

УДК 614.8

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКА ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Звягинцева, Д.В. Яковлев

Показана эффективность применения географических информационных технологий для совершенствования системы мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки. Рассмотрен алгоритм восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала лесного фонда Воронежской области на момент возникновения пожара. Проведен анализ показателей и критериев, используемых при оценке возможной лесопожарной обстановки на территории Воронежской области. Рассмотрено построение информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования лесопожарной обстановки на основе использования базовых пространственных данных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МОНИТОРИНГ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ЛОКАЛЬНЫЕ ИДЕНТИФИКАТОРЫ, СТЕПЕНЬ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПОГОДЫ.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно на территории Воронежской области в среднем происходит 680 пожаров общей площадью 377 га (это без учета пожароопасной обстановки региона 2010 года), и, как правило, сосредоточенных в основном на определенных территориях. Лесные пожары, произошедшие на территории Воронежской области в 2010 году, показали, что функционирующая система мониторинга и прогнозирования лесных пожаров несовершенна, а объем проводимых превентивных мероприятий недостаточен для предупреждения возникновения крупных лесных пожаров (рис. 1.) [1]. Обеспечение пожарной безопасности является общегосударственной задачей. Целью государственной программы «Леса Воронежской области (2012-2016 годы)» – обеспечение сохранения и приумножения лесов Воронежской области на долгосрочный период [2, 3].

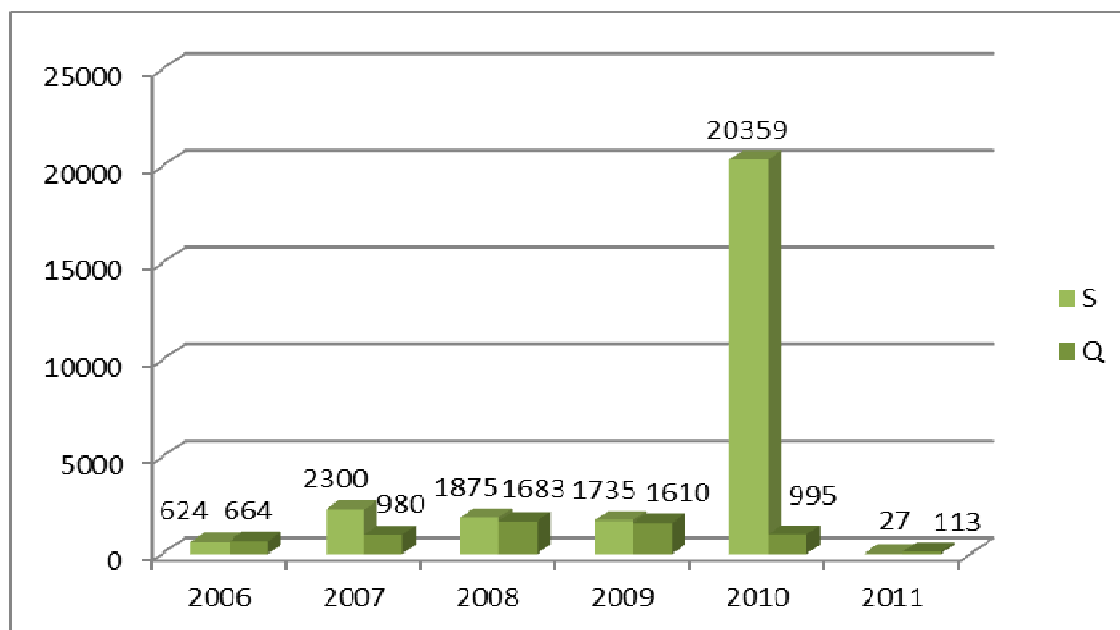


Рис.1. Количество и площадь лесных пожаров по годам.

Задачами программы являются развитие лесной охраны; обеспечение тушения лесных пожаров; ликвидация последствий лесных пожаров 2010 года; защита леса от вредных организмов. На реализацию программы планируется направить 1 млрд. 402 млн. 896,1 тысяч рублей. Поэтому, с целью снижения риска возникновения чрезвычайных лесопожарных ситуаций на территории Воронежской области и смягчения последствий от лесных пожаров необходимо в течение всего пожароопасного сезона постоянное функционирование системы мониторинга и прогнозирования лесных пожаров и ее совершенствование [4,5].

Цель работы: оценить возможную лесопожарную обстановку на территории Воронежской области и разработать алгоритм составления прогноза лесопожарной обстановки на примере Воронежской области как элемента единого информационного пространства региона на основе использования базовых пространственных данных.

ПОСТРОЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛЕСОПОЖАРНОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БАЗОВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ.

Мониторинг динамических показателей является наиболее важным компонентом. Прогнозирование обстановки в каждой точке местности затрудняется из-за малой плотности распределения метеопостов и станций. Средняя плотность по Центрально-Черноземному региону России – одна метеостанция на 10-12 тысяч км², в результате нельзя получить полную мониторинговую информацию по метеорологическим показателям.

К районам, наиболее подверженным лесным пожарам относятся 5 лесхозов: Воронежский, Давыдовский, Новоусманский, Семилукский, Сомовский. На их территориях существует высокая вероятность возникновения чрезвычайных лесопожарных ситуаций общей площадью до 200 га, и лесные пожары могут нарушить условия жизнедеятельности более 6 тысяч человек одновременно.

