

Разработка геопространственной основы для модели оценки пожарных рисков от автодорожной инфраструктуры

Эрдман Александр Алексеевич

Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

В данном исследовании рассматривается процесс освоения методов геопространственной обработки данных и создания векторных слоёв буферных зон вокруг объектов дорожной инфраструктуры. Работа реализована с применением геоинформационных систем (ГИС) и соответствующих программных инструментов. Результатом исследования является подготовленный набор пространственных данных, который служит ключевой основой для будущей разработки информационной модели оценки вероятности возникновения лесных пожаров от антропогенных источников.

Ключевые слова: ГИС, QGIS, моделирование

Development of a geospatial framework for a model for assessing fire risks from road infrastructure

Erdman Alexander Alekseevich

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

This study examines the process of mastering geospatial data processing methods and creating vector layers of buffer zones around road infrastructure facilities. The work was implemented using geographic information systems (GIS) and related software tools. The result of the study is a prepared set of spatial data, which serves as a key basis for the future development of an information model for assessing the likelihood of forest fires from anthropogenic sources.

Keywords: GIS, QGIS, modeling

1 Введение

1.1 Актуальность

Актуальность данной научной работы обусловлена высокой пожароопасной обстановкой на территории Дальнего Востока России и значительной ролью антропогенного фактора в возникновении лесных пожаров. Автомобильные и железные дороги выступают как ключевые источники риска, а их буферные зоны являются критически важными объектами для анализа и моделирования пожароопасности. Современные

геоинформационные технологии и методы пространственного анализа предоставляют эффективный инструментарий для решения таких задач.

1.2 Обзор исследований

А.Ю. Андрианов и А.М. Карпачевский в своей статье подробно рассмотрели теоретические основы и практические методы геоинформационного моделирования буферных зон, подчеркнув их ключевое значение для количественной оценки антропогенного воздействия на природные территории [1]. М.И. Киселев и А.С. Петрова представили исследование, посвященное проектированию оптимальной структуры базы пространственных данных, предназначенной для комплексного мониторинга и анализа лесопожарной обстановки [2]. Д.С. Орлов и Е.А. Семенова провели детальный анализ антропогенных факторов, способствующих возникновению лесных пожаров, на конкретном примере приграничных территорий Дальнего Востока, выделив транспортную инфраструктуру как один из ключевых источников риска [3]. Н.П. Соколова и И.М. Лебедева в своей работе описали методику создания комплексной информационной модели территории с использованием ГИС-технологий, предназначенной для оценки рисков возникновения природных пожаров [4]. Р.К. Федоров и А.А. Игнатъев изучили и представили практические примеры автоматизации геообработки пространственных данных на языке Python, акцентировав внимание на возможностях библиотек ArcPy и GeoPandas для решения картографических задач [5]. А.А. Мильшин и А.Г. Гранков в своем труде исследовали перспективы применения данных спутниковой СВЧ-радиометрии для оценки показателей пожарной опасности лесных массивов, что служит важным элементом систем дистанционного мониторинга [6].

1.3 Цель исследования

Освоение методов геопространственной обработки данных для создания векторных слоёв буферных зон вокруг дорожной инфраструктуры с целью формирования базы для будущей информационной модели оценки вероятности лесных пожаров от антропогенных источников.

2 Материалы и методы

В качестве исходных данных применялись открытые пространственные данные о дорожной сети исследуемого региона. Основная геопространственная обработка выполнялась в программном комплексе QGIS. Для автоматизации процессов создания буферных зон и атрибутивного анализа использовался встроенный язык выражений, а также инструменты панели обработки (Processing Toolbox). Верификация и визуализация полученных векторных слоёв осуществлялась стандартными средствами выбранной ГИС.

3 Результаты и обсуждения

Выбор программного обеспечения и источников данных обусловлен задачами исследования, требующими обработки пространственных данных, выполнения геоаналитических операций и организации хранения больших массивов географической информации.

