

## Использование прецедентного подхода для прогнозирования риска лесных пожаров

Н. О. Дородных, О. А. Николайчук, Ю. В. Пестова, А. Ю. Юрин\*  
Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН, 664033,  
Иркутск, Россия

\*Контактный автор: Юрин Александр Юрьевич, e-mail: iskander@icc.ru

Поступила 08 июня 2022 г., принята в печать 30 июня 2022 г.

Природные и техногенные пожары остаются серьезной угрозой для людей и инфраструктуры Прибайкальской природной территории. При этом необходимо отметить важность решения задач не только мониторинга, но и прогнозирования опасности природных пожаров в зависимости от метеоданных, сезонов и территориальной инфраструктуры на основе данных дистанционного зондирования Земли. В статье рассмотрены основные этапы решения задачи прогнозирования риска лесных пожаров на основе прецедентного подхода, включая преобразование данных, формирование модели прецедента, создание прототипа прецедентной экспертной системы, ее отладку и интеграцию в веб-сервис мониторинга лесных пожаров, а также оценку эффективности его работы. В качестве исходных данных использовалась информация о пожарах на территории Иркутской области за период с 2017 по 2020 г. Апробация подхода осуществлена для Казачинско-Ленского и Бодайбинского лесничеств. По результатам оценки сделан вывод о необходимости применения комплекса разных методов (интеллектуального анализа данных, нейронных сетей) для более точного прогнозирования.

*Ключевые слова:* опасность лесных пожаров, лесные кварталы, прогнозирование, прецеденты, анализ данных.

*Цитирование:* Дородных Н.О., Николайчук О.А., Пестова Ю.В., Юрин А.Ю. Использование прецедентного подхода для прогнозирования риска лесных пожаров. Вычислительные технологии. 2022; 27(5):43–54. DOI:10.25743/ICT.2022.27.5.005.

### Введение

Природные и техногенные пожары остаются серьезной угрозой для людей и инфраструктуры в Иркутской области, территория которой имеет самую высокую лесистость (78 %) среди субъектов Российской Федерации и где преобладают пожароопасные хвойные насаждения (более 90 % от всей площади, покрытой лесом). Причиной лесных пожаров являются природно-климатические условия (в частности, сухие грозы), неосторожное обращение с огнем местного населения при сборе ягод и грибов (70–90 % лесных пожаров), палы травы и др. [1].

Использование методов дистанционного зондирования Земли в рамках комплексной системы мониторинга лесных пожаров позволит значительно снизить риски и их опасность для населения и окружающей среды, что является одной из целей проекта 075-15-2020-787 Министерства науки и высшего образования РФ «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической

обстановки Байкальской природной территории” [2]. При этом необходимо отметить важность не только мониторинга, но и прогнозирования риска природных пожаров в зависимости от метеоданных, сезонов и территориальной инфраструктуры.

Для решения задачи прогнозирования могут быть использованы разные способы, основанные на методах искусственного интеллекта, статистики и интеллектуального анализа данных. В данной работе применен прецедентный подход [3] исходя из опыта решения задач прогнозирования в области нефтехимии и прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного характера [4]. Применение прецедентов рассмотрено в контексте решения задачи прогнозирования риска лесных пожаров, включая предобработку данных, формирование модели прецедента, создание прототипа прецедентной экспертной системы и ее отладку, интеграцию прототипа в веб-сервис мониторинга лесных пожаров и оценку эффективности его работы.

Основные результаты работы, определяющие ее новизну:

- модели предметной области и прецедента обеспечивают компактное представление информации о метеоусловиях, типе растительности и инфраструктуре региона во взаимосвязи с возможным риском природного пожара;
- база прецедентов содержит сведения о пожарах на территории Иркутской области за период с 2017 по 2020 г.;
- методика создания прототипов прецедентных баз знаний позволяет трансформировать концептуальные модели в форме диаграмм классов UML и таблиц решений специального вида;
- результаты работы позволяют оценивать эффективность решения задачи прогнозирования риска лесных пожаров на основе прецедентов.

## 1. Состояние вопроса

Рассмотрим основные положения из области прогнозирования риска лесных пожаров и методологии решения поставленной задачи.