Для выявления зависимостей между метеорологической обстановкой и характеристиками лесных массивов, в первую очередь, необходимо восстановить метеорологическую обстановку на территории, каждого квартала государственного лесного фонда на момент возникновения пожара. Восстановление метеорологической обстановки в каждой конкретной точке местности возможно путем интерполяции непрерывно распределяемых значений показателей (температура, влажность, скорость и направление ветра и т.д.) между расположенными метеостанциями Росгидрометцентра. На территории Воронежской области располагается 9 метеостанций на расстоянии от 70-90 км друг от друга в неравномерном распределении, что не позволяет объективно оценить сложившуюся обстановку на территории области. Для повышения объективности исследования целесообразно учесть внутрисуточные изменения метеорологической обстановки, так как колебание температуры и влажности в течение суток весьма существенно. Так, например, в Воронежской области в 2007 году произошло 728 лесных пожаров на территории государственного лесного фонда, первый из которых зарегистрирован 31 марта 2007 года, а последний 30 октября 2007 года. Государственный лесной фонд (гослесфонд) Воронежской области в 2007 году насчитывал 9727 лесных кварталов, на территории которых произрастают деревья различных видов, различной зрелости с различной плотностью древостоя и т.д. Таким образом, под рассмотрение попадают статистические данные с 37 метеостанций с периодичностью замеров 1 раз в 3 часа на интервале времени с 31 марта по 31 октября 007 года (215 суток), что составляет 1720 срезов обстановки на территории в целом и отдельно на территории каждого из 9727 кварталов гослесфонда Воронежской области.

Поэтому, основное исследование опирается на пространственное распределение метеорологической обстановки и выставления значений метеобстановки в конкретной точке местности, что возможно только с применением геоинформационных систем (ГИС) для приведения пространственного моделирования и анализа, и систем управления базами данных (СУБД) для структурирования, обработки и хранения больших объемов статистических данных. Моделирование распределения метеорологических показателей сводится к аппроксимированию значений со всех близлежащих метеостанций по каждому отдельно взятому показателю. В результате образуется непрерывная поверхность изменения значений показателя на всю исследуемую территорию между определенными метеостанциями (точками региона). Пространственное моделирование распределения значений метеорологического показателя на исследуемой территории производится по схеме, представленной на рис. 2.

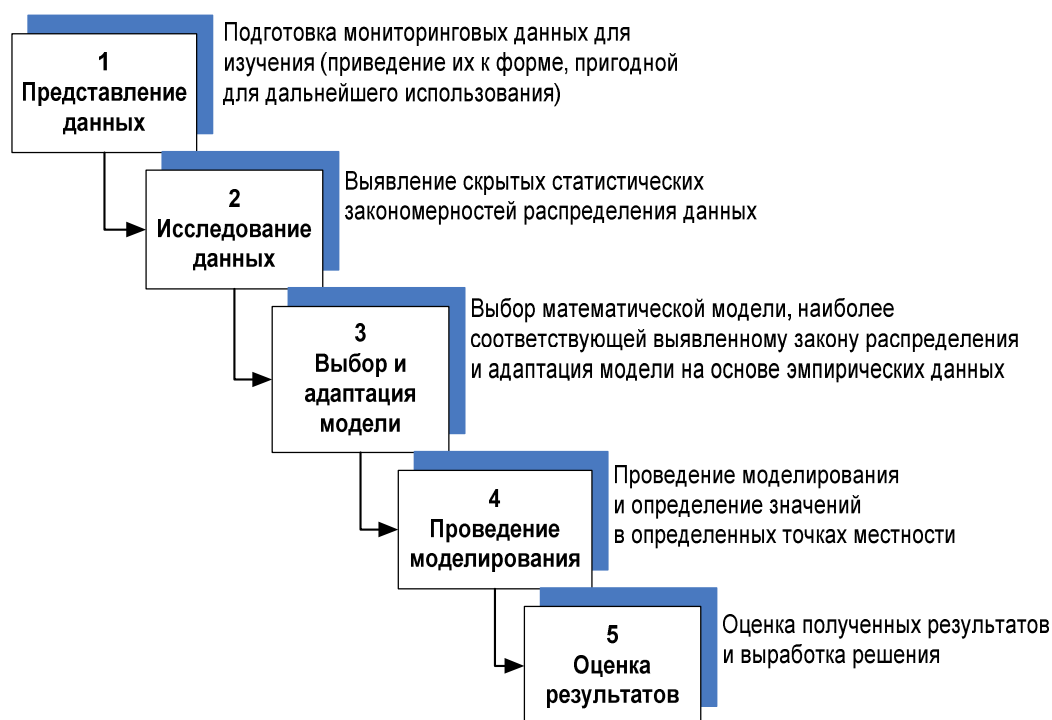


Рис. 2. Этапы проведения моделирования.

Ход работы можно условно разделить на 3 этапа: построение общей модели обработки данных; реализация модели; прогон модели (моделирование) и оценка результата. Наиболее значимыми показателями с точки зрения пожарной опасности для исследования можно выделить следующие метеорологические показатели:

- Температура воздуха (С) на высоте 2 м над поверхностью земли
- Атмосферное давление, приведённое к среднему уровню моря (мм. рт. ст.)
- Относительная влажность (%)
- Направление ветра (градусы)
- Средняя скорость ветра в срок наблюдения (м/сек)
- Максимальный порыв ветра в течении 10 минут в срок наблюдения (м/сек)
- Минимальный порыв ветра между сроками (м/сек)
- Температура точки росы (С)
- Количество выпавших осадков (мм)
- Коэффициент пожарной опасности погоды Нестерова К.

