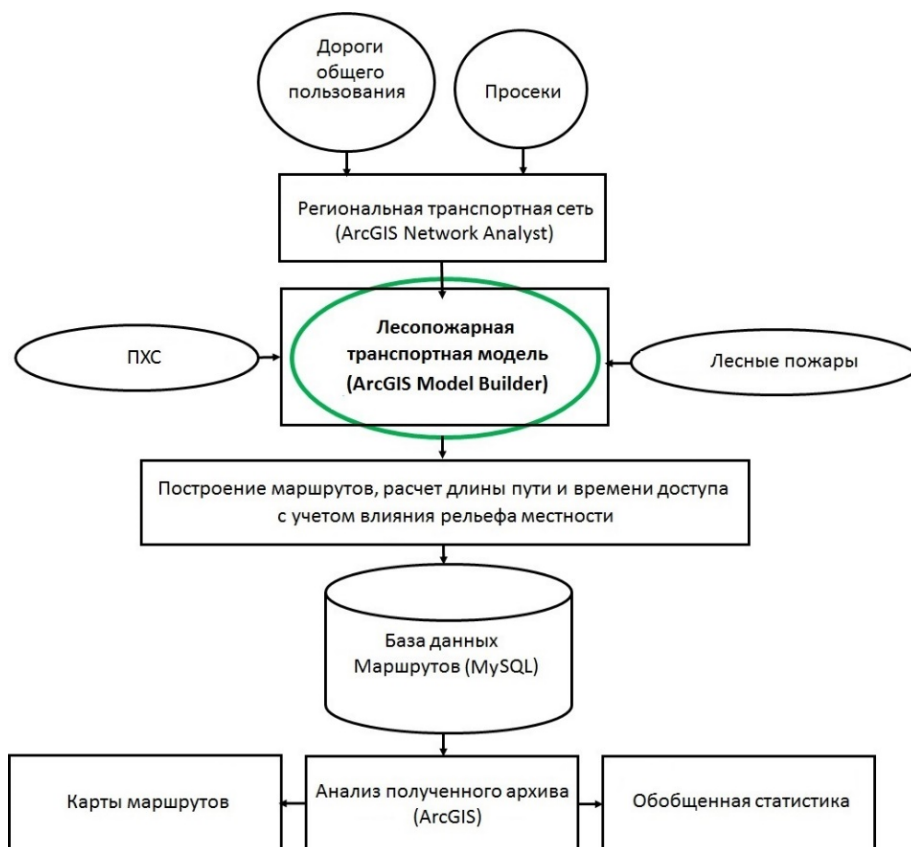
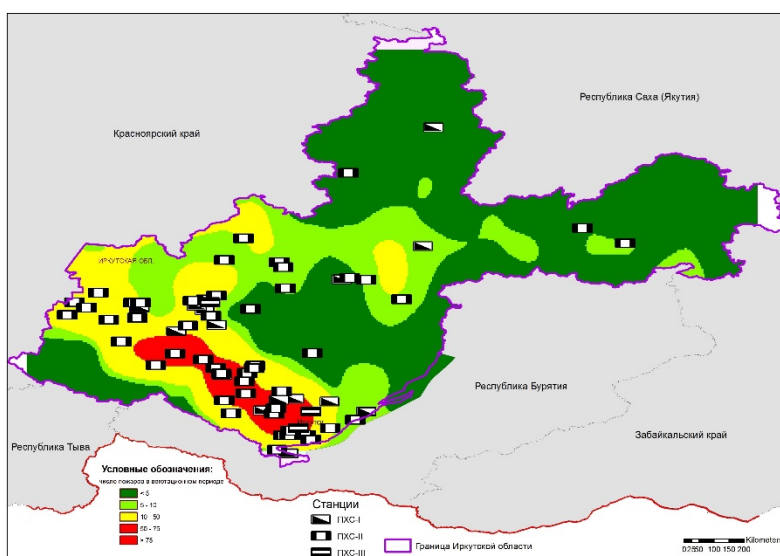


Рисунок 1. Схема проведения исследования

Выбор Иркутской области в качестве тестового региона обусловлен ежегодной высокой горимостью лесов в течение пожароопасного сезона (Goldammer et al., 2003; Рунова, Доленко, 2006; Пономарев и др., 2017). Иркутская область в интервале пяти лет подряд (2006-2010 гг.) по индексу числа лесных пожаров Доу-Джонса занимала соответственно 6-2-3-8-9ю позиции в выборке, где участвовало 30 регионов России с максимальным числом пожаров (Кайбичева, Кайбичев, 2013), что указывает на обоснованность выбора такого региона в качестве характерного примера.

Для тестового региона использовалась база геоданных с населенными пунктами точечного и площадного типа, дорожной сетью (включая лесные просеки), объектами гидрографии и административным делением обзорно-топографического масштаба 1:200 000. Данные такого масштабного уровня обладают необходимыми детальностью и обзорностью для выполнения исследования регионального уровня, позволяющего решать задачи организации доступа в условиях чрезвычайных ситуаций (Олейников, Марков, 2014). Был использован цифровой слой ПХС точечного типа (по состоянию на 2017 г.), а также места регистрации очагов лесных пожаров, полученные при помощи спектрорадиометра MODIS с космических аппаратов Aqua и Terra.

На рис. 2 приводится карта Иркутской области с пространственным распределением среднееголетнего числа лесных пожаров (по спутниковым данным за 2006-2012 гг.) относительно мест базирования ПХС разного уровня. Как показано на карте, частота пожаров визуальнo хорошо согласуется с местоположением станций в субъекте. Условные обозначения ПХС даны в соответствии с нормативным документом (Условные знаки..., 1997).



**Рисунок 2.** Среднееголетнее число лесных пожаров за вегетационный период в Иркутской области

Территория лесного фонда Иркутской области в 2017 г. была разделена на четыре зоны охраны лесов от пожаров (Приказ Рослесхоза № 65, 2017), а именно:

- зона наземного обнаружения и тушения;
- зона лесоавиационных работ, включая:
  - зону авиационного обнаружения и наземного тушения;
  - зону авиационного обнаружения и тушения;
  - зону обнаружения исключительно с помощью космических средств и преимущественно авиационных работ.

С 21 июня 2017 г. Приказом Министерства лесного комплекса Иркутской области (Приказ Министерства лесного комплекса..., 2017) в лесном фонде для удаленных и труднодоступных территорий с отсутствием дорожной инфраструктуры и слаборазвитой сетью дорог выделена зона контроля (рис. 3). В нее вошла полностью зона обнаружения космическими средствами и часть территории авиационного обнаружения и тушения. Тушение лесных пожаров производится в наземной зоне и зонах лесоавиационных работ. В зоне контроля необходимость работ по тушению пожаров основывается на решении Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности Правительства Иркутской области. Таким образом, расчеты и анализ результатов построения кратчайших маршрутов проводились для зон наземной охраны и лесоавиационных работ. Отметим, что лесоавиацией охвачено порядка 48% площади всей области.

