





Картографический анализ опасностей автомобильных маршрутов по набору данных об авариях на основе прецедентного подхода

С.Л. Беляков¹, Л.А. Израилев¹ 

¹ Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
 izrailev@sfedu.ru

ЦИТИРОВАНИЕ Беляков С.Л., Израилев Л.А. Картографический анализ опасностей автомобильных маршрутов по набору данных об авариях на основе прецедентного подхода // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2025. Т. 69, № 6. С. 140–156. DOI:10.30533/GiA-2025-061.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА геоинформационное моделирование, метод рассуждений на основе прецедентов, принятие решений в условиях неопределенности, анализ аварийных ситуаций

АННОТАЦИЯ Аварийные ситуации представляют собой серьезную проблему современного общества, поскольку не существует универсального решения по их устранению, применимого во всех предметных областях. В этих условиях целесообразно использовать методы, основанные на накоплении, анализе и извлечении знаний, полезных и практически применимых в подобных случаях. Сюда относится метод рассуждений на основе прецедентов (*англ.* Case-Based Reasoning, CBR). Он помогает решить новую, неизвестную задачу, применяя или адаптируя ранее использованное решение. Реализация метода CBR-анализа на базе геоинформационных систем (ГИС) позволит более эффективно накапливать информацию о прецедентах. ГИС обладает возможностью не только визуализировать сведения о прецедентах, но и определять степень близости прецедентов на основе общей топологии. Цель данной статьи заключается в разработке модели картографического анализа аварийных ситуаций на основе прецедентного подхода. Для организации поддержки принятия решения был выбран ситуационный подход. Преимуществами предложенной модели являются анализ и сравнение пространственных характеристик наряду с атрибутивными, пространственная контекстуализация, интеграция различных источников данных, а также возможность принятия решений в условиях неопределенности. Разработанная модель была использована на примере задачи выбора безопасного автомобильного маршрута. С помощью QGIS было проведено исследование территории вдоль маршрутов и определены потенциальные места аварий.

1 Введение

Аварийные ситуации (АС) являются одной из важных проблем современного общества. В результате неверных действий АС может привести к возникновению ущерба. Развитие методов управления способно решить эту проблему, однако принятие решений в АС остается сложной задачей. Не существует универсальных решений, применимых во всех предметных областях. Непредсказуемые и динамично развивающиеся АС создают условия для возникновения уникальных ситуаций, которые требуют принятия таких же уникальных решений.

Геоинформационные системы (ГИС) играют значимую роль в управлении АС. Пространственный анализ особенно часто применяют при изучении дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [1, 2]. Этому способствуют высокая доступность и открытость данных, а также ярко выраженные пространственные характеристики прецедентов ДТП. В то же время данный метод применяется и в других областях [3]. Пространственный анализ нередко используют совместно с другими методами (кластеризация на основе плотности [4, 5], индекс Морана [6]).

Исследователи отмечают, что ГИС «расширяют традиционные возможности визуализации пространственной информации за счет “привязки” разнообразных тематических данных» [7, с. 116]. Это позволяет добиться высокой ситуационной осведомленности благодаря интеграции и визуализации разнородных сведений о текущей ситуации. Ограничением пространственного анализа является то, что он зачастую ориентирован только на факторы, которые могут быть измерены и явно учтены, при этом не принимаются во внимание неопределенные данные о деталях АС. Это делает подход неполным и усложняет понимание реальной картины природы возникновения и протекания АС. Интеллектуализация ГИС позволяет добиться принятия достоверных решений, основанных на накопленных знаниях [8].

Можно выделить ситуационный и когнитивный подходы к организации принятия решений [9].

Ситуационный подход предполагает, что процесс принятия решений зависит от конкретных условий и обстоятельств, в которых находится лицо, принимающее решение. Пространственный ситуационный анализ фокусирует внимание на пространственных факторах, влияющих на ситуацию [10]. Использование ГИС с топологическими моделями позволяет упростить анализ пространственной ситуации. Однако необходимость описания всех возможных состояний объекта для принятия решения ограничивает возможности ситуационного подхода.

В *когнитивном подходе* множество процессов представляется в виде модели экспертных знаний о законах и закономерностях функционирования объекта управления. Данный подход также применяется в ГИС. В качестве примера можно привести метод морфометрического ранжирования, к которому обращаются для прогнозирования наводнений [11]. Тем не менее используемые законы и закономерности, влияющие на возникновение АС, субъективны и не всегда гарантируют достоверные результаты.

Существующие методы анализа и прогнозирования АС часто оказываются недостаточными для эффективного решения задач в условиях неопределенности. Под условиями неопределенности понимаются плохо формализуемые ситуации, описание которых либо представлено в форме субъективных оценок и гипотетических предположений с преобладанием качественной информации, либо состоит только из пространственных характеристик. Особую популярность в решении задачи прогнозирования АС приобрели нейронные сети. Например, их применяют при прогнозировании лесных пожаров [12] и ДТП [13, 14]. Тем не менее свойственное нейросетям обобщение не подходит для анализа свойств местности с точки зрения изучения контекста и деталей ситуации. Требуется подготовка размеченных наборов данных большого объема, которые достаточно быстро теряют актуальность. А в случае переобучения или низкого качества обучающих данных нейросети могут утрачивать свою эффективность и совершать ошибки при выводе решения.

В текущих условиях справиться с проблемой неопределенности можно с помощью накапливаемого опыта анализа АС, который позволяет учитывать разнообразие ситуаций и адаптироваться к новым обстоятельствам. Наиболее известным методом для работы с опытом является рассуждение на основе прецедентов (*англ.* Case-Based Reasoning, CBR). Этот метод позволяет решить новую, неизвестную задачу, применяя или адаптируя ранее использованное решение. К нему можно прибегать при анализе аварийных и чрезвычайных ситуаций в условиях неопределенности и в случаях трудноформализуемого объекта изучения [15]. Ключевыми преимуществами CBR-анализа являются его адаптируемость благодаря пополнению базы прецедентов и учет контекста ситуаций. Метод также часто используют совместно с ГИС [16, 17]. Однако в данном случае речь идет лишь о визуализации результатов.

Область применения CBR-анализа обширна. Так, в работе [18] рассматривается реализация данного метода при управлении сложным технологическим объектом городской инфраструктуры, в том числе при анализе АС. В исследовании [19] тот же подход предлагается использовать для парирования АС при проведении испытаний перспективных образцов космических средств. Таким образом, CBR-анализ может быть применен практически в любой предметной области.