### 1.1. Прогнозирование риска лесных пожаров

Проблема прогнозирования риска лесных пожаров решается в разных направлениях, среди которых можно выделить выявление факторов, влияющих на пожароопасность лесов [5]. К ним относятся: высота, уклон, топографический индекс влажности, аспект, расстояние от городских районов, среднегодовая температура, землепользование, расстояние от дорог, среднегодовое количество осадков, расстояние до реки, температура воздуха (среднесуточная и максимальная), даты перехода средних суточных температур через пороговые значения, даты наступления и схода устойчивого снежного покрова, относительная влажность (среднесуточная и минимальная), дефицит влажности воздуха, число дней с относительной влажностью  $\leq 30\%$  в один из сроков наблюдения за определенный период, годовой режим выпадения атмосферных осадков, число дней с дождем, индекс сухости, ветровой режим, число дней с грозой и др.

Другими направлениями исследований являются совершенствование шкалы оценки классов пожарной опасности лесов в зависимости от условий погоды [6] с целью введения новых факторов, в частности показателей влажности [7] либо учета региональных особенностей [8], а также применение существующих методик для оценки пожароопасности в различных регионах [9].

В контексте данного исследования рассмотренные работы были использованы для анализа предметной области и выявления факторов, влияющих на оценку пожароопасности лесов.

## 1.2. Прецедентный подход: основные принципы

Прецедентный подход (Case-Based Reasoning, CBR) [3] — это методология принятия решений, которая позволяет повторно использовать и адаптировать (при необходимости) ранее полученные решения похожих проблем на основе принципа принятия решений “по аналогии”. Основное понятие — это прецедент как структурированное представление накопленного опыта в виде данных и знаний, обеспечивающее его последующую автоматизированную обработку с использованием специализированного программного обеспечения [10].

Каждый прецедент является единицей опыта, структура которой зависит от особенностей конкретной проблемы, но включает две основные части:

- идентифицирующую (характеризующую), которая описывает опыт таким образом, что позволяет оценить возможность его повторного использования в конкретной ситуации;
- обучающую (решение), представляющую собой решение проблемы, доказательство решения (заключение), альтернативные или неудачные решения.

Процесс решения проблем на основе прецедентов состоит из таких этапов, как: извлечение; повторное использование, включая адаптацию; проверка полученного решения; сохранение. На каждом из этапов используются определенные методы [3].

Прецедентный подход применяется для решения задач в различных областях, включая планирование, диагностику и др.

Существует множество методов для извлечения (поиска) прецедентов [11]: ближайшего соседа, деревьев решений и др. Наиболее популярен из них метод ближайшего соседа, основанный на оценке сходства (подобия), вычисляемой с помощью различных метрик, в частности евклидовой, метрики городских кварталов и т.д. В данной работе использованы метод ближайшего соседа и метрика Журавлева [12], дополненная оценкой близости значений, представленных в виде интервалов:

$$s_i(c^*, c_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N w_j h_i(p_j^*, p_{ij}), \quad (1)$$

$$h_i(p_j^*, p_{ij}) = \begin{cases} \text{для количественных} & \begin{cases} 1, |v_j^* - v_{ij}| < \xi, \\ 0, |v_j^* - v_{ij}| \geq \xi, \end{cases} \\ \text{качественных} & \begin{cases} 1, v_j^* = v_{ij}, \\ 0, v_j^* \neq v_{ij}, \end{cases} \\ \text{интервалов} & \begin{cases} 1, v_j^* \in [v_j^+, v_j^{++}], \\ 0, v_j^* \notin [v_j^+, v_j^{++}], \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

где  $p_j$  — свойство,  $w_i$  — информационный вес свойства,  $v_j$  — значение свойства.

## 2. Прецедентный подход для прогнозирования риска лесных пожаров

Рассмотрим процесс решения задачи прогнозирования риска лесных пожаров с использованием прецедентного подхода, включая предобработку данных, концептуализацию и создание прототипа прецедентной базы знаний.

### 2.1. Предобработка данных

В качестве исходных данных для решения задачи исследования использовалась информация о термальных точках (пикселах горения), выявленных по спутниковым данным с использованием программного комплекса FireProc, созданного в ИСЗФ СО РАН. База данных включает более 45 000 записей, содержащих информацию о точках нагрева, выявленных в результате анализа спутниковых снимков за 2017–2020 гг. Исходные данные включают записи ежедневных (или с перерывом до трех дней) данных с информацией о дате и времени обнаружения термальной точки, ее площади, координат и контуров в виде полигона.

