# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ОПАСНОСТИ В ГИДРОСФЕРЕ
# ECOLOGICAL PROBLEMS AND HAZARDS IN THE HYDROSPHERE

*Научная статья / Scientific paper*
УДК: 632.123.1; 528.88
DOI: 10.34753/HS.2026.8.2.171

## Геоэкологическая оценка территорий Орловского и Новоорловского ГОКов на основе данных о термических аномалиях

Д. В. Кочев, Л. В. Шумилова, К. В. Свалова, К. В. Насоловец
*Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия*
e-mail: denis.ko4ev@yandex.ru

**Аннотация.** Статья посвящена геоэкологической оценке территорий в зоне влияния Орловского и Новоорловского ГОКов (Забайкальский край) на основе анализа термических аномалий по данным продукта MODIS FIRMS за 2000–2025 гг. Объектами исследования являются законсервированное хвостохранилище обогатительной фабрики №1 Орловского ГОКа и действующее хвостохранилище фабрики №2 Новоорловского ГОКа с прилегающими нарушенными землями, рассматриваемые как единая горнопромышленная геосистема. Обработка спутниковых данных выполнена в Google Earth Engine. Установлено, что 92,5 % всех термических событий приходятся на 2001–2015 гг., а 78,7 % зарегистрированы в апреле–мае с максимумом 13–14 апреля 2014 года. Средняя температура аномалий составила 57,3 °C, максимальная – 156,1 °C. Резко выраженный весенний пик указывает на преобладание антропогенных палов сухой растительности, типичных для степных районов Забайкалья. Пространственный анализ выявил три устойчивые зоны концентрации термоточек: к западу от пгт. Новоорловск, в центральной части непосредственно у хвостохранилищ и на востоке в районе техногенного водоема. После 2015 г. частота и площадь термических аномалий резко сократились, и в 2021–2025 гг. зафиксированы лишь единичные события. Сделан вывод о критическом влиянии пирогенного фактора на устойчивость нарушенных земель и эффективность рекультивации: весенние палы уничтожают растительный покров, усиливают ветровую эрозию и вторичное пыление. Рекомендовано включить слой MODIS FIRMS в систему комплексного геоэкологического мониторинга обоих ГОКов, а при проектировании биологической рекультивации и фиторемедиации предусматривать создание противопожарных минерализованных полос в выявленных потенциально опасных зонах. Полученные количественные оценки и карты могут служить основой для актуализации данных о техногенных скоплениях и последующего сопряжения с мультиспектральными снимками Sentinel и Landsat, а также для полевой верификации.

**Ключевые слова:** хвостохранилище; MODIS FIRMS; термические аномалии; дистанционное зондирование; геоэкологический мониторинг; рекультивация.
**Для цитирования:** Кочев Д.В., Шумилова Л.В., Свалова К.В., Насоловец К.В. Геоэкологическая оценка территорий Орловского и Новоорловского ГОКов на основе данных о термических аномалиях // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2026. Т. 8. Вып. 2. С.171–186. DOI: 10.34753/HS.2026.8.2.171.

## Geoecological Assessment of the Territories of the Orlovsky and Novoorlovsky Mining and Processing Plants Based on Data on Thermal Anomalies

Denis V. Kochev, Lidiya V. Shumilova, Kristina V. Svalova, Konstantin V. Nasolovets
*Transbaikal State University, Chita, Russia*
e-mail: denis.ko4ev@yandex.ru

**Abstract.** The article is devoted to the geoecological assessment of the territories in the zone of influence of the Orlovsky and Novoorlovsky mining and processing plants (Zabaykalsky Krai) based on the analysis of thermal anomalies using data from the MODIS FIRMS product for the period 2000–2025. The objects of the study are the

mothballed tailings storage facility of the processing plant No. 1 of the Orlovsky Mining and Processing Plant and the operational tailings storage facility of plant No. 2 of the Novoorlovsky Mining and Processing Plant, along with the adjacent disturbed lands, considered as a single mining and industrial geosystem. Satellite data processing was carried out in Google Earth Engine platform. It was established that 92.5 % of all thermal events occurred between 2001 and 2015, and 78.7 % were recorded in April–May, with a peak on April 13–14, 2014. The average temperature of the anomalies was 57.3 °C, and the maximum was 156.1 °C. The pronounced spring peak indicates the predominance of anthropogenic burning of dry vegetation, typical of the steppe regions of Transbaikalia. Spatial analysis revealed three stable zones of thermal anomaly concentration: to the west of the urban-type settlement of Novoorlovsk, in the central part directly near the tailings dumps, and in the east in the area of the man-made water body. After 2015, the frequency and area of thermal anomalies dropped sharply, and only isolated events were recorded in 2021–2025. It has been concluded that the pyrogenic factor has a critical impact on the stability of disturbed lands and the effectiveness of reclamation: spring fires destroy vegetation cover, exacerbating wind erosion and secondary dusting. It is recommended to include the MODIS FIRMS layer in the system of integrated geo-ecological monitoring of both mining and processing plants, and when designing biological reclamation and phytoremediation, to provide for the creation of fire-resistant mineralized strips in the identified potentially hazardous areas. The obtained quantitative estimates and maps can serve as a basis for updating data on anthropogenic accumulations and subsequently integrating them with multispectral images from Sentinel and Landsat, as well as for field verification.