Целью данной статьи является разработка модели картографического анализа АС на основе прецедентного подхода. Для того чтобы достичь поставленной цели, необходимо решить следующие задачи:

- 1) создать модель в методологии структурного анализа и проектирования систем (*англ.* Structured Analysis and Design Technique, SADT) прецедентного анализа аварийных ситуаций в ГИС;
- 2) разработать алгоритм прецедентного анализа в ГИС;
- 3) реализовать ГИС-проект для демонстрации работы прецедентного анализа на примере задачи выбора безопасного автомобильного маршрута.

2 Материалы и методы

СВР-анализ позволяет извлекать знания из предыдущих случаев и применять к новым ситуациям, что особенно актуально в условиях неопределенности. Полный СВР-цикл включает 4 этапа: извлечение, повторное использование, адаптацию, сохранение нового прецедента. В данной работе применяется неполный СВР-цикл, который не содержит третьего этапа. Предполагается, что адаптация будет выполнена в ходе анализа непосредственно лицом, принимающим решение.

Для организации поддержки принятия решения используется ситуационный подход. Он основывается на системном анализе конкретной ситуации с учетом множества деталей и выработки решений на их основе. Принятие решений осуществляется за счет привлечения экспертов, их знаний, опыта и интуиции. В данной работе для принятия решений используются накопленные сведения по разбору АС экспертами.

В качестве примера АС были рассмотрены данные о ДТП, полученные на портале «Карта ДТП»¹. Под ДТП понимается событие, возникшее в процессе движения по дороге транспортного средства и с его участием, при котором погибли или ранены люди, повреждены транспортные средства, сооружения, грузы, либо причинен иной материальный ущерб². В контексте СВР-анализа ДТП являются одним из результатов прецедента. Прецедентом выступает АС, которая имела

1 Карта ДТП. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dtp-stat.ru> (дата обращения: 20.07.2025).

2 О безопасности дорожного движения: Федеральный закон от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102038671> (дата обращения: 20.07.2025).

место в пространстве и времени. Результат данной ситуации зависит от тех действий, которые предприняли участники дорожного движения.

В работе использовалось программное обеспечение Quantum GIS (QGIS) версии 3.38 и модули расширения: QuickMapServices — для загрузки данных дистанционного зондирования (ДЗЗ), OSMDownloader — для загрузки векторных данных с сервиса OpenStreetMap³, Bulk Nominatim GeoCoding — для геокодирования данных.

3 Результаты и обсуждение

Определим понятия знания и опыта. Знания — это правила, законы, закономерности, полученные в результате профессиональной деятельности в пределах предметной области. Знания, приобретенные на основе наблюдений за реально наблюдаемыми явлениями, являются эмпирическими. Они формируются на основе фактов и данных, собранных в ходе практического опыта. Такой подход позволяет:

- минимизировать субъективность, т. к. наблюдения могут быть количественно измерены и задокументированы;
- создавать надежные теории обобщения, которые возможно проверить и воспроизвести;
- адаптироваться к изменениям изучаемой среды (как меняется окружающая среда, так и знания будут изменяться в соответствии с новыми фактами и явлениями).

Опыт, в свою очередь, представляет собой практическое применение знаний. Это результат взаимодействия с окружающим миром. Опыт зачастую более контекстуален и индивидуален, чем знание. Тем не менее обобщение опыта способствует формированию нового знания, основанного на достоверном выводе, поскольку выводы на основе опыта приобретают дедуктивный характер.

Таким образом, накопление знаний через эмпирические наблюдения и практический опыт становится основополагающим элементом в процессе принятия решений.

Рассмотрим поэтапно процесс прецедентного анализа с использованием ГИС.

Этап I. Подготовка будущей базы прецедентов

Сведения о них должны быть загружены и структурированы. При этом не вся информация полезна или потенциально применима. Недостоверные или неточные сведения о прецедентах могут привести к ошибочным решениям. Предобработка данных предполагает сокращение соответствующей информации. От того, насколько эффективно произведена данная операция, будут зависеть точность и производительность всего процесса обнаружения знания.

Этап II. Геокодирование прецедентов

Для возможности применения базы прецедентов в ГИС требуется привязать собранную и обработанную информацию к географическому пространству. Отсутствие географических координат или наличие ошибок в них может сделать невозможным проведение анализа. Использование геокодирования способно решить данную проблему.

Этап III. Сбор информации о территории анализа

Требуется найти и определить все сведения, имеющие отношение к ситуации. Они могут быть получены в реальном времени на основе средств наблюдения и фиксации (камер, датчиков) параметров окружающей среды или на основе

³ OpenStreetMap. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.openstreetmap.org> (дата обращения: 20.07.2025).

интеграции с базами данных. Преимущество ГИС состоит в возможности использования не связанных между собой данных и последующего их агрегирования с опорой на общие пространственные характеристики.

Этап IV. Прецедентный анализ

Определяются наиболее близкие к текущей ситуации прецеденты с последующим использованием полученного решения. Результат применения решения становится частью базы прецедентов и фиксируется на карте.

Этап V. Прогнозирование и оценка угроз

На основе проведенного анализа формируются прогнозы о вероятности возникновения угроз и оценка возможных последствий.