В качестве основной геоинформационной системы был выбран QGIS — свободное кроссплатформенное программное обеспечение с открытым исходным кодом. Его выбор обусловлен широким набором встроенных инструментов для геообработки, включая построение буферных зон, анализ пересечений и визуализацию данных. Важным преимуществом является поддержка расширений, таких как GRASS GIS и SAGA, а также возможность интеграции с базами данных. Это позволяет реализовать сложные геопространственные операции, необходимые для выделения зон влияния дорожной сети.

Для хранения и управления данными была выбрана связка PostgreSQL + PostGIS. PostgreSQL предоставляет надежную систему управления базами данных, обеспечивающую целостность и сохранность информации. PostGIS, как пространственное расширение, добавляет поддержку геометрических типов данных и функций, позволяя выполнять SQL-запросы с пространственными предикатами (например, поиск пересечений, вычисление расстояний). Это особенно важно для работы с большими объемами данных, такими как дорожная сеть всего Дальнего Востока, и последующего их анализа в рамках построения модели пожарной опасности.

Источником данных о дорожной инфраструктуре послужил OpenStreetMap (OSM) — добровольный проект по созданию свободной географической карты мира. Выбор OSM обусловлен его актуальностью, детализацией данных, включающей разделение дорог на типы (автомобильные, железные), а также открытой лицензией, позволяющей использовать данные в научных целях. Несмотря на возможную неполноту в отдельных регионах, OSM предоставляет достаточную для исследования точность и охват, что подтверждается его активным использованием в научных и прикладных работах.

Для оценки пространственного влияния дорожной инфраструктуры применялись два принципиально различных подхода к построению буферных зон, каждый из которых обладает уникальными характеристиками и областями применения.

Первый метод предполагает создание буферных зон с объединением (растворением) границ. Данный подход агрегирует все пересекающиеся буферы вокруг отдельных сегментов дорог в единые полигоны. Основное преимущество этого метода заключается в создании непрерывных зон влияния, которые идеально подходят для крупномасштабного анализа и расчета суммарной площади потенциального риска. Такой формат данных эффективен для визуализации общих закономерностей и выполнения площадных расчетов, например, для определения доли лесных массивов, находящихся в зоне воздействия дорог. Однако данный метод нивелирует

внутреннюю структуру дорожной сети, что делает его менее пригодным для анализа точечных источников возгорания и их привязки к конкретным участкам трасс. Второй метод основан на построении буферных зон без объединения границ, сохраняя исходную сегментированность дорожной сети. Каждый линейный объект окружается собственным буфером, что позволяет точно устанавливать пространственную связь между конкретным участком дороги и прилегающей территорией. Этот подход критически важен для задач, требующих высокой детализации, таких как моделирование распространения огня от точечного источника или расчет вероятности возгорания в зависимости от интенсивности движения транспорта на определенном участке. Недостатком метода является повышенная вычислительная нагрузка и избыточная дробность данных при решении задач общего картографирования.

Выбор между этими методами определяется конкретными задачами моделирования. Для интегральной оценки пожарной опасности на обширных территориях предпочтительны объединенные буферы. Для детального анализа механизмов возникновения пожаров и их привязки к антропогенным объектам необходимы сегментированные буферные зоны, сохраняющие всю информацию о дорожной сети.

Выбор радиусов буферных зон в 3, 6, 9, 12 и 15 километров вокруг автомобильных и железных дорог основан на комплексном анализе природы антропогенных источников возгорания и закономерностей распространения лесных пожаров.

Теоретической основой для определения этих расстояний служит концепция пространственного Decay Effect (эффекта затухания) риска, согласно которой вероятность возникновения пожара, связанного с деятельностью человека, уменьшается по мере удаления от линейной инфраструктуры. Однако это уменьшение не является линейным и носит зональный характер.