**Keywords:** tailings storage; MODIS FIRMS; thermal anomalies; remote sensing; geoecological monitoring; reclamation.

**For citation:** Kochev D.V., Shumilova L.V., Svalova K.V., Nasolovets K.V. Geoecological Assessment of the Territories of the Oryol and Novoorlovsky GOKs Based on Data on Thermal Anomalies. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena, 2026, vol. 8, iss. 2, pp. 171–186. DOI: 10.34753/HS. 2026.8.2.171. (In Russian; abstract in English).

## Введение

Хвостохранилище обогатительной фабрики является сложным гидротехническим сооружением, требующим постоянного контроля. Для Новоорловского ГОКа (Забайкальский край) особенно остро стоят проблемы пыления незакрепленных поверхностей и загрязнения прилегающих территорий [1, 2, 3]. Комплексный мониторинг таких объектов должен учитывать не только прямые инженерные риски, но и внешние факторы, способные дестабилизировать их состояние. Космический мониторинг позволяет определить более полную картину состояния гидротехнических сооружений благодаря возможности анализа разнородных и разновременных данных [4, 5].

Одним из таких факторов, часто недооцениваемых, является пирогенный. Повторяющиеся палы сухой растительности уничтожают формирующийся на нарушенных землях почвенно-растительный покров, способствуют усилению ветровой эрозии и резко снижают эффективность биологической рекультивации. Таким образом, оценка пожарно-термического фона территории становится неотъемлемой частью диагностики рисков долговременного хранения отходов.

Спутниковый продукт MODIS FIRMS (Fire Information for Resource Management System) предоставляет уникальную возможность ретроспективного анализа термических аномалий с 2000 г. [6]. Глубина архива имеет принципиальное значение для оценки долгосрочной трансформации территорий, связанных с размещением отходов переработки минерального сырья. Для объектов горнорудной промышленности Забайкалья, формировавшихся и изменявшихся в течение длительного периода, ретроспективные спутниковые данные позволяют рассматривать современное состояние как результат совокупного воздействия природных, техногенных и гипергенных процессов.

В рамках настоящего исследования термические аномалии рассматриваются как дополнительный дистанционный индикатор состояния горнопромышленной геосистемы. Их пространственная повторяемость может отражать участки повышенной пожарной активности, выгорания растительного покрова, сезонного

иссушения поверхности и локальной антропогенной нагрузки. Такие сведения имеют значение для экологизации инженерных решений, поскольку планирование биоремедиации и проектирование восстановительных мероприятий требуют учета внешних факторов, влияющих на устойчивость хвостохранилищ. Особенно важны данные FIRMS для задач комплексного восстановления законсервированных хвостохранилищ: наличие повторяющихся термических аномалий вблизи техногенных объектов может указывать на участки, где условия для формирования устойчивого растительного покрова осложняются воздействием пожаров.

Цель настоящей работы – оценить состояние и риски хвостохранилища Новоорловского ГОКа на основе детального анализа данных MODIS FIRMS, рассматривая термические аномалии как индикатор внешнего дестабилизирующего воздействия и фактор, ограничивающий эффективность рекультивации.

**Объект и район исследования**

Объект исследования – законсервированное хвостохранилище обогатительной фабрики №1 Орловского ГОКа и эксплуатируемое хвостохранилище обогатительной фабрики №2 Новоорловского ГОКа и прилегающие нарушенные земли, рассматриваемые как геосистема Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла.

Район анализа охватывает территорию Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла, включающую хвостохранилища, техногенные водоемы, элементы гидрографической сети, населенные пункты Новоорловск и Орловский, транспортные коммуникации, участки открытых нарушенных поверхностей и прилегающие степные ландшафты. Пространственная рамка выбрана так, чтобы рассматривать техногенные объекты не изолированно, а в составе единой системы, где хвостохранилища, водные объекты, селитебные территории и участки нарушенного растительного покрова находятся во взаимосвязи. Включение населенных пунктов и транспортной сети позволяет учитывать антропогенную нагрузку и инфраструктурные факторы, а включение водных объектов – оценивать положение техногенных скоплений относительно потенциальных путей миграции загрязняющих веществ.

**Материалы и методы**

Для анализа пространственно-временной изменчивости термических аномалий в районе техногенных объектов Орловского ГОКа использован спутниковый продукт MODIS FIRMS, обеспечивающий долговременную регистрацию термически активных пикселей на земной поверхности. Данный продукт выбран как источник ретроспективной информации, позволяющий оценить повторяемость термических аномалий в пределах горнопромышленной геосистемы за длительный период наблюдений. Временной интервал исследования охватывал 2000–2025 гг., что обеспечивает сопоставление современного состояния территории с многолетней динамикой пожарно-термического фона и внешних факторов, потенциально влияющих на состояние техногенных скоплений, хвостохранилищ, нарушенных земель и прилегающих ландшафтов.