Основными параметрами для оценки состояния пожарной опасности следует учитывать характеристики:

- лесных горючих материалов;
- погодных условий;
- рельефа местности;
- значимости человеческого фактора.

В общем виде процесс восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала можно представить в следующем порядке:

- отбор статистических метеоданных по 1 параметру на конкретный момент времени;
- связывание выборки с местоположением метеостанции;
- интерполирование в непрерывную модель распределения показателя;
- восстановление значения показателя на территории конкретного квартала;
- формализация и сохранение результата.

Данная последовательность действий циклически повторяется для каждого показателя и момента времени, что приводит к необходимости полной автоматизации проведения вычислений.

Развернутую последовательность действий процесса восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала можно представить в виде схемы (рис. 3). Структура базы данных прогнозирования лесных пожаров показана в табл. 1.

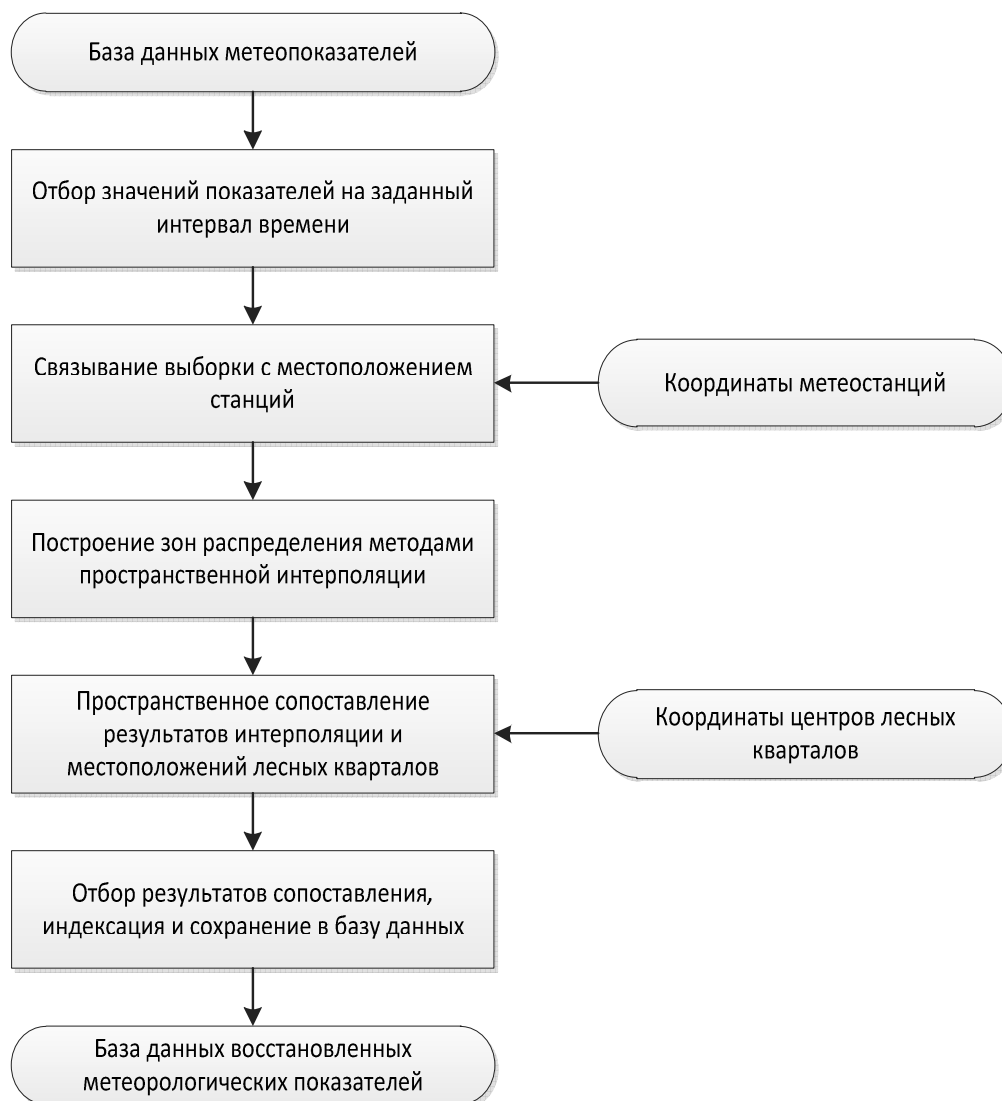


Рис. 3. Алгоритм восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала лесного массива Воронежской области.

В нашем исследовании производится сопоставление динамической информации и статичной. Это подразумевает необходимость разработки ключей (идентификаторов) для связывания данных между собой, так необходимо статистические данные связать с местоположением метеостанций и временными интервалами, а результирующие данные должны быть связаны с местоположением лесных кварталов и временными интервалами. Таким образом, каждое местоположение метеостанций и лесных кварталов, а также временной интервал должны иметь свои идентификатора, в то время как статистические данные должны также иметь их в своей структуре.