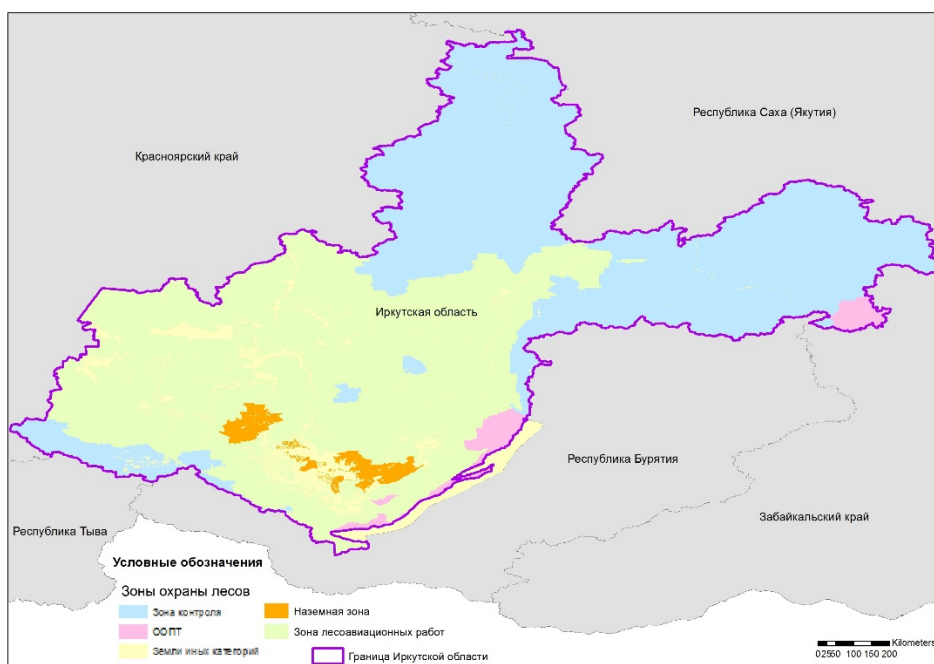


Рисунок 3. Зоны охраны лесов от пожаров Иркутской области

В расчетах использовались инструменты расширений программного обеспечения ArcGIS Desktop: 3D Analyst и Network Analyst. Для построения транспортной модели в предлагаемой статье применялся Network Analyst, в основе которого лежит алгоритм Дейкстры (Dijkstra, 1959), представляющий собой алгоритм на графах и позволяющий находить кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных. Алгоритм широко используется в исследованиях по тематике транспорта (Ni et al., 2014; Как построить кратчайший маршрут..., 1996), известны его модификации, например, (Alazab et al., 2011). В предлагаемом исследовании построенные по алгоритму Дейкстры маршруты передвижения названы «кратчайшими». Для проектирования таких маршрутов использовался набор программных модулей Network Analyst. Средствами визуального редактора Model Builder была создана модель на основе таких инструментов анализа как: Add Locations (добавление местоположения), Solve (принятие решения), Make Closest Facility Layer (создание слоя кратчайших расстояний). 3D Analyst применялся для расчета уклона дороги/просеки (инструмент Add Z Information), кроме того был использован Adjust 3D Z (присвоение характеристики высоты рельефа точкам полилинии) из набора Data Management (управление данными). Определение длин маршрутов и времени движения специального пожарного транспорта от мест его базирования (ПХС) до очагов возгорания лесов выполнялось с помощью Add Field (добавление нового поля в атрибутивной таблице) и Calculate Field (получение числовых характеристик полилинии). Статистическая оценка количества пожаров в наземной и авиационной зонах проводилась с помощью методов математической статистики.

В табл. 1 приводится перечень типов дорог на всей территории Иркутской области (использована база геоданных 1:200 000 масштаба) с указанием протяженности и скорости передвижения специальных транспортных средств. Ввиду того, что изменения в дорожной сети Иркутской области по данным Росстата за последние 4 года (2014-2018 гг.) незначительны и составили в среднем 3,5% в год (Территориальный орган...), указанные данные могут быть использованы для создания транспортной модели региона и дальнейших исследований. Полевые лесные грунтовые дороги и тропы составляют в сумме примерно половину по общей длине от всего дорожного фонда, значительна и доля просек (22%).

Сочетание информации двух типов позволяет моделировать варианты перемещения как по всем дорогам, так и дифференцировать перемещение специального транспорта в зависимости от классов и условий (сезонности) их проходимости или использования.



Таблица 1. Распределение дорог по типам использования

Тип дороги по классификации обзорно-топографической карты масштаба 1:200 000	Скорость передвижения, км/ч	Протяженность, км (3D с учетом рельефа местности)	Процент от общей 3D протяженности дорог в субъекте, %
автомагистрали (автострaды)	60	13128.2	7.0
автодороги с усовершенствованным покрытием (усовершенствованные шоссе)	60	1471.6	0.8
автодороги с покрытием (шоссе)	50	2988.4	1.6
грунтовые дороги без покрытия (улучшенные)	40	12663.1	6.8
грунтовые дороги проселочные	30	9978.9	5.4
грунтовые дороги полевые и лесные	20	48095.5	<b>25.8</b>
строящиеся усовершенствованные шоссе	20	37.7	0.02
строящиеся шоссе	20	137.9	0.07
строящиеся грунтовые дороги улучшенные	20	376.8	0.2
пути и тропы	5	46924.9	<b>25.2</b>
пешеходные тропы, дорожки	5	858.8	0.4
зимние дороги	10	5610.3	3.0
улицы в населенном пункте	25	2338.9	1.2
технические линии	10	908.5	0.5
просеки	10	40964.7	<b>22.0</b>
Общая протяженность, км		186484.6	

Визуальный анализ показал (рис. 4), что совмещение слоя дорог со слоем просек позволяет значительно расширить доступность техники в леса.

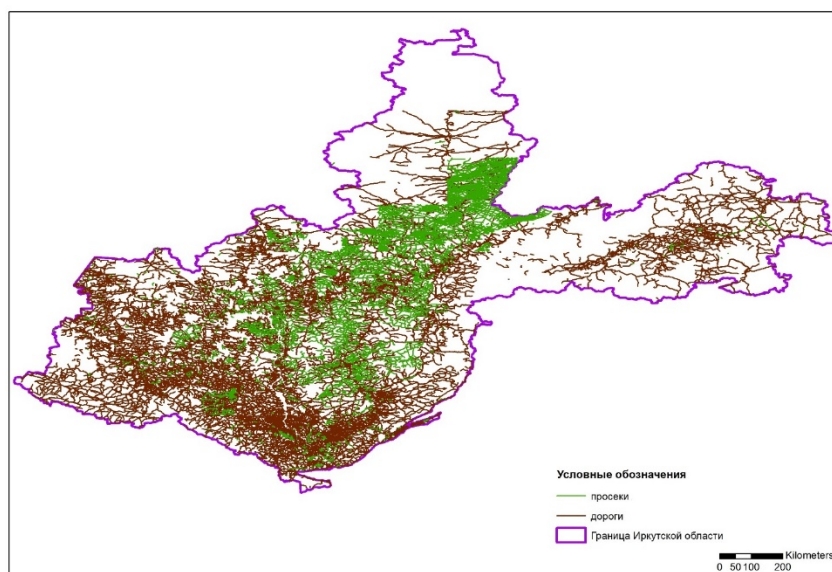


Рисунок 4. Отображение данных о дорогах и просеках на территории Иркутской области



При построении транспортной сети использовались следующие входные параметры модели.