Предобработка данных, полученных на основе анализа космических снимков, включала решение следующих задач, в том числе направленных на заполнение пропусков по данным и получение вычисляемых значений свойств:

- выделение термоточек, расположенных в границах промышленных зон, населенных пунктов и зон добычи полезных ископаемых, которые не являются природными пожарами, с последующим их исключением из рассмотрения. Оставшиеся термальные точки в дальнейшем интерпретируются как лесные пожары;
- группировка (агрегирование) информации о пожарах путем объединения данных, характеризующих расположение пожара на пересекающихся полигонах и минимальный временной интервал, с определением продолжительности, минимальной и максимальной площади выявленного возгорания;
- выделение начального события лесного пожара с определением даты обнаружения, координат и полигона пожара;
- вычисление характеристик, позволяющих определить особенности каждого пожара;
- вычисление статистических показателей.

### 2.2. Концептуализация и построение модели прецедента

Для проведения концептуализации и построения модели прецедента использовались работы в данной области, упомянутые выше, а также предобработанные данные из базы данных по пожарам на Байкальской природной территории за 2017–2020 гг., информация о погоде, об инфраструктуре (дороги, населенные пункты и т. д.) и типе растительности.

На основе разработанной концептуальной модели (рис. 1) создана структура прецедента, включающая в описательной части такие данные, как: дата и время начала (обнаружения) пожара, территория пожара, площадь пожара, вид леса, класс пожарной опасности лесного участка, класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды, расстояние до автомобильных и железных дорог, расстояние до водоема, расстояние до ближайшего населенного пункта, погодные условия — температура воздуха, давление,

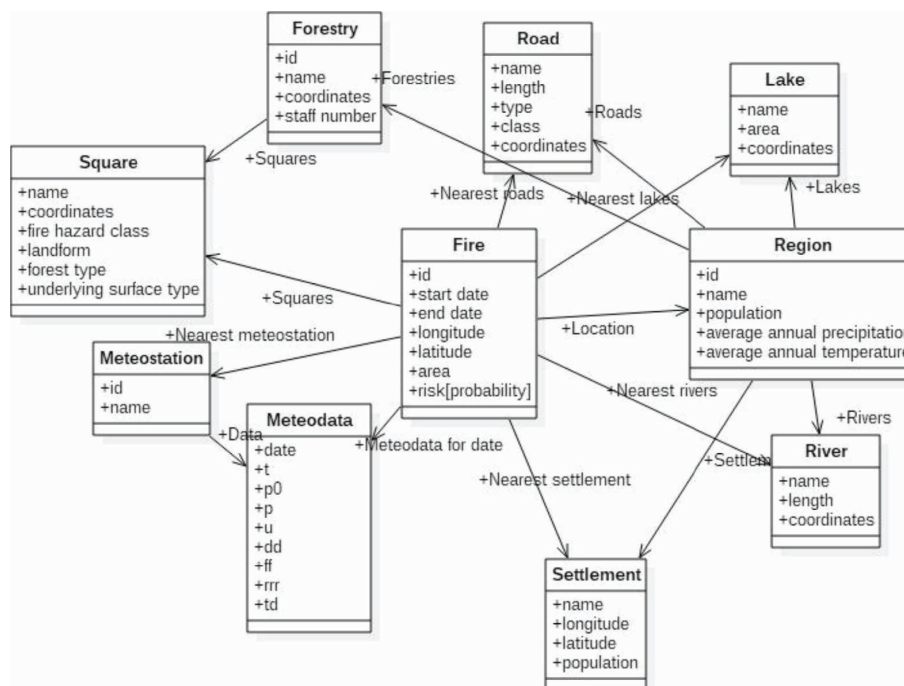


Рис. 1. Фрагмент концептуальной модели предметной области

Fig. 1. Fragment of a conceptual domain model

направление ветра, сила ветра, вид и уровень осадков. В обучающую часть прецедента включены следующие свойства: лесной квартал, оценка возможности пожара и др., подробное описание представлено в таблице.

