

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ НА ПЛОЩАДИ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ НА УЧАСТКАХ ИНТЕНСИВНОГО НЕФТЕГАЗОВОГО ОСВОЕНИЯ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

**О. В. Марчукова, И. А. Миляев, М. С. Горшкова, Н. В. Жеребятьева, И. Р. Идрисов**

Тюменский государственный университет (Тюмень, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 1 июля 2025 г.

## Для цитирования

Марчукова О. В., Миляев И. А., Горшкова М. С. и др. Влияние природных факторов на площади ландшафтных пожаров на участках интенсивного нефтегазового освоения Ямало-Ненецкого автономного округа // Арктика: экология и экономика. — 2026. — Т. 16, № 1. — С. ?—?. — DOI: 10.25283/2223-4594-2026-1-?-?.

С помощью методов корреляционного анализа и множественной регрессии получены количественные оценки влияния природно-климатических факторов на площадь распространения ландшафтных пожаров в Ямalo-Ненецком автономном округе (ЯНАО) за период с 2005 по 2024 гг. Площадь, охваченная огнем в нефтегазовом регионе российской Арктики, увеличилась на 70% за последнее десятилетие, особенно в районе лесотундры, многократно превышая горимость в северной тайге и южной тундре. Уменьшение влаги в атмосфере и увеличение количества дней с отсутствием осадков в пожароопасный период объясняют 99,5% изменений площади пожаров в лесотундре ЯНАО.

**Ключевые слова:** Ямalo-Ненецкий автономный округ, лесные пожары, лесотундра, регрессионный анализ, изменение климата в Арктике.

## Введение

В настоящее время Организация Объединенных Наций называет глобальное потепление климата Земли одной из наиболее опасных и значимых экологических проблем XXI в. Согласно последнему отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), над которым работали более 200 ученых, глобальное потепление грозит усилением наводнений и засух, учащением природных пожаров, экстремальной жарой, острой нехваткой продовольствия и воды, ростом числа заболеваний и экономическими потерями [1]. Изменение климата оказывает влияние на все государства на всех континентах. По оценкам Росгидромета за 2024 г., потепление фиксируется на всей территории России во все сезоны [2]. Из последних сводок всемирной программы непрерывных наблюдений за состоянием Земли «Copernicus» известно, что 2024 г.

стал самым теплым за всю историю наблюдений, превысив порог 1,5°C [3]. По тому же отчету МГЭИК [1] уже доказано, что главной причиной глобального потепления является увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере вследствие деятельности человека.

Район Арктики, к которому относится Ямalo-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), наиболее подвержен глобальному потеплению. Климат Заполярья теплеет намного быстрее, чем где-либо в мире [4; 5]. Температура приземного воздуха в Арктике увеличилась более чем вдвое по сравнению со среднемировым показателем за последние два десятилетия, причем обратная связь от таяния морского льда и уменьшения снежного покрова способствовала усилению потепления в этом регионе [6]. Механизмы усиления потепления в Арктике, известные как положительные обратные связи, активно обсуждаются учеными [7—10], но все сводится к тому, что это элементы единой взаимосвязанной климатиче-

ской системы: снижение альбедо из-за уменьшения количества морского льда и снежного покрова; увеличение общего содержания водяного пара в атмосфере Арктики; изменение общей облачности и как результат — дополнительное тепло, генерируемое вновь образованным морским льдом и проходящее через более свободные водные пространства осенью; перенос тепла и влаги в атмосфере на север; снижение потерь тепла из Арктики в космос по сравнению с субтропиками.

Изменение климата проявляется в усилении природных рисков, одним из которых являются ландшафтные пожары [1]. Ландшафтный или природный пожар — неконтролируемый процесс горения, спонтанно возникающий и распространяющийся в природной среде, затрагивающий различные компоненты природного ландшафта [11]. Лесной пожар — разновидность ландшафтного пожара, распространяющегося по лесу. В условиях глобального потепления фиксируется увеличение частоты, площади и интенсивности таких пожаров, особенно в boreальных и арктических регионах [1; 12]. В России, обладающей крупнейшими в мире лесными массивами, эти тенденции проявляются особенно ярко. Как отмечается в «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 11 февраля 2021 г. № 312-р, проблемы сохранения и использования лесов становятся все более многообразными и сложными, что во многом обусловлено резкими изменениями климата. В лесах России наблюдалось увеличение частоты и площади лесных пожаров, особенно в экстремально жаркие 2012, 2016, 2018 и 2019 гг. [13]. В [14] отмечено, что в целом с 2001 по 2019 гг. площадь всех пожаров в России увеличилась, т. е. тренд динамики сгоревших лесов положительный, однако мощность больших пожаров за этот период уменьшилась. За последнее десятилетие также значительно выросли количество и площадь пожаров в российской Арктике [12]. Многие исследователи связывают увеличение площади пожаров с изменением климата, а конкретно с ростом концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере, который является главным индикатором антропогенного потепления [15—17], и с удлинением пожароопасного периода [18]. Чем выше частота и площадь лесных пожаров, тем больше углерода теряется лесами в пожарных и послепожарных эмиссиях и тем меньше их способность к поглощению дополнительных или к хранению существующих запасов углерода [19]. Пожары являются важным фактором воздействия на состояние многолетнемерзлых пород, что может увеличить эмиссию парниковых газов в атмосферу и ускорить климатические изменения [20]. Они оказывают долгосрочное влияние на углеродный цикл арктических экосистем через увеличение температуры почвы и глубины деятельного слоя.

В недавней работе [21] авторы пришли к выводу, что площади лесных пожаров в Сибири увеличива-

ются независимо от количества очагов возгораний в те годы, когда фиксируются абсолютные максимальные температуры воздуха в сочетании с резким уменьшением количества осадков и относительной влажности воздуха. Аналогичные выводы о влиянии изменения климата на площадь пожаров были получены во многих других регионах, например, в США [22], Иране [23], Китае [24], Аргентине [25] и др. Если увеличение площади распространения пожаров еще можно объяснить, используя погодные характеристики, то основной причиной возникновения большинства пожаров, как правило, являются неосторожные и неправомерные действия населения. Как показали исследования [26—28], отсутствие достоверной связи между количеством пожаров и климатическими показателями связано с антропогенными причинами возникновения пожаров. На количество пожаров может влиять расстояние до населенных пунктов, количество дорог, объекты инфраструктуры и расположение зон отдыха.

По суммарной площади пожаров с 2000 по 2024 гг. в российской Арктике ЯНАО занимает второе место (всего 6,6 млн га (18%) от 36,5 млн га) [12]. В этом регионе более всего распространены лесные и торфяные (разновидность лесных) пожары.

Территория исследования представляет собой один из ключевых районов масштабной добычи углеводородного сырья, включающий Уренгойскую, Пур-Тазовскую, Надымскую нефтегазоносные области и Мессояхско-Балахнинский нефтегазоносный пояс [29]. Среди крупнейших месторождений — Ямбургское и Уренгойское. Ландшафтные пожары оказывают прямое влияние на безопасность предприятий нефтегазового сектора, характеризующихся высокой степенью пожаро- и взрывоопасности. Увеличение частоты и площади пожаров в условиях климатических изменений повышает риски аварий, технологических сбоев и экологических катастроф, что делает изучение факторов, способствующих их распространению, особенно актуальным.

Цель настоящей работы — определить природные факторы, в наибольшей степени влияющие на увеличение площади пожаров в период с 2005 по 2024 гг. на участках интенсивного нефтегазового освоения Ямало-Ненецкого автономного округа.