Установление зоны в 3 километра обусловлено прямым антропогенным воздействием. Это расстояние соответствует пешей доступности в течение 30-45 минут и охватывает области с максимальной рекреационной нагрузкой, несанкционированными въездами, зонами пикников и неосторожным обращением с огнем. Данный радиус позволяет учесть подавляющее большинство зажиганий, непосредственно связанных с пребыванием людей в лесу.

Буферы от 6 до 9 километров выделены для учета вторичных факторов риска. Эта дистанция соответствует зоне видимости дороги и потенциального распространения искр от подвижного состава железнодорожного транспорта или тлеющих частиц, переносимых ветром. Кроме того, эта полоса фиксирует риск, связанный с планируемым освоением территорий, прилегающих к транспортным артериям.

Расширенные буферы 12-15 километров вводятся для учета катастрофических сценариев развития событий. Такие расстояния моделируют условия крайне высокой пожарной опасности (например, при

ураганных ветрах), когда возможно быстрое распространение фронта огня и перенос горящих частиц на значительные расстояния. Это позволяет анализировать сценарии, при которых несколько очагов, возникших near дорог, сливаются в один крупный пожар.

Таким образом, выбранная система концентрических буферных зон позволяет перейти от упрощенного бинарного подхода («в зоне риска/вне зоны риска») к многоуровневой вероятностной модели. Она дает возможность дифференцированно оценивать вклад дорожной инфраструктуры в общий пожарный риск в зависимости от расстояния, что критически важно для планирования превентивных мер и оптимизации ресурсов противопожарных служб.

Практическая реализация исследования проводилась для территории Еврейской автономной области (ЕАО), характеризующейся значительной долей лесного фонда и развитой сетью автомобильных и железных дорог, что обуславливает высокую актуальность оценки их влияния на пожарную опасность. Основой пространственных данных послужили векторные слои автомобильных и железных дорог, полученные из открытого проекта OpenStreetMap (OSM). Данные были загружены в формате GeoJSON, обеспечивающем совместимость с большинством GIS-инструментов и сохраняющем атрибутивную информацию об объектах. Ключевыми атрибутами дорожной сети представлены в таблицах 1 и 2 (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1 - Railways (железные дороги в виде линий)

Поле	Тип данных	Описание
regionId	Целое число (Integer)	Уникальный идентификатор региона, к которому относится железная дорога. Может ссылаться на внешнюю таблицу регионов.
osmId	Целое число (BigInt)	Уникальный идентификатор объекта в OpenStreetMap. Может быть положительным (для узлов, линий) или отрицательным (для отношений).
code	Целое число (Integer)	Код типа железной дороги в классификации OSM. Например, 6101 — обычная железная дорога, 6102 — узкоколейка и т. д.
fclass	Строка (VARCHAR)	Классификационный тип железной дороги согласно OSM. Примеры: rail (основная ж/д), subway (метро), tram (трамвай), light_rail (легкое метро).
name	Строка (VARCHAR)	Название железной дороги (если есть). Например, "Транссибирская магистраль". Может быть NULL, если название не указано.
layer	Целое число (Integer)	Уровень слоя, на котором находится объект. Используется для отображения в многоуровневых транспортных развязках.

		Например, 0 — по умолчанию, 1 — над землёй, -1 — под землёй.
bridge	Булево (Boolean)	Признак того, является ли участок железной дороги мостом (true) или нет (false).
tunnel	Булево (Boolean)	Признак того, проходит ли участок железной дороги через тоннель (true) или нет (false).
poly	Геометрия (Geometry)	Геометрическое представление объекта в виде линии (LineString).