## Структура прецедента

## Use case structure

Параметры/свойства прецедента	Описание, возможные значения, единицы измерения	Способ получения
<i>Описание проблемы</i>		
Дата и время начала (обнаружения) пожара	—	Анализ космических данных
Территория пожара	Полигон	То же
Площадь пожара	Квадратные километры	»
Лесной квартал	Наименование лесничества, участка, квартала	ГИС-данные
Зона лесосеменного районирования	Сосна, ель, лиственница, кедр	Определяется по данным лесных регламентов
Лесорастительная зона	Лесостепная, таежная, Южно-Сибирская горная	То же
Класс пожарной опасности лесного участка	Высокая — I, выше средней — II, средняя — III, ниже средней — IV, низкая — V	»
Класс пожарной опасности в лесу по условиям погоды	V — чрезвычайная (более 10 000), IV — высокая (от 4001 до 10 000), III — средняя (от 1001 до 4000), II — малая (от 301 до 1000), I (до 300)	Определяется по комплексному показателю В.Г. Нестерова [13]

Продолжение таблицы

Параметры/свойства прецедента	Описание, возможные значения, единицы измерения	Способ получения
Расстояние до ближайшей железной дороги	Километры, интервалы значений: 0–0.5; 0.5–3; 3–10; 10–15; более 15	Определяется на основе ГИС-данных
Расстояние до ближайшей автомобильной дороги	То же	То же
Расстояние до ближайшего водоема	»	»
Расстояние до ближайшего населенного пункта	»	»
Плотность населения	Число жителей на квадратный километр	Статистика Иркутской области
Температура воздуха	Градусы Цельсия	Данные метеостанций
Атмосферное давление	Миллиметры ртутного столба	То же
Относительная влажность	%	»
Направление ветра (румбы)	Ветер, дующий с западо-юго-запада; ветер, дующий с севера; ветер, дующий с западо-юго-запада; штиль, безветрие и др.	Данные метеостанций, определяются на высоте 10–12 м над земной поверхностью, осредненные за 10-минутный период, непосредственно предшествовавший сроку наблюдения
Скорость ветра	Метры в секунду, количественные значения переведены в качественные по 12-балльной шкале Ф. Бофорта: штиль (0–0.2), тихий (0.3–1.5), легкий (1.6–3.3), слабый (3.4–5.4), умеренный (5.5–7.9), свежий (8.0–10.7), сильный (10.8–13.8) и др.	То же
Количество выпавших осадков	Миллиметры, количественные значения переведены в качественные: небольшой дождь (0.0–2), дождь (3–14), сильный дождь (15–49), очень сильный дождь (более 50) и др.	Данные метеостанций
Описание осадков	Ливневый(ые) дождь(и) слабый(ые) в срок наблюдения или за последний час; туман или ледяной туман, небо видно, без заметного изменения интенсивности в течение последнего часа; ливень (ливни); гроза (грозы) с осадками или без них и др.	То же

Окончание таблицы

Параметры/свойства прецедента	Описание, возможные значения, единицы измерения	Способ получения
Снежность зимы	Малоснежная, норма, многоснежная	Данные метеостанций, определение средних значений осадков в виде снега и сравнение с аналогичными показателями, полученными за 10 лет. Превышение значений на 25 % — многоснежная, меньше на 25 % — малоснежная, промежуточные значения — норма
<i>Описание решения</i>		
Лесной квартал	Наименование лесничества, участка, квартала	ГИС-данные
Оценка возможности пожара	Не вероятно, наименее вероятно, маловероятно, вероятно, наиболее вероятно	Определяется на основе анализа прецедентов: не вероятно — нет аналогов, наименее вероятно — аналогов с оценкой близости от 0 до 0.5, маловероятно — аналогов с оценкой близости от 0.5 до 0.8, вероятно — аналогов от 1 до 5 с оценкой близости более 0.8, наиболее вероятно — аналогов более 5 с близостью более 0.8

В соответствии с заданной моделью сформирован набор данных в виде CSV-файлов, предназначенных для их дальнейшей обработки при создании прототипа базы прецедентов.