## Материалы и методы

Значения площади гарей и количества пожаров на территории ЯНАО были получены на основе векторных данных, сформированных в результате дешифрирования космических снимков Landsat-5/TM [30] и Landsat-8/OLI [31]. Для выявления гарей осуществлялось визуальное дешифрирование разновременных мультиспектральных снимков в летние месяцы (июнь–август), выполненное в ложноцветовой композиции с использованием каналов коротковолнового инфракрасного (SWIR2), ближнего инфракрасного (NIR) и зеленого (Green) диапазонов [32]. Векторизация контуров гарей производи-



Рис. 1. Территория исследования  
Fig. 1. The study area

лась с помощью инструментов платформы Google Earth Engine. Исследование охватывает только ту территорию ЯНАО, где расположены участки интенсивного нефтегазового освоения и где в период с 2005 по 2024 гг. были зарегистрированы пожары (рис. 1).

В работе использовались метеорологические данные 19 станций Росгидромета [33], 6 из которых расположены на территории исследования пожаров и, согласно атласу ЯНАО [29], принадлежат четы-

рем ландшафтным подзонам севера Западной Сибири: северной тайге (Надым, Уренгой), лесотундре (Новый Уренгой), южной тундре (Тазовский, Ныда) и средней (типичной) тундре (Антипаута) [29].

По данным 6 метеорологических станций были рассчитаны индекс Нестерова  $G$ , гидротермический коэффициент Г. Т. Селянина ГТК, средние показатели относительной влажности и скорости ветра как за пожароопасный период  $F_{пп}$  и  $V_{пп}$ , так и за весь год  $F_{год}$  и  $V_{год}$  (табл. 1).

**Таблица 1. Факторы, включенные в регрессионный анализ зависимости площади и количества пожаров от природно-климатических условий**

**Table 1. Factors included in the regression analysis of the dependence of the area and number of fires on natural and climate conditions**

Фактор	Пояснение
ГТК	Гидротермический коэффициент Селянина
ИН <sub>пп</sub>	Среднее значение индекса Нестерова за пожароопасный период
ИН <sub>сум</sub>	Суммарное значение индекса Нестерова за пожароопасный период
ИН <sub>выс</sub>	Число дней в году с высокой степенью пожарной опасности по индексу Нестерова
ИН <sub>чрез</sub>	Число дней в году с чрезвычайной степенью пожарной опасности по индексу Нестерова
$V_{год}$	Среднегодовое значение скорости ветра, м/с
$V_{пп}$	Среднее за пожароопасный период значение скорости ветра, м/с

Окончание табл. 1

Фактор	Пояснение
$F_{\text{год}}$	Среднегодовое значение относительной влажности, %
$F_{\text{пп}}$	Среднее за пожароопасный период значение относительной влажности, %
$\text{NDVI}_{\text{mean}}$	Среднее значение нормализованного относительного индекса растительности NDVI в пределах ландшафтной подзоны: $\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}},$ где NIR — значения ближнего инфракрасного спектрального канала; RED — значения красного спектрального канала снимков MODIS
$\text{NDVI}_{\text{min}}$	Минимальное значение NDVI в пределах ландшафтной подзоны
$\text{NDVI}_{\text{max}}$	Максимальное значение NDVI в пределах ландшафтной подзоны
$\text{NDWI}_{\text{mean}}$	Среднее значение нормализованного относительного водного индекса растительности NDWI в пределах каждой области: $\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR2}}{\text{NIR} + \text{SWIR2}},$ где NIR — значения ближнего инфракрасного спектрального канала; SWIR2 — значения второго коротковолнового инфракрасного спектрального канала снимков MODIS
$\text{NDWI}_{\text{min}}$	Минимальное значение NDWI в пределах области
$\text{NDWI}_{\text{max}}$	Максимальное значение NDWI в пределах области
$\text{NDMI}_{\text{mean}}$	Средние, минимальные и максимальные значения нормализованного относительного индекса влажности NDMI в пределах каждой области: $\text{NDMI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR1}}{\text{NIR} + \text{SWIR1}},$ где NIR — значения ближнего инфракрасного спектрального канала; SWIR1 — значения первого коротковолнового инфракрасного спектрального канала снимков MODIS
$\text{NDMI}_{\text{min}}$	Минимальное значение NDMI в пределах области
$\text{NDMI}_{\text{max}}$	Максимальное значение NDMI в пределах области
$\text{skin\_temp}_{\text{mean}}$	Средняя температура самого верхнего слоя земной поверхности, который не имеет теплопроводности и поэтому может мгновенно реагировать на изменения приповерхностных атмосферных условий, °C
$\text{skin\_temp}_{\text{min}}$	Минимальная температура самого верхнего слоя земной поверхности в пределах области, °C
$\text{skin\_temp}_{\text{max}}$	Максимальная температура самого верхнего слоя земной поверхности в пределах области, °C
$\text{snow depth}_{\text{mean}}$	Среднее значение толщины снега в пределах области
$\text{water\_content}_{\text{mean}}$	Среднее значение количества влаги в растительном пологе и/или в поверхностном слое почвы в пределах области
$\text{water\_content}_{\text{min}}$	Минимальное значение количества влаги в растительном пологе и/или в поверхностном слое почвы в пределах области
$\text{water\_content}_{\text{max}}$	Максимальное значение количества влаги в растительном пологе и/или в поверхностном слое почвы в пределах области
$\text{volume\_soil\_water}_{\text{mean}}$	Средний объем влаги в слое почвы 0—7 см в пределах области
$\text{volume\_soil\_water}_{\text{min}}$	Минимальный объем влаги в слое почвы 0—7 см в пределах области
$\text{volume\_soil\_water}_{\text{max}}$	Максимальный объем влаги в слое почвы 0—7 см в пределах области

Индекс Нестерова  $G$  — метеорологический показатель, используемый для оценки степени пожарной опасности в лесу на основе данных о температуре и влажности, рассчитываемый по формуле

$$G = \sum_{i=1}^n T_i d_i, \quad d_i = T_i - r_i, \quad (1)$$

где  $T_i$  — температура воздуха на 12—14 ч дня по местному времени,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $r_i$  — точка росы на 12—14 ч дня по местному времени,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $d_i$  — дефицит точки росы;  $n$  — число дней после последнего дождя [34]. Суммирование количества осадков начинается в первый сухой день после дождя. С каждым днем сухой погоды без осадков показатель  $G$  возрастает, пока не выпадут осадки 2,5 мм или более (в таком случае показатель обнуляется, и подсчет начинается заново). Общероссийская шкала по суммарному показателю индекса Нестерова имеет пять классов пожарной опасности горимости леса по условиям погоды. Для расчета индекса Нестерова в настоящей статье использовались суточные данные с шести метеостанций в пределах выделенной территории исследования (см. рис. 1). Это информация о температуре воздуха в 14:00 каждого дня в пожароопасный период с мая по сентябрь [33; 35], относительной влажности в 14:00 и о сумме осадков за сутки.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) — один из наиболее часто используемых количественных показателей климата, который характеризует период со среднесуточными температурами воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ . ГТК для климатических условий России определяется по соотношению

$$\text{ГТК} = \frac{10P_{>10}}{\sum T_{>10}}, \quad (2)$$

где ГТК — гидротермический коэффициент;  $P_{>10}$  — сумма осадков за период со среднесуточными температурами воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , мм;  $\sum T_{>10}$  — сумма среднесуточных температур воздуха за тот же период,  $^{\circ}\text{C}$  [34].

ГТК может служить индикатором аридности и долгосрочной засушливости, способствующей высокой горимости лесов и торфяников.

Кроме данных с метеостанций в работе были привлечены пространственные поля гидрометеорологических и почвенно-ландшафтных характеристик реанализа ERA5-Land (с разрешением ~9 км) [36] и спутниковая информация снимков MODIS Terra (с разрешением ~500 м) [37]. Обработка пространственных полей проводилась с использованием платформы для геопространственного анализа Google Earth Engine [38]. За каждый год исследуемого периода с 2005 по 2024 гг. в пределах выделенных ландшафтных подзон ЯНАО (см. рис. 1) методом зональной статистики (функция *reduce*) были рассчитаны средние, максимальные и минимальные значения температуры земной поверхности (*skin\_temp*), высоты снежного покрова (*snow\_depth*),

содержание влаги в растительном пологе (*water\_content*) и слое почвы 0—7 см (*volume\_soil\_water*) из реанализа ERA5-Land (см. табл. 1). Все эти характеристики тесно связаны с термическим и водным режимом ландшафтов, который во многом определяет пожароопасность территории. Выбор реанализа ERA5-Land обоснован тем, что он объединяет данные климатической модели со всемирными наблюдениями в глобально-полный и последовательный набор данных с применением физических моделей [36]. На основе спутниковых снимков MODIS Terra (MOD09A1 V6.1 surface reflectance) были рассчитаны спектральные индексы NDVI, NDWI, NDMI (см. табл. 1), которые служат эффективными индикаторами пожароопасности, отражая степень зелености, влажности и обезвоживания растительного покрова [39]. Снимки MODIS обеспечивают достаточный временной охват и приемлемое пространственное разрешение для целей исследования. Участки пожаров и водные объекты были исключены из расчета зональной статистики.

Для определения закономерностей влияния погодно-климатических и ландшафтных факторов на пространственно-временные особенности пожарной опасности в отобранных районах ЯНАО был использован метод множественной линейной регрессии. Его применение обосновано соответствием всех входных переменных закону нормального распределения. В анализ включено 28 независимых переменных, объединяющих метеорологические показатели (включая ГТК, индекс Нестерова, влажность и скорость ветра), а также ландшафтно-экологические параметры, полученные по данным дистанционного зондирования (MODIS) и реанализа ERA5-Land: нормализованные индексы растительности, влажности и водности (NDVI, NDMI, NDWI), температура поверхности, глубина снежного покрова и содержание влаги в почве и растительном пологе (см. табл. 1). Модель множественной линейной регрессии представлена следующим образом [40]:

$$Y = B + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \dots + A_n X_n + E, \quad (3)$$

где  $Y$  — зависимая переменная (площадь пожаров или количество пожаров);  $X_1, \dots, X_n$  — независимые переменные,  $A_1, \dots, A_n$  — коэффициент регрессии для каждого фактора;  $n = 28$  — количество факторов;  $E$  — случайная ошибка.

Отбор значимых факторов для моделей, описывающих изменение количества и площади пожаров в выделенных районах (см. рис. 1), проводился на основе корреляционного анализа при уровне статистической значимости 95% по  $t$ -критерию Стьюдента.

## Результаты исследований и их обсуждение

С 1965 г. по настоящее время на территории ЯНАО прослеживается устойчивое потепление как по данным 19 метеостанций (рис. 2), так и по ре-

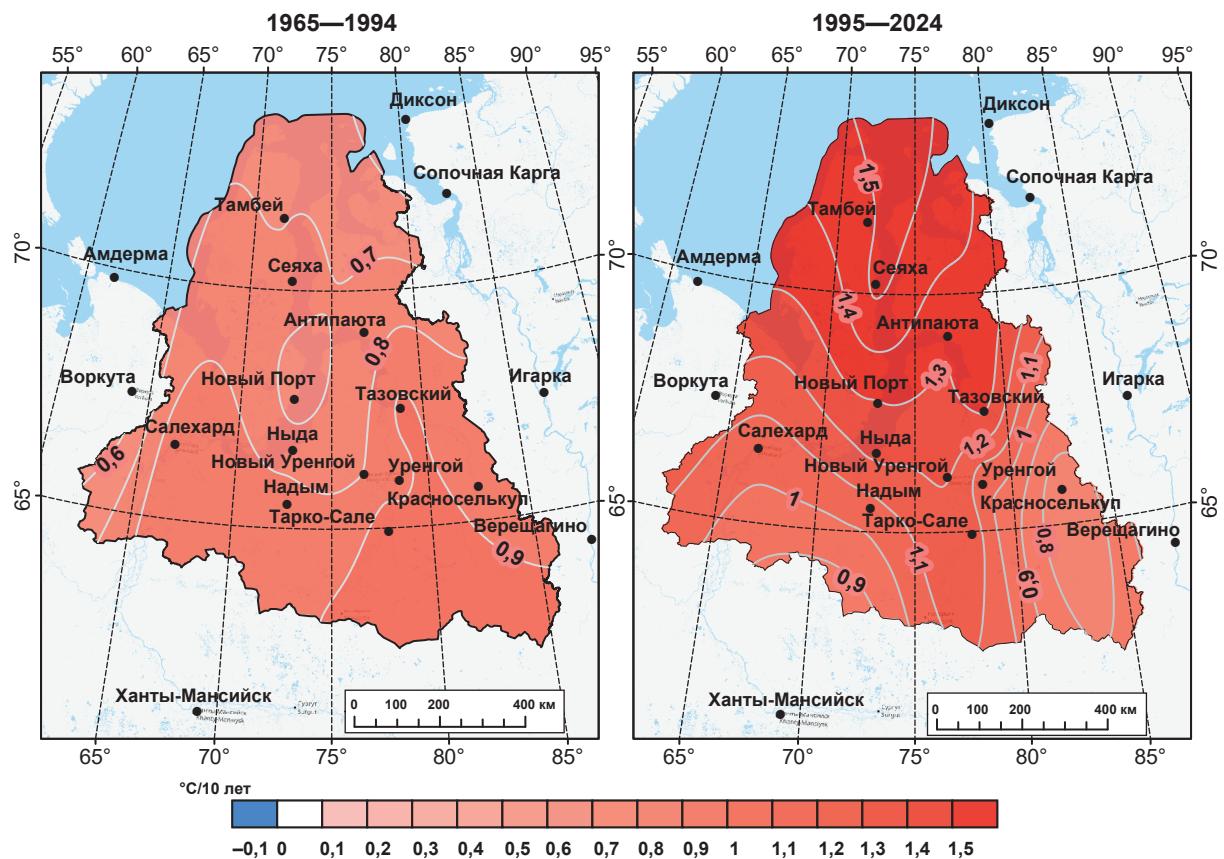


Рис. 2. Величины трендов приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) по данным метеостанций для двух временных периодов: 1965–1994 и 1995–2024 гг.

Fig. 2. Surface air temperature trend values ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) based on meteorological station data for two time periods: 1965–1994 and 1995–2024

зультатам реанализа ERA5-Land (рис. 3). Температура приземного воздуха увеличивается по линейному закону, при этом скорость потепления за последние 30 лет (1995–2024) за полярным кругом исследуемой территории увеличилась вдвое (с  $0,7^{\circ}\text{C}/10$  лет до  $1,5^{\circ}\text{C}/10$  лет) по сравнению с предыдущим периодом (1965–1994).

Полученные тренды совпадают с результатами последнего доклада Росгидромета [2], согласно которому максимальный рост средних температур в арктической части России наблюдается в зимне-весенний период. Это также согласуется с концепцией арктического усиления, обусловленного положительными обратными связями, такими как «лед-альбедо» и деградация многолетнемерзлых пород [9; 10].

Несмотря на то что климат в ЯНАО теплеет, количество ландшафтных пожаров сократилось на 30% за последние 10 лет (с 2015 по 2024 гг.) относительно предыдущего периода 2005–2014 гг. Возможно, это связано с принятыми правительством округа мерами в виде усиленного контроля и надзора за поджогами в пожароопасный период. Однако площадь распространения пожаров за этот же период увеличилась на 70%, особенно в районе лесотундры (рис. 4). На основании выявленной

тенденции увеличения площади пожаров в условиях сокращения их количества в рамках настоящего исследования проведен детальный анализ влияния природно-климатических факторов на площадь и частоту пожаров в четырех природных зонах исследуемой территории ЯНАО (см. рис. 1 и 4): в средней тундре, южной тундре, северной тайге и лесотундре.

**Средняя тундра.** В рассматриваемой ландшафтной подзоне (см. рис. 4) территории исследования (см. рис. 1) связь природных факторов с площадью пожаров  $S$  не выявлена. Однако с количеством пожаров  $N$  из 28 отобранных погодно-климатических и природных характеристик (см. табл. 1) значимую, умеренную, обратную корреляцию имеет только средняя высота снежного покрова ( $r = -0,46$ ). Это может быть связано с тем, что станция Антипаута, расположенная в северной части исследуемой территории, характеризуется наиболее продолжительным и устойчивым снежным покровом, который задерживает начало пожароопасного периода и снижает общую доступность горючих материалов. Данная характеристика была учтена как единственный фактор при расчете уравнения регрессии:

$$N = 3,5098 - (3,9391 \text{snow\_depth}_{\text{mean}}). \quad (4)$$

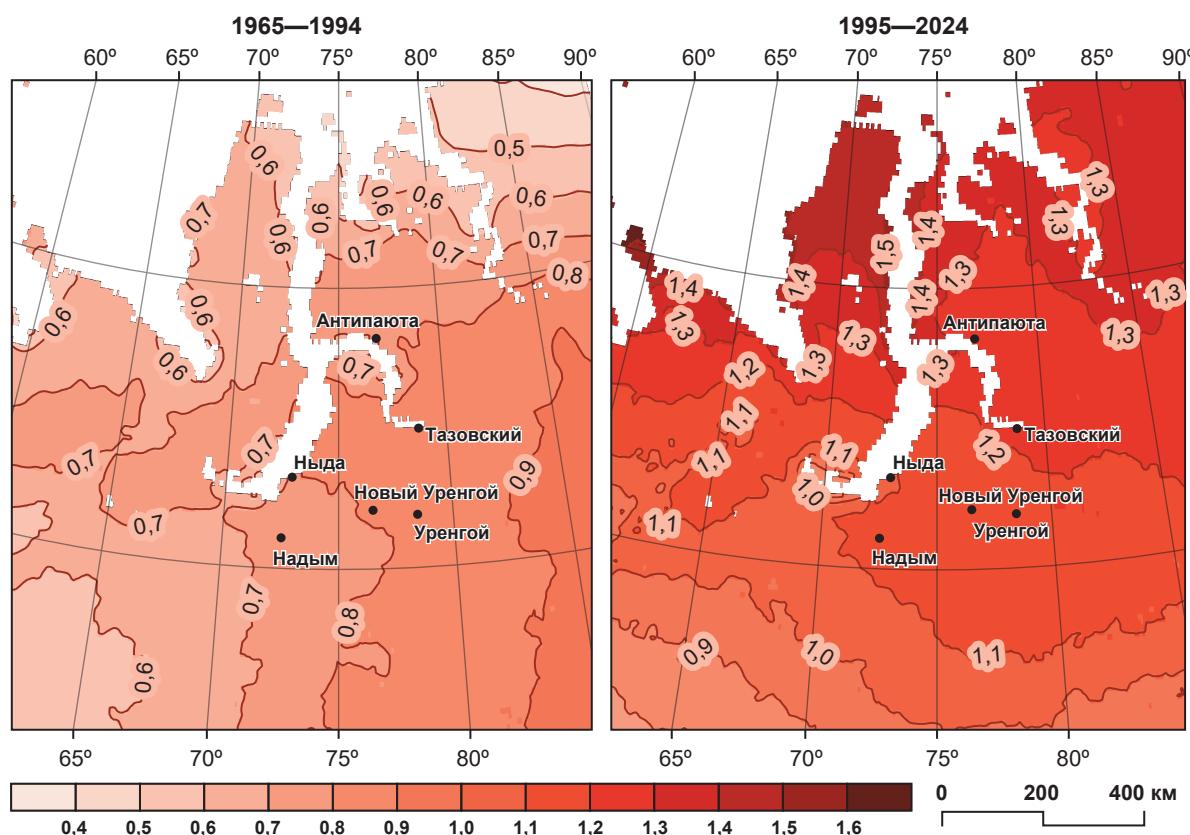


Рис. 3. Величины трендов приземной температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) по данным реанализа ERA5-Land для двух временных периодов: 1965–1994 и 1995–2024 гг.

Fig. 3. Surface air temperature trend values ( $^{\circ}\text{C}/10$  years) based on ERA5-Land reanalysis data for two time periods: 1965–1994 and 1995–2024

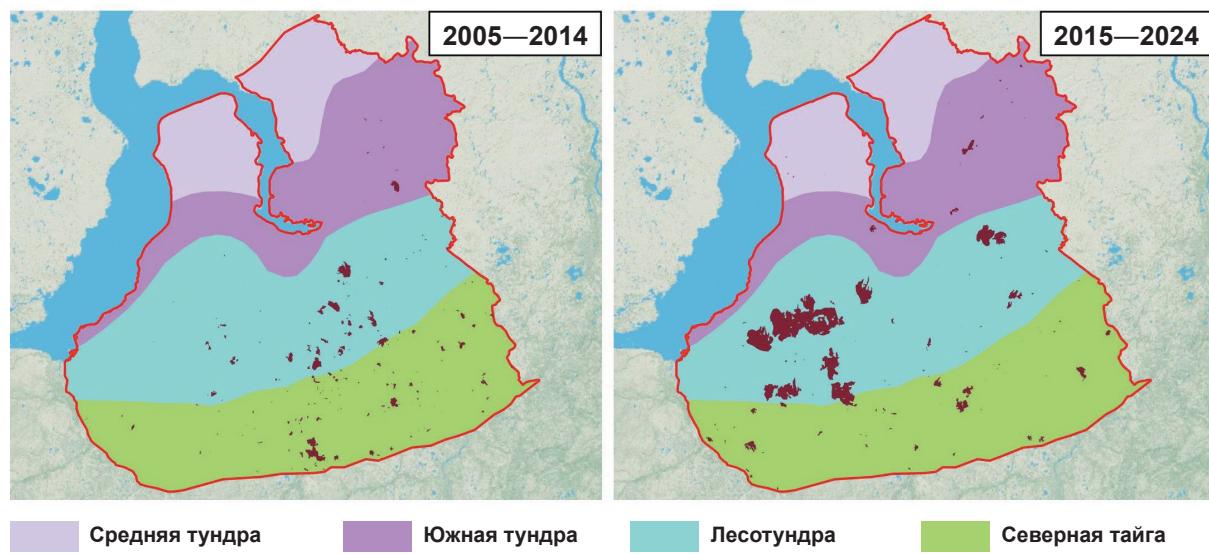


Рис. 4. Участки пожаров по десятилетним периодам

Fig. 4. Fire areas by ten-year periods

Полученная модель является статистически значимой по критерию Фишера ( $4,5 > 3,6$ ) и может описать только 21% изменчивости ландшафтных пожаров в средней тундре ЯНАО.

**Южная тундра.** С площадью пожаров статистически-значимая, прямая корреляционная связь

прослеживается с максимальной температурой верхнего слоя земной поверхности ( $r = 0,53$ ), а обратная — со среднегодовой скоростью ветра ( $r = -0,42$ ), относительной влажностью воздуха ( $r = -0,45$ ) и содержанием влаги в растительности ( $\text{NDMI}_{\text{mean}}$ ) ( $r = -0,42$ ). При этом модель множествен-

ной регрессии может описать 57% изменения площади пожаров  $r_{\text{мн}}$  на территории Тазовского района с 2005 по 2024 гг.:

$$S = 605,5123 - 85,5440V_{\text{год}} - 2,0852F_{\text{пп}} - \\ - 652,7281\text{NDMI}_{\text{mean}} + 2,8899\text{skin\_temp}_{\text{max}}. \quad (5)$$

Множественный коэффициент корреляции  $r_{\text{мн}}$  полученной модели равен 0,76. Определяющим фактором, влияющим на увеличение площади пожаров в южной тундре, будет снижение скорости ветра, так как этот параметр является статистически значимым по критерию Стьюдента ( $p = 0,02$ ) в полученном регрессионном уравнении.

В рассматриваемой природной зоне с 2005 по 2024 гг. выявлено влияние природных и погодно-климатических характеристик не только на площадь пожаров, но и на их количество. Прямую статистически значимую корреляцию (умеренную и заметную по шкале Чеддока) с количеством пожаров имеют суммарные ( $r = 0,45$ ) и высокие ( $r = 0,58$ ) показатели индекса Нестерова, максимальная температура верхнего слоя земной поверхности ( $r = 0,44$ ), а обратную — средняя высота снежного покрова ( $r = -0,50$ ). То есть с увеличением температуры, комплексных показателей индекса Нестерова и уменьшением снежного покрова будет расти количество пожаров в южной тундре. Такая закономерность может быть характерна для 55,6% пожаров и описана регрессионным уравнением

$$N = 3,9663 - 0,00003\text{ИН}_{\text{сум}} + \\ + 0,2501\text{ИН}_{\text{выс}} + 0,3117\text{skin\_temp}_{\text{max}} - \\ - 0,3233\text{snow\_depth}_{\text{mean}}. \quad (6)$$

Модель множественной регрессии является значимой, так как эмпирический критерий Фишера больше критического ( $4,7 > 3,6$ ), а определяющими факторами будут уменьшение средней высоты снега ( $p = 0,04$ ) и высокие показатели индекса Нестерова ( $p = 0,05$ ).

**Лесотундра.** Из 28 отобранных погодно-климатических и природных характеристик значимую прямую корреляцию с площадью пожаров имеют  $\text{ИН}_{\text{ср}}$  ( $r = 0,92$ ),  $\text{ИН}_{\text{сум}}$  ( $r = 0,93$ , очень сильная),  $\text{ИН}_{\text{чрез}}$  ( $r = 0,99$ , практически функциональная),  $\text{skin\_temp}_{\text{mean}}$  ( $r = 0,55$ , заметная),  $\text{skin\_temp}_{\text{min}}$  ( $r = 0,44$ , умеренная) и  $\text{skin\_temp}_{\text{max}}$  ( $r = 0,45$ , умеренная), а обратную умеренную значимую —  $F_{\text{пп}}$  ( $r = -0,48$ ) и  $\text{volume\_soil\_water}_{\text{min}}$  ( $r = -0,41$ ). По результатам множественного регрессионного анализа была получена модель, которая может описать 99,5% площади пожаров на территории района Нового Уренгоя от восьми отобранных характеристик:

$$S = 3485,2669 - 0,1229\text{ИН}_{\text{ср}} + 0,0005\text{ИН}_{\text{сум}} + \\ + 206,8057\text{ИН}_{\text{чрез}} - 48,0200F_{\text{пп}} - \\ - 0,5897\text{skin\_temp}_{\text{mean}} - 9,3448\text{skin\_temp}_{\text{min}} + \\ + 11,9754\text{skin\_temp}_{\text{max}} + \\ + 3731435,1854\text{volume\_soil\_water}_{\text{min}}. \quad (7)$$

Множественный коэффициент корреляции полученной модели равен 0,99, и она является статистически значимой по критерию Фишера ( $286,6 > 3,6$ ). Однако не все переменные в уравнении (7) будут определяющими факторами. Статистически значимыми характеристиками по критерию Стьюдента являются чрезвычайный индекс Нестерова ( $p = 0,00$ ) и влажность пожароопасного периода ( $p = 0,02$ ). Таким образом, в лесотундре ЯНАО на распространение площади огня в большей степени будут влиять общее уменьшение влаги в атмосфере и увеличение количества дней с отсутствием осадков в пожароопасный период, когда индекс Нестерова достигает чрезвычайных показателей (см. табл. 1).

При рассмотрении количества пожаров было обнаружено, что значимую заметную прямую корреляцию имеют  $\text{ИН}_{\text{ср}}$  ( $r = 0,59$ ),  $\text{ИН}_{\text{сум}}$  ( $r = 0,57$ ),  $\text{ИН}_{\text{выс}}$  ( $r = 0,51$ ),  $\text{skin\_temp}_{\text{mean}}$  ( $r = 0,49$ ) и  $\text{skin\_temp}_{\text{max}}$  ( $r = 0,63$ ), а обратную умеренную значимую — ГТК ( $r = -0,41$ ),  $V_{\text{год}}$  ( $r = -0,43$ ),  $F_{\text{пп}}$  ( $r = -0,69$ , заметная),  $\text{NDMI}_{\text{mean}}$  ( $r = -0,43$ ),  $\text{volume\_soil\_water}_{\text{mean}}$  ( $r = -0,49$ ). Регрессионное уравнение может описать 80,9% изменения количества пожаров на территории района Нового Уренгоя ( $r_{\text{мн}} = 0,9$ ), а сама модель является статистически-значимой ( $3,8 > 3,6$ ):

$$N = 186,6031 - 0,8566\text{ГТК} - 0,0242\text{ИН}_{\text{ср}} + \\ + 0,0002\text{ИН}_{\text{сум}} + 0,5962\text{ИН}_{\text{выс}} - 9,2430V_{\text{год}} - \\ - 1,4383F_{\text{пп}} + 58,2003\text{NDMI}_{\text{mean}} - \\ - 4,7804\text{skin\_temp}_{\text{mean}} + 2,0497\text{skin\_temp}_{\text{max}} - \\ - 5231,0280\text{volume\_soil\_water}_{\text{mean}}. \quad (8)$$

Однако в данном случае ни один из факторов не является определяющим по критерию Стьюдента.

**Северная тайга.** Значимая умеренная и заметная связь площади пожаров выявлена с увеличением средней, максимальной и минимальной температуры верхнего слоя земной поверхности ( $r = 0,55, 0,63, 0,45$  соответственно) и уменьшением минимального содержания влаги в растительности ( $\text{NDMI}_{\text{min}}, r = -0,48$ ) и среднего объема влаги в почве с толщиной слоя 0—7 см ( $r = -0,46$ ). Такие годовые закономерности могут описать 71,3% площади пожаров на территории исследования:

$$S = -216,7703 - 1559,1705\text{NDMI}_{\text{min}} - \\ - 35,6681\text{skin\_temp}_{\text{mean}} + \\ + 15,7730\text{skin\_temp}_{\text{min}} + \\ + 34,4357\text{skin\_temp}_{\text{max}} - \\ - 3564746,3144\text{volume\_soil\_water}_{\text{mean}}. \quad (9)$$

Множественный коэффициент корреляции равен 0,84, а полученная регрессионная модель (9) регрессии является статистически значимой по критерию Фишера ( $6,4 > 3,6$ ). Определяющим фактором, влияющим на площадь пожаров в северной тайге, будет уменьшение минимального содержания влаги в растительности ( $p = 0,02$ ).

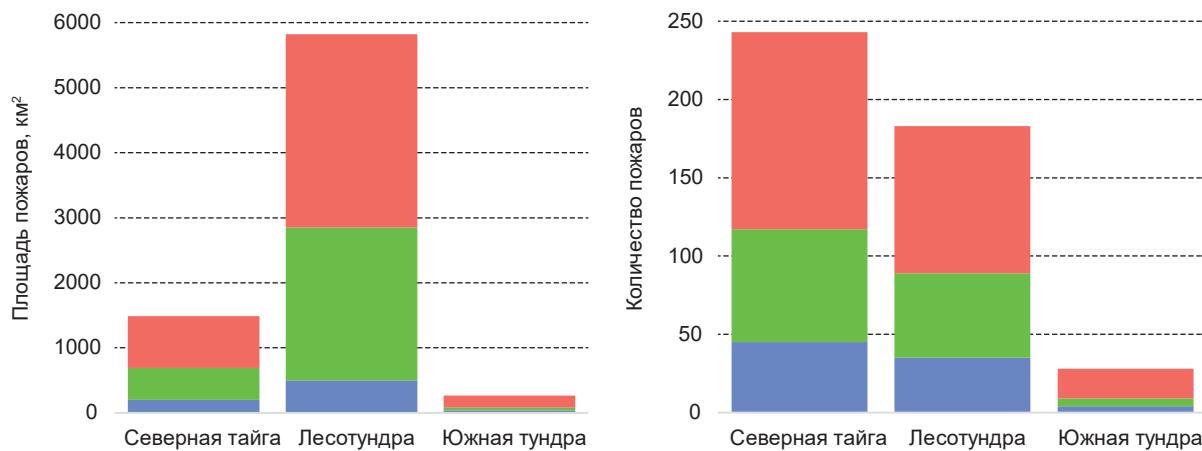


Рис. 5. Площадь и количество пожаров по природным зонам (красный цвет – относительно дренированные ландшафты, зеленый – переувлажненные болотные, синий – пойменно-долинные)

Fig. 5. Area and number of fires by natural zones (red – relatively drained landscapes, green – waterlogged fenny landscapes, blue – floodplain-valley landscapes)

При рассмотрении количества пожаров значимая прямая корреляция выявлена со средней и минимальной температурой верхнего слоя земной поверхности ( $r = 0,47$  и  $0,61$ ), а обратная — с минимальным разностным водным индексом ( $r = -0,50$ ) и минимальным содержанием влаги в растительности ( $r = -0,45$ ). По результатам регрессионного анализа полученная модель может описать 55% количества пожаров ( $r_{\text{мн}} = 0,74$ ):

$$\begin{aligned} N = & -43,8176 - 15,5858 \text{NDWI}_{\min} - \\ & - 68,6577 \text{NDMI}_{\min} + 1,1574 \text{skin\_temp}_{\text{mean}} + (10) \\ & + 1,2245 \text{skin\_temp}_{\max}. \end{aligned}$$

Модель множественной регрессии количества пожаров в северной тайге ЯНАО является статистически значимой ( $4,3 > 3,6$ ), однако в данном случае ни один из факторов не стал определяющим.

Поскольку пожары распределяются неравномерно по ландшафтам, для выявления пространственных закономерностей их распространения важно оценить горимость различных природных зон на территории исследования. Согласно физико-географическому районированию территории Западной Сибири, выполненному в масштабе Тюменской области [41], исследуемая территория охватывает три природные зоны — таежную, лесотундровую и тундровую, представленные северной тайгой, лесотундрой и южной тундрой. Средняя тундра исключена из анализа из-за крайне редкого возникновения пожаров и незначительности их площади. Ландшафты территории классифицированы по степени увлажненности на основе карты из «Атласа Тюменской области» [41], в который на момент издания (1971 г.) входил современный Ямало-Ненецкий автономный округ. Выделены группы: относительно дренированные, переувлажненные болотные, а также переувлажненные периодически затопляемые и долинные

ландшафты (последние две объединены в единую группу пойменно-долинных ландшафтов).

Наибольшая площадь пожаров приходится на лесотундру, при этом их максимальное количество отмечается в северной тайге (рис. 5). Прослеживается закономерное преобладание относительно дренированных ландшафтов по пожарной активности. В этой группе по горимости (отношению площади пожаров ландшафта к общей площади этого ландшафта) выделяются:

- пологоволнистые заозеренные равнины с березово-елово-лиственничными лишайниками лесами на иллювиально-железистых подзолах и березово-еловыми моховыми лесами на иллювиально-гумусовых подзолах;
- пологоволнистые линейно-грядовые равнины с лиственничными мохово-лишайниковыми рединами по грядам в сочетании с кустарничково-лишайниками тундрами на глеевато-слабоподзолистых почвах между грядами;
- высокие пологоволнистые и холмистые расчлененные равнины с лишайниково-ерниковыми тундрами на тундровых иллювиально-гумусовых оподзоленных почвах и травяно-моховыми тундрами с редкой лиственницей на тундровых торфянисто-эллювиально-глеевых почвах.

В целом в лесотундре ЯНАО возгораниям наиболее подвержены пологоволнистые и пологоувалистые равнины с доминированием лиственничных лесов, редколесий и лишайниковых сообществ в растительном покрове. Преобладание лиственничных лесов и лишайника в подверженных возгораниям ландшафтах характерно и для северной тайги и южной тундры. Вместе с тем в группе переувлажненных болотных ландшафтов наиболее горимыми (на уровне относительно дренированных ландшафтов) оказались лесотундровые плоскобугристые мерзлые торфяники с кустарничково-мо-

хово-лишайниковой растительностью по буграм и травяно-моховым покровом понижений. Среди лесотундровых ландшафтов для них свойственна наибольшая абсолютная площадь горения, что во многом объясняется их наибольшей распространенностю на территории исследования в сравнении с прочими ландшафтами. Чаще всего пожары затрагивают сообщества с доминированием лишайников в напочвенном покрове — плоскобугристые торфяники с присутствием лишайника и редколесья с лиственницей в качестве эдификатора. Похожие результаты были получены в [42], где главное значение отдано неспособности лишайников к регулированию водного баланса, что приводит к их интенсивному высушиванию во время продолжительных засух и превращению в горючий материал. Это подтверждается полученными нами результатами регрессионного моделирования, которые показали тесную связь площади пожаров с влажностью воздуха и количеством дней с отсутствием осадков в пожароопасный период.

### Заключение

С ускорением глобального потепления в Арктике, обусловленным положительными обратными связями (например, снижением альbedo из-за таяния морского льда), площадь пожаров в Ямalo-Ненецком автономном округе увеличилась на 70% за последнее десятилетие относительно предыдущего, особенно в районе лесотундры, многократно превышая горимость в северной тайге и южной тундре. По результатам множественного регрессионного анализа было выявлено, что на 99,5% изменения площади пожаров в лесотундре ЯНАО влияют общее уменьшение влаги в атмосфере и увеличение количества дней с отсутствием осадков в пожароопасный период, когда индекс Нестерова достигает чрезвычайно высоких показателей. Максимальная горимость в данной природной зоне характерна для ландшафтов лесотундровых равнин с доминированием лиственничных лесов, редколесий и лишайниковых сообществ в растительном покрове, включая плоскобугристые мерзлые торфяники с кустарничково-мохово-лишайниковой растительностью, которые легко разгораются в годы с дефицитом влаги в атмосфере.

В северной тайге ЯНАО определяющим фактором, влияющим на площадь распространения пожаров (71,3%), является уменьшение минимального содержания влаги в растительности, за счет чего наиболее подверженными пожарам становятся относительно дренированные ландшафты с преобладанием лиственничных лесов и лишайников в растительном покрове.

В исследуемый период 2005—2024 гг. выявлена широтная закономерность изменения площади пожаров: районы северных природных зон (средняя и южная тундра) демонстрируют слабую зависимость от погодно-климатических факторов, в то

время как в лесотундре и северной тайге ключевую роль играют режим увлажнения и перенос влаги в атмосфере.

Настоящая работа имеет научную и практическую значимость, поскольку полученные результаты могут быть использованы органами управления Ямalo-Ненецкого автономного округа и предприятиями нефтегазового сектора для планирования мер по предотвращению распространения пожаров, оценки экологического состояния территории, разработки климатического паспорта и адаптации к изменениям климата.