1. **Время.** Этот параметр используется в качестве критерия для оценки времени, затраченного на перемещение транспортного средства с силами пожаротушения к месту детектированного лесного пожара с учетом временных ограничений для разных классов природной пожарной опасности лесного участка. Среди примеров статей отметим работу по минимизации времени доступа при планировании перемещения в условиях города (Jawad et al., 2016).

2. **Нормативная скорость в зависимости от класса дороги.** Движение по дорогам разных типов осуществляется с разной скоростью, согласно российским правилам дорожного движения (ПДД). Для пожарной техники нами используется ограничение скорости в 60 км/ч (грузовой автомобиль с пассажирами), движение в пределах населенных пунктов – 25 км/ч. Как отмечается в работе (Акау et al., 2014), скорость перемещения пожарного транспортного средства определяется типом дороги и дорожными условиями (такими, как погода, видимость, состояние дороги). В предлагаемом исследовании иерархия дороги содержится в табл. 1, где на основе российских правил было проведено ранжирование всех типов дорог и скорости перемещения по ним специальной техники.

3. **Рельеф местности или цифровая модель рельефа (ЦМР).** Иркутская область характеризуется значительными перепадами по высоте, что может сильно повлиять на скоростной режим специальной техники. Для учета этого обстоятельства при моделировании транспортной сети каждому отрезку дороги необходимо присвоить значение высоты рельефа. В рамках исследований для получения значений высот полилиний (отрезков дорог и просек) использована находящаяся в открытом доступе ЦМР ETopo2 (NOAA ETopo).

Расчет скорости движения с учетом данных о рельефе позволяет корректировать скорость движения транспортного средства к месту лесного пожара в условиях горной местности.

Каждая дорога (или просека) представляет собой кривую или полилинию, состоящую из элементарных прямых (или отрезков) между двумя соседними точками. Предварительно все полилинии преобразовывались в точки, каждой из которой добавлено значение высоты из растрового слоя ЦМР.

Для «коррекции» скорости на каждом отрезке дороги (полилинии) используется коэффициент уклона  $R$ , вычисляемый по формуле:

$$R = \frac{E_{rv} - S_{rv}}{L}, \quad (1)$$

где  $E_{rv}$ ,  $S_{rv}$  – значения высот из ЦМР для начала и конца прямой, в метрах;  $L$  – длина отрезка полилинии, в метрах.

Затем коэффициент  $R$  был добавлен к атрибутам отрезка полилинии, что позволило учесть его при расчете скорости движения по всей длине дороги:

$$V_c = V - |V * R|, \quad (2)$$

где:  $V_c$  – скорость с учетом рельефа, км/ч,  $V$  – нормативная скорость транспортного противопожарного средства, км/ч.

Расчет коэффициента для всех дорог показал, что 30% длины всех линий исследуемого набора данных по Иркутской области имеет коэффициент уклона, близкий к единице. Остальная часть дорожной сети требует корректировки в скорость за уклон рельефа, что подтверждает необходимость описанной выше процедуры. Скорость корректируется в сторону уменьшения при наличии перепада рельефа (подъема или спуска) на маршруте движения.

На заключительном шаге построения транспортной модели и проектирования маршрутов выполняется расчет времени движения с учетом «скорректированной» скорости по формуле:

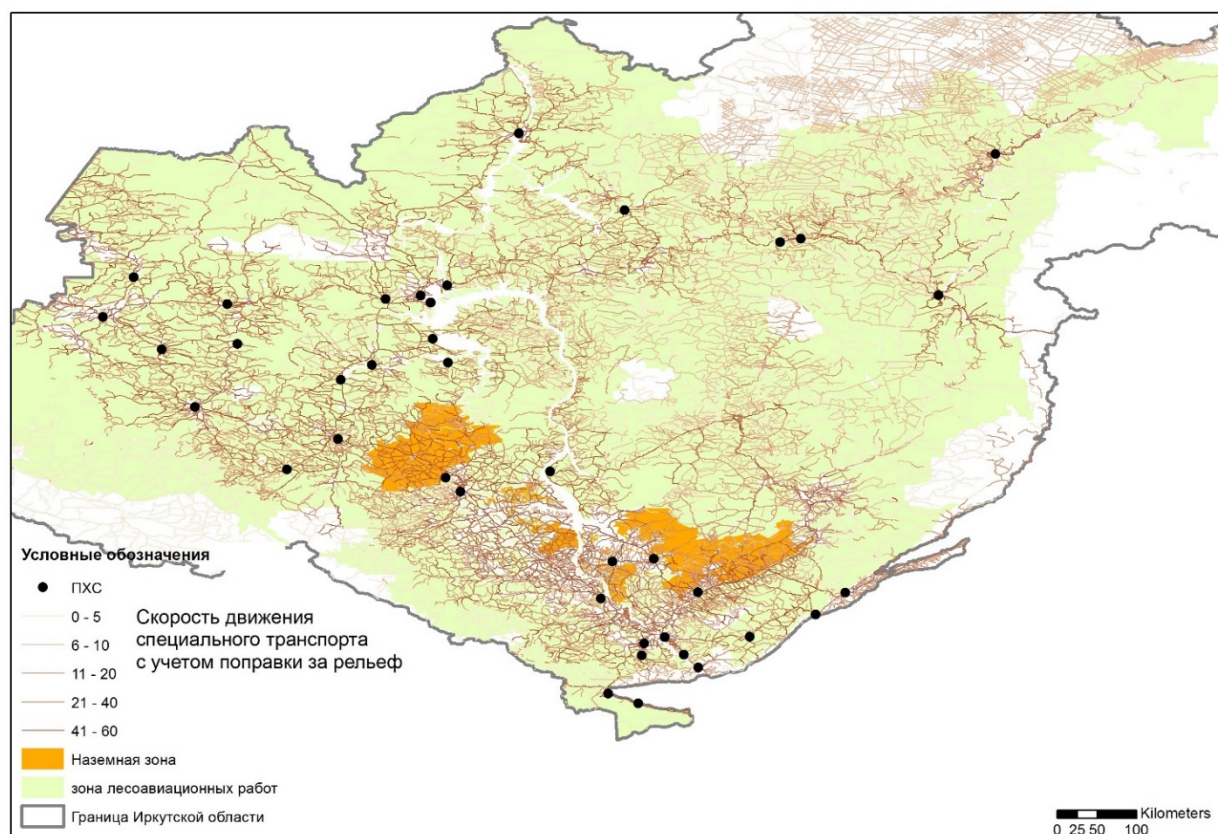
$$T_m = \frac{L3d}{V_c} * 60, \quad (3)$$

где:  $T_m$  – время движения с учетом рельефа, минуты;  $L3d$  – длина с учетом рельефа, километры.

Таким образом, транспортная модель содержит всю необходимую информацию о дорогах, скорости и времени движения на каждом отрезке дороги с учетом влияния уклона рельефа местности. Описанные вычисления выполнены в настольном геоинформационном приложении ArcGIS Desktop.

На рис. 5 показана модель дорожной сети в границах зон наземной охраны и лесоавиационных работ с распределением скорости движения специального транспорта с учетом поправки за рельеф.