Таблица 2 - Roads (автомобильные дороги в виде линий)

Поле	Тип данных	Описание
regionId	Целое число (Integer)	Уникальный идентификатор региона, к которому относится дорога. Может ссылаться на внешнюю таблицу регионов.
osmId	Целое число (BigInt)	Уникальный идентификатор объекта в OpenStreetMap. Может быть положительным (для узлов, линий) или отрицательным (для отношений).
code	Целое число (Integer)	Код типа дороги в классификации OSM. Например: 5111 — автомагистраль, 5112 — главная дорога, 5113 — второстепенная дорога и т. д.
fclass	Строка (VARCHAR)	Классификационный тип дороги согласно OSM. Примеры: motorway (автострада), trunk (магистраль), primary (главная дорога), secondary (второстепенная дорога), tertiary (местная дорога), residential (жилая зона).
name	Строка (VARCHAR)	Название дороги (если есть). Например, "Ленинградский проспект". Может быть NULL, если название не указано.
ref	Строка (VARCHAR)	Номер дороги (если есть). Например, "М-10" для федеральной трассы или "E95" для европейского маршрута.
oneway	Булево (Boolean)	Признак одностороннего движения (true — движение только в одном направлении, false — двустороннее).
maxspeed	Целое число (Integer)	Максимально разрешённая скорость (в км/ч). Например, 60, 90, 110. Может быть NULL, если ограничение не указано.
layer	Целое число (Integer)	Уровень слоя, на котором находится дорога (используется для многоуровневых развязок). 0 — по умолчанию, 1 — над землёй (эстакада), -1 — под землёй (тоннель).

bridge	Булево (Boolean)	Признак того, является ли участок дороги мостом (true) или нет (false).
tunnel	Булево (Boolean)	Признак того, проходит ли участок дороги через тоннель (true) или нет (false).
poly	Геометрия (Geometry)	Геометрическое представление дороги LineString для линейных участков.

Перед началом геообработки было выполнено развертывание и настройка необходимого программного обеспечения. Первым этапом стала установка клиента баз данных PostgreSQL и его пространственного расширения PostGIS, которое добавляет поддержку геометрических типов данных и пространственных функций. Это позволило подключиться к удалённому серверу базы данных, предназначенную не только для хранения, но и для выполнения сложных пространственных запросов, таких как построение буферов или вычисление пересечений непосредственно средствами SQL.

После настройки сервера базы данных была выполнена интеграция с GIS-пакетом QGIS. Через встроенный менеджер подключений было установлено соединение с созданной базой данных, что позволило напрямую импортировать в нее исходные GeoJSON-файлы и в дальнейшем экспортировать результаты геообработки. Настройка подключения включала указание хоста, порта, имени базы данных и аутентификационных данных. Данный подход обеспечил централизованное хранение всех пространственных данных, их целостность и возможность эффективного многошагового анализа без необходимости работы с промежуточными файлами на диске.

Перед непосредственным созданием буферных зон для объектов устанавливается плагин «Multi Ring Buffer Plugin». Данный инструмент позволяет создавать кольцевые буферы для каждого объекта (точки) индивидуально. Именно данный инструмент является основным способом построения необъединённых буферов. Для постройки буферов с объединёнными границами в рамках одной протяженности используются встроенные средства самой программы QGIS.

Процесс буферизации объектов состоит из загрузки данных OpenStreetMap в виде векторного слоя и непосредственного использования инструментария QGIS. Для демонстрации работы плагина удобно взять точечные объекты, например, населённые пункты. В контексте буферных зон населённых пунктов всё довольно просто – сначала создаётся буферная зона в виде круга радиусом в 3 км встроенными средствами QGIS, затем создаются буферы в виде колец с использованием плагина, которые имеют радиус полосы в 3 км каждая. Расстояние каждой зоны выбирается индивидуально в зависимости от потребностей разработчика. В данном исследовании использовались зоны в 3, 6, 9, 12 и 15 км с протяжённостью в 3 км каждая (рис. 1).

