

УДК 614.84, 004.8

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2021.21.69.001

## АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ И ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ Г. КРАСНОЯРСКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

*Бабёнышев С.В., канд. физ.-мат. наук; Мalyutin O.C.;  
Materov E.N., канд. физ.-мат. наук, Елфимова М.В., канд. техн. наук, доцент*

*Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России*

**Аннотация.** В статье рассмотрены возможности применения современных открытых геоинформационных инструментов к анализу географических данных в некоторых проблемах техносферной и пожарной безопасности. В частности, в вопросах связанных с оценкой зон достижимости социально-значимых объектов, оценкой влияния плотности застройки на распределение пожаров, а также анализом источников противопожарного водоснабжения в городской среде. Основные расчеты выполнены с использованием языка программирования R. Применяемые инструменты могут быть полезными для планирования надзорных мероприятий, а также при оценке сил и средств гарнизонов для организации тушения пожаров. Результаты, приведенные в работе, получены для города Красноярск, однако подобные подходы могут быть использованы для вычислений и визуализации аналогичного рода для любого населенного пункта Российской Федерации.

**Ключевые слова:** геопропространственный анализ, источники противопожарного водоснабжения, районы выезда.

## ANALYSIS OF FIRE AND TECHNOSPHERE SAFETY OF THE URBAN ENVIRONMENT OF KRASNOYARSK USING GEOSPATIAL TOOLS

*Babenyshv S.V., Ph.D. of Physico-mathematical Sciences; Malyutin O.S.; Materov E.N., Ph.D. of Physico-mathematical Sciences, Elfimova M.V. Ph.D. of Engineering Sciences Docent*

*Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia*

**Abstract.** The paper discusses the possibilities of the application of modern open geoinformation tools to the analysis of geographical data in some topics of technosphere and fire safety. In particular, in matters related to the assessment of the reachability zones of socially significant objects, the evaluation of the impact of building density on the distribution of fires, as well as the analysis of sources of fire-fighting water supply in the urban environment. The main calculations were performed using the R programming language. The tools used can be useful for planning surveillance activities, as well as for assessing the forces and means of garrisons for organizing fire extinguishing. The results given in the paper are obtained for the city of Krasnoyarsk, however, similar approaches can be used for analysis and visualization of a similar kind for any settlement of the Russian Federation.

**Key words:** geospatial analysis, sources of fire-fighting water supply, departure areas.

## Введение

Настоящая статья выполнена в рамках НИР «Разработка предложений по применению перспективных методов «Аналитики больших данных» в деятельности МЧС России», в контексте которой, в частности, анализируются перспективные методы, применяемые при работе с информационными данными больших объемов, которые могут быть использованы в интересах МЧС России. При исследовании техногенных пожаров в городской среде на первом этапе исследований НИР основное внимание уделялось средствам визуализации имеющихся данных в целях определения проблемных мест и поддержки принятия управленческих решений.

При анализе показателей пространственно-ориентированных параметров техносферной и пожарной безопасности нельзя получить обоснованные выводы, пользуясь для их визуализации только таблицами или диаграммами. Для воспроизведения сведений, представляющих наибольший интерес необходимо отражать их на географических картах. Таким образом, одним из направлений, представляющих интерес для применения методов аналитики больших данных в вопросах техносферной и пожарной безопасности является геопропространственный анализ.

В статье рассмотрены три актуальные задачи из области обеспечения техносферной и пожарной безопасности в городской среде, а именно:

1. Оценка временной достижимости социально-значимых объектов из пожарно-спасательных подразделений на примере общеобразовательных школ.
2. Анализ пожарной опасности районов городской застройки с использованием тепловых карт.
3. Визуализация обеспеченности городских территорий источниками противопожарного водоснабжения.

## Материалы и методы

В качестве основного инструмента в данной работе используются программные инструменты (библиотеки) языка программирования R, хорошо зарекомендовавшего себя в работе с географически распределенными данными. В настоящее время экосистема языка R активно развивается, что, в совокупности с возможностями R по статистической обработке данных и моделированию, позволяет исследователям решать сложные прикладные задачи. Помимо большого количества библиотек предназначенных для геопропространственного анализа, работающих как с векторными, так и с растровыми моделями, к достоинствам языка R можно отнести поддержку написания скриптов для распространенных коммерческих продуктов ArcGIS и QGIS.