### 2.3. Создание прототипа базы прецедентов

Проверка работоспособности предлагаемого подхода осуществлялась путем создания прототипа базы прецедентов и выполнения тестовых запросов к ней. В качестве средства прототипирования использована среда Personal Knowledge Base Designer (PKBD) [14], обеспечивающая импорт данных из электронных CSV-таблиц с формированием базы прецедентов и выполнение запросов к этой структуре с расчетом оценки близости. Полученные в результате моделирования CSV-файлы были модифицированы (изменено наименование заголовков) для соответствия специальной форме таблиц решений, поддерживаемой PKBD. Пример таблицы решений приведен на рис. 2, где каждая строка соответствует описанию отдельного прецедента.

Для определения класса опасности используется следующая структура таблицы (заголовки), которая формируется на основе модели прецедента: id; fire id; new fire id; dt; ince; lat; lon; poly; geometry; municipalities; average population density; forestry; weather station id; weather station name; RRR; Ff; U; T; Td; DD; WW; W1; W2; Po; area; distance to car road; distance to railway; distance to lake; forest zone; forest seed zoning zones;

A	B	C	D	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	S	T	X	Y	Z	A/						
1	id	fire id	new frdt	lat	lon	municipal average p	forestry	weather	weather s	RRR	Ff	U	Td	DD	W1	W2	kv	forest zone	forest seed zoning zones	snowiness	name locality	area	distance	tdistat		
2	66	18350	101	01.04.2020	9:18	54.5235	99.1543	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	84.0	-8.5	север	705.4	1.968	0.059	0.297								
3	67	18468	103	01.04.2020	23:12	58.2267	106.643	МУЛТИПОЛ	0.0	Усть-Кутск	30127	ТОКМА	Осадков нет	тихий	98.0	-2.3	западо-юго-зап	721.4	1.065	0.308	0.289					
4	71	18485	109	02.04.2020	2:39	54.4849	99.2339	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	96.0	-8.6	юго-юго-восток	706.0	1.719	0.057	0.307								
5	72	18520	110	02.04.2020	10:47	54.5033	99.2039	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	96.0	-8.6	юго-юго-восток	706.0	1.322	0.058	0.303								
6	73	18521	111	02.04.2020	10:47	54.9613	98.893	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	96.0	-8.6	юго-юго-восток	706.0	1.307	0.002	0.208								
7	74	18519	112	02.04.2020	10:47	56.5876	99.685	Чукский	1.315849	Чукское	29590	НОВОБОЧНО	Осадков нет	штиль	36.0	-4.8	743.5	1.451	0.099	0.087						
8	76	18618	115	03.04.2020	10:34	52.0071	104.404	Иркутский	79.984232	Иркутское	30710	ИРКУТСК	Осадков нет	слабый	31.0	-5.5	юго-юго-восток	723.8	1.484	0.028	0.254					
9	79	18621	118	03.04.2020	10:34	52.8266	104.898	Экзит	Б.5.816963	Усть-Орда	30713	УСТЬ-ОРДА	Осадков нет	легкий	25.0	-7.8	восток	722.3	3.167	0.004	0.316					
10	80	18612	119	03.04.2020	10:35	54.4423	99.4606	Нижнеудэ	1.311747	Тулунское	30507	ИКЕЙ	Осадков нет	штиль	83.0	-7.4	720.1	2.175	0.045	0.318						
11	81	18613	120	03.04.2020	10:35	54.5233	99.2939	Нижнеудэ	1.311747	Тулунское	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	95.0	-8.9	юг	706.6	1.079	0.048	0.303					
12	82	18614	121	03.04.2020	10:35	54.5154	99.227	Нижнеудэ	1.311747	Тулунское	29892	ХАДАМА	Осадков нет	тихий	95.0	-8.9	юг	706.6	2.149	0.054	0.302					

Рис. 2. Фрагмент таблицы решений с данными о пожарах  
 Fig. 2. Fragment of a decision table with fire data

The screenshot shows the 'Personal Knowledge Base Designer' interface. It includes a search results window with a table of analogs and a detailed comparison window. The comparison window lists various properties (w) and their values for the target case (Fact-1-279) and the analog case (Fact-1-399).