Для каждого пожара из всех вариантов моделирования выбирался кратчайший маршрут на основе минимального значения времени перемещения транспортного средства от ПХС до лесного пожара. В результате расчетов каждому пожару ставился в соответствие один маршрут движения от ближайшей ПХС. Этот маршрут помещался в экспериментальную базу данных с информацией о времени движения (минуты) и расстояния (км) до пожара. Дополнительно каждый маршрут содержал атрибутивную информацию о ПХС (координаты, название и др.) и лесном пожаре (координаты, дата и время регистрации и др.). Результаты моделирования были тезисно изложены в работе (Подольская и др., 2017).



**Рисунок 5.** Лесопожарная транспортная модель наземного доступа специальной техники для Иркутской области

На основе интегрированных в экспериментальную базу данных маршрутах до пожаров выполняется статистический анализ количества пожаров в пределах одного, двух, трех и более трехчасового интервалов (Методические рекомендации по применению..., 2014). Согласно этим рекомендациям, одним из требований при проектировании наземной зоны охраны является предельное значение времени прибытия пожарных служб к очагу возгорания, а именно, не более трех часов с момента его обнаружения. Таким образом, предполагая то, что наземная зона спроектирована корректно, косвенно проверяется правильность настройки параметров транспортной модели для расчета времени движения транспорта и расстояния до пожара. Если большинство пожаров, зарегистрированных в наземной зоне охраны будут иметь время доступа менее трех часов, то можно будет считать, что модель “работает” близко к реальности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе изложенной выше методики были построены кратчайшие маршруты (с оценкой времени и расстояний) до мест детектированных очагов лесных пожаров в зонах наземной охраны и лесоавиационных работ за период с 2002 по 2017 гг. Маршруты построены исходя из условия, что ПХС и очаги пожаров находятся в пределах указанных зон. По каждому

пожароопасному сезону проведена статистическая оценка протяженности (длины) маршрутов и времени в пути транспортного средства (табл. 2). На рис. 6 приводится распределение 16251 маршрута по годам.



**Рисунок 6.** Динамика числа детектированных лесных пожаров на всей территории Иркутской области и построенных маршрутов в зоне наземной охраны и зоне лесоавиационных работ

Как показано на рис. 6, минимальное число маршрутов (236) построено для данных 2004 г., максимум (3297) – для 2003 г., что указывает на существенные различия в числе детектированных пожаров разных лет и их доступности наземными средствами. Отметим, что количество дней с пожарами в течение пожароопасного сезона варьируется в пределах от 170 до 213 дней, диапазон различий составляет более одного месяца (43 дня). Анализ времени и длины приведен в табл. 2.

Распределение числа маршрутов до лесных пожаров, зарегистрированных в зоне наземной охраны, по ограничению времени доступа к пожарам в пределах трехчасового интервала (абсолютные значения и процентное соотношение) представлено в табл. 3.

Как показано в табл. 3, большинство пожаров (2661 или 98.5 %), зарегистрированных в зоне наземной охраны, находятся в пределах трехчасовой доступности. Это косвенно подтверждает правильность настройки нашей транспортной модели, ориентируясь на то, что зона наземной охраны проектировалась с учетом возможного прибытия к очагу лесного пожара в пределах трех часов. При этом большинство лесных пожаров располагаются от ПХС в часовой (1754 или 68.2%) и двухчасовой (744 или 24.3%) доступности.

Если рассматривать соотношение всех маршрутов (16251), построенных от ПХС до лесных пожаров относительно зон наземной охраны и лесоавиационных работ, то большинство пожаров (рис.7) доступны наземным транспортом в течение ближайших трех

часов с момента их регистрации. Исключение составляют пожароопасные сезоны 2012 и 2016 гг. В среднем за все годы наблюдений количество маршрутов с временем доставки пожарной техники менее 3-х часов по данным моделирования составляет 76.2% ( $\pm 13.2\%$ ) против 23.8% ( $\pm 13.2\%$ ). Общий вывод, исходя из построенных графиков, состоит в том, что большая часть лесных пожаров доступна по времени наземными видами транспорта.

**Таблица 2.** Статистика построенных маршрутов до лесных пожаров (анализ времени и длины)

Год пожаро-опасного сезона	Дата начала сезона в двух зонах	Дата окончания сезона в двух зонах	Число дней с пожарами	Минимальная длина, км	Минимальное время, минуты	Максимальная длина, км	Максимальное время, минуты	Максимальное время, часы
2002	11/04	5/10	177	0.91	0.004	431.34	2032.14	33.87
2003	4/04	24/10	203	1.23	2.74	634.09	3164.78	52.75
2004	22/04	31/10	192	1.33	3.21	419.97	1870.11	31.17
2005	01/04	28/10	210	0.80	1.50	607.65	3025.91	50.43
2006	23/04	10/10	170	2.16	2.69	616.21	3086.06	51.43
2007	09/04	27/10	184	2.41	4.29	378.18	1503.75	25.06
2008	01/04	30/10	212	0.20	0.001	498.00	2411.86	40.20
2009	01/04	31/10	212	1.88	3.37	440.10	2047.24	34.13
2010	08/04	31/10	206	2.82	4.36	626.24	3133.80	52.23
2011	01/04	24/10	206	1.60	2.74	629.05	3155.45	52.59
2012	01/04	28/10	210	0.20	0.48	632.67	3181.04	53.02
2013	13/04	31/10	201	0.28	0.001	627.76	3136.24	52.27
2014	01/04	31/10	213	0.12	0.001	626.87	3136.24	52.27
2015	03/04	29/10	209	3.77	3.38	626.74	3130.32	52.17
2016	02/04	22/10	203	0.86	0.01	609.78	3051.27	50.85
2017	01/04	30/10	212	2.46	2.64	612.61	3056.30	50.94
Сумма			3220	23.03	31.42	9017.26	44122.51	735.38
Среднее значение			201	1.43	1.96	563.58	2757.66	45.96
Стандартное отклонение			24.7	1.10	1.86	128.18	724.19	12.07

**Таблица 3.** Распределение маршрутов по времени, затраченному транспортом от ПХС до лесных пожаров, зарегистрированных в зоне наземной охраны

Год пожароопасного сезона	Количество построенных маршрутов в зоне наземной охраны	Число маршрутов с разделением по времени, затраченном на перемещение транспорта от ПХС до пожара					Процент от общего числа маршрутов				
		менее 1 часа	1-2 часа	2-3 часа	всего в пределах 3 часов	более 3х часов	менее 1 часа	1-2 часа	2-3 часа	всего в пределах 3 часов	более 3х часов
2002	155	88	46	21	155	0	56.8	29.7	13.5	100	0
2003	419	202	164	37	403	16	48.2	39.1	8.8	96.2	3.8
2004	30	26	4	0	30	0	86.7	13.3	0	100	0
2005	170	111	46	12	169	1	65.3	27.1	7.1	99.4	0.6
2006	190	125	56	9	190	0	65.8	29.5	4.7	100	0
2007	124	103	20	1	124	0	83.1	16.1	0.8	100	0
2008	297	192	97	7	296	1	64.6	32.7	2.4	99.7	0.3
2009	117	74	27	14	115	2	63.2	23.1	12.0	98.3	1.7
2010	148	106	38	3	147	1	71.6	25.7	2.0	99.3	0.7
2011	193	127	55	8	190	3	65.8	28.5	4.1	98.4	1.6
2012	125	93	23	7	123	2	74.4	18.4	5.6	98.4	1.6
2013	213	158	47	7	212	1	74.2	22.1	3.3	99.5	0.5
2014	245	159	68	13	240	5	64.9	27.8	5.3	98.0	2.0
2015	120	81	29	10	120	0	67.5	24.2	8.3	100	0
2016	65	43	10	8	61	4	66.2	15.4	12.3	93.8	6.2
2017	90	66	14	6	86	4	73.3	15.6	6.7	95.6	4.4
Сумма	2701	1754	744	163	2661	40					
Среднее значение	168.8	109.6	46.5	10.2	166.3	2.5	68.2	24.3	6.1	98.5	1.5
Стандартное отклонение	45.9	15.6	22.6	10.6	48.8	2.8	11.7	10.0	4.8	3.1	3.1