Основным инструментом для работы с векторными географическими данными в R является библиотека sf, которая позволяет читать данные и производить геометрические операции с ними, которые включают в себя:

- тип геометрии (POINT, MULTIPOLYGON и т.д.);
- размерность геометрии (XY, XYZ, XYM, XYZM);
- диапазон разброса координат объектов;
- поддержку различных картографических систем (CRS – coordinate reference system).

Напомним, что векторные объекты содержат числовые атрибуты, описывающие каждый объект, а также топологические отношения между объектами. Векторное представление позволяет легко производить масштабирование географических карт.

Для целей, обозначенных в статье, на первом этапе необходимо построить статическую карту-подложку на основе доступных геопропространственных сервисов. Для построения географических карт городской инфраструктуры была использована открытая база данных местоположений OpenStreetMap, распространяемую под лицензией Open Data Commons Open Database License (ODbL). Данные OpenStreetMap загружаются в R с помощью библиотеки

osmdata, использующей Overpass API (API – программный интерфейс приложения или интерфейс прикладного программирования, от англ. *application programming interface*). Для получения картографических данных в osmdata, включающих в себя дорожную сеть улиц, железные дороги и водные объекты (в нашем случае реки и озера), достаточно использовать различные значения ключей команды `add_osm_feature()`, а именно: `highway`, `railway`, `natural` и `waterway` соответственно. Полученные данные визуализируются с помощью библиотеки `ggplot2`. Удобство данного подхода состоит в том, что, варьируя границы полученной базовой карты, можно получить карту любого достаточно подробного масштаба. Библиотека `ggplot2` позволяет наносить объекты послойно на базовую карту используя различную степень прозрачности, обеспечивая при этом высокую наглядность и качество представления.

## Результаты

Основу для дальнейшего исследования оценки техносферной и пожарной безопасности города составляет получение и визуализация картографической информации. Ключевым примером в статье является город Красноярск, подобного рода карту легко получить для любого другого населенного пункта изменением только одного параметра в коде программы.

На рис. 1 приведена базовая карта Красноярска. Как видно, г. Красноярск разделен рекой Енисей, проходящей в пределах города с юго-запада на северо-восток. Левобережные и правобережные районы соединены тремя основными мостами: Николаевским, Коммунальным и Октябрьским мостом имени П.С. Федирко, если перечислять их по течению реки.

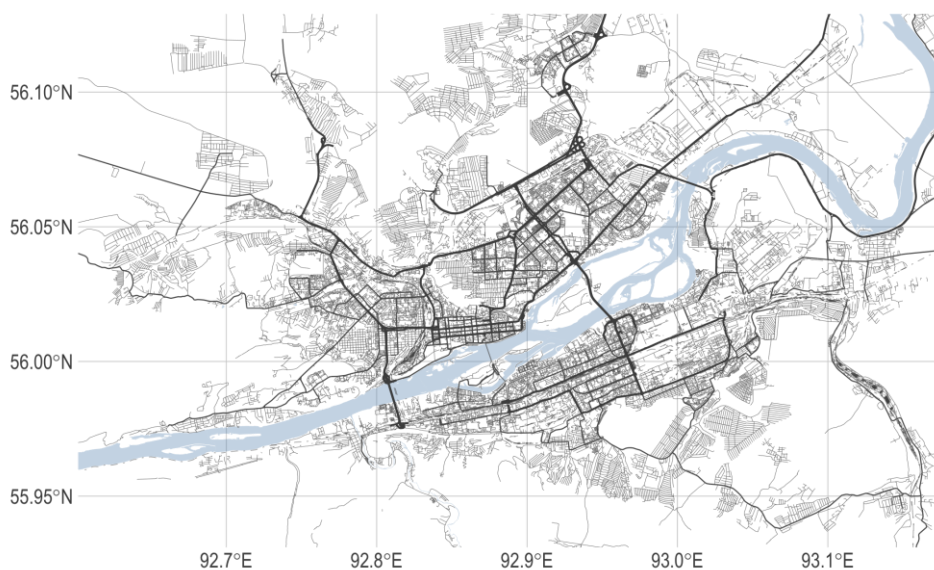


Рис. 1. Базовая карта города Красноярска

После построения базовой карты на полученную подложку наносится необходимая географическая информация. На рис. 2 показана карта Красноярска вместе с административными границами районов города и нанесенными основными пожарно-спасательными подразделениями.