Получение данных выполнялось средствами Google Earth Engine [7] с использованием заданной рамки анализа, охватывающей территорию Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла. Для снижения вычислительной нагрузки и обеспечения устойчивой выгрузки длительного временного ряда данные извлекались по месячным интервалам. Такой подход позволил сформировать последовательность фрагментов исходной таблицы, содержащих дату регистрации термической аномалии, координаты точки, год, месяц, порядковый номер дня в году, яркостную температуру, показатель достоверности регистрации и служебные атрибуты продукта. После выгрузки месячные таблицы были объединены в единый массив данных за весь период исследования (рисунок 1).

На этапе предварительной обработки выполнена фильтрация точек по границам выбранного участка. Это обеспечило исключение записей, расположенных за пределами территории

анализа, и позволило перейти от общего массива спутниковых регистраций к выборке, непосредственно связанной с районом изучаемых техногенных объектов Орловского и Новоорловского ГОКов. Дополнительно выполнялось приведение полей к единым типам данных, удаление записей с отсутствующими координатами и датами, исключение дублирующихся наблюдений, расчет температуры в градусах Цельсия и присвоение каждой записи временного интервала, соответствующего принятой периодизации исследования.




**Рисунок 1.** Распределение термоточек по годам по данным MODIS FIRMS
**Figure 1.** Distribution of thermal points by year according to MODIS FIRMS

Для количественной характеристики динамики термических аномалий рассчитывалась повторяемость регистраций в годовом, месячном и пятилетнем разрезах. Годовая повторяемость использовалась для выявления межгодовой изменчивости пожарно-термического фона и выделения лет с повышенной частотой регистрации термических аномалий. Месячная повторяемость позволяла учитывать сезонную структуру термической активности, связанную с климатическими условиями, состоянием растительного покрова, влажностью поверхности и антропогенной нагрузкой. Пятилетняя агрегация применялась для обобщенной оценки пространственно-временной устойчивости термических аномалий и сопоставления отдельных этапов трансформации территории в пределах длительного периода наблюдений (рисунок 2).




**Рисунок 2.** Кластеризация точек по пятилетним периодам
**Figure 2.** Clustering of points by five-year periods

Для обеспечения дальнейшего использования результатов в ГИС-среде сформированы пространственные слои в формате SHP. Отдельно создавались слои точечных регистраций термических аномалий за весь период анализа и за установленные пятилетние интервалы. Все пространственные данные приведены к проекции WGS 84 UTM zone 49N, что обеспечило корректное сопоставление с векторными слоями хвостохранилищ, водных объектов, гидрографической сети, населенных пунктов, дорог, кварталов и других элементов территории. Сформированные SHP-слои предназначены для включения в цифровую основу интерактивной карты горнопромышленных геосистем и последующего сопоставления с материалами дистанционного зондирования Земли, данными БПЛА и результатами полевых обследований.

Для картографического представления результатов использована гексагональная агрегация точечных данных MODIS FIRMS. Применение гексагональной сетки позволило перейти от отдельных точечных регистраций к площадным единицам анализа [8] и тем самым повысить качество пространственной оценки повторяемости термических аномалий. Такой подход снижает визуальную фрагментарность исходных точечных данных, связанную с регулярной структурой спутниковых пикселей, и позволяет выделять зоны устойчивой концентрации регистраций. В пределах каждого гекса рассчитывалось количество термоточек за соответствующий пятилетний период, после чего значения использовались для построения тематических карт повторяемости.

Картографирование выполнялось с использованием единого оформления для всех временных интервалов, что обеспечило сопоставимость результатов между периодами. На карты наносились гексагональные ячейки повторяемости термических аномалий, контекстные слои техногенных и природно-техногенных объектов, граница участка, координатная сетка, населенные пункты и элементы гидрографической сети. Такой способ представления результатов позволяет рассматривать термические аномалии в пространственной связи с хвостохранилищами, техногенными водоемами, нарушенными землями и селитебной инфраструктурой. Полученные таблицы, SHP-слои и карты формируют цифровой информационный блок, который может быть использован при актуализации данных о техногенных объектах, оценке условий биоремедиации и разработке экологически ориентированных инженерных решений в районе Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла.

**Результаты и их обсуждение**

Обработка исходного массива MODIS FIRMS выполнена как последовательный переход от общей таблицы спутниковых регистраций к пространственно ограниченной базе данных термических аномалий, относящихся к району Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла. Исходный CSV содержал 1295 записей за период наблюдений 2000–2025 гг. После проверки обязательных атрибутивных полей, приведения дат, координат, яркостной температуры и показателя достоверности к числовым типам данных выполнена фильтрация по текущей рамке анализа. В результате пространственной фильтрации в итоговой таблице осталось 1075 регистраций. Исключенные 220 записей находились за пределами принятой границы участка. