
ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 911.2

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/4-11>

ISSN 1609-0683

Пространственный анализ горимости ландшафтов севера Западной Сибири

И. А. Миляев 

Тюменский государственный университет, Российская Федерация
(625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6)

Аннотация. Цель – пространственный анализ и оценка горимости тундровых и лесотундровых ландшафтов Западно-Сибирской равнины и ее связи с антропогенным воздействием.

Материалы и методы. Исследование выполнено на основе созданной автором географической базы данных гарей за 1985-2024 гг. на изучаемую территорию с использованием спутниковых снимков Landsat в Google Earth Engine. Проведен анализ горимости ландшафтов разного таксономического ранга и связи пожаров с антропогенными факторами.

Результаты и обсуждение. Определено, что пожары за этот период охватили 4% территории, при этом лесотундровые ландшафты оказались значительно более подверженными возгораниям, чем тундровые (18,4% против 0,4%). Наибольшая пожарная активность выявлена в лесотундровых Надым-Пурской северной (24,6%) и Салехардской (15,6%) ландшафтных провинциях. Повышенная горимость характерна для средне-мелкохолмистого, озерно-болотного, плоско-ложбинного и хасырейного типов местности (3-6%), при этом средне-мелкохолмистый тип выделяется сравнительно меньшим антропогенным воздействием. Выявлена сильная значимая связь ($R^2 = 0,95$) количества гарей от их ближайшего расстояния до дорог.

Выводы. Повышенная горимость типов местности на севере Западной Сибири сильно связана с наличием дорожной сети в их пределах при отсутствии значимой зависимости от плотности дорог. Дороги и участки пожаров имеют выраженную пространственную сопряженность.

Ключевые слова: пожары, ландшафты, дистанционное зондирование Земли, тундра, лесотундра, Западная Сибирь, Ямало-Ненецкий автономный округ.

Для цитирования: Миляев И. А. Пространственный анализ горимости ландшафтов севера Западной Сибири // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2025, №4, с. 4-11.
DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/4-11>

ВВЕДЕНИЕ

Природные пожары представляют собой значимые события, существенно влияющие на почву, растительность [6, 10] и ландшафт в целом. Воздействие огня на ландшафты криолитозоны имеет множество последствий: долговременное повышение температуры почвы и многолетнемерзлых пород, увеличение глубины деятельного слоя, эмиссии углекислого газа в атмосферу [14]. Пожар, являющийся катастрофическим внешним воздействием на ландшафт, приводит к сукцессионной смене его состояний, что, в частности, может выражаться в поддержании биоразнообразия и изменении характера растительного покрова с тундрового на лесной в зональном экотоне лесотундры. Двоякое влияние пожаров в функционировании и динамике ландшафтов подчеркивает его важную роль как одного из ландшафтообразующих факторов в условиях современных изменений климата и антропогенного воздействия.

Накопленные за несколько десятилетий однородные спутниковые ряды данных дистанционного зондирования Земли позволяют в настоящее время точно оценивать пространственно-временные характеристики и закономерности распространения пожаров и их прогнозирования [5, 7, 11]. Так, за период имеющихся спутниковых наблюдений с 2001 по 2021 гг. зафиксировано увеличение числа и площади пожаров для всего арктического циркумполярного региона, отмечается их продвижение на север и прогнозируется продолжение этих тенденций в связи с изменением климата и антропогенной деятельностью [19].

Север Западной Сибири в последней четверти XX – начале XXI вв. характеризуется стремительным освоением нефтегазовых месторождений и масштабным строительством объектов обслуживающей инфраструктуры [6, 10]. На примере различных регионов – Мещерской низменности, Оренбургской области

© Миляев И. А., 2025

✉ Миляев Иван Александрович, e-mail: iw.miliaev@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

и таежной зоны Восточной Сибири – была показана сильная корреляция пожарной активности и антропогенной нагрузки [12, 15]. При хорошо изученной роли влияния метеорологических параметров, определяющих внешние условия возгорания и время возникновения пожаров [10, 19], слабо исследована их взаимосвязь с ландшафтными условиями, которые формируют горючий материал и определяют особенности его пространственного положения. Установлено, что горимость территории в большей степени связана с состоянием и наличием горючего материала и источников огня [9].

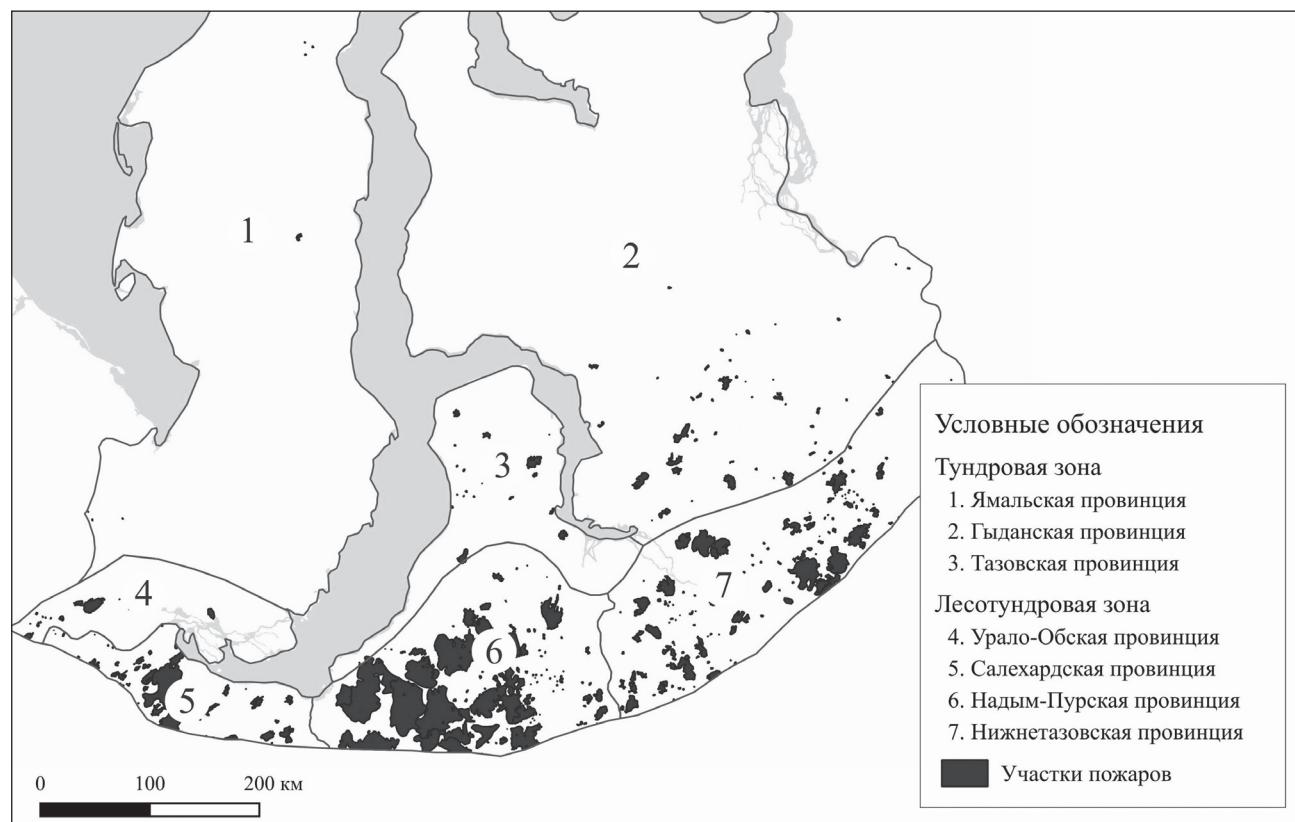
Цель исследования – пространственный анализ и оценка горимости тундровых и лесотундровых ландшафтов Западно-Сибирской равнины и ее связи с антропогенным воздействием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Район исследования охватывает северную часть Западно-Сибирской равнинной страны, ее тундровую и лесотундровую ландшафтные зоны ($65,7^{\circ}$ с.ш. – $73,0^{\circ}$ с.ш., $66,0^{\circ}$ в.д. – $83,0^{\circ}$ в.д.), занимающие общую площадь 334 тысяч км² (рис. 1). ТERRитория представлена преимущественно морскими и аллювиально-морскими равнинами между речных поверхностей и аллювиальными и озерно-аллювиальными равнинами, расположенными преимущественно в южной части [1]. Регион находится в зоне сплошного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород. Среднегодовая темпе-

ратура воздуха составляет $-11\ldots-7^{\circ}\text{C}$, увеличиваясь с северо-востока на юго-запад, годовая амплитуда достигает $30\ldots38^{\circ}\text{C}$. Количество осадков варьирует от менее 300 мм на севере полуостровов Ямал и Гыдан до почти 450 мм в южной части. Длительность залегания снежного покрова превышает 200 дней в году. ТERRитория относится к зоне избыточного увлажнения [1]. Растительность представлена сообществами из мхов, лишайников и кустарников, а также редколесьями в лесотундре из лиственницы, ели, березы, которые характеризуются малой сомкнутостью (0,1-0,2) и небольшой высотой (4-10 м). ТERRитория исследования характеризуется низкой плотностью населения. Основные виды хозяйственной деятельности включают добычу углеводородного сырья, имеющую очаговый характер, а также оленеводство и рыболовство.

В качестве источника информации о пространственном распределении пожаров служит составленная автором геоинформационная база данных гарей в векторном формате. Она основана на ежегодных летних мозаиках мультиспектральных спутниковых снимков миссии Landsat, полученных с использованием платформы обработки геопространственных данных Google Earth Engine [16]. Всего идентифицировано 663 гаря, которые возникли в период с 1985 по 2024 гг. Для их обнаружения применялось экспертное дешифрирование с использованием синтеза в искусственных цветах – комбинации коротковолнового инфракрасного



Rис. 1. ТERRитория исследования с участками пожаров
[Fig. 1. Study area including wildfire sites]

го (SWIR2), ближнего инфракрасного (NIR) и зеленого (Green) спектральных каналов [18]. Выделение обнаруженных участков пожаров происходило по летним снимкам вручную с использованием инструментов Earth Engine с последующим сохранением в виде векторных данных. Средствами программы QGIS 3.34 на основе глобального растрового набора данных MODIS FireCCI51 [13] с пространственным разрешением 250 м была верифицирована и скорректирована информация о времени возникновения гарей с точностью до года.

Анализ ландшафтов на предмет горимости проводился как в региональном, так и в типологическом аспекте. Термин «ландшафт» в этой работе употребляется как общее понятие, являющееся синонимом геокомплексов любого таксономического ранга [4]. В качестве основы для анализа ландшафтной структуры использовались ландшафтные зоны и провинции ландшафтного районирования Атласа Ямало-Ненецкого автономного округа масштаба 1:5000000 [1], а также типы местности из карты природных комплексов севера Западной Сибири масштаба 1:1000000 [2], преобразованные в векторный формат в программе QGIS. Горимость понимается как отношение суммарной площади пожаров в пределах ландшафта к общей площади ландшафта.

В качестве исходных данных для оценки влияния антропогенного фактора методами пространственной статистики использовались векторные слои населенных пунктов и дорог из открытого веб-карографического проекта OpenStreetMap [17]. В программной среде R при помощи пакета sf для каждого типа местности рассчитана плотность дорожной сети как отношение суммарной длины дорожной сети в пределах типа местности к его площади ($\text{м}/\text{км}^2$). Данный показатель был принят в качестве количественного индикатора антропогенного воздействия на ландшафты. Проведено сравнение горимости местностей с наличием и отсутствием дорог. Взаимосвязь пространственного положения участков пожаров с расположением антропогенных объектов была проанализирована при помо-

щи вычисления минимальных расстояний между ними [12, 15] и построения регрессионной модели для оценки влияния дорожной сети на горимость.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Участки пожаров неравномерно распределены по территории исследования. Всего за рассматриваемый период пожары охватили более 13 тысяч км^2 или 4 % территории. Ландшафты лесотундры сильнее подвержены пожарам – за 40 лет огонь затронул 18,4 % их общей площади, в то время как площадь пожаров в ландшафтах тундры составила 0,4 %. Причиной, предопределяющей различия в горимости указанных ландшафтных зон, является комплексное взаимодействие климатических параметров, биотических условий и антропогенного воздействия. Оно обуславливает различную силу проявления «триады возгорания» [20]: горючего материала, количество которого увеличивается с ростом фитомассы [10], что и предопределяет значительно более высокую горимость ландшафтов, где присутствует лесной покров; метеорологических условий; источников огня, имеющих преимущественно антропогенное происхождение [8] и тесно связанных с техногенной инфраструктурой.

Внутри самих ландшафтных зон существуют различия в пожарной активности (табл.). Наиболее горимыми по показателям площади и количества пожаров являются лесотундровые Надым-Пурская северная (24,6 % за 40 лет) и в меньшей степени Салехардская (15,6 %) ландшафтные провинции. Четверть территории Надым-Пурской северной провинции находится на разных стадиях постпирогенной сукцессии. Сильная неравномерность в распространении пожаров и их высокая концентрация в этой части лесотундры были отмечены в работах [6, 10], в которых была прослежена связь возгораний с доминированием в составе напочвенного покрова лишайников. Указанная провинция характеризуется самой высокой плотностью дорожной сети на территории севера Западной Сибири. В тундровой зоне наибольшей пирогенной нарушенностью ландшафтов характеризуется Тазовская про-

Таблица

Горимость ландшафтных провинций
[Table. Flammability of landscape provinces]

Ландшафтные зоны / Landscape zones	Ландшафтные провинции / Landscape provinces	Количество участков пожаров / Number of burned areas	Относительная площадь пожаров (горимость) / Relative burned area (flammability)	
			%	% за год / % per year
Тундровая	Ямальская	9	0,02	0,00
Тундровая	Гыданскская	49	0,39	0,01
Тундровая	Тазовская	24	1,09	0,03
Лесотундровая	Урало-Обская	20	0,78	0,02
Лесотундровая	Салехардская	49	15,60	0,39
Лесотундровая	Надым-Пурская северная	139	24,60	0,62
Лесотундровая	Нижнетазовская	162	7,80	0,20

винция (1,09 %), как наиболее южная часть тундры и вместе с тем место масштабной разработки газовых и газоконденсатных месторождений [3].

График частоты пожаров в зависимости от расстояния до объектов дорожной сети (рис. 2а) показывает обратную нелинейную связь между этими параметрами. Указанная связь хорошо описывается обратной логарифмической зависимостью, поэтому была построена регрессионная модель с логарифмическими преобразованиями переменных:

$$y = e^{7,4534} \cdot (x + 1)^{-1,4785} - 1,$$

где y – количество участков пожаров, x – расстояние до объектов дорожной сети в км.

Регрессионная модель показывает, что уменьшение количества пожаров значимо ($R^2 = 0,95$, $p < 0,01$) связано с увеличением ближайшего расстояния до дорог.

Регрессия объясняет 95,14 % вариации количества пожаров, что свидетельствует о сильной статистической связи и показывает хорошо выраженную пространственную сопряженность участков пожаров с расположением дорожной сети. Связь с населенными пунктами менее выражена и, вероятно, искажается влиянием дорог – лишь начиная с расстояния 45-50 км, происходит явное снижение количества пожаров (рис. 2б).

Типы местности по горимости можно разделить на три группы (рис. 3). Наиболее подверженными пожарами оказались средне-мелкохолмистый, озерно-болотный, плоско-ложбинный и хасырейный типы местности (3-6 % площади за 40 лет или 0,09-0,16 % в год). Первые три типа местности являются доминирующими в районе исследования. При этом средне-мелкохолмистый и хасырейный типы обладают относитель-

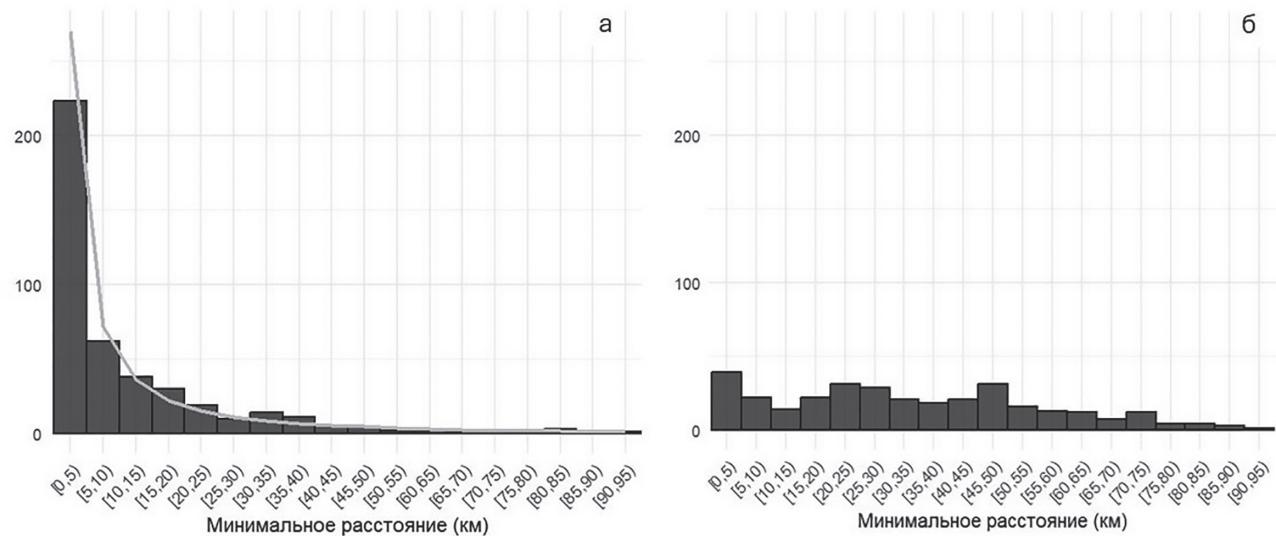


Рис. 2. Взаимосвязь числа пожаров и расстояния до антропогенных объектов
(а – для дорожной сети с линией регрессии, б – для населенных пунктов)

[Fig. 2. The relationship between the number of fires and the anthropogenic objects' location
(a – for transport network, б – for settlements)]

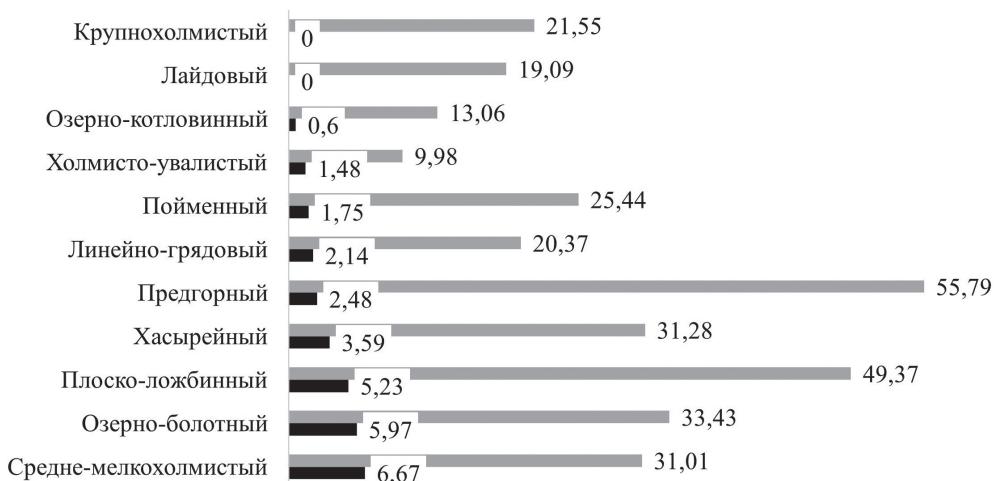


Рис. 3. Горимость типов местности (%), черный цвет) и плотность дорожной сети (м/км², серый цвет)

[Fig. 3. Flammability of types of localities (%), black) and transport network density (m/km², grey)]

но низкой плотностью дорожной сети ($31 \text{ м}/\text{км}^2$), что позволяет предположить присущую им повышенную естественную горимость, однако причина этого остается не совсем ясна и требует отдельного изучения.

Во вторую группу, менее подверженную возгораниям, можно отнести предгорный, линейно-грядовый, пойменный и холмисто-увалистый типы местности ($1,5\text{--}2,5\%$ площади или $0,04\text{--}0,06\%$ в год). Для холмисто-увалистого типа так же, как и для средне-мелкохолмистого типа характерна относительно низкая плотность дорожной сети в сравнении с остальными типами местности ($9,98 \text{ м}/\text{км}^2$), то есть влияние антропогенного фактора в распространении пожаров здесь выражена в сравнительно меньшей степени.

Третью группу формируют почти не затронутые пожарной активностью озерно-котловинный, лайтовый и крупнохолмистый типы местности ($0\text{--}0,6\%$ площади

или $0\text{--}0,02\%$ в год). Крупнохолмистый тип приурочен к наиболее северным частям тундровой зоны, как правило, за пределами северной границы распространения пожаров. Для лайтового и озерно-котловинного типов очевидно характерна высокая степень увлажнения, что мешает формированию подходящих условий для возгорания растительности.

Местности, на территории которых присутствуют объекты дорожной сети, как правило, показывают значительно более высокую степень горимости в сравнении с неосвоенными местностями (от 2 до 12 раз) (рис. 4). Наиболее сильная разница характерна для предгорного, пойменного, озерно-котловинного и средне-мелкохолмистого типов местности, в меньшей степени она выражена у холмисто-увалистого, хасырейного, плоско-ложбинного и озерно-болотного типов.

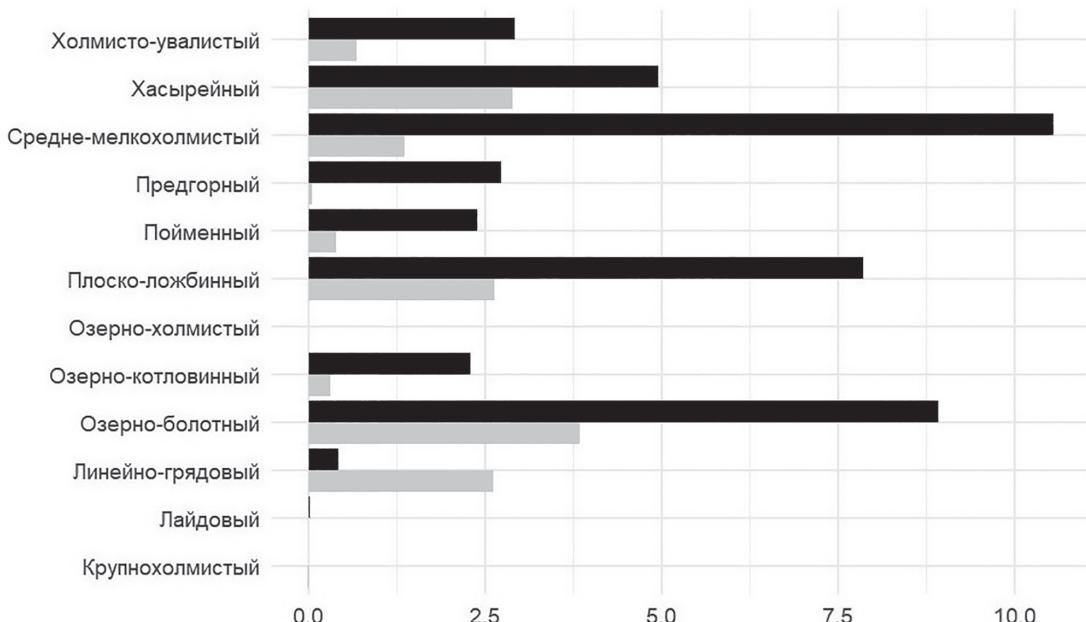


Рис. 4. Горимость типов местности (%) с объектами дорожной сети (черный цвет) и при их отсутствии (серый цвет)

[Fig. 4. Flammability of types of localities (%) with transport network objects (black) and in their absence (gray)]

Однако, линейно-грядовый тип не подчиняется выявленной закономерности, в его отношении наблюдается обратная ситуация. Это объясняется, во-первых, наименьшей площадью среди других типов местности изучаемой территории, а во-вторых, преобладающим соседством с местностями из первой, наиболее горимой, группы ландшафтов. Вследствие маленькой площади линейно-грядового типа влияние соседних типов местности становится сильным, что выражается в распространении пожаров за пределы местностей, в которых они возникли. Выраженной взаимосвязи горимости типа местности и плотности дорожной сети в пределах типа не наблюдается, однако именно наличие антропогенного воздействия сопутствует повышенной горимости.

Среди ограничений, с которыми пришлось иметь дело при создании базы данных участков пожаров, важ-

но отметить ограниченное число спутниковых снимков с безоблачным покрытием центральных и северных частей Ямальского и Гыданского полуостровов, что могло привести к недоучету горевших участков на этих территориях. Однако это обстоятельство не влияет значимо на представленный анализ, поскольку даже небольшие по площади гари хорошо заметны на протяжении нескольких лет после пожара, а по имеющимся неполным спутниковым данным на указанных территориях следов крупных возгораний не обнаружено.

Дорожные сети, по-видимому, играют важную роль в расположении и частоте пожаров, что также было проиллюстрировано на примере других регионов [11, 14]. Стоит иметь в виду, что дороги могут служить не только потенциальным источником огня, но и препятствием в его распространении [11], поэтому выявленная закономерность не подразумевает причин-

но-следственную связь. На охваченную огнем площадь также влияет успешность проведения мероприятий по тушению пожаров профильными ведомствами, которая может различаться от места к месту. Акцентирование внимания на очагах возгорания, дальнейшем распространении каждого конкретного пожара и учете динамики антропогенного освоения в будущих исследованиях может помочь в уточнении знания о функциональной роли дорожной сети и влиянии антропогенного фактора в распространении природных пожаров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Пространственный анализ пожарной активности на севере Западной Сибири показал, что 18,4 % площади ландшафтов лесотундры подверглось выгоранию за период с 1985 по 2024 гг. Наиболее подверженной пожарам оказалась Надым-Пурская северная ландшафтная провинция, 24,6 % территории которой за 40 лет испытала пирогенное воздействие, что вероятно связано с хозяйственным освоением. Повышенная горимость характерна для средне-мелкохолмистого, плоско-ложбинного, озерно-болотного и хасырейного типов местности (3-6 % площади за 40 лет). При этом средне-мелкохолмистый тип отличается относительно меньшей плотностью дорожной сети (31 м/км²).

Повышенная горимость типов местности сильно связана с наличием дорожной сети в их пределах, при этом отсутствует статистически значимая зависимость с плотностью дорог. Для изучаемой территории выявлена сильная статистически значимая связь ($R^2 = 0,95$) количества гарей от их ближайшего расстояния до дорожной сети, что указывает на пространственную сопряженность дорог и пожаров. Дальнейшие исследования следует вести в области методов определения очагов пожаров и влияния различных факторов, в особенности антропогенных, на их возникновение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Ямalo-Ненецкого автономного округа / под ред. И.Л. Левинзона, А.В. Артеева, С.И. Ларина. Омск: Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
2. Карта природных комплексов севера Западной Сибири (для целей геокриологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий при массовом строительстве) / под ред. Е.С. Мельникова, Н.Г. Москalenko. Москва: ГУГК, 1991. 6 л.
3. Корниенко С.Г., Якубсон К.И. Исследование трансформации растительности в районах Тазовского полуострова по данным космической съемки // Арктика: экология и экономика, 2011, № 4, с. 46-57.
4. Мильков Ф.Н., Бережной А.В., Михно В.Б. Терминологический словарь по физической географии. Москва: Высшая школа, 1993. 288 с.
5. Оценка опасности возникновения лесных пожаров с использованием спутниковой информации и ГИС / Г.П. Стручкова, Т.Г. Крупнова, С.А. Тихонова и др. // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2023, № 4, с. 34-44.
6. Оценка постпирогенной динамики тундровой растительности на севере Западной Сибири за последние 50 лет (1968-2018) на основе данных ДЗЗ детального и высокого разрешения / О.С. Сизов, П.Р. Цымбарович, Е.В. Ежова и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2020, № 4-17, с. 137-153.
7. Павлейчик В.М. Опыт картографирования очагов степных пожаров (методология исследований и практические аспекты) // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология, 2023, № 3, с. 13-24.
8. Природные пожары. МЧС России. – URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnye-pozhary_6 (дата обращения: 01.04.2025). – Текст: электронный.
9. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги / С.С. Шинкаренко, С.А. Барталев, А.Н. Берденгалиева, Н.М. Иванов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2022, № 1-19, с. 143-157.
10. Пространственно-временной анализ природных пожаров в лесотундре Западной Сибири / Д.В. Московченко, С.П. Арефьев, М.Д. Московченко, А.А. Юртаев // Сибирский экологический журнал, 2020, № 2-27, с. 243-255.
11. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) / Е.А. Лупян, С.А. Барталев, И.Б. Балашов и др. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2017, № 6-14, с. 158-175.
12. Combining community observations and remote sensing to examine the effects of roads on wildfires in the East Siberian boreal forest / V. Kuklina, O. Sizov, V. Bogdanov et al. // Arctic Science, 2023, no. 2-9, pp. 393-407.
13. FireCCI51: MODIS Fire_cci Burned Area Pixel Product, Version 5.1. Earth Engine Data Catalog. – URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA_CCI_FireCCI_5_1 (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
14. Fire in lichen-rich subarctic tundra changes carbon and nitrogen cycling between ecosystem compartments but has minor effects on stocks / R.J. Heim, A. Yurtayev, A. Bucharova et al. // Biogeosciences, 2022, no. 10-19, pp. 2729-2740.
15. Gizatullin A.T., Alekseenko N.A. Prediction of wildfires based on the spatio-temporal variability of fire danger factors // Geography, Environment, Sustainability, 2022, no. 2-15, pp. 31-37.
16. Google Earth Engine: a planetary-scale platform for Earth science data & analysis. – URL: <https://earthengine.google.com> (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
17. OpenStreetMap. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
18. Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review / E. Kurbanov, O. Vorobev, S. Lezhnin et al. // Remote Sensing, 2022, no. 19-14, pp. 4714.
19. Wildfires in the Siberian Arctic / V.I. Kharuk, M.L. Dvinskaya, S.T. Im et al. // Fire, 2022, no. 4-5, pp. 106.
20. Wildfires in the Siberian taiga / V.I. Kharuk, E.I. Ponomarev, G.A. Ivanova et al. // Ambio, 2021, no. 11-50, pp. 1953-1974.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 28.04.2025
Принята к публикации: 25.11.2025

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

UDC 911.2

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/4-11>

ISSN 1609-0683

Spatial Analysis of the Landscapes' Flammability in the North of Western Siberia

I.A. Milyaev✉

Tyumen State University, Russian Federation
(6, Volodarskiy Str., Tyumen, 625003)

Abstract. The purpose of the study is spatial analysis and assessment of the tundra and forest-tundra landscapes flammability of the West Siberian Plain and its relationship with anthropogenic impact.

Materials and methods. The study was carried out on the basis of the cartographic database of burned areas for 1985-2024 created by the author using Landsat satellite images in Google Earth Engine. The flammability of landscapes of different taxonomic ranks and the relationship between fires and anthropogenic factors were examined.

Results and discussion. It was determined that fires affected 4 % of the territory during this period, with forest-tundra landscapes being significantly more susceptible to fires than tundra landscapes (18,4 % vs 0,4 %). The highest fire activity was observed in the forest-tundra landscapes of the Nadym-Pur Northern (24,6 %) and Salekhard (15,6 %) landscape provinces. Increased flammability is characteristic of medium-small hilly, lake-swamp, flat-depression and khasyre types of terrain (3-6 %). The medium-small hilly type has a relatively lower anthropogenic impact. A strong significant correlation ($R^2 = 0,95$) was found between the number of burned areas and their closest distance to the roads.

Conclusion. The increased flammability of terrain types in the north of Western Siberia is strongly associated with the road network presence within ones, but there is no significant dependence on road density. Roads and burned areas have an obvious spatial relationship.

Key words: wildfires, landscapes, remote sensing, tundra, forest-tundra, Western Siberia, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug.

For citation: Milyaev I.A. Spatial Analysis of the Landscapes' Flammability in the North of Western Siberia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2025, no. 4, pp. 4-11. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/4/4-11>