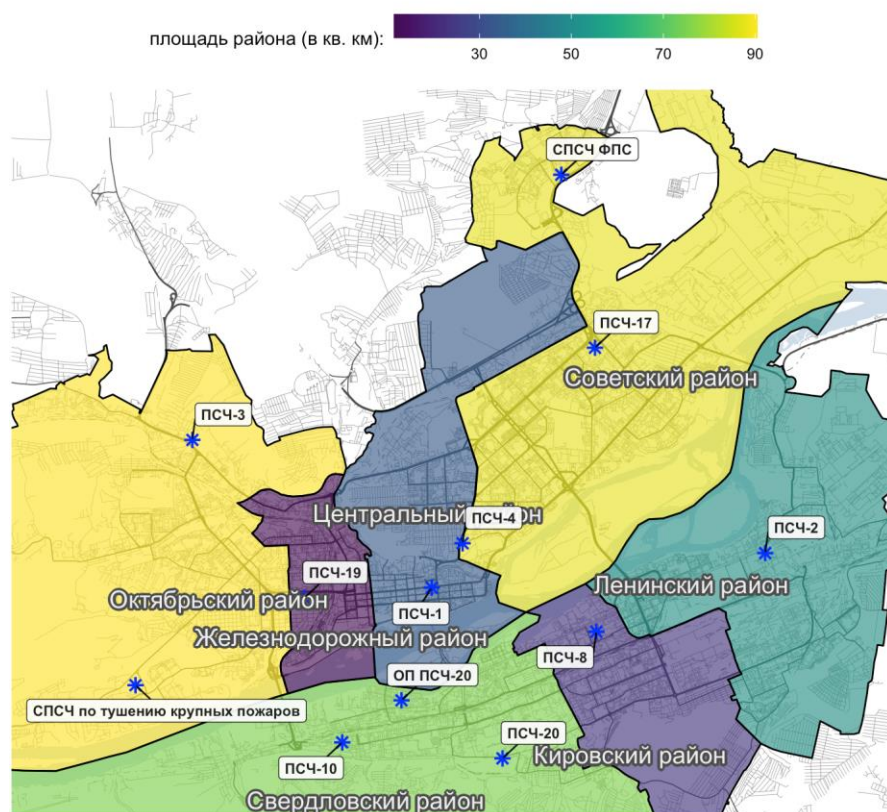


Рис. 2. Основные пожарные части г. Красноярск по районам города. Цвет соответствует площади района города.

Отметим, что традиционно районы выезда почти всегда совпадают с границами районов города. Общая задача определения районов выезда пожарно-спасательных подразделений с учетом нормативной базы и городской застройки является технически довольно сложной, подходы к ее решению будут опубликованы в дальнейшей работе.

### Анализ зон транспортной доступности

Актуальным вопросом для обеспечения пожарной безопасности города является оценка зон доступности и территорий обслуживания по временным характеристикам, т.е. построение зон окружения объектов, построенных не по евклидову расстоянию, а по расстоянию или времени движения дорожной сети. Напомним, что время прибытия пожарных подразделений к месту пожара в городской черте не должно превышать 10 минут, в сельской местности – 20 минут [1]. Картографические библиотеки, в совокупности с API GIS-сервисов и данными графов дорожных сетей, позволяют автоматизировано решать задачи нахождения такого рода зон. В частности, такую задачу решает библиотека `osrm` языка `R`, позволяющая вычислять маршруты, изохроны и матрицы расстояний как по времени в пути, так и по километровому расстоянию.

Рис. 3 иллюстрирует достижимость школ из пожарно-спасательных подразделений города Красноярск. Для построения карты на рис. 3 сначала была построена матрица времен движения между всеми парами точек (пожарная часть/школа) и найдены минимумы по численным значениям для каждой школы. Таким образом, каждой школе города можно присвоить минимальное время, за которое можно доехать из ближайшего пожарно-спасательного подразделения. Полученный результат был нанесен на карту.

Подобные вычисления можно производить с помощью различных API GIS-сервисов, например, API 2GIS или Яндекс. Для этого на интернет-сервер стороннего поставщика услуг,

как правило коммерческого и/или проприетарного (от англ. *proprietary* – с ограниченными правами использования), отправляется интернет-запрос с координатами начальной и конечной точки маршрута. Несмотря на удобство и актуальность применяемых данных, минусами использования API современных GIS-сервисов являются:

1. Использование различных предустановленных провайдером сценариев для определения времени достижимости объектов, например, пешком, на велосипеде, общественным или личным транспортом и т.д., при которых невозможно явно контролировать параметры расчета, таких как задаваемую скорость транспортного средства. Более того, провайдером могут использоваться дополнительные допущения, например, текущая дорожная ситуация что может привести к различным результатам при воспроизводимых расчетах.

2. Как правило, API GIS-сервисов имеют квоты на количество запросов к удаленному серверу которые необходимо соблюдать, например, для определения расстояния между каждыми пунктами из двух списков, когда количество запросов растет квадратично.

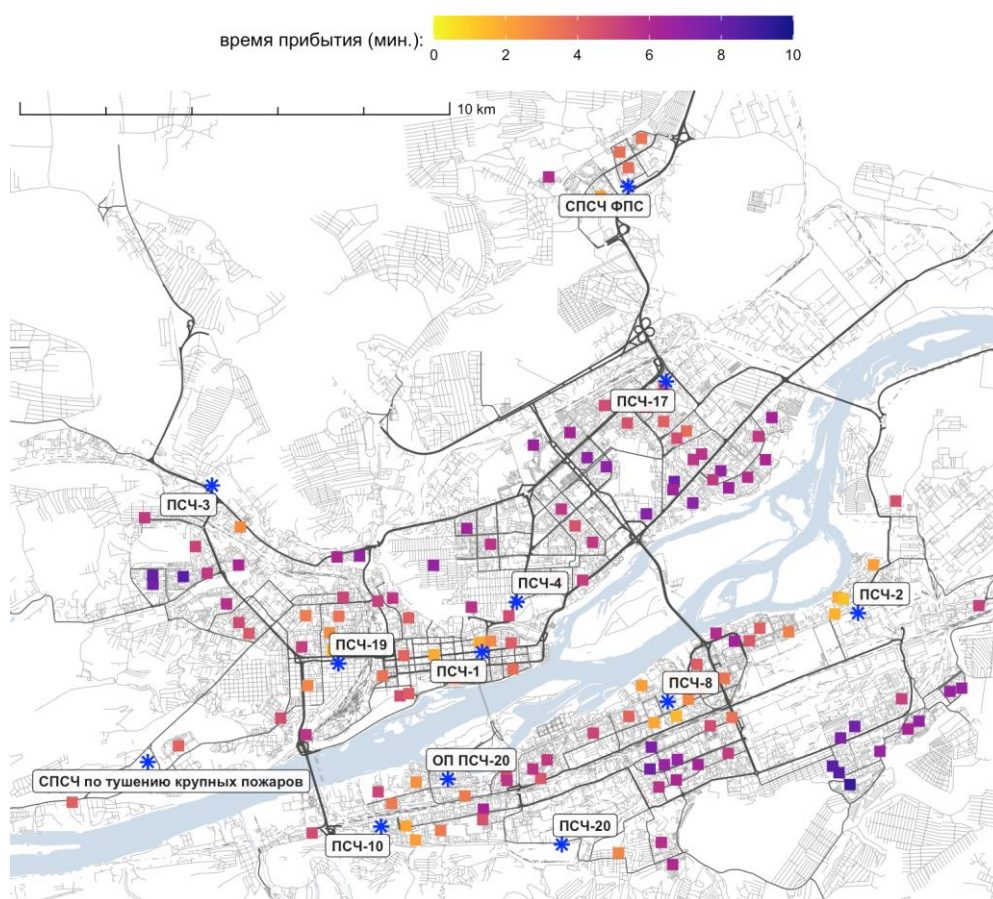


Рис. 3. Достижимость школ из пожарно-спасательных подразделений г. Красноярск. Цвет соответствует времени прибытия к школе из ближайшей пожарной части (темнее – больше)

Особый статус для анализа городской инфраструктуры с точки зрения пожарной безопасности представляют здания и сооружения с массовым пребыванием людей и социально значимые объекты (школы, детские сады, торгово-развлекательные центры и т.д.). Удобство и преимущество языков программирования состоит в том, что оценки подобного характера можно делать для любых городов и любых объектов городской инфраструктуры изменив фрагмент кода. Так, например, авторами установлено, что, проведя аналогичные расчеты, в городе Новосибирске, в отличие от Красноярска, имеются школы и детские сады, оценочное время подъезда к которым из пожарных частей составляет более 10 минут.