Для упрощения формирования циклических выборок целесообразно ввести системы последовательных идентификаторов для идентификации показателей и установить сквозную идентификацию временных интервалов на весь период исследования. Для статических данных можно задать локальные идентификаторы в виде порядковой нумерации, как приведено в таблице 2.

Введение индетификационных полей позволяет структурировать данные в реляционную структуру хранения, позволяющую значительно упростить работу со статистическими данными и сократить объемы обрабатываемой информации.

Таблица 1.
Структура базы данных прогнозирования лесных пожаров

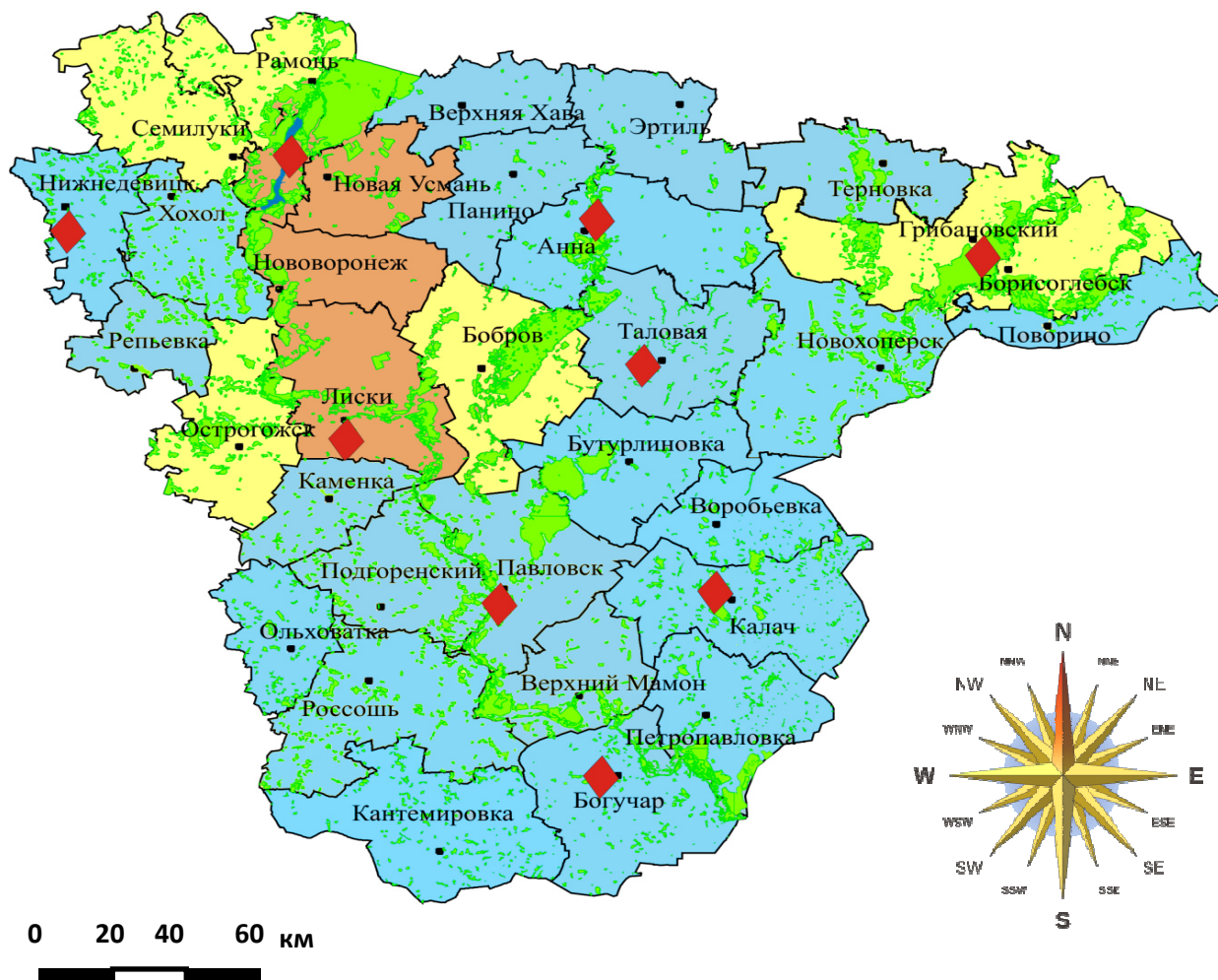
Номер поля	Имя поля	Наименование поля и его классы
1	VAR1	Номер пожара. Идентификационное поле.
2	VAR2	Среднесуточный прирост площади пожара в гектарах. Выходное поле.
3	VAR3	Код лесхоза.
4	VAR4	Площадь регистрации пожара в гектарах.
5	VAR5	Количество дней наблюдения пожара.
6	VAR6	Код растительности на местности пожара.
7	VAR7	Температура воздуха на дату начала пожара, градусов Цельсия.
8	VAR8	Точка росы на дату начала пожара, градусов Цельсия.
9	VAR9	Дефицит точки росы, градусов Цельсия на дату начала пожара.
10	VAR10	Осадки на сутки на дату начала пожара, мм.
11	VAR11	Комплексный показатель пожарной опасности по местным шкалам (методика Нестерова)
12	VAR12	Класс пожарной опасности по местным шкалам (методика Нестерова)
13	VAR13	Комплексный показатель пожарной опасности по показателям влажности ПВ-1
14	VAR14	Класс пожарной опасности по показателю влажности ПВ-1
15	VAR15	Комплексный показатель пожарной опасности по показателям влажности ПВ-2
16	VAR16	Класс пожарной опасности по показателю влажности ПВ-2
17	VAR17	Признак наличия осадков днем на дату начала пожара
18	VAR18	Признак наличия осадков ночью на дату начала пожара