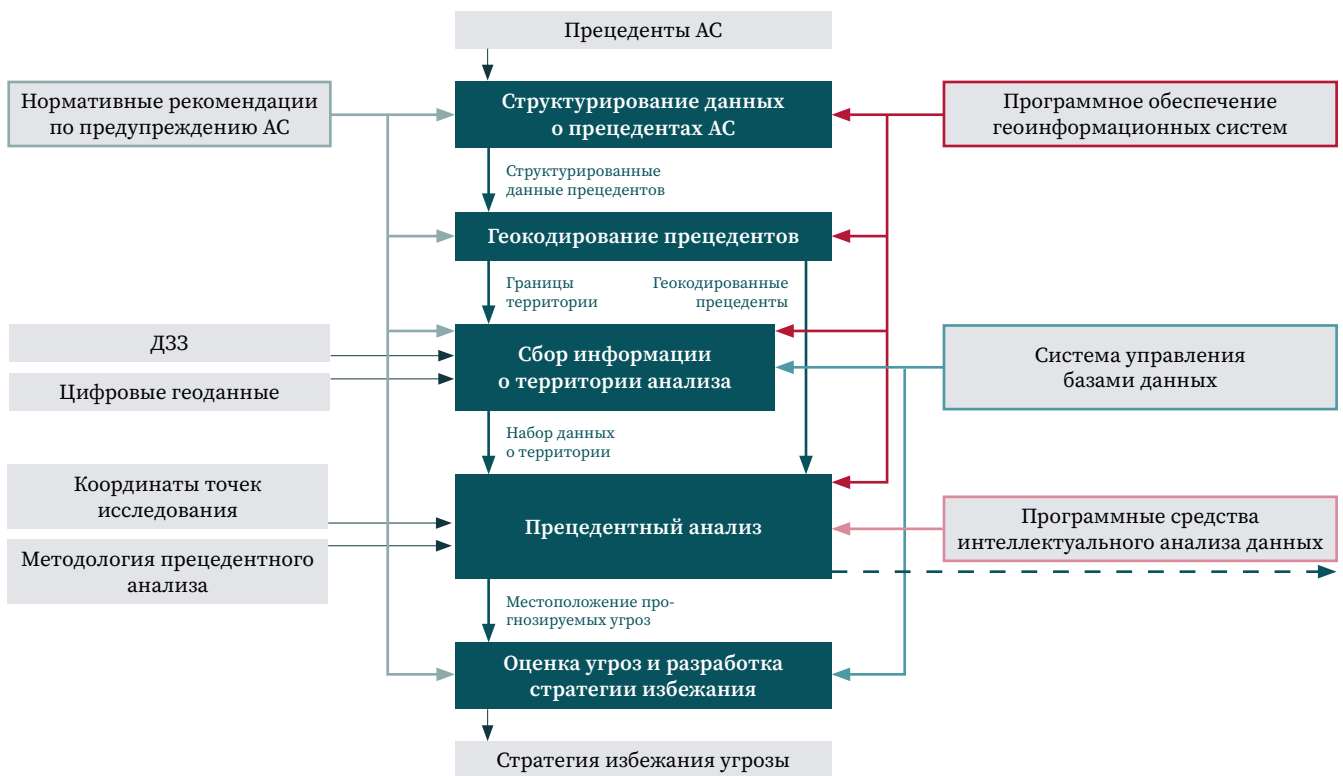
Рис. 1 ▼

Модель прецедентного анализа аварийных ситуаций, построенная в ГИС

Fig. 1

Model of the precedent analysis of emergency situations in GIS

Построенная в ГИС модель прецедентного анализа аварийных ситуаций представлена на рис. 1.



Рассмотрим подробнее процесс геокодирования (рис. 2). Описание местоположения прецедента должно быть представлено в виде географических координат. В случае их отсутствия координаты могут быть определены с помощью геокодирования адреса. Однако это не всегда возможно и зависит от используемого сервиса геокодирования. Особенно это касается случаев, когда прецедент произошел за пределами населенного пункта. Подобные прецеденты стоит исключить из анализа, т. к. они снижают достоверность результатов.

Перейдем к прецедентному анализу (рис. 3). Онтологическую модель прецедента можно представить следующим образом:

1 ▶

$$CASE = (x_1, x_2, \dots, x_n, R),$$

где x_1, \dots, x_n — параметры ситуации, описывающей данный прецедент ($x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$), при этом X_1, \dots, X_n — области допустимых значений параметров прецедента;

R — решение;

n — количество параметров прецедента.

Если известно пространственное положение двух прецедентов i_a и i_b , их сходство можно оценить принятой метрикой расстояния $d(i_a, i_b)$. Минимальное расстояние соответствует максимальному сходству. Однако в таком случае оно должно удовлетворять допустимому расстоянию, в пределах которого можно говорить об идентичности местоположения прецедентов. Другими словами, предполагается, что разница топологии прецедентов несущественно влияет на суть прецедента и не меняет его решение.

Для проверки соблюдения данного условия введем понятие буферной зоны смысловой близости прецедентов. Буферная зона определяет пространство, в пределах которого будет осуществляться поиск прецедентов. Прецеденты за пределами буферной зоны игнорируются. Таким образом, проверку соответствия прецедента буферу можно представить в виде следующего выражения:

$$2 \quad S = \{i \in I : L(i) < B\}, S \geq 0,$$

где S — количество прецедентов, находящихся на расстоянии меньше, чем размер буфера;
 I — множество прецедентов;
 $L(i)$ — расстояние прецедента i до текущей ситуации;
 B — буфер.

Рис. 2 Модель процесса геокодирования прецедентов

Fig. 2 Model of the geocoding use cases process



Рис. 3 Модель процесса прецедентного анализа

Fig. 3 Model of the case-based reasoning process



Из полученного набора прецедентов выполняется извлечение наиболее близкого прецедента с использованием предварительно выбранной метрики близости.

При этом возможны следующие варианты:

1. Если $S > 1$, то наиболее близким считается прецедент $i \in S$, для которого $P(i) \cap P(j) \rightarrow \max$, где $P(i)$ — множество параметров ситуации прецедента i , а $P(j)$ — множество параметров текущей ситуации.
2. Если $S = 1$, то наиболее близким считается прецедент $i \in S$, расположенный на наименьшем расстоянии от текущей ситуации.
3. Если $S = 0$, то прецедентов не обнаружено, а значит, угрозы нет.

При вариантах 1 и 2 выполняется адаптация прецедента к текущей ситуации. Адаптация должна осуществляться с учетом различий параметров и с применением экспертного знания предметной


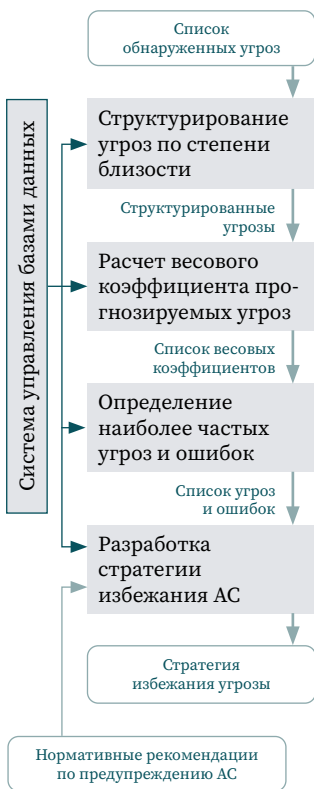
Рис. 4 
 Модель процесса оценки угроз и разработки стратегии избежания АС

Fig. 4
 Model of the threat assessment and development of a strategy to avoid nuclear power plants process



области. Из полученных результатов формируется список обнаруженных в ходе анализа угроз.