### Оценка влияния плотности застройки на динамику пожаров

В работе [2] авторами было показано, как можно автоматизировано строить карты пожаров города за определенный период, а также принципы построения карт плотностей пожаров, выделяя области с наибольшим количеством пожаров помощью интенсивности цвета. Инструменты языка R позволяют рассмотреть влияние плотности застройки на пространственную динамику пожаров. В качестве примера, совместим карту плотности застройки построенную на основе API 2GIS с картой пожаров, произошедших в Красноярске в 2019 году (рис. 4).

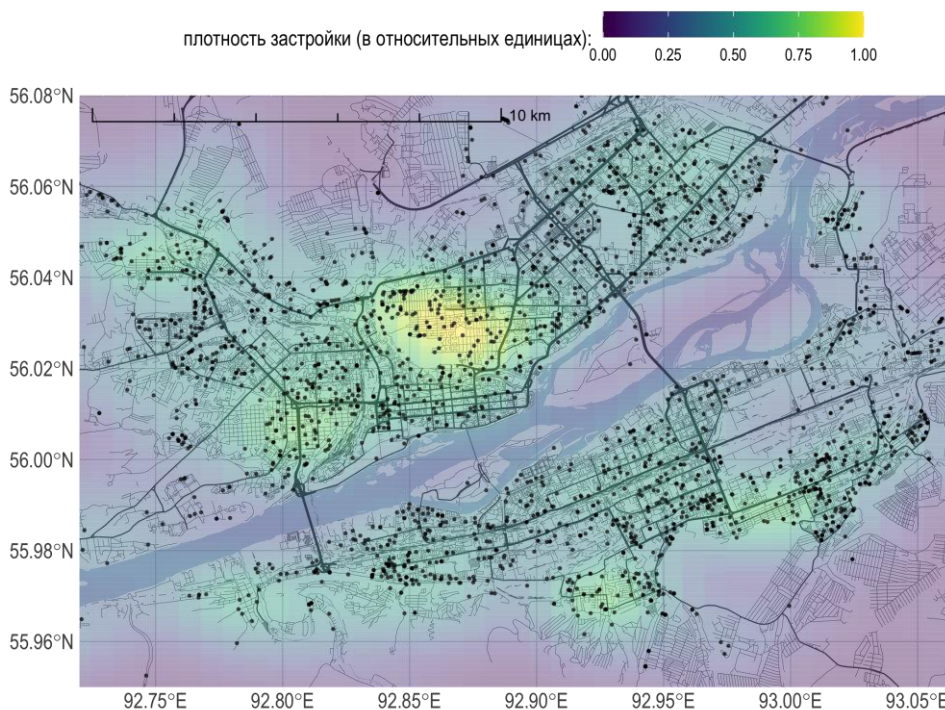


Рис. 4. Тепловая карта соответствует плотности застройки г. Красноярска по версии API 2GIS (светлее – выше плотность застройки). Пожары в 2019 году показаны точками черного цвета.

Анализ данных (рис. 4 и рис. 5) не показывает прямой зависимости плотности пожаров от плотности застройки: есть районы с высокой плотностью застройки и относительно низким количеством пожаров, и наоборот. Для более глубокого исследования необходимо учитывать множество дополнительных факторов, таких как классификация зданий и сооружений по степени огнестойкости, классам пожарной опасности, уровень криминогенной обстановки исследуемого района и т.д. Данная информация может помочь в определении степени пожарной опасности районов города и использоваться в пожарном надзоре для прогнозирования рисков и угроз городской экосистемы.

