

Ибрагимова Айлина Ильгизаровна, студент-магистрант,
Уфимский государственный нефтяной технический университет

Малкова Мария Александровна,
кандидат химических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной технический университет

**КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ АНТРОПОГЕННЫХ
ФАКТОРОВ ЛЕСОПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ
В РЕСПУБЛИКЕ БАШКОРТОСТАН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QGIS**
**CORRELATION ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC FACTORS OF FOREST
FIRE DANGER IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN USING QGIS**

Аннотация. В статье Представлены результаты корреляционного анализа взаимосвязей исторической пожарной активности и антропогенных факторов в Республике Башкортостан с использованием QGIS. На основе данных VIIRS за 2006-2025 гг. проанализированы плотность пожаров, населенных пунктов и дорожной сети в 1519 ячейках регулярной сетки. Методология включала расчет коэффициентов корреляции Пирсона. Выявлена практически функциональная связь между пожарами и населенными пунктами ($r=0,997$) и сильная связь с дорожной сетью ($r=0,85$). Результаты доказывают антропогенную природу возгораний и важность учета мультиколлинеарности при построении моделей пожарного риска.

Abstract. The article presents a correlation analysis of the relationships between historical fire activity and anthropogenic factors in the Republic of Bashkortostan using QGIS. Based on VIIRS data from 2006-2025, the analysis examined fire density, settlement density, and road network density across 1519 regular grid cells. The methodology employed Pearson correlation coefficients. The results reveal a near-functional relationship between fire occurrence and settlement distribution ($r=0.997$), along with a strong correlation with road network density ($r=0.85$). These findings provide compelling statistical evidence of the anthropogenic nature of most wildfires in the region and highlight the critical importance of addressing multicollinearity in fire risk modeling.

Ключевые слова: Лесопожарная опасность, антропогенный фактор, корреляционный анализ, QGIS, пространственная агрегация, Республика Башкортостан, данные VIIRS.

Keywords: Forest fire danger, anthropogenic factor, correlation analysis, QGIS, spatial aggregation, Republic of Bashkortostan, VIIRS data.

Управление лесопожарными рисками в современных условиях требует перехода от реагирования к превентивному планированию, основанному на глубоком анализе причинно-следственных связей [1, с. 56]. Для Республики Башкортостан, с ее значительным лесным фондом и развитой антропогенной инфраструктурой, эта задача приобретает особую актуальность. Хотя роль человеческого фактора в возникновении пожаров в целом признана [2, с. 18], количественные, статистически верифицированные исследования силы связи между пространственным распределением возгораний и конкретными элементами инфраструктуры для региона до сих пор отсутствуют. Существующие работы часто ограничиваются экспертными оценками или анализом отдельных факторов без учета их взаимной корреляции [3, с. 104], что не позволяет оптимизировать структуру прогностических моделей и выявить ключевые драйверы пожарной опасности.



Таким образом, актуальность данного исследования обусловлена необходимостью заполнения существующего методического пробела с применением строгих статистических методов и современных ГИС-технологий. Новизна работы заключается в проведении первого для региона комплексного корреляционного анализа, реализованного в среде QGIS и основанного на 20-летнем массиве данных VIIRS, с целью количественной оценки взаимосвязи исторической пожарной активности с плотностью населенных пунктов и дорожной сети. Цель исследования – выявить степень взаимозависимости анализируемых факторов для обоснованного отбора предикторов при последующем построении моделей пожарного риска, свободных от мультиколлинеарности.

Современные исследования в области оценки пожарной опасности все чаще опираются на статистические методы для верификации гипотез и отбора значимых предикторов. Значительный вклад в развитие методологии связан с использованием долговременных рядов спутниковых данных MODIS и VIIRS, показавших свою эффективность для анализа пространственно-временных закономерностей пожарной активности [4, с. 88]. Важность учета антропогенного фактора подтверждается многочисленными глобальными исследованиями, демонстрирующими преобладание возгораний вблизи инфраструктуры. В частности, работа [5] количественно показала, что деятельность человека является доминирующим фактором, определяющим глобальную динамику выгораний.

В российском научном пространстве методы корреляционного анализа также получают распространение, однако их применение зачастую ограничивается макроуровнем или не сопровождается глубокой проверкой статистических предпосылок [6, с. 155]. Проблема сильной коррелированности независимых переменных (мультиколлинеарности) широко освещена в фундаментальных трудах по статистике, где подчеркивается, что ее игнорирование приводит к неустойчивым и неинтерпретируемым оценкам коэффициентов регрессионных моделей [7, с. 215]. В контексте пожарной опасности это означает, что включение в модель сильно скоррелированных факторов является методологической ошибкой, так как они могут описывать одно и то же явление.

Работы, посвященные непосредственно пожарной опасности в Башкортостане, носят в основном описательный или картографический характер [8, с. 34], либо используют для взвешивания факторов экспертные методы [9, с. 23], что вносит субъективность. Таким образом, проведение объективного корреляционного анализа на основе большого массива пространственных данных для выявления истинной структуры взаимосвязей факторов является актуальной и не решенной ранее задачей для региона. Использование для этих целей свободного ГИС-пакета QGIS, чья эффективность для пространственного анализа подтверждена международным сообществом [10], делает методику доступной и воспроизводимой.