Свойство	w	0,87	Значение - целевое	Значение - [F279]
RRR	1	1	Осадков нет	Осадков нет
FF	1	0,33	[легкий, слабый, тихий]	тихий
T	1	0,9	16,5	18,4
Td	1	0	-	16,4
DD	1	0,33	[юг, юго-юго-запад, северо-восток]	юг
W1	1	0	-	Ливень (линия)
W2	1	0	-	Облака покрывали более половины неба в течение одной части соответствующего периода в половину или менее в течение другой части периода.
kv	1	0	-	[Иркутское, Верхнеиркутское, Верхнеиркутская, 485, 486, 438, 439]
forest zone	1	1	[таежная]	[таежная]
forest seed zoning zones	1	1	[сосна-19, ель-11, лиственница-8, кедр-6]	[сосна-19, ель-11, лиственница-8, кедр-6]
snowiness	1	1	налоснежная	налоснежная
snowiness-uncertainty	1	0	-	-
name locality	1	0	-	Прибойный

Рис. 3. Пример форм РКВД: описание шаблона для формирования прецедентов, описание текущей проблемы для поиска аналогов, результаты поиска, детальный просмотр результатов  
 Fig. 3. Example of PKBD forms: description of the template for the formation of precedents, description of the current problem to search for analogues, searching results, detailed results view

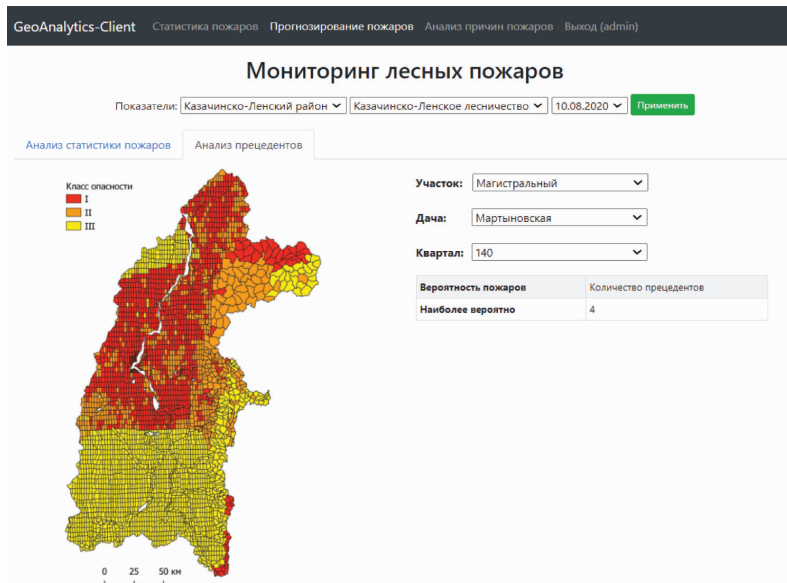


Рис. 4. Результаты прогнозирования риска лесных пожаров в Казахинско-Ленском лесничестве  
 Fig. 4. Results of predicting the risk of forest fires in Kazachinsk-Lensky forestry



weather hazard class; snowiness; snowiness-uncertainty; name locality; name MO locality; municipalities locality; distance to locality; thunderstorm; #kv; #forest hazard classes.

На рис. 3 приведены примеры интерфейса пользователя РКВД: просмотр общего списка результатов поиска прецедентов с указанием оценки близости, сравнительный просмотр условий запроса и описания.

Полученный прототип базы прецедентов содержит информацию о 2240 природных пожарах за 2019 и 2020 гг. Оценка эффективности прогнозирования риска возникновения природных пожаров на основе данного прототипа осуществлялась сравнением полученных результатов прогнозирования вероятности (риска) возникновения пожара в каждом квартале лесничеств с данными о пожарах, полученными в ходе реального мониторинга в этот же период времени. Прогноз пожаров осуществлен для двух лесничеств — Бодайбинского и Казачинско-Ленского. Максимальная точность (в значении accuracy) для отдельных кварталов достигала 0.71. Результаты экспериментальной оценки приведены на рис. 4. В дальнейшем планируется повысить эффективность прогнозирования благодаря развитию модели прецедента, а также совместному использованию различных технологий — прецедентных, продукционных экспертных систем и методов машинного обучения.

## Заключение

Оперативное и своевременное прогнозирование рисков природных пожаров обеспечивает эффективную поддержку принятия решений и ситуационное управление. В рамках выполнения работ по проекту “Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории” предложено решение данной проблемы, основанное на применении прецедентного подхода. Произведена концептуализация предметной области, построена модель прецедента, разработаны прототипы базы прецедентов и специализированного веб-сервиса. Модель прецедента отражает основные понятия и отношения, описывающие основные характеристики лесных пожаров, в свою очередь, база прецедентов обобщает информацию о 45 000 термоточках на территории Иркутской области за 2017–2020 гг.