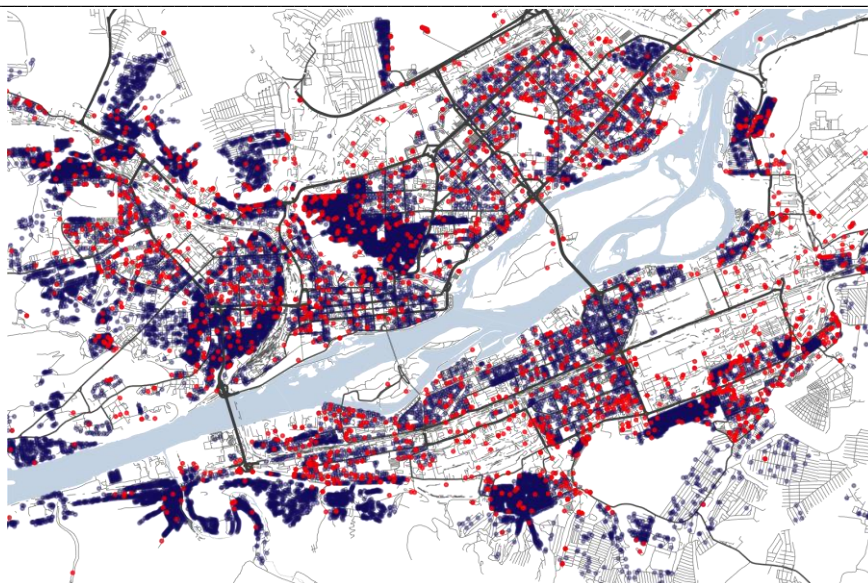


Рис. 5. Здания жилого назначения г. Красноярск по версии API 2GIS (показаны синим цветом). Точки красного цвета соответствуют пожарам за 2019 год.

### Оценка городской системы противопожарного водоснабжения

Одной из важнейших задач при организации пожаротушения является организация и проведение разведки водоисточников. В связи с этим, задача разработки информационных средств для оперативного определения источников наружного противопожарного водоснабжения (ППВ) является актуальной. Для оценки городских систем противопожарного водоснабжения в различных регионах РФ используются различные цифровые источники информации, однако, в настоящий момент нет единой унифицированной базы данных, содержащей полные актуальные данные по источникам системы ППВ. Работа по созданию такого рода баз данных и разработке мобильных приложений ведется в МЧС России, тем не менее, единого специализированного программного обеспечения пока не принято [3].

Использование картографических сервисов языков программирования существенно расширяет возможности анализа системы ППВ. На рис. 6 показана карта гидрантов города Красноярск с указанием ответственных подразделений.

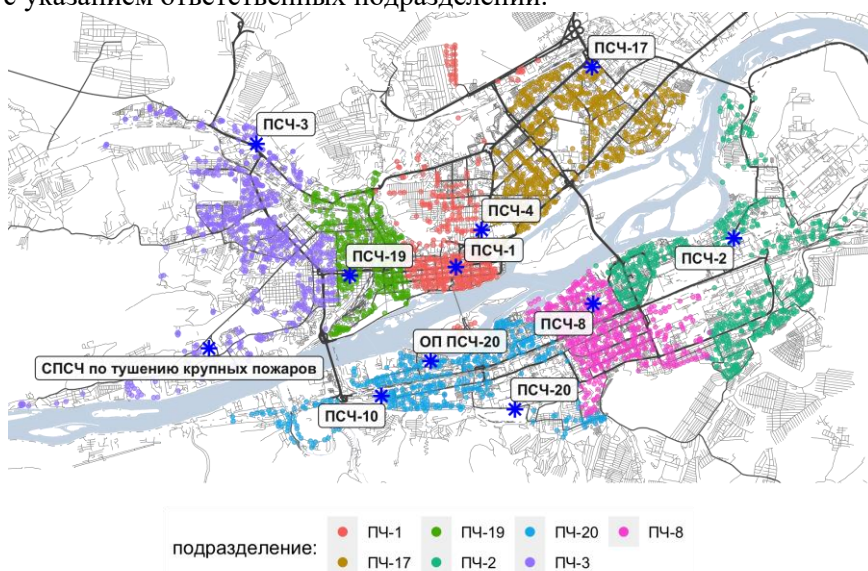


Рис. 6. Карта размещения пожарных гидрантов города Красноярск. Цвет соответствуют обслуживающим подразделениям.