Исследование проводилось с использованием геоинформационной системы QGIS 3.40.7 и статистического программного обеспечения Python с применением библиотек Pandas и Scipy. Исходные данные включали векторный слой термоточек, полученный с портала NASA FIRMS за 20-летний период (2006-2025 гг.) с инструмента VIIRS, а также векторные слои населенных пунктов и дорожной сети из открытых источников OpenStreetMap. Все пространственные данные были приведены к единой системе координат EPSG:32640 для обеспечения согласованности анализа. Первоначальный этап работы заключался в подготовке данных и их пространственной агрегации. Территория Республики Башкортостан была покрыта регулярной сеткой с размером ячейки 10x10 км. Для каждой ячейки этой сетки были рассчитаны три нормированных показателя: плотность пожаров, определяемая как суммарное количество термоточек VIIRS за весь период наблюдений, отнесенное к площади ячейки; плотность населенных пунктов, вычисленная как отношение суммарной площади всех



населенных пунктов в ячейке к ее общей площади; и плотность дорожной сети, представляющая собой отношение суммарной длины всех дорог в ячейке к ее площади. В результате была сформирована таблица из 1519 наблюдений, по которым имелись полные данные по всем трем переменным. На следующем этапе был проведен корреляционный анализ для выявления силы и направленности линейных связей между переменными. С этой целью был применен метод парной корреляции Пирсона, расчет которого выполнялся с использованием функции `scipy.stats.pearsonr`. Статистическая значимость полученных коэффициентов корреляции оценивалась при пороговом уровне $p < 0.05$, а интерпретация силы связи проводилась по стандартной шкале, где значения $|r| < 0.3$ считались слабой связью, $0.3 \leq |r| < 0.7$ – умеренной, а $|r| \geq 0.7$ – сильной.

Результаты корреляционного анализа представлены в Таблице 1 и визуализированы на диаграмме рассеяния (табл. 1).

Таблица 1.

Матрица парных коэффициентов корреляции Пирсона
между анализируемыми факторами

Взаимосвязь	Коэффициент корреляции (r)	Уровень значимости (p-value)	Интерпретация
Пожары и населенные пункты	0,997	<0,001	очень сильная прямая связь
Пожары и дорожная сеть	0,850	<0,001	сильная прямая связь
Населенные пункты и дорожная сеть	0,080	0,002	слабая прямая связь

Результаты корреляционного анализа показали наличие устойчивых статистических взаимосвязей между исследуемыми факторами. Была выявлена практически функциональная прямая связь между историческим распределением пожаров и расположением населенных пунктов с коэффициентом корреляции $r = 0,997$ при уровне значимости $p < 0,001$. Анализ связи пожаров с дорожной сетью также продемонстрировал сильную положительную корреляцию с коэффициентом $r = 0,850$ при $p < 0,001$. При этом связь между плотностью населенных пунктов и плотностью дорожной сети оказалась слабой с коэффициентом $r = 0,080$ при $p = 0,002$. Полученные результаты позволяют сделать вывод о практически полной пространственной сопряженности распределения пожаров и населенных пунктов на территории Республики Башкортостан, в то время как дорожная сеть, хотя и показывает сильную связь с пожарами, представляет собой относительно независимый фактор риска.

В заключение можно констатировать, что проведенное исследование позволило количественно подтвердить доминирующую роль антропогенного фактора в формировании пожарной опасности на территории Республики Башкортостан. Установленная практически функциональная прямая связь между пространственным распределением исторических пожаров и расположением населенных пунктов ($r=0,997$) служит статистическим доказательством антропогенной природы большинства возгораний в регионе. Выявленная сильная положительная связь между пожарами и плотностью дорожной сети ($r=0,85$) указывает на доступность территории как на важный независимый фактор риска. Обнаруженная мультиколлинеарность между факторами "пожары" и "населенные пункты" определяет методологическое требование к исключению одного из этих факторов из состава будущих многомерных моделей оценки пожарного риска. Практическая значимость результатов заключается в предоставлении научно обоснованной основы для оптимизации



системы мониторинга и планирования превентивных противопожарных мероприятий с концентрацией ресурсов в зонах влияния населенных пунктов и объектов транспортной инфраструктуры.

Список литературы:

1. Чуйко Ю.А., Захарова А.И. Современные подходы к управлению природными рисками: от мониторинга к прогнозированию // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. № 4. С. 56-61.
2. Петрова Е.А., Сидоров К.В. Анализ влияния антропогенных факторов на возникновение лесных пожаров с использованием ГИС-технологий // Лесной вестник. 2021. № 4. С. 18-25.
3. Абдуллин Р.Р., Хабибов Т.М. Геоинформационные системы в экологических исследованиях: учебное пособие. Уфа: БашГУ, 2020. 214 с.
4. Schroeder W., Oliva P., Giglio L., Csiszar I.A. The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment // Remote Sensing of Environment. 2014. Vol. 143. P. 85-96.
5. Andela N., Morton D.C., Giglio L., Chen Y., van der Werf G.R., Kasibhatla P.S., Randerson J.T. A human-driven decline in global burned area // Science. 2017. Vol. 356. No. 6345. P. 1356-1362.
6. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: Юнити, 2018. 788 с.
7. Таха Х. А. Введение в исследование операций. М.: Вильямс, 2021. 912 с.
8. Гаврилов Р.С., Мустафин Р.Ф. Пространственно-временной анализ пожароопасной обстановки в Республике Башкортостан // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 1. С. 32-39.
9. Министерство лесного хозяйства Республики Башкортостан. Государственный доклад о состоянии лесов Республики Башкортостан в 2023 году. Уфа, 2024. 156 с.
10. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2024. URL: <http://qgis.org>.