После обнаружения угрозы следует принять меры по снижению рисков ее возникновения, а также оценить ее степень (рис. 4). Для этого угрозы структурируются по степени близости к текущей ситуации. Чем выше степень близости текущей ситуации к прецеденту, тем выше риски. Затем выполняется расчет весового коэффициента угроз путем умножения количества угроз на степень близости.

Для разработки стратегии необходимо определить наиболее вероятную угрозу и ошибку (причину). Определив угрозу и причину ее возникновения, можно выбрать наиболее подходящую стратегию избежания угроз, используя нормативные рекомендации в предметной области.

Для проверки данной модели рассмотрим задачу выбора безопасного маршрута. В качестве территории исследования был выбран город Таганрог. Маршрут пролегает от пересечения улицы Чехова и Смирновского переулка до пересечения улиц Щорса и Панфилова. Сервис «Яндекс.Карты» предлагает 6 маршрутов (рис. 5). Условия текущей ситуации представлены четырьмя характеристиками:

- 1) время суток — 14:00 (светлое);
- 2) погода — дождь;
- 3) состояние дороги — мокрое;
- 4) недостатки дорожной сети — отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части, неровное покрытие.

Перенесем данные по маршрутам в QGIS и загрузим сведения по прецедентам ДТП.

Процесс геокодирования данных включал следующие этапы:

- повторное геокодирование прецедентов с неверными координатами (некоторые прецеденты содержат ошибки и опечатки в записи координат; для исправления местоположения они были повторно геокодированы с помощью Bulk Nominatim GeoCoding);
- удаление прецедентов, которые невозможно геокодировать: записей, в которых адрес указан неточно (например, указана только улица без номера дома) или в виде ориентиров (объекты рядом, определенный километр трассы и т. д.).

В результате была подготовлена база прецедентов из 646 ДТП, произошедших на территории города Таганрога. Каждая из записей представлена девятью атрибутами, которые описывают аварийную ситуацию и ее результат:

- **id** — индивидуальный идентификатор прецедента;
- **datetime** — дата / время;
- **light** — время суток;
- **weather** — погода;
- **condition** — состояние дороги;
- **disadvant** — недостатки улично-дорожной сети;
- **category** — категория / разновидность ДТП;


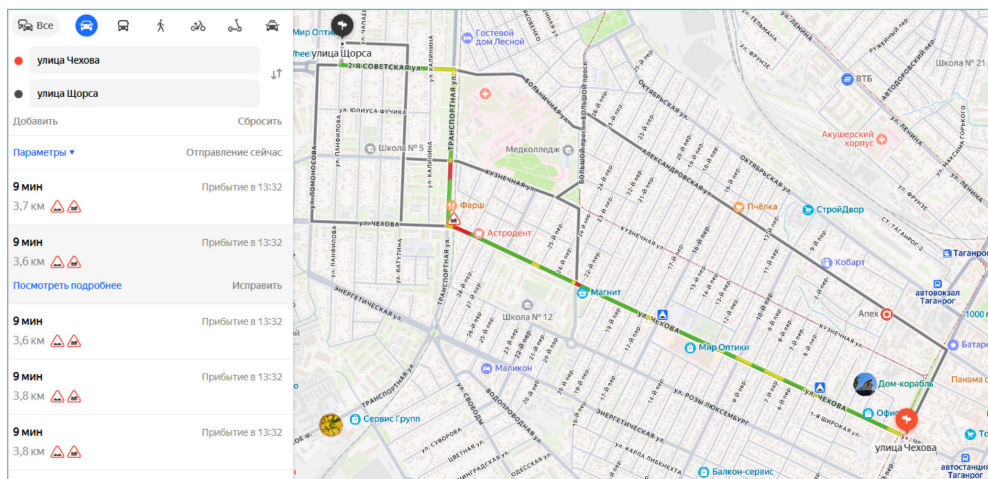
Рис. 5 
 Варианты автомобильных маршрутов

Fig. 5
 Options for driving routes



- severity – тяжесть;
- mistake – ошибка.

Для получения информации о местности воспользуемся спутниковыми снимками Google, а также векторными (оцифрованными) данными с картографического сервиса OpenStreetMap. С их помощью характеризуем текущую ситуацию. Такие характеристики, как время суток, погода, состояние дороги, неизменны на протяжении всего маршрута. Недостатки дорожной сети зависят от конкретного местоположения (рис. 6).

Отобразим собранные возможные маршруты на карте (рис. 7). Всего их шесть: маршрут 1 – 3,6 км; маршрут 2 – 3,8 км; маршрут 3 – 3,8 км; маршрут 4 – 3,6 км; маршрут 5 – 3,8 км; маршрут 6 – 3,7 км. Средняя протяженность маршрута составляет 3,72 км.

Определим места, где в текущей ситуации возможно возникновение аварии. С помощью инструмента «Точки вдоль геометрии» создадим точки анализа вдоль маршрутов. Частота установки – каждые 20 м. Чем выше частота, тем выше точность определения и компактность зон АС.