Геопространственный анализ, в частности, позволяет определить наличие районов со сниженной доступностью к источникам ППВ. Например, на рис. 7 показаны зоны покрытия гидрантами на карте г. Красноярска. Здесь в качестве зоны обслуживания гидранта условно взята круговая область вокруг него, радиус которой равен 200 метрам – максимальной длины прокладки рукавных линий по дорогам с твердым покрытием [4, п. 8.9]. Те зоны, которые не будут покрыты областями обслуживания (на рисунке это области синего цвета), должны быть учтены при планировании мероприятий.

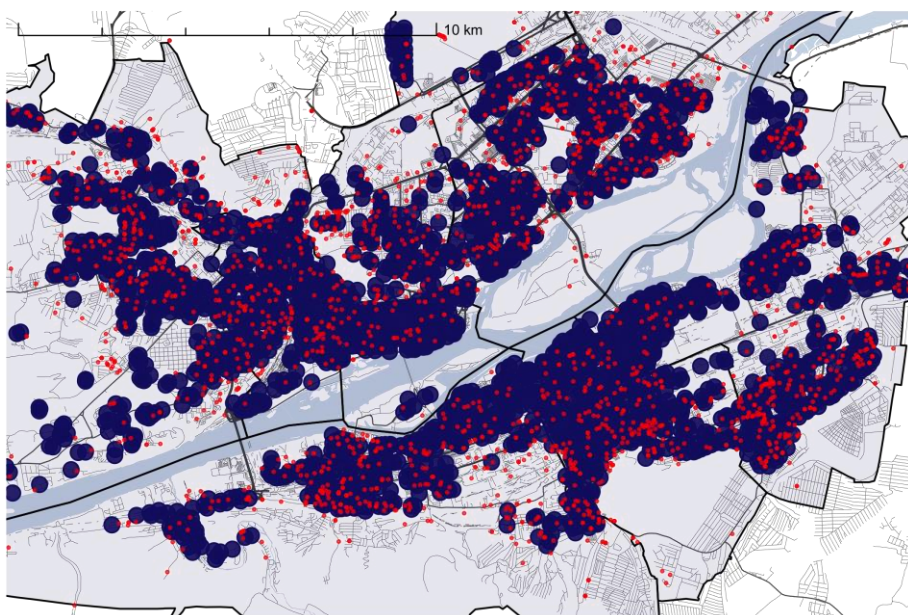


Рис. 7. Круги синего цвета соответствуют зонам радиуса 200-метров обслуживания исправных гидрантов г. Красноярска. Точки красного цвета соответствуют пожарам за 2019 год.

Для наглядности на карту рис. 7 также были нанесены пожары за 2019 год.

### Заключение

В статье были рассмотрены вопросы применения геопространственного анализа для оценки достижимости социально-значимых объектов, влияния плотности застройки на распространенность пожаров, а также анализа расположения источников противопожарного водоснабжения в г. Красноярске. Результаты работы наглядно иллюстрируют возможности современных информационных технологий в применении к задачам техносферной и пожарной безопасности. Было показано, как можно использовать картографические сервисы для визуального анализа пожарной обстановки, достаточности зон покрытия пожарными гидрантами и др. Подобные методики могут быть применены для получения аналогичных оценочных карт для других населенных пунктов Российской Федерации.

### Литература

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями и дополнениями): [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал Гарант.ру. URL: <https://base.garant.ru/12161584/>. (Дата обращения: 17.12.2021).
2. Бабеньшев С. В., Бойко Г. М., Малютин О. С., Матеров Е. Н. Применение геоинформационных инструментов для работы с большими данными при анализе



- пространственного распределения пожаров // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2021, № 2. С.70-77. – Режим доступа: [http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2021/v2/N21\\_70-77.pdf](http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2021/v2/N21_70-77.pdf), свободный.
3. Малютин О. С. Тенденции создания ГИС ориентированных приложений для учета источников наружного противопожарного водоснабжения в районе выезда пожарных подразделений. Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности». № 2 (66). 2016. С. 1-9. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-2/24-02-16.ttb.pdf>, свободный.
  4. Приказ МЧС России от 30 марта 2020 года № 225 «Об утверждении свода правил «СП 8.13130 Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности». [Электронный ресурс] // Информационно-правовой портал Гарант.ru. URL: <https://base.garant.ru/74019590/>. (Дата обращения: 17.12.2021).