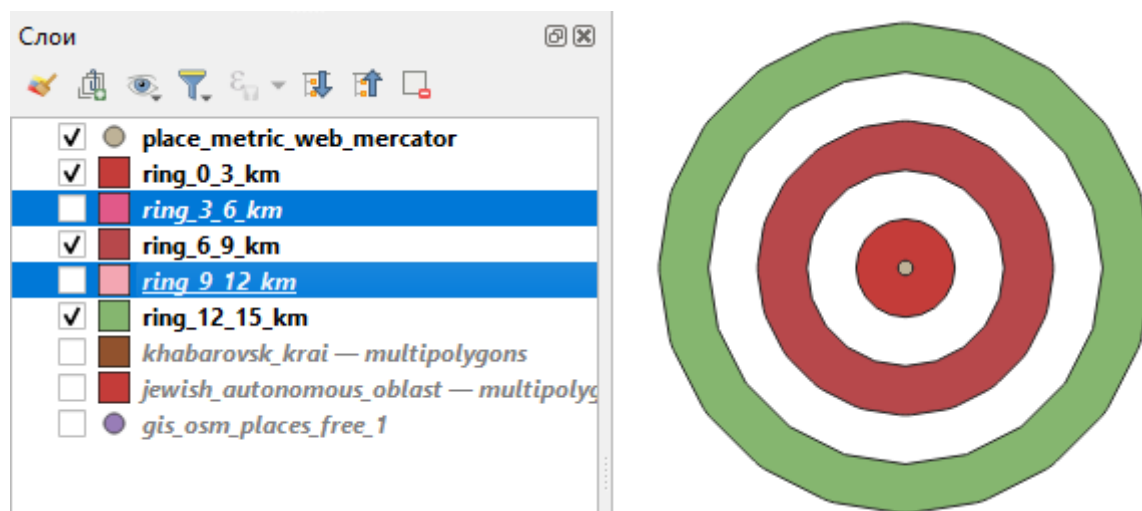


Рисунок 1. Кольцевые буферы населённого пункта

Для автомобильных и железных дорог используется тот же подход с некоторыми отличиями. Дело в том, что дороги представляют собой линии, а линии фактически состоят из соединённых между собой точек. Отсюда могут возникать не совсем визуально приятные результаты (рис. 2).