Таблица 2.
Локальные идентификаторы для статических данных

№ п/п	Параметр	Интервал значений идентификаторов
1	Местоположение метеостанций	От 0 до 36
2	Местоположение лесных кварталов	От 0 до 9726
3	Временные интервалы (каждые 3 часа от 1 ночи)	От 1 до 8
4	Временные интервалы (каждые 3 часа от 1 ночи и на протяжении 215 суток)	От 1 до 1720
5	Индексы показателей	От 1 до 10

Географические информационные технологии позволяют автоматизировать трудоемкие этапы мониторинга, прогнозирования лесопожароопасных ситуаций и определения мероприятий по реагированию, что сокращает время для сбора, поиска, анализа и интерпретации географической и тематической информации, необходимой для оценки последствий лесных пожаров [6,7].

На рисунке 4 отображена территория Воронежской области, ранжированная по степени риска возникновения лесных пожаров и условиям горимости лесных горючих материалов за 2010 год. На рисунке показано: более темным цветом – высокая, более светлым – средняя и промежуточным – низкая степень частоты возникновения лесных пожаров.



Масштаб 1:2 000 000

Условные обозначения:

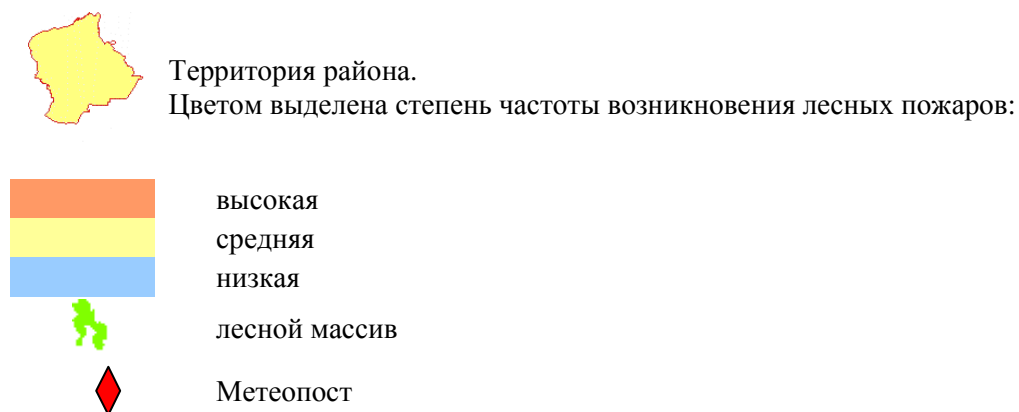


Рис. 4. Отображение лесного массива по преобладающей средней степени пожарной опасности на территории Воронежской области за 2010 год.

Наибольшее количество возгораний произошло на территории г. Воронежа, Каширского и Лискинского районов в 2010 году одновременно. Наиболее пожароопасными территориями обозначились следующие леса в пригородах г. Воронежа (н.п. Подгорное, Масловка, Сомово, Кожевенный кордон), Лискинском, Бобровском, Новоусманском и Каширском районах, преимущественное преобладание сосны. На их территориях существует высокая вероятность возникновения чрезвычайных лесопожарных ситуаций, что реально и произошло в 2010 году в Воронежской области. Анализируя грид индекса пожароопасности и объединяя его с данными о плотности застройки и картой вероятности проявления пожаров на территории, можно выявить области с наиболее высоким риском возникновения и развития пожаров и создать карту общей оценки риска для анализируемой территории. При анализе статистической информации о лесных пожарах на территории муниципальных районов Воронежской области выделяется городской округ г. Воронеж и близлежащий Новоусманский район, они за 6 лет (2001 – 2006 гг.) произошло 62 % пожаров на территории области, а остальные 38 % распределены по 19 районам. В таблице 3 приведён результат статистического анализа лесных пожаров на территории Воронежской области за 6 лет (за это время произошло 4 261 лесной пожар площадью более 0,2 га).

Таблица 3.
Частота проявления лесных пожаров по степени пожарной опасности погоды

№	Район\класс погоды	1	2	3	4	5
1	Аннинский	0	0	0,0062	0	0
2	Бобровский	0	0,0171	0,0279	0,0933	0,3235
3	Борисоглебский	0	0	0,0581	0,2000	0,1538
4	Верхнемамонский	0	0,0076	0,0235	0,0333	0
5	Верхнехавский	0	0	0	0,0145	0
6	Воронеж	0,0127	0,1293	0,4938	1,7101	6,2857
7	Грибановский	0	0,0146	0,0291	0,1714	0
8	Калачеевский	0	0	0,0060	0,0213	0
9	Каширский	0	0,0544	0,0875	0,3043	1,1429
10	Лискинский	0	0,0085	0,1061	0,1733	0,8235
11	Новоусманский	0,0383	0,1361	0,3625	1,4348	1,5714
12	Новохоперский	0	0	0,0061	0,0139	0,0769
13	Ольховатский	0	0	0,0047	0	0
14	Острогожский	0	0	0,0056	0,0133	0