Произведена оценка эффективности предлагаемого решения с формальной и содержательной точек зрения на примере Казачинско-Ленского и Бодайбинского лесничеств. По результатам оценки можно сделать вывод о необходимости применения комплекса разных методов (интеллектуального анализа данных, нейронных сетей) для более точного прогнозирования. Применение прецедентов позволит создать обучающие выборки и обеспечить формирование предварительных решений, которые в дальнейшем могут быть уточнены.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект № 075-15-2020-787 “Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории”.

## Список литературы

- [1] Тимофеева С.С., Гармышев В.В. Экологические последствия лесных пожаров на территории Иркутской области. *Экология и промышленность России*. 2017; 21(3):46–49.
  - [2] Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Khmelnov A.E., Popova A.K. Organization of digital monitoring of the Baikal natural territory. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 629(1):012067.
  - [3] Aamodt A., Plaza E. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches. *Artificial Intelligence Communications*. 1994; 7(1):39–59.
  - [4] Берман А.Ф., Николайчук О.А., Малтугуева Г.С., Юрин А.Ю. Применение прецедентного подхода для поддержки принятия решений при определении причин и прогнозировании инцидентов и аварий. *Безопасность труда в промышленности*. 2014; (11):18–26.
  - [5] Pourghasemi H.R., Gayen A., Lasaponara R., Tiefenbacher J.P. Application of learning vector quantization and different machine learning techniques to assessing forest fire influence factors and spatial modelling. *Environmental Research*. 2020; (184):109321.
  - [6] Залесов С.В., Годовалов Г.А., Платонов Е.Ю. Уточненная шкала распределения участков лесного фонда по классам природной пожарной опасности. *Аграрный вестник Урала*. 2013; 10(116): 45–49.
  - [7] Рубцов А.В., Сухинин А.И., Ваганов Е.А. Системный анализ погодной пожарной опасности при прогнозировании крупных пожаров в лесах Сибири. *Исследование Земли из космоса*. 2010; (3):62–70.
  - [8] Шур Ю.З., Нешатаев В.Ю., Степченко А.А., Шаповал Н.В. Региональные шкалы оценки природной пожарной опасности лесов. *Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства*. 2020; (2): 59–69.
  - [9] Софронова А.В., Волокитина А.В. Оценка природной пожарной опасности лесных участков на территории нефтегазовых комплексов с использованием данных дистанционного зондирования Земли. *Сибирский лесной журнал*. 2017; (5): 84–94.
  - [10] Николайчук О.А., Юрин А.Ю. Управление опытом при исследовании динамики технического состояния уникальных машин и конструкций: моделирование опыта. *Информационные технологии*. 2008; (6): 30–37.
  - [11] De Mantaras L.R., Mcsherry D., Bridge D., Leake D., Smyth B., Craw S., Faltings B., Maher M.L., Cox M.T., Forbus K., Keane M., Aamodt A., Watson I. Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning. *Knowledge Engineering Review*. 2005; 20(3):215–240.
  - [12] Журавлев Ю.И. Распознавание, классификация, прогноз. Математические методы и их применение. Вып. 2. М.: Наука; 1989: 302.
  - [13] ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.
  - [14] Юрин А.Ю. Применение трансформаций таблиц решений при создании интеллектуального программного модуля “Детектор” для веб-приложений. Программные продукты и системы. 2020; (4):573–581.
-

**Using a case-based approach to predict the risk of forest fires**DORODNYKH NIKITA O., NIKOLAICHUK OLGA A., PESTOVA YULIA V.,  
YURIN ALEXANDER YU.\*

Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory SB RAS, 664033, Irkutsk, Russia

\*Corresponding author: Yurin Alexander Yu., e-mail: iskander@icc.ru

Received June 08, 2022, accepted June 30, 2022.