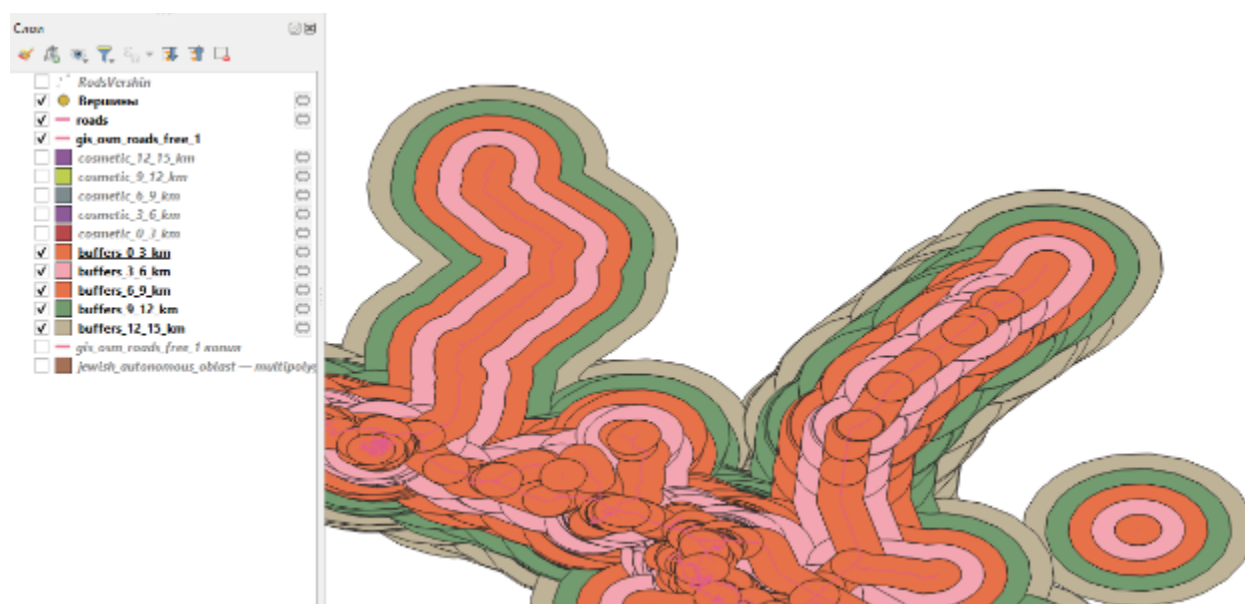


Рисунок 2. Буферные кольца для каждого участка дороги

При использовании плагина для генерации буферных колец используются точки и участки дорог. И вокруг данных объектов строятся зоны, которые могут друг с другом пересекаться и накладываться визуально. Несмотря на это, данный подход крайне важен для расчёта и оценки пожаров, так как позволяет проанализировать конкретный участок дороги в нужном радиусе.

Другой подход построение буферных зон вдоль дорог подразумевает создание сплошной единой зоны для каждого радиуса (зоны 3, 6, 9, 12 и 15

километров), которая фактически представлена одним объектом (полигоном) (рис. 3).

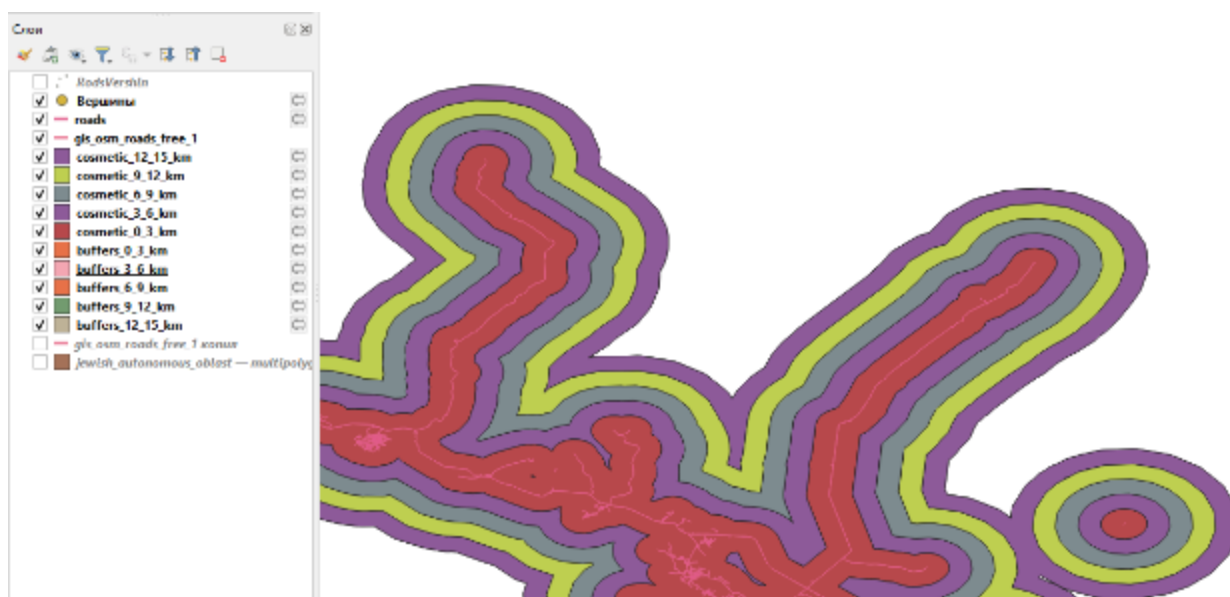


Рисунок 3. Буферные зоны вдоль дорог в виде сплошных единых полигонов

Данная реализация буферных зон визуально понятна и лаконична. Помимо этого, данные буферные зоны можно использовать для общих обобщённых расчётов и оценок относительно той или иной зоны с заданной протяжённостью.