№	Район\класс погоды	1	2	3	4	5
15	Павловский	0	0	0,0282	0,0167	0
16	Рамонский	0	0	0,0188	0,0435	0
17	Россошанский	0	0,0303	0,0610	0,2500	0,7143
18	Семилукский	0	0,0064	0	0	0,2667
19	Таловский	0	0	0,0121	0	0
20	Терновский	0	0,0073	0,0116	0	0
21	Хохольский	0	0	0,0051	0,0357	0
	Средняя частота	0,0024	0,0196	0,0645	0,2157	0,5409

В данной таблице приводятся данные по частоте проявления лесных пожаров на территориях муниципальных районов по классам пожарной опасности погоды, т.е. по каждому району за исследуемый период взято количество пожаров при определённом классе опасности погоды и отнесено к общему количеству дней на этой территории за исследуемый период, когда состояние погоды соответствовало этому же классу пожароопасности. В некоторых районах отсутствовали пожары при пятом классе, присутствуя при более низких классах, это объясняется тем, что в них за исследуемый период состояния погоды не достигало пятого класса пожароопасности.

Полученные данные наглядно интерпретированы на рисунке 5 и показывают увеличение частоты проявления пожаров в зависимости от класса пожарной опасности погоды в виде графика зависимости частоты проявления лесных пожаров от класса пожарной опасности погоды на территории. При аппроксимации зависимости в степенную функцию с достоверностью 0,9936, степенная функция имеет вид:

$$f(K) = 0,0021 \cdot K^{3,32}$$

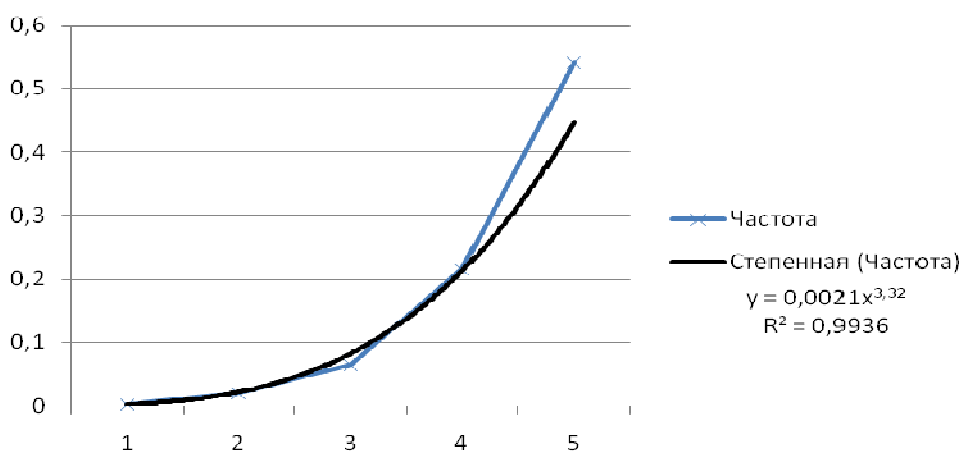


Рис. 5. Зависимость частоты проявления лесных пожаров на территории области от класса пожарной опасности погоды.

С помощью модулей географической обработки проведён пространственный анализ мест возникновения лесных пожаров в зависимости от прилегающих к лесным массивам территориям. На основании анализа определены зависимости возникновения лесных пожаров от типа использования территорий, её урбанизации и выявлены места наиболее вероятного проявления лесных пожаров в зависимости от удалённости территории от населённых пунктов и объектов экономики (таблица 4).

Таблица 4.
Распределение лесных пожаров относительно типа прилегающей территории

Тип прилегающей территории	% от общего числа
Сельскохозяйственные угодья	7
Садово-дачные участки	10,5
Промышленные объекты	3,4
Энергомагистрали	4
Гослесхоз (вокруг населённых пунктов)	65,8
Участки леса в непосредственной близости от дорог, рек	3,2
Зоны отдыха	6,1

Совмещение результатов полученных при пространственном анализе статистических данных по условиям и территориям возникновения лесных пожаров даёт возможность в автоматизированном

режиме прогнозировать возникновение лесных пожаров на конкретной территории с точностью до квартала.

Прогнозирование развития лесопожарной обстановки включает в себя ряд составляющих:

- биологическую (вид, спелость, увлажненность, зрелость, плотность древостоя, захламенность и т.д.);
- метеорологическую (температура, влажность, количество выпавших осадков, облачность, направление и скорость ветра и т.д.);
- антропогенную (удаленность от крупных населенных пунктов, от мест массового отдыха, автомобильных и железных дорог, инженерных сетей и т.д.);
- географическую (удаленность от объектов гидрографии, позиционирование на рельефе, климатическую составляющую и прочие).

Автоматизация процесса достигается применением инструмента для построения моделей ArcGIS. Расчёт пожароопасности погоды состоит из четырёх последовательных шагов, реализуемых отдельными инструментами:

1. выборка показателей (температура воздуха, температура точки росы, число дней после последнего дождя с количеством выпавших осадков более 25 мм) из подключенной базы данных по заданному условию (метеопост/станция, время замера);
2. выполнение расчёта коэффициента пожарной опасности погоды Нестерова на основе выбранных данных;
3. присваивание полученных значений пространственным объектам (точкам, имитирующим расположение метеопостов/станций);
4. проведение интерполирования значений коэффициента пожароопасности погоды Нестерова на исследуемой территории методом «ординарный кригинг».

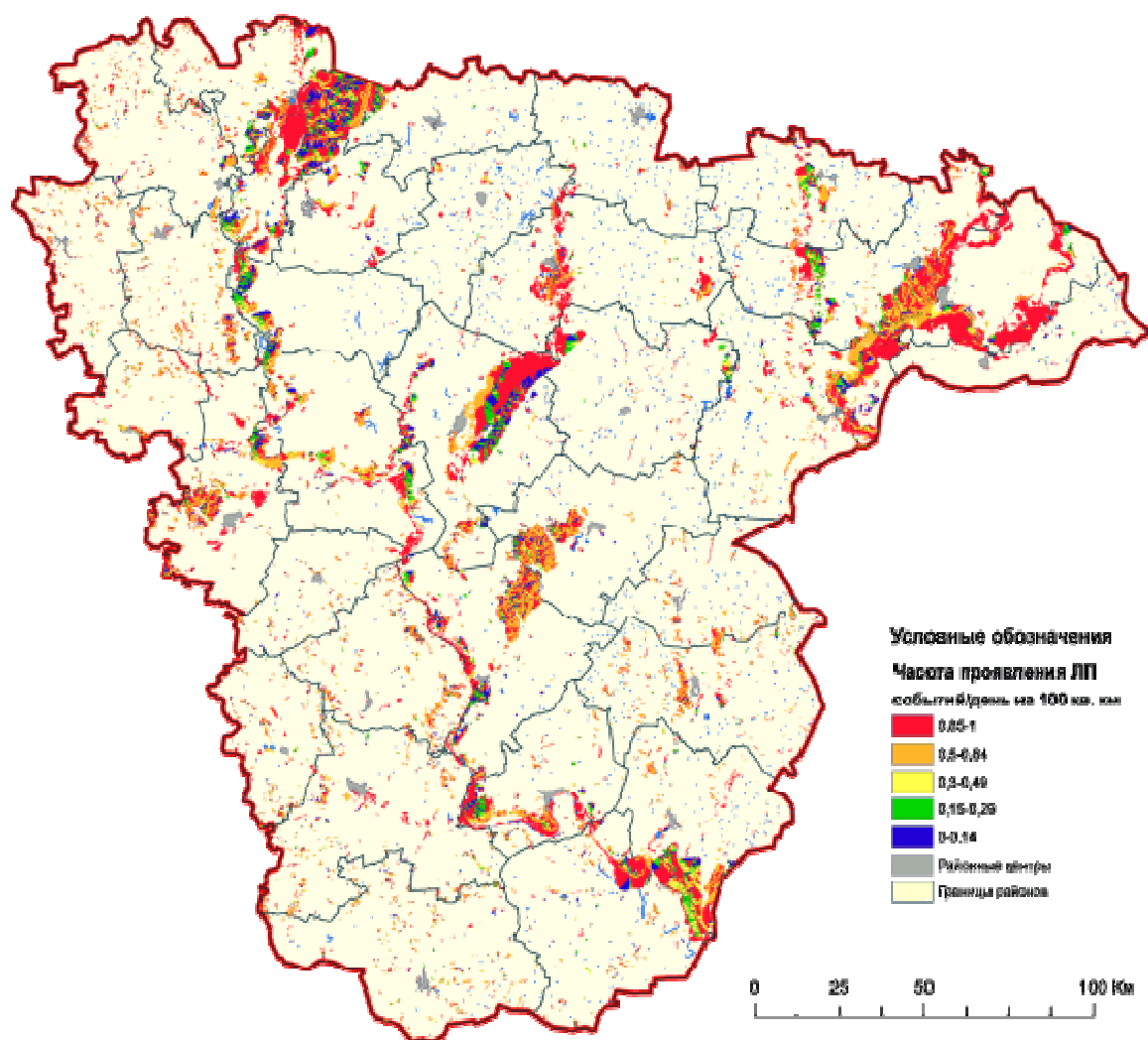
В результате проведённой в шаге 4 интерполяции получается растр пожароопасности исследуемой территории.

В этой многогранной модели существенное место отводится комплексному пространственному анализу данных о территории, представлению его результатов на картах. После построения унифицированных поверхностей создается карта результирующей оценки рисков, на которой показываются зоны повышенного риска на территории Воронежской области, где существует наибольшая вероятность возникновения лесных пожаров. Она основана на адаптации нейросетевой модели комплексного метода прогнозирования возникновения лесных пожаров, в которой входными данными являются соответствующие грид-поверхности [8]. В результате, на основе объединения классифицированных данных строится карта индекса состояния для отображения областей, наиболее подверженных угрозе возникновения пожара.

Результатом адаптации модели является растровый слой риска возникновения лесных пожаров. При создании карты рисков на территорию Воронежской области требуется учесть четыре группы факторов: потенциальные источники угрозы, пожароопасность лесных массивов, пожароопасность погодных условий, влияние рельефа местности [9]. Комбинируя эти компоненты на математической основе (используя нейросетевую модель комплексного метода прогнозирования возникновения лесных пожаров и средства геоанализа ArcGIS), получается оценка рисков возникновения лесных пожаров на территории области, представленная на рис. 6.