Рис. 6 ➤

Информация о дорожной сети в районе автомобильных маршрутов

Fig. 6

Information about the road network in the area of driving routes

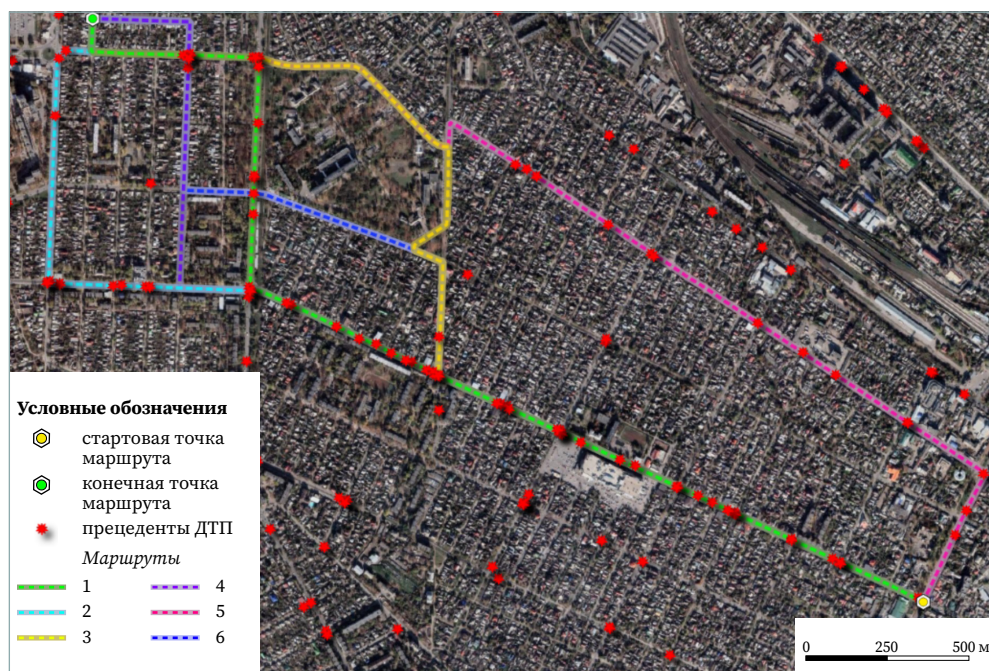


Рис. 7 ➤

Карта исследуемых автомобильных маршрутов

Fig. 7

Map of the studied automobile routes



Добавим в слой с точками следующие поля:

- **Situation** — описание текущей ситуации;
- **idCase** — ID наиболее близкого по атрибутам прецедента;
- **degreeAttr** — степень близости прецедента;
- **ThreatType** — категория ДТП близкого прецедента;
- **Mistake** — ошибочные действия / нарушения участников движения в прецеденте;
- **HumFactor** — наличие / отсутствие человеческого фактора в ситуации (определяется на основе специфики действий участников движения).

Как показал анализ, наиболее приемлемыми вариантами метрик близости являются:

- для задачи оценки свойств ситуации — мера сходства по Хэммингу:

$$3 \quad S(C, T) = \frac{n_{CT}}{n},$$

где n_{CT} — число совпадающих признаков (параметров) у прецедента C и ситуации T ;

n — общее количество признаков;

- для задачи оценки расстояния — Евклидова метрика:

$$4 \quad d = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2},$$

где d — расстояние между точками;

n — размерность пространства;

p, q — координаты двух точек в пространстве.

Данные метрики выбраны с учетом их гибкости в настройке и возможности применения для анализа транспортных происшествий. Они также не требуют использования экспертного знания.

Наиболее опасной считается АС, в которой совпадает наибольшее количество параметров. Соответственно, безопасным будет маршрут с наименьшим количеством близких по атрибутам АС.

В рамках исследования рассматривались прецеденты, расположенные не более чем в 10 + 3 м от точек анализа (дополнительные 3 м нужны, чтобы не оставалось слепых зон поиска). Данный подход позволяет избежать необходимости анализировать особенности топологии территории, т. к. ее можно рассматривать идентичной для текущей ситуации и прецедента.

С помощью инструмента «Буфер» и настройки стиля отображения по атрибуту для поля **degreeAttr** были визуализированы результаты прецедентного анализа (рис. 8–9).

Рассчитаем весовые коэффициенты прогнозируемых угроз АС. Для этого воспользуемся формулой

$$5 \quad W = N \times P,$$

где W — весовой коэффициент угрозы;

N — количество угроз;

P — степень соответствия текущей ситуации прогнозируемой угрозе в диапазоне от 0 до 1.

В результате были получены весовые коэффициенты для каждого из маршрутов (табл. 1).

Таким образом, наиболее безопасным в текущей ситуации является маршрут 5. Наиболее частая угроза — наезд на пешехода. Наиболее частая ошибка — нарушение правил проезда пешеходного перехода. Сюда могут относиться следующие действия: обгон, разворот, остановка, превышение скорости в зоне пешеходного перехода.

На рис. 10 представлено описание и местоположение угроз с наибольшей степенью близости к текущей ситуации.

Таблица 1 ➤

Оценка безопасности автомобильных маршрутов

Table 1

Assessment of the safety of the automobile routes

Маршрут	Степень близости прецедента				Весовой коэффициент
	1,00	0,75	0,50	0,25	
1	1	7	11	31	19,50
2	1	5	11	19	15,00
3	1	5	7	13	11,50
4	1	7	11	13	15,00
5	1	1	11	6	8,75
6	1	5	8	11	11,50

Примечание. Наиболее частая угроза (степень близости прецедента $\geq 0,50$) — наезд на пешехода, наиболее частая ошибка (степень близости прецедента $\geq 0,50$) — нарушение правил проезда пешеходного перехода.

Рис. 8 ➤

Потенциально аварийные участки дорожной сети вдоль маршрутов. Район торгового центра «Мармелад» в Таганроге

Fig. 8

Potentially emergency sections of the road network along the routes. The area of the Marmelad shopping center, Taganrog




Рис. 9 ➤

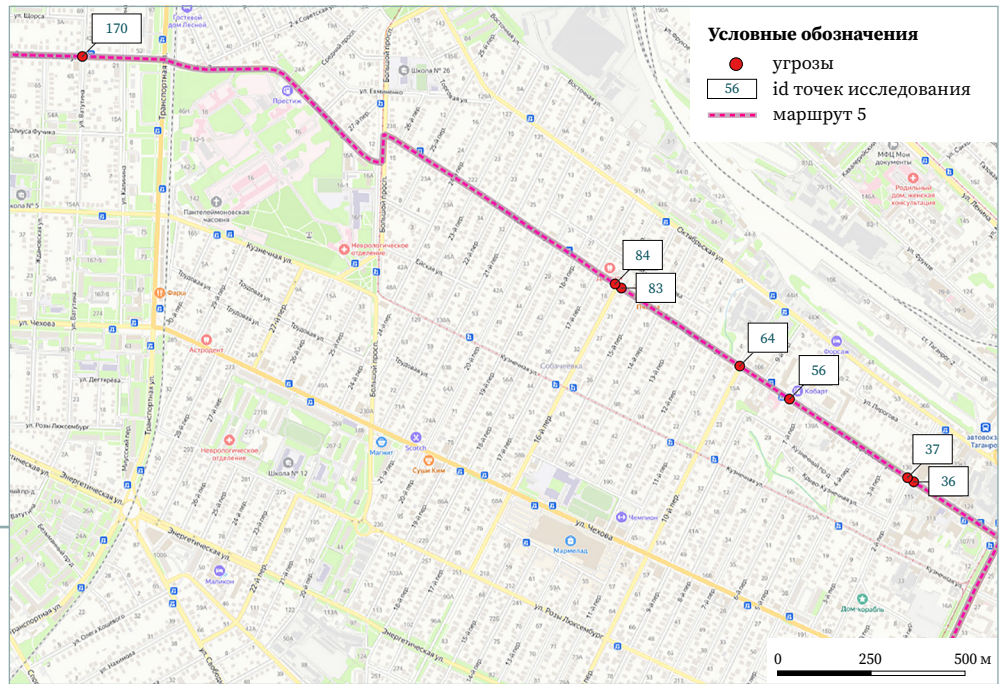
Потенциально аварийные участки дорожной сети вдоль маршрутов. Район городской больницы в Таганроге