### Финансирование

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования России в рамках проекта «Тюменский карбоновый полигон» (FEWZ-2024-0016).

### Литература/References

1. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023, 184 p. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. — М.: Росгидромет, 2025. — 104 с. Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2024. Moscow, Roshydromet, 2025, 104 p. (In Russian).
3. Copernicus Climate Change Service. Global temperature in 2024: Warmest year on record. EC-MWF. 2025. Available at: <https://climate.copernicus.eu/2024-warmest-year-record>.
4. Ирганов А. А., Наслузова О. И. Причины и последствия таяния льдов на полюсах Земли // Эпоха науки. — 2015. — Т. 4. — С. 71—73. Irganov A. A., Nasluzova O. I. Causes and consequences of ice melting at the Earth's poles. Epoch of Science, 2015, vol. 4, pp. 71—73. (In Russian).
5. Марчукова О. В., Воскресенская Е. Н. Тенденции изменения концентрации льда и температуры воздуха в Арктике // Системы контроля окружающей среды. — 2021. — Вып. 1 (43). — С. 25—34. — DOI: 10.33075/2220-5861-2021-1-25-34. Marchukova O. V., Voskresenskaya E. N. Trends in ice concentration and air temperature in the Arctic. Environmental Monitoring Systems, 2021, iss. 1 (43), pp. 25—34. DOI: 10.33075/2220-5861-2021-1-25-34. (In Russian).
6. IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Cambridge, UK, Cambridge Univ. Press; New York, NY, USA, 2019, 755 p. DOI: 10.1017/9781009157964.
7. Serreze M. C., Barry R. G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. Global and Planetary Change, 2011, vol. 77 (1-2), pp. 85—96. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2011.03.004.

8. Pithan F., Mauritsen T. Arctic amplification dominated by temperature feedbacks in contemporary climate models. *Nature Geoscience*, 2014, vol. 7, pp. 181—184. DOI: 10.1038/NGEO2071.
9. Goosse H., Kay J. E., Armour K. C. et al. Quantifying climate feedbacks in polar regions. *Nature Communications*, 2018, vol. 9 (1), no. 1919. DOI: 10.1038/s41467-018-04173-0.
10. Stuecker M. F., Bitz C. M., Armour K. C., Proistosescu C. Polar amplification dominated by local forcing and feedbacks. *Nature Climate Change*, 2018, vol. 8 (12), pp. 1076—1081. DOI: 10.1038/s41558-018-0339-y.
11. Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части совершенствования деятельности в области пожарной безопасности» от 22 декабря 2020 г. № 454-ФЗ. Federal Law “On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Terms of Improving Activities in the Field of Fire Safety” dated December 22, 2020 no. 454-FZ. (In Russian).
12. Барталев С. А. Крупномасштабные изменения лесов России в XXI веке по данным спутниковых наблюдений // Материалы 18-й Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». — М., 2020. — С. 416.
- Bartalev S. A. Large-scale changes in Russian forests in the 21st century based on satellite observations. Proceedings of the 18th All-Russian open conference “Modern problems of remote sensing of the Earth from space”. Moscow, 2020, pp. 416. (In Russian).
13. Тарко А. Анализ пожаров лесов мира и их связь с глобальным циклом двуокиси углерода // Norwegian J. of Development of the International Science. — 2020. — № 50-2. — С. 34—44.
- Tarko A. Analysis of world forest fires and their relationship to the global carbon dioxide cycle. Norwegian J. of Development of the International Science, 2020, no. 50-2, pp. 34—44. (In Russian).
14. Тишков А. А., Титова С. В. Пожары в Арктической зоне Российской Федерации: новые оценки, роль изменений климата и возможные последствия // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 1. — С. 98—108. — DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-98-108.
- Tishkov A. A., Titova S. V. Fires in the Arctic zone of the Russian Federation: new assessments, the role of climate change and possible consequences. *Arctic: Ecology and Economy*, 2025, vol. 15, no. 1, pp. 98—108. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-1-98-108. (In Russian).
15. Поповичева О. Б., Чичаева М. А., Kovach R. G. и др. Лесные пожары как источник черного углерода в Арктике летом 2022 г. // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 257—270. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-2-257-270.
- Popovicheva O. B., Chichaeva M. A., Kovach R. G. et al. The forest fires as black carbon sources in Arctic by summer 2022. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 257—270. (In Russian).
16. Köster E., Köster K., Berninger F. et al. Changes in fluxes of carbon dioxide and methane caused by fire in Siberian boreal forest with continuous permafrost. *J. of environmental management*, 2018, vol. 228, pp. 405—415. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.051.
17. Veraverbeke S., Delcourt C. J. F., Kukavskaya E. et al. Direct and longer-time carbon emission from arctic boreal fires: A short review of recent advances. *Current opinion in environmental sciences and health*, 2021, vol. 23, p. 100277. DOI: 10.1016/j.coesh.2021.100277.
18. Flannigan M., Cantin A. S., de Groot W. J. et al. Global wildland fire season severity in the 21st century. *For. Ecol. Manag.*, 2013, vol. 294, pp. 54—61. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.10.022.
19. Замолодчиков Д., Шматков Н. Леса России и изменение климата: сможем ли мы сохранить наши леса перед новой угрозой? // Устойчивое лесопользование. — 2011. — № 4 (29). — С. 12—14. Zamolodchikov D., Shmatkov N. Forests of Russia and climate change: will we be able to save our forests in the face of a new threat? Sustainable forest management, 2011, no. 4 (29), pp. 12—14. (In Russian).
20. Dvornikov Yu., Novenko E., Korets M., Olchev A. Wildfire dynamics along a north-central Siberian latitudinal transect assessed using Landsat imagery. *Remote Sensing*, 2022, no. 3 (14), p. 790.
21. Kuznetsova E., Marchukova O., Kuznetsova V. et al. Climatic indicators and their variation trends as conditions for forest flammability hazard in the South of Tyumen Oblast. *Fire*, 2024, 7 (12), p. 466. DOI: 10.3390/fire7120466.
22. Abatzoglou J. T., Kolden C. A., Williams A. P. et al. Climatic influences on interannual variability in regional burn severity across western US forests. *Int. J. Wildland Fire*, 2017, vol. 26, p. 269. DOI: 10.1071/WF16165.
23. Shojaeizadeh K., Ahmadi M., Dadashi-Roudbari A. Contribution of biophysical and climate variables to the spatial distribution of wildfires in Iran. *J. For. Res.*, 2023, vol. 34, pp. 1763—1775. DOI: 10.1007/s11676-023-01638-x.
24. Shao Y., Fan G., Feng Z. et al. Prediction of forest fire occurrence in China under climate change scenarios. *J. For. Res.*, 2023, vol. 34, pp. 1217—1228. DOI: 10.1007/s11676-023-01605-6.
25. Villagra P. E., Cesca E., Alvarez L. M. et al. Spatial and temporal patterns of forest fires in the Central Monte: Relationships with regional climate. *Ecol. Process*, 2024, vol. 13, 5. DOI: 10.1186/s13717-023-00481-6.
26. Anderson S. A., Doherty J. J., Pearce H. G. Wildfires in New Zealand from 1991 to 2007. Report number 12789 Output 42390, 2008, p. 194.
27. Nagy R. C., Fusco E., Bradley B. et al. Human-related ignitions increase the number of large wildfires across US ecoregions. *Fire*, 2018, 1, 4. DOI: 10.3390/fire1010004.
28. Cardille J. A., Ventura S. J., Turner M. G. Environmental and social factors influencing wildfires in the Upper Midwest, United States. *Ecol. Appl.*, 2001, vol. 11, pp. 111—

127. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[0111:EASFI W]2.0.CO;2.
29. Атлас Ямalo-Ненецкого автономного округа / Под ред. И. Л. Левинзона, А. В. Артеева, С. И. Ларина. — Омск: Омская картограф. ф-ка, 2004. — 303 с. Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug. Ed. by I. L. Levinson, A. V. Arteyev, S. I. Larin. Omsk, Omsk Cartographic Factory, 2004, 303 p. (In Russian).
30. Landsat 5 Thematic Mapper (TM) Collection 2, Level 1. U.S. Geological Survey (USGS). 2025. Available at: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>.
31. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS) Collection 2, Level. U.S. Geological Survey (USGS). 2025. Available at: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>.
32. Kurbanov E., Vorobev O., Lezhnin S. et al. Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review. *Remote Sensing*, 2022, 19 (14), p. 4714. DOI: 10.3390/rs14194714.
33. Архив погоды rp5. — 2025. — URL: [https://rp5.ru/Погода\\_в\\_Ямalo-Ненецком\\_автономном\\_округе](https://rp5.ru/Погода_в_Ямalo-Ненецком_автономном_округе). Weather archive rp5. 2025. Available at: [https://rp5.ru/Погода\\_в\\_Ямalo-Ненецком\\_автономном\\_округе](https://rp5.ru/Погода_в_Ямalo-Ненецком_автономном_округе). (In Russian).
34. Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Лесные пожары на территории России при потеплении климата в XXI веке // Проблемы экол. мониторинга и моделирования экосистем. — 2013. — Т. 25. — С. 300—313. Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B. Forest fires in Russia during global warming in the 21st century. Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling, 2013, vol. 25, pp. 300—313. (In Russian).
35. О пожароопасном сезоне на территории Ямalo-Ненецкого автономного округа в 2025 году, утверждении плана мероприятий по защите населения и территорий Ямalo-Ненецкого автономного округа от лесных и других ландшафтных (природных) пожаров в пожароопасный сезон 2025 года и перечня населенных пунктов, подверженных угрозе лесных пожаров и других ландшафтных (природных) пожаров, территорий садоводства или огородничества, подверженных угрозе лесных пожаров в пожароопасный сезон 2025 года. — URL: <https://yanao.ru/dokumenty/114103/>.
- On the fire-hazardous season in the territory of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug in 2025, approval of the plan of measures to protect the population and territories of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug from forest and other landscape (natural) fires dur-
- ing the fire-hazardous season of 2025 and the list of settlements exposed to the threat of forest fires and other landscape (natural) fires, gardening or vegetable gardening territories exposed to the threat of forest fires during the fire-hazardous season of 2025. Available at: <https://yanao.ru/dokumenty/114103/>. (In Russian).
36. Muñoz Sabater J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2019. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30.
37. Vermote E. MODIS/Terra Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid V061. NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2021. DOI: 10.5067/MODIS/MOD09A1.061.
38. Gorelick N., Hancher M., Dixon M. et al. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 2017, vol. 202, pp. 18—27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.03.
39. Стручкова Г. П., Крупнова Т. Г., Тихонова С. А. и др. Оценка опасности возникновения лесных пожаров с использованием спутниковой информации и ГИС // Вестн. ВГУ. Сер. География. Геоэкология. — 2023. — № 4. — С. 34—44. Struchkova G. P., Krupnova T. G., Tikhonova S. A. et al. Assessment of the risk of forest fires using satellite information and GIS. VSU Bulletin. Series: Geography. Geoeiology, 2023, no. 4, pp. 34—44. (In Russian).
40. Turalioğlu F. S., Nuhoğlu A., Bayraktar H. Impacts of some meteorological parameters on SO<sub>2</sub> and TSP concentrations in Erzurum, Turkey. *Chemosphere*, 2005, vol. 59 (11), pp. 1633—1642.
41. Атлас Тюменской области / Под ред. Е. А. Огороднова. — Москва; Тюмень: Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1971. — 198 с. Atlas of the Tyumen Region / Ed. by E. A. Ogorodnov. Moscow; Tyumen, Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1971, 198 p. (In Russian).
42. Московченко Д. В., Арефьев С. П., Московченко М. Д., Юртаев А. А. Пространственно-временной анализ природных пожаров в лесотундре Западной Сибири // Сиб. экол. журн. — 2020. — Т. 27, № 2. — С. 243—255. Moskovchenko D. V., Arefyev S. P., Moskovchenko M. D., Yurtaev A. A. Spatio-temporal analysis of natural fires in the forest-tundra of Western Siberia. *Siberian Ecological J.*, 2020, vol. 27, no. 2, pp. 243—255.

## Информация об авторах

**Марчукова Олеся Владимировна**, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: olesjath@mail.ru.

**Миляев Иван Александрович**, инженер-исследователь, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: iw.miliaew@yandex.ru.

**Горшкова Мария Сергеевна**, инженер-исследователь, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: mashag007@yandex.ru.

Жеребятыева Наталья Владимировна, кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и экологии, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: n.v.zherebyateva@utmn.ru.

Идрисов Ильдар Рустамович, кандидат географических наук, заведующий кафедрой картографии и геоинформационных систем, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: i.r.idrisov@utmn.ru.

---

## **THE INFLUENCE OF NATURAL FACTORS ON THE LANDSCAPE FIRE AREAS IN REGIONS OF INTENSIVE OIL AND GAS DEVELOPMENT IN THE YAMALO-NENETS AUTONOMOUS AREA**

**Marchukova, O. V., Milyaev, I. A., Gorshkova, M. S., Zherebyateva, N. V., Idrisov I. R.**

Tyumen State University (Tyumen, Russian Federation)

The article was received on July 01, 2025

### **For citing**

*Marchukova O. V., Milyaev I. A., Gorshkova M. S., Zherebyateva N. V., Idrisov I. R. The influence of natural factors on the landscape fire areas in regions of intensive oil and gas development in the Yamalo-Nenets Autonomous Area. Arctic: Ecology and Economy, 2026, vol. 16, no. 1 pp. ?—?. DOI: 10.25283/2223-4594-2026-1-?-?. (In Russian).*

### **Abstract**

Using correlation analysis and multiple regression methods, the authors have obtained quantitative estimates of the impact of natural and climatic factors on the fire areas in the Yamalo-Nenets Autonomous Area from 2005 to 2024. The fire areas in the oil and gas region of the Russian Arctic have increased by 70% over the past decade, especially in the forest-tundra region, exceeding the flammability in the northern taiga and southern tundra many times over. A decrease in atmospheric moisture and an increase in the number of days without precipitation during the fire-hazardous period explain 99.5% of fire area changes in the forest-tundra of the Yamalo-Nenets Autonomous Area.

**Keywords:** Yamalo-Nenets Autonomous Area, forest fires, forest tundra, regression analysis, climate change in the Arctic.

### **Funding**

The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the Tyumen Carbon Test Site project (FEWZ-2024-0016).

---

### **Information about the authors**

*Marchukova, Olesya Vladimirovna*, PhD of Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Ecology, Tyumen State University (6, Volodarsky St., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: olesjath@mail.ru.

*Milyaev, Ivan Aleksandrovich*, Research Engineer, Tyumen State University (6, Volodarsky St., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: iw.miliaew@yandex.ru.

*Gorshkova, Maria Sergeevna*, Research Engineer, Tyumen State University (6, Volodarsky St., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: mashag007@yandex.ru.

*Zherebyateva, Natalia Vladimirovna*, PhD of Geography, Associate Professor of the Department of Physical Geography and Ecology, Tyumen State University (6, Volodarsky St., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: n.v.zherebyateva@utmn.ru.

*Idrisov, Ildar Rustamovich*, PhD of Geography, Head of the Department of Cartography and Geoinformation Systems, Tyumen State University (6, Volodarsky St., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: i.r.idrisov@utmn.ru.

© Marchukova O.V., Milyaev I.A., Gorshkova M.S., Zherebyatyeva N.V., Idrisov I.R., 2026