Результатом прогнозирования является картограмма (рис. 6), отображающая частоту проявления лесных пожаров в зависимости от состояния пожарной опасности погоды и от типа антропогенной нагрузки территории.

В этом примере инструменты геообработки растров модуля Spatial Analyst и аналитические инструменты модуля Geostatistical Analyst используются для оценки общего риска возникновения пожаров на изучаемой территории. Использование ГИС-технологий в системе мониторинга и прогнозирования лесных пожаров на территории Воронежской области даёт принципиально новые возможности анализа мониторинговой информации, в результате чего на основе метеорологических показателей и типа антропогенной нагрузки территории по антропогенной нагрузке выявляются наиболее вероятные места возникновения и направления распространения лесных пожаров, что дает возможность заранее усилить контроль за пожарным состоянием леса на соответствующих участках.

**Исходные данные**

Дата – 03.05.07, чт.

Метеорологическая обстановка

-Классы пожароопасности погоды –

Нижедевицк – 4

Воронеж –5

Анна –5

Борисоглебск – 5

Лиски –4

Таловая –5

Павловск – 4

Калач – 4

Богучар –5

-Направление ветра – СЗ

-Скорость ветра – 3м/с

-Облачность – ясно

-Осадки – без осадков

-Температура воздуха – +14 град.

-Влажность – 64%

Рис. 6. Прогноз частоты проявления лесных пожаров на территории Воронежской области на сутки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализируя грид индекса пожароопасности и объединяя его с данными о плотности застройки и картой вероятности проявления пожаров на территории, можно выявить области с наиболее высоким риском возникновения и развития пожаров и создать карту общей оценки риска для анализируемой территории. Аналогичные подходы и методы можно применить для создания моделей устойчивого развития территории, моделей оценки состояния природной среды и для решения многих других аналитических задач. Это даст возможность принимать оперативные решения по управлению возникающей пожароопасной ситуацией и обеспечит защиту населения и народнохо-

зайственных объектов, в том числе и военных, от потерь и ущерба. В 2011-2013 годах за счет организационного ресурса удалось переломить ситуацию с лесными пожарами в Воронежской области, в результате общее количество лесных пожаров уменьшилось в 12 раз, их площадь – в 37 раз по сравнению со среднемноголетними показателями. В 2014 году в условиях дефицита осадков и высокого температурного режима в лесах с повышенной пожарной опасностью (преимущественно сосна) вероятно возникновение крупных лесных пожаров (свыше 25 га). Вероятность возникновения крупных лесных пожаров при высокой и чрезвычайной пожарной опасности прогнозируется на 2014 год в пределах 0,6-0,7.

PROSPECTS SPATIAL ANALYSIS IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS TO PREDICT THE RISK OF FOREST FIRES ON THE VORONEZH REGION

D.V. Yakovlev, A.V. Zvyagintseva

The efficiency of the use of geographic information technologies to improve the monitoring and forecasting system of forest fire situation. The algorithm of restoration of a meteorological situation in the territory of concrete quarter of forest fund of the Voronezh region at the time of an emergence of fire is considered. The analysis of indicators and the criteria used at an assessment of a possible forest fire situation in the territory of the Voronezh region is carried out. Creation of information and analytical system of monitoring and forecasting of a forest fire situation on the basis of use of the basicspatial data is considered.

KEYWORDS: MONITORING, FORECASTING, GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGIES, FOREST FIRES, MODELING, METEOROLOGICAL INDICATORS, LOCAL IDENTIFIERS, DEGREE OF FIRE DANGER OF WEATHER.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров». 13 с.
2. Лесной кодекс Российской Федерации № 200-ФЗ от 04.12.2006 г. 48 с.
3. Приказ Рослесхоза № 257 «Об отнесении лесов на территории Воронежской области к ценным лесам и установлении их границ» от 16.06.2009 г. 2 с.
4. Козлов К.А. Прогностические оценки опасностей субъектов (регионов) РФ // Проблемы безопасности при ЧС. ВИНТИ. М.: 2001. №3. С. 91-102. 320 с.
5. Пространственный анализ в прогнозировании возможных лесных пожаров на территории Воронежской области. Яковлев Д.В., Звягинцева А.В., Ус Н.А. Вестник ВГТУ. Изд-во Воронеж: ГОУВПО "ВГТУ", Т.4, №10, 2008, с.70-73.
6. Медведева О. Расширенные возможности пространственного анализа в ArcGIS 9 // ArcReview №3(30). – М.: Дата+, 2004. – С. 10-19.
7. Замай С.С. Нейронные сети и ГИС / С.С. Замай, В.А. Охонин, О.Э. Якубайлик // Учеб. пособие «Основы геоинформатики» – М.: ИЦ «Академия». – 2004. – С. 255–266.
8. Нейросетевое моделирование в прогнозировании возникновения лесных пожаров на территории Воронежской области. Яковлев Д.В., Звягинцева А.В., Ус Н.А. Информация и безопасность. Воронеж: ГОУ ВПО "ВГТУ", 2009.Т.12, Ч.3. с.397-404.
9. Яковлев Д.В. Оценка современных методик прогнозирования развития лесных пожаров и возможные пути их усовершенствования / Д.В. Яковлев, А.В. Звягинцева, В.И. Федянин // Научно-технический вестник МЧС России «Технологии гражданской безопасности», 2006 г., № 4(10). – С. 33-36.