Fig. 9

Potentially emergency sections of the road network along the routes. City Hospital Area, Taganrog



Рис. 10  Аварийные участки дорожной сети вдоль маршрута 5
Fig. 10 Emergency sections of the road network along the route 5



id	Situation	Threat	degreeAttr	ThreatType	Mistake	HumFactor
64	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	1,0000000...	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
170	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,75	Столкновение	Несоблюдение требований ОСАГО, Несоблюдение очередности проезда	ложь
36	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
37	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Наезд на пешехода	Нарушение правил проезда пешеходного перехода	ложь
56	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Неправильный выбор дистанции, Управление ТС в состоянии наркотического опьянения	истина
83	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Несоблюдение очередности проезда	ложь
84	Светлое время суток, Дождь, Мокрое, Отсутствие, плохая различимость горизонтальной разметки проезжей части	истина	0,5	Столкновение	Несоблюдение очередности проезда	ложь

Увеличение количества анализируемых параметров для сравнения и обобщения прецедентов на основе общего местоположения будет способствовать повышению эффективности прецедентного анализа [20].

Перспективы развития прецедентного анализа в ГИС включают разработку специализированных программных средств, ориентированных на работу с пространственными характеристиками, и методик обобщения прецедентов для повышения эффективности. Это позволит создать более эффективные инструменты для поддержки принятия решений в АС и улучшить достоверность таких решений. Использование накопленного опыта не только повысит

качество принимаемых решений, но и обеспечит самообучение систем на основе новых данных.

Отдельным направлением исследования стоит рассматривать разработку алгоритмов адаптации моделей топологии прецедентов к новым условиям. Это позволит применять прецеденты к множеству ситуаций, что значительно повысит точность и достоверность анализа.

4 Выводы

Внедрение методов прецедентного анализа в ГИС для поддержки принятия решений в АС, таких как ДТП, имеет значительные преимущества. Эти методы способствуют накоплению опыта, позволяют принимать решения в условиях неопределенности и обеспечивают самообучение систем.

У использования ГИС для прецедентного анализа есть ряд преимуществ:

- пространственная контекстуализация (ГИС позволяет учитывать местоположение и пространственные связи между объектами);
- визуализация данных (ГИС содержит инструменты для визуализации данных, что помогает в выявлении закономерностей, которые не всегда очевидны при анализе количественных данных);
- интеграция различных источников данных (объединение данных из нескольких источников, таких как спутниковые снимки, статистические данные и т. п., способствует принятию достоверных и обоснованных решений);
- анализ временных изменений (благодаря ГИС возможно анализировать изменение характеристик объектов во времени, что может быть особенно полезно при классификации динамичных объектов);
- автоматизация процессов (ГИС позволяет автоматизировать многие процессы, включая сбор и обработку данных, что уменьшает затраты времени и ресурсов на подготовку данных для обучения).

Таким образом, интеграция СВР-методов и ГИС позволяет повысить эффективность решения задачи классификации данных.

Однако для применения рассматриваемой модели в других предметных областях и на других территориях требуется ряд условий:

- 1) определение формы прецедента и текущей ситуации (необходимо установить, какие события считать прецедентами, что рассматривать решением и параметрами ситуации);
- 2) наличие пространственных характеристик у прецедентов (если прецедент не обладает пространственными характеристиками, то применение разработанной модели нерационально);
- 3) возможность геокодирования прецедентов (не во всех предметных областях и не на каждой территории можно добиться точной геолокации прецедентов, что, например, касается прецедентов на море; поскольку эффективность анализа напрямую зависит от количества известных прецедентов на территории, невозможность геолокации приведет к значительному сокращению потенциальной базы прецедентов, а это негативно скажется на точности анализа).

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-00182, реализованного Южным федеральным университетом.


БИБЛИОГРАФИЯ

1. Беднов С.С., Богдашкина О.Ф., Калашникова Л.Г. Анализ дорожно-транспортных происшествий в городе Саранске с использованием QGIS // *Огарев-Online*. 2023. № 2(187). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/267973> (дата обращения: 20.07.2025).
2. Требушкова И.Е., Маковнева А.С., Полякова Н.О. Пространственно-временной анализ дорожно-транспортных происшествий в Курской области с помощью