Визуальный анализ наглядно показал принципиальное различие в геометрии результатов. Метод с объединением границ создал ограниченное количество крупных полигонов сложной формы, которые непрерывно охватывают всю дорожную сеть. Это обеспечивает четкое картографическое представление общих зон влияния. В то время как метод без объединения сохранил исходную сегментацию, создав множество отдельных буферов вокруг каждого линейного объекта, что визуально передает локальную структуру дорожной сети, но затрудняет общее восприятие.

Количественная оценка выявила значительную разницу в числе объектов: в таблице объединенных буферов содержались единицы полигонов для каждого радиуса, тогда как таблица необъединенных буферов включала десятки тысяч записей. Это напрямую повлияет на объем занимаемой памяти и производительность при выполнении пространственных запросов.

С точки зрения пригодности для дальнейшего анализа каждый метод показал различные преимущества. Объединенные буферы оказались оптимальны для выполнения быстрых пространственных запросов на пересечение с крупными полигональными слоями (например, с границами лесничеств или муниципальных районов). Их компактная структура позволяет эффективно рассчитывать суммарные площади воздействия и проводить интегральную оценку риска.

Необъединенные буферы, несмотря на больший объем данных, предоставляют существенно более высокую детализацию для точечного анализа. Они идеально подходят для точного установления пространственных взаимосвязей между конкретными участками дорог и точечными объектами (очагами возгораний, инфраструктурой). Этот формат данных критически важен для задач, требующих оценки локального воздействия и построения регрессионных моделей зависимости вероятности пожара от расстояния до дороги.

Адекватность отображения зоны влияния дороги также оценивалась по-разному. Объединенные буферы условно принимают равномерное распределение риска по всей территории, что является упрощением. Необъединенные буферы, напротив, позволяют учитывать вариабельность воздействия в зависимости от типа дороги, интенсивности движения и других факторов через атрибутивную информацию, сохранившуюся для каждого сегмента. Это делает их более адекватными для моделирования реального влияния дорожной инфраструктуры на пожарную опасность.

4 Выводы

Проведенная работа позволила успешно решить поставленные задачи по созданию и анализу буферных зон автомобильных и железных дорог для территории Еврейской автономной области. Были освоены методы работы с геоинформационными системами и базами данных, отработаны методики построения буферных зон с различными параметрами, проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Наиболее релевантный метод построения буферных зон зависит от конкретных задач моделирования пожаров. Объединенные буферы демонстрируют высокую эффективность для интегральной оценки риска и крупномасштабного картографирования. Необъединенные буферы являются незаменимыми для детального анализа пространственных взаимосвязей и точечного прогнозирования. Для комплексной моделирования целесообразно комбинированное использование обоих подходов на разных этапах исследования.

Библиографический список

1. Андрианов А.Ю., Карпачевский А.М. Методы геоинформационного моделирования буферных зон для оценки антропогенного воздействия // Геодезия и картография. 2021. № 5. С. 45–53.
2. Киселев М.И., Петрова А.С. Разработка структуры базы пространственных данных для мониторинга лесопожарной обстановки // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. № 3. С. 120–125.
3. Орлов Д.С., Семенова Е.А. Антропогенные факторы возникновения лесных пожаров в приграничных территориях (на примере Дальнего Востока) // Лесоведение. 2021. № 4. С. 50–58.
4. Соколова Н.П., Лебедева И.М. Создание информационной модели

- территории для оценки рисков природных пожаров с использованием ГИС // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2019. № 2. С. 88–95.
5. Федоров Р.К., Игнатьев А.А. Геообработка пространственных данных в среде Python с использованием библиотек ArcPy и GeoPandas // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. № 3. С. 112–120.
 6. Мильшин А.А., Гранков А.Г. Применение спутниковой СВЧ-радиометрии для оценки пожарной опасности лесов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. Научные труды. 2001. № 314. С. 73–83.