Картографическая часть анализа представлена картой с построенными маршрутами до лесных пожаров 2002-2017 гг. (рис. 8) в зоне наземной охраны с дифференциацией по времени движения до пожара, а именно: в пределах одного часа, одного-двух часов, двух-трех часов и более трех часов.

На рис. 8 показано, что часть маршрутов выходит за границы зоны наземной охраны, что подтверждает необходимость учета данных статистического анализа времени перемещения транспорта и протяженности маршрутов до пожара при ежегодной коррекции границ зоны наземной охраны и лесоавиационных работ. Графически показано, что зона

наземной охраны может быть расширена. Это же подтверждается статистикой распределения маршрутов до лесных пожаров в пределах трехчасового интервала (табл. 4), отнесенных к зонам наземной охраны и лесоавиационных работ. При расчетах учитывалось расположение пожаров относительно зон для проверки возможности коррекции границ двух зон мониторинга. Согласно этой таблице, наземная зона также может быть расширена с учетом этой информации.



**Рисунок 7.** Распределение по годам относительного числа маршрутов (%) до лесных пожаров в зоне наземной охраны и лесоавиационных работ, доступных наземным способом в пределах трех часов и более



**Рисунок 8.** Карта маршрутов до лесных пожаров (2002-2017 гг.) в зоне наземной охраны, классифицированных цветом по времени движения



**Таблица 4.** Характеристика маршрутов архива 2002-2017 гг. относительно зон охраны (попадание пожаров в зону по пространственной идентификации)

Год пожаро-опасного сезона	Общее количество маршрутов по двум зонам	Число пожаров в пределах зон охраны		Процент пожаров, расположенных в двух зонах относительно общего числа маршрутов двух зон	
		зона наземной охраны	зона лесоавиационных работ	зона наземной охраны	зона лесоавиационных работ
2002	708	155	553	21.9	78.1
2003	3297	419	2878	12.7	87.3
2004	236	30	206	12.7	87.3
2005	588	170	418	28.9	71.1
2006	847	190	657	22.4	77.6
2007	859	124	735	14.4	85.6
2008	1379	297	1082	21.5	78.5
2009	557	117	440	21.0	79.0
2010	618	148	470	23.9	76.1
2011	1356	193	1163	14.2	85.8
2012	760	125	635	16.4	83.6
2013	869	213	656	24.5	75.5
2014	1764	245	1519	13.9	86.1
2015	772	120	652	15.5	84.5
2016	878	65	813	7.4	92.6
2017	763	90	673	11.8	88.2
Сумма	16251	2701	13550		
Среднее значение	1015.7	317.8	1594.1	17.7	82.6
Стандартное отклонение	709.4	94.4	628.2	5.8	5.9

Если рассматривать протяженность маршрутов от ПХС до лесных пожаров (табл. 5) в зонах наземной охраны и лесоавиационных работ, то модель позволила проложить 1 миллион 218 тысяч 208.1 км маршрутов с 2002 по 2017 гг. В среднем протяженность маршрутов в год составляет 76 138 км, из которых 36 311.1 км (47.7%) - в трехчасовой доступности. В тоже время, зона наземной охраны охватывает всего 96 201 км дорог за 16 лет наблюдений, что в среднем в год составляет 6012.6 км или 7.9%.

Согласно этой статистике, зона наземной охраны также может быть расширена в пределах трех часов (рис. 9), если это будет экономически выгодно по отношению к воздушным видам транспорта и способам тушения лесных пожаров.

**Таблица 5.** Характеристика маршрутов архива 2002-2017 гг. по протяженности

Год пожароопасного сезона	Общая длина за каждый сезон в пределах двух зон, км	Длина маршрутов в пределах зон наземной охраны и лесоавиационных работ					
		менее 1 часа	1-2 часа	2-3 часа	всего в пределах 3-х часов	из них для пожаров, которые детектированы в границах «зона наземной охраны» (2017 г.)	более 3х часов
2002	41 637.0	6 436.7	12 565.5	9 337.7	28 339.9	6 231.0	13 297.1
2003	253 827.0	17 691.0	53 613.4	46 686.4	117 990.8	17 720.7	135 836.1
2004	15 318.3	1 907.2	4 411.6	3 403.7	9 722.4	781.2	5 595.8
2005	39 401.5	5 503.5	10 238.7	5 974.4	21 716.6	6 026.0	17 684.9
2006	54 516.0	8 267.6	16 165.1	6 647.0	31 079.6	6 503.8	23 436.4
2007	58 087.5	7 521.8	13 183.2	9 194.0	29 899.0	3 554.7	28 188.6
2008	78 193.5	13 647.9	28 922.4	10 349.7	52 920.0	10 278.8	25 273.4
2009	42 646.8	4 643.9	9 219.3	5 941.2	19 804.4	4 259.6	22 842.4
2010	41 433.0	5 515.1	12 290.6	6 157.1	23 962.8	4 860.9	17 470.2
2011	96 952.4	10 210.4	24 772.1	14 872.1	49 854.6	6 757.4	47 097.8
2012	61 029.2	5 792.9	12 753.5	9 141.8	27 688.3	4 066.6	33 341.0
2013	62 175.7	7 865.1	15 817.6	7 597.6	31 280.2	7 082.1	30 895.5
2014	137 239.0	12 952.1	30 069.3	19 446.2	62 467.5	8 589.0	74 771.4
2015	63 897.8	4 915.6	13 299.3	9 749.9	27 964.8	4 139.9	35 933.0
2016	104 374.7	3 739.5	8 581.4	9 709.1	22 030.0	2 534.9	82 344.8
2017	67 478.9	4 962.0	9 842.9	9 452.2	24 257.2	2 814.5	43 221.8
Сумма	1 218 208.1	121 572.3	275 745.9	183 660.1	580 978.0	96 201.0	637 230.1
Среднее значение	76 138.0	7 598.3	17 234.1	11 478.8	36 311.1	6 012.6	39 826.9
Стандартное отклонение	55 706.3	4 147.0	12 083.3	10 113.5	25 574.1	3 927.1	32 881.7



**Рисунок 9.** Распределение по годам относительной протяженности маршрутов (%) от ПХС до лесных пожаров в зоне наземной охраны и лесоавиационных работ, доступных наземным способом в пределах трех часов и более

Таким образом, в статье продемонстрирована возможность применения лесопожарной транспортной модели региона для количественных оценок построения маршрутов движения специального транспорта от ПХС до лесных пожаров в зонах наземной охраны и лесоавиационных работ.