- ГИС-технологий // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2023. Т. 9, № 1. С. 56–73.
3. Кочергин Г.А., Муратов И.Н., Куприянов М.А. и др. Оценка и картографирование рисков воздействия аварийных нефтеразливов на лесной комплекс нефтедобывающих регионов России // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 5(90). С. 86–89. DOI:10.24412/2076-6785-2022-5-86-89.
 4. Герштейн А.М. Программные инструменты для построения безопасных маршрутов транспорта: дис. ... канд. физ.-мат. наук. СПб., 2024. 124 с.
 5. Wang D., Huang Y., Cai Z. A Two-Phase Clustering Approach for Traffic Accident Black Spots Identification: Integrated GIS-Based Processing and HDBSCAN Model // International Journal of Injury Control and Safety Promotion. 2023. Vol. 30. Iss. 2. P. 270–281. DOI:10.1080/17457300.2022.2164309.
 6. Sipos T. Spatial Statistical Analysis of the Traffic Accidents // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. 2017. Vol. 45. No. 2. P. 101–105. DOI:10.3311/PPtr.9895.
 7. Иванова Н.В., Белов В.С., Самаркин А.И. и др. Картографический анализ экстренных вызовов на дорожно-транспортные происшествия для оптимизации работы службы скорой медицинской помощи // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. 2023. Т. 16, № 2. С. 114–129.
 8. Аманкулова Н.А., Молмакова М.С., Каримова Г.Т. Искусственный интеллект и геоинформационные системы // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9, № 11. С. 278–287. DOI:10.33619/2414-2948/96/36.
 9. Кулинич А.А. Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях // Открытое образование. 2016. № 6. С. 9–17. DOI:10.21686/1818-4243-2016-6-9-17.
 10. Цветков В.Я., Маркелов В.М. Пространственный ситуационный анализ // Вестник МГТУ МИРЭА. 2013. № 1. С. 103–116.
 11. Мостафа Е., Синиченко Е.К., Грицук И.И. Картирование опасности внезапных наводнений с использованием метода морфометрического ранжирования // Природообустройство. 2023. № 2. С. 106–112. DOI:10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.
 12. Гребнев Я.В., Москалев А.К., Газизулина А.Ю. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на территории Крайнего Севера Красноярского края, обусловленных лесными и ландшафтными пожарами, с использованием нейросетевых алгоритмов // Инновации. 2018. № 12(242). С. 98–102.
 13. Ogwueleka F., Misra S., Ogwueleka T.C., et al. An Artificial Neural Network Model for Road Accident Prediction: A Case Study of a Developing Country // Acta Polytechnica Hungarica. 2014. Vol. 11. No. 5. P. 177–197.
 14. Зикратова Т.В., Зикратов И.А. Применение нейронной сети для обнаружения аварийно-опасных ситуаций на дорогах // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 20, № 2. С. 301–305. DOI:10.17586/2226-1494-2020-20-2-301-305.
 15. Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И. и др. Система поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации техногенных ЧС на основе прецедентного подхода // Технологии техносферной безопасности. 2013. № 5(51). С. 1–13.
 16. Liao Z., Zhou C., Tian W., et al. CBR-Based Integration of a Hydrodynamic and Water Quality Model and GIS – A Case Study of Chaohu City // Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. P. 6436–6449. DOI:10.1007/s11356-018-3862-5.
 17. Пальчевский Е.В., Антонов В.В., Родионова Л.Е. и др. Моделирование зон затопления на основе прогнозирования временных рядов и ГИС-технологий // Компьютерная оптика. 2024. Т. 48, № 6. С. 913–923. DOI:10.18287/2412-6179-CO-1418.
 18. Глухих И.Н., Глухих Д.И. Метод Case Based Reasoning при управлении сложными технологическими объектами городской инфраструктуры // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7(79). С. 128–137.
 19. Иванов И.Г., Морозов С.В., Белокопытов М.Л. Повышение качества испытаний космических средств путем использования системы поддержки принятия решений на основе прецедентов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 3(41). С. 121–130. DOI:10.21685/2307-5538-2022-3-15.

20. Беляков С.Л., Израилев Л.А. Геоинформационные модели аварийных ситуаций с пространственными обобщениями // Известия ЮФУ. Технические науки. 2025. № 1(243). С. 153–164. DOI:10.18522/2311-3103-2025-1-153-164.

АВТОРЫ **Беляков Станислав Леонидович**

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ), Таганрог, Россия
кафедра информационно-аналитических систем безопасности, Институт
компьютерных технологий и безопасности
д-р техн. наук, профессор
 0000-0002-9939-8789

Израилев Лев Алексеевич

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» (ЮФУ), Таганрог, Россия
кафедра информационно-аналитических систем безопасности, Институт
компьютерных технологий и безопасности

Поступила 29.07.2025. Принята к публикации 19.12.2025. Опубликовано 26.12.2025.



Cartographic Analysis of Risks Associated with Automobile Routes Based on Data on Road Accidents Using Case-Based Reasoning

Stanislav L. Belyakov¹, Lev A. Izrailev¹✉

¹ Southern Federal University, Taganrog, Russia

✉ izrailev@sfnu.ru

CITATION Belyakov SL, Izrailev LA. Cartographic Analysis of Risks Associated with Automobile Routes Based on Data on Road Accidents Using Case-Based Reasoning. *Izvestia Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying*. 2025;69(6): 140–156. DOI:10.30533/GiA-2025-061.

KEYWORDS geoinformation modeling, case-based reasoning, decision-making in conditions of uncertainty, emergency analysis

ABSTRACT Emergency situations are a serious problem of modern society, as there are no universal solutions applicable in all subject areas. In these circumstances, it is advisable to use methods based on the accumulation, analysis and extraction of useful and practically applicable knowledge to solve emergency situations. One of these is the Case-Based Reasoning (CBR) method. It allows you to solve a new, unknown problem by applying or adapting a previously used solution. The implementation of the CBR analysis method based on geographic information systems (GIS) will allow more efficient accumulation of information about use cases. GIS has the ability not only to visualize information about use cases, but also to determine the degree of proximity of use cases based on a common topology. The purpose of this article is to develop a model for emergency cartographic analysis based on a case-based approach. A situational approach has been chosen as an approach to organizing decision support. The advantages of the proposed model are the analysis and comparison of spatial characteristics along with attributive ones, spatial contextualization, integration of various data sources, as well as the ability to make decisions in conditions of uncertainty. The developed model was used as an example of the task of choosing a safe automobile route. With the help of QGIS, a study of the territory along the routes was conducted and potential accident sites were identified.


ACKNOWLEDGEMENTS The research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-21-00182, implemented by the Southern Federal University.