REFERENCES

1. *Atlas Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga* [Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug] / pod red. I. L. Levinzon, A. V. Arteev, S. I. Larin. Omsk: Omskaya kartograficheskaya fabrika, 2004. 303 p. (In Russ.)
2. *Karta prirodnih kompleksov severa Zapadnoj Sibiri (dlya celej geokriologicheskogo prognoza i planirovaniya prirodoobrannyyh meropriyatiy pri massovom stroitel'stve)* [Map of natural complexes of the north of Western Siberia (for the purpose of geocryological forecasting and planning of environmental activity during large-scale construction)] / pod red. E. S. Mel'nikov, N. G. Moskalenko. Moscow: GUGK, 1991. 6 l. (In Russ.)
3. Kornienko S. G., Yakubson K. I. Issledovanie transformacii rastitel'nosti v rajonah Tazovskogo poluostrova po dannym kosmicheskoy s"emki [Investigation of the vegetation transformation in the areas of Tazovsky Peninsula based on the space imagery data]. *Arctic: ecology and economy*, 2011, no. 4, pp. 46-57. (In Russ.)
4. Mil'kov F. N., Berezhnoj A. V., Mihno V. B. *Terminologicheskij slovar' po fizicheskoj geografi* [Terminological dictionary of physical geography]. Moscow: Vysshaya shkola, 1993. 288 p. (In Russ.)
5. Ocenka opasnosti vozniknoveniya lesnyh pozharov s ispol'zovaniem sputnikovoj informacii i GIS [Forest fire risk assessment using satellite information and GIS] / G. P. Struchkova, T. G. Krupnova, S. A. Tihonova et al. *Vestnik VGU. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2023, no. 4, pp. 34-44. (In Russ.)
6. Ocenka postpirogennoj dinamiki tundrovoj rastitel'nosti na severe Zapadnoj Sibiri za poslednie 50 let (1968-2018) na osnove dannyh DZZ detal'nogo i vysokogo razresheniya [Assessment of post-pyrogenic dynamics of tundra vegetation in the north of Western Siberia over the past 50 years (1968-2018) based on detailed and high-resolution remote sensing data] / O. S. Sizov, P. R. Cymbarovich, E. V. Ezhova et al. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2020, no. 4-17, pp. 137-153. (In Russ.)
7. Pavlejchik V. M. Opty kartografirovaniya ochagov stepnyh pozharov (metodologiya issledovanij i prakticheskie aspekty) [Experience of mapping steppe fire sources (research methodology and practical aspects)]. *Vestnik VGU. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2023, no. 3, pp. 13-24. (In Russ.)
8. Wildfires. *EMERCOM of Russia*. – URL: https://mchs.gov.ru/deyatelnost/bezopasnost-grazhdan/prirodnye-pozhary_6 (accessed 01.04.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
9. Prostranstvenno-vremennoj analiz gorimosti pojmennyh landshaftov Nizhnjej Volgi [Spatiotemporal analysis of fire hazards in floodplain landscapes of the Lower Volga] / S. S. Shinkarenko, S. A. Bartalev, A. N. Berdengalieva, N. M. Ivanov. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2022, no. 1-19, pp. 143-157. (In Russ.)
10. Prostranstvenno-vremennoj analiz prirodnih pozharov v lesotundre Zapadnoj Sibiri [Spatiotemporal analysis of wildfires

© Milyaev I.A., 2025

✉ Ivan A. Milyaev, e-mail: iw.miliaew@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

- in the forest-tundra of Western Siberia] / D. V. Moskovchenko, S. P. Arefev, M. D. Moskovchenko, A. A. Yurtaev. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*, 2020, no. 2-27, pp. 243-255. (In Russ.)
11. Sputnikovyj monitoring lesnyh pozharov v 21 veke na territorii Rossiskoj Federacii (cifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo gorenija) [Satellite monitoring of forest fires in the 21st century for the Russian Federation (figures and facts based on active combustion detection data)] / E.A. Lupyany, S. A. Bartalev, I. B. Balashov et al. Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa, 2017, no. 6-14, pp. 158-175. (In Russ.)
12. Combining community observations and remote sensing to examine the effects of roads on wildfires in the East Siberian boreal forest / V. Kuklina, O. Sizov, V. Bogdanov et al. *Arctic Science*, 2023, vol. 2, no. 9, pp. 393-407.
13. *FireCCI51: MODIS Fire_cci Burned Area Pixel Product, Version 5.1. Earth Engine Data Catalog*. – URL: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/ESA_CCI_FireCCI_5_1 (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
14. Fire in lichen-rich subarctic tundra changes carbon and nitrogen cycling between ecosystem compartments but has minor effects on stocks / R. J. Heim, A. Yurtaev, A. Bucharova et al. *Biogeosciences*, 2022, vol. 10, no. 19, pp. 2729-2740.
15. Gizatullin A. T., Alekseenko N. A. Prediction of wildfires based on the spatio-temporal variability of fire danger factors. *Geography, Environment, Sustainability*, 2022, vol. 2, no. 15, pp. 31-37.
16. *Google Earth Engine: a planetary-scale platform for Earth science data & analysis*. – URL: <https://earthengine.google.com> (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
17. *OpenStreetMap*. – URL: <https://www.openstreetmap.org/> (accessed 01.04.2025). – Text: electronic.
18. Remote sensing of forest burnt area, burn severity, and post-fire recovery: a review / E. Kurbanov, O. Vorobev, S. Lezhnin et al. *Remote Sensing*, 2022, vol. 19, no. 14, pp. 4714.
19. Wildfires in the Siberian Arctic / V.I. Kharuk, M. L. Dvinskaya, S. T. Im et al. *Fire*, 2022, vol. 4, no. 5, pp. 106.
20. Wildfires in the Siberian taiga / V.I. Kharuk, E. I. Ponamarev, G. A. Ivanova et al. *Ambio*, 2021, vol. 11, no. 50, pp. 1953-1974.

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 28.04.2025

Accepted: 25.11.2025

Миляев Иван Александрович

Аспирант кафедры физической географии и экологии школы естественных наук Тюменского государственного университета, г. Тюмень, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6057-4872, e-mail: iw.miliaew@yandex.ru

Ivan A. Milyaev

Postgraduate Student at the Department of Physical Geography and Ecology of the Natural Sciences School, Tyumen State University, Tyumen, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6057-4872, e-mail: iw.miliaew@yandex.ru