**Abstract**

Natural and man-made fires remain a hazard for both people and infrastructure of the Baikal natural territory. At the same time, it is necessary to note the importance of solving not only the problem of monitoring, but also the problem of predicting the hazard of natural fires depending on weather data, seasons and territorial infrastructure based on remote sensing data of the earth. The paper discusses the main stages of predicting the risk of forest fires based on a case-based approach, including: data post processing, the formation of a case model, the creation of a prototype of a case-based expert system, its debugging and integration into a web service for monitoring forest fires and evaluating the effectiveness of its operation. Information on fires in the Irkutsk Region for the period from 2017 to 2020 was used as the initial data. Approbation of the approach was carried out for the Kazachinsko-Lena and Bodaibinsky forestries. Based on the results of the evaluation, it was concluded that it is necessary to use a complex of different methods (data mining, neural networks) for more accurate forecasting.

*Keywords:* hazard of forest fires, forest quarters, forecasting, case-based reasoning, data analysis.

*Citation:* Dorodnykh N.O., Nikolaichuk O.A., Pestova Yu.V., Yurin A.Yu. Using a case-based approach to predict the risk of forest fires. Computational Technologies. 2022; 27(5):43–54. DOI:10.25743/ICT.2022.27.5.005. (In Russ.)

**Acknowledgements.** The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, the grant No. 075-15-2020-787 for implementation of Major scientific projects on priority areas of scientific and technological development (the project “Fundamentals, methods and technologies for digital monitoring and forecasting of the environmental situation on the Baikal natural territory”).

**References**

1. **Timofeeva S.S., Garmyshev V.V.** Environmental impacts of forest fires on the territory of Irkutsk Oblast. Ecology and Industry of Russia. 2017; 21(3):46–49. (In Russ.)
2. **Bychkov I.V., Ruzhnikov G.M., Fedorov R.K., Khmelnov A.E., Popova A.K.** Organization of digital monitoring of the Baikal natural territory. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 629(1):012067.
3. **Aamodt A., Plaza E.** Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations and system approaches. Artificial Intelligence Communications. 1994; 7(1):39–59.
4. **Berman A.F., Nikolaichuk O.A., Maltugueva G.S., Yurin A.Yu.** Application of case-based reasoning for decision-making support in determining the causes and forecasting of incidents and accidents. Occupational Safety in Industry. 2014; (11):18–26. (In Russ.)
5. **Pourghasemi H.R., Gayen A., Lasaponara R., Tiefenbacher J.P.** Application of learning vector quantization and different machine learning techniques to assessing forest fire influence factors and spatial modelling. Environmental Research. 2020; (184):109321.

6. **Zalesov S.V., Godovalov G.A., Platonov E.Yu.** Clarified scale for distribution of forest fund blocks according the wildfire hazard. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2013; 10(116):45–49. (In Russ.)
7. **Rubtsov A.V., Sukhinin A.I., Vaganov E.A.** System analysis of weather fire hazard in forecasting large fires in the forests of Siberia. *Issledovanie Zemli iz Kosmosa*. 2010; (3):62–70. (In Russ.)
8. **Shur Yu.Z., Neshataev V.Yu., Stepchenko A.A., Shapoval N.V.** Regional natural forest fire danger scales. *Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute*. 2020; (2):59–69. (In Russ.)
9. **Sofronova A.V., Volokitina A.V.** Assessment of fire hazard for forest sites in the territory of oil and gas complexes using Earth remote sensing data. *Siberian Journal of Forest Science*. 2017; (5):84–94. (In Russ.)
10. **Nikolaychuk O.A., Yurin A.Yu.** Experience management at the investigation of the technical state dynamics of unique machines and constructions: Modeling of experience. *Information Technologies*. 2008; (6):30–37. (In Russ.)
11. **De Mantaras L.R., Mcsherry D., Bridge D., Leake D., Smyth B., Craw S., Faltings B., Maher M.L., Cox M.T., Forbus K., Keane M., Aamodt A., Watson I.** Retrieval, reuse, revision and retention in case-based reasoning. *Knowledge Engineering Review*. 2005; 20(3):215–240.
12. **Zhuravlev Yu.I.** Recognition, classification, forecast. *Mathematical methods and their application*. Issue 2. Moscow: Nauka; 1989: 302. (In Russ.)
13. GOST R 22.1.09-99 Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of forest fires. (In Russ.)
14. **Yurin A.Yu.** Using decision tables transformations when creating the “Detector” intelligent software module for web applications. *Software & Systems*. 2020; (4):573–581. (In Russ.)