REFERENCES

1. Bednov SS, Bogdashkina OF, Kalashnikova LG. Analiz dorozhno-transportnyh proisshestvij v gorode Saranske s ispol'zovaniem QGIS [Analysis of Traffic Accidents in Saransk Using QGIS]. *Ogaryov-Online*. 2023;2(187): 34–42. (In Russian). Available from: <https://ogarev-online.ru/2311-2468/article/view/267973>. (Accessed 20 July 2025).
2. Trebushkova IE, Makovneva AS, Poljakova NO. Prostranstvenno-vremennoj analiz dorozhno-transportnyh proisshestvij v Kurskoj oblasti s pomoshh'ju GIS-tehnologij [Spatial and Temporal Analysis Traffic Accidents in the Kursk Region Using GIS Technologies]. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Geography. Geology*. 2023;9(1): 56–73. (In Russian).
3. Kochergin GA, Muratov IN, Kuprijanov MA., et al. Ocenka i kartografirovanie riskov vozdeystviya avariynyh nefterazlivov na lesnoj kompleks nefte dobyvajushhih regionov Rossii [Assessment and Mapping of the Risks of Accidental Oil Spills on the Forest Complex of the Oil-Producing Regions of Russia]. *Oil&Gas Exposition*. 2022;5(90): 86–89. (In Russian). DOI:10.24412/2076-6785-2022-5-86-89.
4. Gershtein AM. *Programmnye instrumenty dlya postroeniya bezopasnykh marshrutov transporta* [Software Tools for Building Safe Transport Routes] [dissertation]. Saint Petersburg, 2024. 124 p. (In Russian).
5. Wang D, Huang Y, Cai Z. A Two-Phase Clustering Approach for Traffic Accident Black Spots Identification: Integrated GIS-Based Processing and HDBSCAN Model. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*. 2023;30(2): 270–281. DOI:10.1080/17457300.2022.2164309.
6. Sipos T. Spatial Statistical Analysis of the Traffic Accidents. *Periodica Polytechnica Transportation Engineering*. 2017;45(2): 101–105. DOI:10.3311/PPtr.9895.
7. Ivanova NV, Belov VS, Samarkin AI, et al. Kartograficheskii analiz ekstremnykh vyzovov na dorozhno-transportnye proisshestviya dlya optimizatsii raboty sluzhby skoroi meditsinskoj pomoshchi [Cartographic Analysis of Emergency Calls for Traffic Accidents to Optimize the Work of the Ambulance Service]. *Bulletin of the Pskov State University. Series "Natural and Physical and Mathematical Sciences"*. 2023;16(2): 114–129. (In Russian).
8. Amankulova NA, Molmakova MS, Karimova GT. Iskusstvennyj intellekt i geoinformacionnye sistemy [Artificial Intelligence and Geoinformation Systems]. *Bulletin of Science and Practice*. 2023;9(11): 278–287. (In Russian). DOI:10.33619/2414-2948/96/36.
9. Kulinich AA. Situatsionnyi, kognitivnyi i semioticheskii podkhody k prinyatiyu reshenii v organizatsiyakh [Situational, Cognitive and Semiotic Approaches to Decision-Making in Organizations]. *Open Education*. 2016;6: 9–17. (In Russian). DOI:10.21686/1818-4243-2016-6-9-17.
10. Cvetkov VJa, Markelov VM. Prostranstvennyi situatsionnyi analiz [Spatial Situational Analysis]. *Bulletin of MSTU MIREA*. 2013;1: 103–116. (In Russian).
11. Mostafa E, Sinichenko EK, Gricuk II. Kartirovanie opasnosti vnezapnykh navodnenii s ispol'zovaniem metoda morfometricheskogo ranzhirovaniya [Mapping the Risk of Flash Floods Using the Morphometric Ranking Method]. *Prirodoobustrojstvo*. 2023;2: 106–112. (In Russian). DOI:10.26897/1997-6011-2023-2-106-112.
12. Grebnev JaV, Moskalev AK, Gazizulina AJu. Prognozirovaniye chrezvychainykh situatsii na territorii Krainego Severa Krasnoyarskogo kraja, obuslovlennykh lesnymi i landshaftnymi pozharemi, s ispol'zovaniem neirosetevykh algoritmov [Forecasting Emergency Situations in the Far North of the Krasnoyarsk Territory Caused by Forest and Landscape Fires Using Neural Network Algorithms]. *Innovations*. 2018;12(242): 98–102. (In Russian).
13. Ogwueleka F, Misra S, Ogwueleka TC, et al. An Artificial Neural Network Model for Road Accident Prediction: A Case Study of a Developing Country. *Acta Polytechnica Hungarica*. 2014;11(5): 177–197.
14. Zikratova TV, Zikratov IA. Primenenie neuronnoi seti dlya obnaruzheniya avariino-opasnykh situatsii na dorogakh [Application of a Neural Network for Detecting Emergency Situations on the Roads]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2020;20(2): 301–305. (In Russian). DOI:10.17586/2226-1494-2020-20-2-301-305.
15. Berman AF, Nikolajchuk OA, Pavlov AI, et al. Sistema podderzhki prinyatiya reshenii po preduprezhdeniyu i likvidatsii tekhnogennykh CHS na osnove pretsedentnogo

- podkhoda [Decision Support System for the Prevention and Elimination of Man-Made Emergencies Based on a Precedent Approach]. *Technosphere Security Technologies*. 2013;5(51): 1–13. (In Russian).
16. Liao Z, Zhou C, Tian W, et al. CBR-Based Integration of a Hydrodynamic and Water Quality Model and GIS – A Case Study of Chaohu City. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26: 6436–6449. DOI:10.1007/s11356-018-3862-5.
 17. Pal'chevskij EV, Antonov VV, Rodionova LE, et al. Modelirovanie zon zatopeniya na osnove prognozirovaniya vremennykh ryadov i GIS-tehnologii [Modeling of Flood Zones Based on Time Series Forecasting and GIS Technologies]. *Computer Optics*. 2024;48(6): 913–923. (In Russian). DOI:10.18287/2412-6179-CO-1418.
 18. Gluhih IN, Gluhih DI. Metod Case Based Reasoning pri upravlenii slozhnymi tekhnologicheskimi ob'ektami gorodskoi infrastruktury [The Case Based Reasoning Method for Managing Complex Technological Objects of Urban Infrastructure]. *Engineering Journal of Don*. 2021;7(79): 128–137. (In Russian).
 19. Ivanov IG, Morozov SV, Belokopytov ML. Povyshenie kachestva ispytaniy kosmicheskikh sredstv putem ispol'zovaniya sistemy podderzhki prinyatiya reshenii na osnove pretsedentov [Improving the Quality of Testing Space Assets Through the Use of a Decision Support System Based on Precedents]. *Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2022;3(41): 121–130. (In Russian). DOI:10.21685/2307-5538-2022-3-15.
 20. Beljakov SL, Izrailev LA. Geoinformatsionnye modeli avariinykh situatsii s prostranstvennymi obobshcheniyami [Geoinformation Models of Emergency Situations with Spatial Generalizations]. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2025;1(243): 153–164. (In Russian). DOI: 10.18522/2311-3103-2025-1-153-164.

AUTHORS **Stanislav L. Belyakov**

Southern Federal University, Taganrog, Russia
 Department of Information Analytical Systems of Safety, Institute of Computer Technology and Information Security
 Dr. of Sci. (Engineering), Professor
 0000-0002-9939-8789

Lev A. Izrailev

Southern Federal University, Taganrog, Russia
 Department of Information Analytical Systems of Safety, Institute of Computer Technology and Information Security

Submitted: July 29, 2025. Accepted: December 19, 2025. Published: December 26, 2025.