## ВЫВОДЫ

1. Созданная транспортная модель позволила построить маршруты для 98% лесных пожаров, зарегистрированных в зоне наземной охраны, время переброски сил и средств по которым составляет не более трех часов. Это косвенно подтверждает корректность подобранных параметров модели. Для более точной оценки работы модели планируется сравнить результаты моделирования с реальными треками пожарной техники в следующие пожароопасные сезоны. Это позволит также провести пространственный анализ совпадения маршрутов движения транспорта в реальных условиях по сравнению с модельными расчетами.

2. Показано, что требуется актуализация атрибутивных и пространственных данных о дорожной сети и просеках на территории субъекта административного деления для того, чтобы построенная транспортная модель имела практическое значение. Транспортная модель может использоваться для выбора способа доставки сил и средств (наземный/авиационный) к пожарам, а также их маневрирования в условиях высокой и чрезвычайной горимости лесов при ограниченных ресурсах субъекта. Это также позволит расширить возможности по взаимодействию между

подразделениями разных ведомств и арендодержателями лесного фонда региона, задействованными в тушении лесных пожаров.

3. Созданная транспортная модель может являться основой для решения более сложных управленческих задач, а именно, оценки временных затрат на переброску сил и средств между пожарно-химическими станциями, ввод дополнительных ограничивающих параметров перемещения транспорта в условиях города и вне его границ, межрайонного и межрегионального маневрирования с привлечением сил пожаротушения соседних субъектов и лесопожарных подразделений федерального подчинения.

4. Созданная многолетняя база данных маршрутов от ПХС до лесных пожаров позволяет оценивать и корректировать границы между зонами наземной охраны и лесоавиационных работ с учетом временной доступности территории лесного фонда по дорогам общего и специализированного пользования (противопожарные дороги, просеки и т.п.).

### БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках контракта с государственным финансированием «Методические подходы к оценке структурной организации и функционирования лесных экосистем», N ЦИТИС АААА-А18-118052400130-7.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Брюханов А.В.* «Лесопожарный ликбез»: 12 ошибочных мнений о природных пожарах // Устойчивое лесопользование. 2011. № 3 (28). С. 11-21. URL: <https://aviales.ru/files/documents/2011/10/12mn.unpublished.pdf>

*Брюханов А.В., Кориунов Н.А.* Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и предпосылки // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. С. 37-54.

Как построить кратчайший маршрут между двумя точками, 1996. URL: <http://faqs.org.ru/progr/graph/pathmake.htm> (дата обращения 10 января 2019).

*Кайбичева Е.И., Кайбичев И.А.* Индекс числа лесных пожаров в Российской Федерации за 2006-2010 гг. // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 5. С. 45-50.

*Котельников Р.В., Кориунов Н.А., Гиряев Н.М.* Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров: основные приоритеты развития информационного обеспечения // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. С. 18-24.

Методические рекомендации по применению сил и средств для тушения лесных пожаров (утв. МЧС России 16.07.2014 № 2-4-87-9-18). URL: <http://legalacts.ru/doc/metodicheskie-rekomendatsii-po-primeneniuu-sil-i-sredstv-dlja-tusheniija/> (дата обращения 10 января 2019).

Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. Приказ № 287. Федеральное агентство лесного хозяйства, 2011. URL: <https://rg.ru/2011/08/24/pojari-dok.html> (дата обращения 10 января 2019).

*Олейников В.Т., Марков А.Г.* Проблемы разработки и использования геоинформационных систем в подразделениях МЧС России // Пожаровзрывобезопасность. 2014. № 8. С. 32-35.

*Подольская Е.С., Ковганко К.А., Ершов Д.В., Плотникова А.С.* Создание геоинформационной модели планирования оптимального маршрута перемещения наземных сил и средств к месту тушения лесных пожаров // Тезисы II Международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Под ред. Гедьо В.М. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, 2017. С. 200-202.

*Пономарев Е.И., Харук В.И., Якимов Н.Д.* Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири // Сибирский лесной журнал. 2017. № 5. С. 25-36.

Правила дорожного движения (ПДД), URL: <http://pddgarazh.ru/pravila/skorost-dvizheniya.html> (дата обращения 10 января 2019).

Приказ Министерства лесного комплекса Иркутской области №52 от 21.06.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/450255889>

Приказ Рослесхоза № 65 от 16.02.2017. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456071028>

*Рунова Е.М., Доленко М.А.* Лесные пожары в Иркутской области // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2006. Т. 1. С. 90-92.

*Рунова Е.М., Костяев В.Н.* Подход к проектированию оптимальной лесотранспортной сети с помощью математического моделирования // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4 (16). С. 170-176.

*Соколов А.П., Герасимов Ю.Ю.* Геоинформационная система для решения оптимизационной задачи транспортной логистики круглых лесоматериалов // ИВУЗ “Лесной журнал”. 2009. № 3. С. 78-85.

*Таранцев А.А.* О проблеме размещения вновь создаваемых пожарных частей на территориях регионов // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22, № 5. С. 52-57.

*Таранцев А.А.* Методика определения мест дислокации поэтапно создаваемых пожарных частей в сельской местности и корректировки границ районов выезда // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 4. С. 72-78.

Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области. URL: [http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/irkutskstat/ru/statistics/enterprises/transport/](http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/irkutskstat/ru/statistics/enterprises/transport/) (дата обращения 29 января 2019).

Условные знаки противопожарного устройства лесов. Приложение 14. 1997. URL: <http://docs.cntd.ru/document/58817250>

*Фараонов А.В.* Разработка ситуационной модели задачи маршрутизации при необходимости изменения опорного плана на основе нечеткой ситуационной сети // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16-19 июня 2014 г. С. 5101-5113.

*Ходаков В.Е., Жарикова М.В.* Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Гринь Д.С. 2011. 470 с.

*Abousaeidi M., Fauzi R., Muhamad R.* Geographic Information System (GIS) modeling approach to determine the fastest delivery routes // Saudi Journal of Biological Sciences. 2016a. Vol. 23. P. 555-564.

*Abousaeidi M., Fauzi R., Muhamad R.* Determining efficient delivery routes in specific time-frames using Geographic Information System // Journal of Environmental Biology. 2016b. Vol. 37 (Special Issue). P. 1167-1176.

*Akay A., Aziz B.* GIS-Based forest road network model for forest protection purposes // 38th Annual COFE Meeting. Engineering solutions for non-industrial private forest operations. 2015. P. 266-281.

*Akay A., Kakol A.* Forest transportation planning by using GIS-based decision support system // 47th Forest Engineering Conference (FORMEC). Gerardmer, 2014. P. 1-8.

*Akay A.E., Wing M.G., Sivrikaya F., Sakar D.A.* GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey // *Environment Monitoring Assess.* 2012. No 184, P. 1391-1407.

*Alazab A., Venkatraman S., Abawajy J., Alazab M.* An optimal transportation routing approach using GIS-based dynamic traffic flows // 3rd International Conference on Information and Financial Engineering IPEDR. IACSIT Press, 2011. Vol. 12. P. 172-178.

*Dijkstra E.W.* A note on two problems in connexion with graphs // *Numerische Mathematik.* 1959. Vol. 1. P. 269-271.

*Feng G., Sun Zh., Su G.* Optimal route of emergency resource scheduling based on GIS // 3rd ACM SIGSPATIAL Workshop, November 2017. P. 6.

*Forkuo E.K., Quaye-Ballard J.A.* GIS-based fire emergency response system // International Journal of Remote Sensing and GIS. 2013. Vol. 2. Iss. 1. P. 32-40.

*Goldammer J.G., Sukhinin A., Csiszar I.* Current fire situation in the Russian Federation: Implications for enhancing international and regional cooperation in the UN Framework and the global programs on fire monitoring and assessment // GFMC contribution to the International Workshop «New Approaches to Forest Protection and Fire Management at an Ecosystem Level», Khabarovsk, 2003. P. 1-24.

*Idhoko K.E, Aguba W, Emefeke U, Nwanguma C.* Development of a geographic information systems road network database for emergency response: A case study of Oyo-Town, Oyo State, Nigeria // International Journal of Engineering Science Invention ISSN. 2015. Vol. 4 (12). P. 34-42.

*Jawad F.F., Shabana B.T., El-Bakry H.M.* Reducing waiting time for transportation using GIS // International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology (IJARCST). 2016. Vol. 62. No 4 (1). P. 62-71.

*Keramati A., Sobhani A., Esmaeili S.A.H., Lu P.* Solving the log-truck routing problem while accounting for forest road maintenance levels: a case study of Oregon // Transportation Research Board 97th Annual Meeting, 2018. P. 6.

*Kumar P., Singh V., Reddy D.* Advanced traveler information system for Hyderabad City // IEEE Transactions on intelligent transportation systems. 2005. Vol. 6 (1). P. 26-37.

*Liu S., Zhu X.* Accessibility analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning // Environment and Planning, Planning and Design. 2004. Vol. 31. P. 105-124.

*Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T.* Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. Vol. 11. No 1. P. 113-145.

*Malladi T., Sowlati T.* Optimization of operational level transportation planning in forestry: a review // International Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 28. Iss. 3. P. 198-210.

*Ni K., Zhang Y.-T., Ma Y.-P.* Shortest path analysis based on Dijkstra's algorithm in emergency response system // Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineerin. 2014. Vol. 12 (5). P. 3476 -3482.

NOAA Global ETOPO. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html> (дата обращения 11 января 2019 года).



## REFERENCES

Abousaeidi M., Fauzi R., Muhamad R., Geographic Information System (GIS) modeling approach to determine the fastest delivery routes, *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2016, Vol. 23, pp. 555-564.

Abousaeidi M., Fauzi R., Muhamad R., Determining efficient delivery routes in specific time-frames using Geographic Information System, *Journal of Environmental Biology*, September 2016, Vol. 37 (Special Issue), pp. 1167-1176.

Akay A., Aziz B., GIS-Based forest road network model for forest protection purposes, *38th Annual COFE Meeting. Engineering solutions for non-industrial private forest operations*, 2015, pp. 266-281.

Akay A., Kakol A., Forest transportation planning by using GIS-based decision support system, available at <http://fec2014.fcba.fr/wp-content/uploads/sites/4/2014/11/a93.pdf>

Akay A.E., Wing M.G., Sivrikaya F., Sakar D.A., GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey, *Environment Monitoring Assess*, 2012, No. 184, pp. 1391-1407.

Alazab A., Venkatrama S., Abawajy, J., Alazab M., An optimal transportation routing approach using GIS-based dynamic traffic flows, *3rd International Conference on Information and Financial Engineering IPEDR*, 2011, Vol. 12, IACSIT Press, pp. 172-178.

Bryukhanov A.V., «Lesopozharnyj likbez»: 12 oshibochnyh mnenij o prirodnyh pozharah // Ustojchivoe lesopol'zovanie ('Forest firefighting education program': 12 mistaken opinions about the wild fires), *Sustainable forest management*, 2011, No 3 (28), pp. 11-21. <https://aviales.ru/files/documents/2011/10/12mn.unpublished.pdf>

Bryukhanov A.V., Korshunov N.A., Aviacionnoe tushenie prirodnyh pozharov: istorija, sovremennoe sostojanie, problemy i predposylki (Aerial wildfire fighting: history, current situation, problems and perspectives), *Siberian Forest Journal*, 2017. No 5. pp. 37-54.

Dijkstra E.W., A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, Vol. 1, 1959, pp. 269-271.

Faraonov A.V., Razrabotka situacionnoj modeli zadachi marshrutizacii pri neobhodimosti izmenenija opornogo plana na osnove nechetkoj situacionnoj seti (Development of situation model of transportation task based on fuzzy situational network), *XII All-Russia meeting on the management problems*, Moscow, June 2014, pp. 5101-5113.

Feng G., Sun Zh., Su G., Optimal route of emergency resource scheduling based on GIS, *3rd ACM SIGSPATIAL Workshop*, November 2017. p. 6.

Forkuo E. K., Quaye-Ballard J. A., GIS-based fire emergency response system, *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 2013, Vol. 2, Issue 1, pp. 32-40.

Goldammer J.G., Sukhinin A., Csiszar I., Current fire situation in the Russian Federation: Implications for enhancing international and regional cooperation in the UN Framework and the global programs on fire monitoring and assessment, *GFMC contribution to the International Workshop "New Approaches to Forest Protection and Fire Management at an Ecosystem Level"*, Khabarovsk, Russian Federation, 2003, pp. 1-24.

Idhoko K.E, Aguba W., Emefeke U., Nwanguma C., Development of a geographic information systems road network database for emergency response: A case study of Oyo-Town, Oyo State, Nigeria, *International Journal of Engineering Science Invention ISSN*, 2015, Vol. 4 (12), pp. 34-42.

Jawad F.F., Shabana B.T., El-Bakry H.M., Reducing waiting time for transportation using GIS, *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology (IJARCST)*, 2016, 62, 4 (1). pp. 62-71.

Kaibicheva E.I., Kaibichev I.A., Indeks chisla lesnyh pozharov v Rossijskoj Federacii za 2006-2010 gg. (Forest fires number index in Russian Federation in 2006-2010), *Fire and explosion safety*, 2013, Vol. 22, No 5. pp. 45-50.

Kak postroit' kratchajshij marshrut mezhdu dvumja tochkami (How to create a shortest path between two points), 1996, <http://faqs.org.ru/progr/graph/pathmake.htm>, 2019, 11 January.

Keramati A., Solving the log-truck routing problem while accounting for forest road maintenance levels: a case study of Oregon, *Transportation Research Board 97th Annual Meeting*, 2018. 6 p., available at <https://trid.trb.org/view/1495908>, 2019, 11 January.

Khodakov V.E., Zharikova M.V., Lesnye pozhary: metody issledovanija (Forest fires: research methods), Kherson: *Grin D.S.*, 2011. 470 p.

Kotelnikov R.V., Korshunov N.A., Giryayev N.M., Zadachi prinjatija reshenij v oblasti ohrany lesov ot pozharov: osnovnye priority razvitiya informacionnogo obespechenija decision making in protecting forests from fires. Priorities on development of informational support), *Siberian Forest Journal*, 2017, N o 5, pp. 18-24.

Kumar P., Singh V., Reddy D., Advanced traveler information system for Hyderabad City, *IEEE Transactions on intelligent transportation systems*, 2005, Vol. 6 (1), pp. 26-37.

Liu S., Zhu X., Accessibility analyst: an integrated GIS tool for accessibility analysis in urban transportation planning, *Environment and Planning, Planning and Design*, 2004, Vol. 31, pp. 105-124.

Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov, V.V., Matvienko G.G., Loboda T., Satellite monitoring of forest fires in Russia at federal and regional levels, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol. 11, No 1, pp. 113-145.

Malladi T., Sowlati T., Optimization of operational level transportation planning in forestry: a review, *International Journal of Forest Engineering*, 2017, Vol. 28, Issue 3. p. 198-210.

Metodicheskie rekomendacii po primeneniju sil i sredstv dlja tushenija lesnyh pozharov (Recommendations on the use of forces and technical means to extinguishing forest fires, Emercom of Russia, dated 16.07.2014 N 2-4-87-9-18), <http://legalacts.ru/doc/metodicheskie-rekomendatsii-po-primeneniiu-sil-i-sredstv-dlja-tushenija/>, 2019, 11 January.

Ni K., Zhang Y.-T., Ma Y.-P., Shortest path analysis based on Dijkstra's algorithm in emergency response system, *Telkomnika Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 2014, Vol. 12 (5), pp. 3476-3482.

NOAA Global ETOPO, <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo2.html>, 2019, 11 January.

Ob utverzhdenii klassifikacii prirodnoj pozharnoj opasnosti lesov i klassifikacii pozharnoj opasnosti v lesah v zavisimosti ot uslovij pogody. Prikaz № 287 (On approval of the classification of natural forest fire danger and the classification of forest fire danger depending on the weather conditions), Order No 287. Federal Forestry Agency (Rosleshoz), 2011. <https://rg.ru/2011/08/24/pojari-dok.html>, 2019, 11 January.

Oleynikov V.T., Markov A.G., Problemy razrabotki i ispol'zovaniya geoinformacionnyh sistem v podrazdelenijah MChS Rossii (Problems of development and use of geoinformation systems in divisions of Emercom of Russia), *Fire and explosion safety*, 2014, No 8, pp. 32-35.

PDD, skorost' dvizhenija (Traffic laws, speed limitations), available at <http://pddgarazh.ru/pravila/skorost-dvizheniya.html>, 2018, 08 November.

Podolskaia E.S., Kovganko K.A., Ershov D.V., Plotnikova A.S., Sozdanie geoinformacionnoj modeli planirovaniya optimal'nogo marshruta peremeshhenija nazemnyh sil i sredstv k mestu tushenija lesnyh pozharov (Creation of geoinformation model to plan an optimal route for ground access to the forest fires), *Proceedings of II International scientific and technical conference "Forests*

of Russia: politics, industry, science and education". Saint-Petersburg State Forest Technical University, 2017, pp. 200-202.

Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Yakimov N.D., Rezul'taty i perspektivy sputnikovogo monitoringa prirodnyh pozharov Sibiri (Current results and perspectives of wildfire satellite monitoring in Siberia), *Siberian Forest Journal*, 2017, No 5. pp. 25-36.

*Prikaz Ministerstva lesnogo kompleksa Irkutskoj oblasti* No 52 (Order of Ministry of Forest, Irkutsk region No 52), dated 21.06.2017, available at <http://docs.cntd.ru/document/450255889>, 2019, 11 January.

*Prikaz Rosleshoza* No 65 (Order of Federal Forestry Agency, Rosleshoz, N 65), dated 16.02.2017, available at <http://docs.cntd.ru/document/456071028>, 2019, 11 January.

Runova E.M., Dolenko M.A., Lesnye pozhary v Irkutskoj oblasti (Forest fires in Irkutsk region), *Proceedings of the Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences*, 2006, Vol. 1. pp. 90-92.

Runova E.M., Kostyaev V.N., Podhod k proektirovaniju optimal'noj lesotransportnoj seti s pomoshh'ju matematicheskogo modelirovanija (An approach to design an optimal forest transport network with mathematical modelling), *Systems. Methods. Technology*, 2012, No 4 (16), pp. 170-176.

Sokolov A.P., Gerasimov Yu.Yu., Geoinformacionnaja sistema dlja reshenija optimizacionnoj zadachi transportnoj logistiki kruglyh lesomaterialov (Geoinformation system for solving optimization problem of transport logistics for round timber), *IVUZ Forest Journal*, 2009, No 3. pp. 78-85.

Tarantsev A.A., O probleme razmeshhenija vnov' sozdavaemyh pozharnyh chastej na territorijah regionov (On the problem of placing newly created fire brigades in the territories of the regions), *Fire and explosion safety*, 2013, Vol. 22, No 5, pp. 52-57.

Tarantsev A.A., Metodika opredelenija mest dislokacii pojetapno sozdavaemyh pozharnyh chastej v sel'skoj mestnosti i korrekcirovki granic rajonov vyezda (Technique of dislocation of places for the fire departments gradually created in rural areas and corrections of boundaries of their departure's areas), *Fire and explosion safety*, 2015, No 4, pp. 72-78.

Territorial'nyj organ Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Irkutskoj oblasti.

URL:

[http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/irkutskstat/ru/statistics/enterprises/transport/](http://irkutskstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/irkutskstat/ru/statistics/enterprises/transport/), 2019, 11 January.

*Uslovnye znaki protivopozharnogo ustrojstva lesov* (Legend for the forest fire prevention), Appendix 14, available at <http://docs.cntd.ru/document/58817250>, 2019, 11 January.

**USING OF TRANSPORTATION NETWORK MODEL TO ESTIMATE TRAVELLED  
TIME AND DISTANCE FOR GROUND ACCESS TO A FOREST FIRE**

**E.S. Podolskaia<sup>1</sup>, K.A. Kovganko<sup>1</sup>, D.V. Ershov<sup>1</sup>, P.P. Shulyak<sup>1</sup>, A.I. Suchkov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Center for Forest Ecology and Productivity of the RAS  
Profsoyuznaya st. 84/32 bldg. 14, Moscow, 117997, Russia*

<sup>2</sup> *Irkutsk Regional Dispatching Service  
Deputatskaya st. bldg. 85, Irkutsk, 664081, Russia*

*E-mail: podols\_kate@mail.ru*

Received 11 January 2019

Paper presents research results on an experimental forest fire transportation model which is used to build the shortest access routes from the fire stations to the forest fires on the ground for the firefighting trucks. Spatially-distributed data on the fire trucks' average speed for different types of roads and the elevation values were used in the model for the test area (Irkutsk region of Russia). There were the estimates obtained for the travelled time and distance of special vehicles to access forest fires detected by satellites in 2002 – 2017 within the ground and forest aviation zones of test region; totally, 16251 routes were built and analyzed. The model was validated using the forest fires detected in the ground protection zone. As a result, the access time calculated by the model for 98% (2661) of forest fires is less than three hours. Transport model can be used to choice a way to deliver the forces and fire equipment (ground or air) to the forest fires. Multi-year database of access routes is a useful information to correct the boundaries of forest fire protection zones annually.

**Key words:** *transport model, ArcGIS, Network Analyst, forest fir, fire protection zones, fire station*

Рецензент: к.т.н. Кушнырь О.В.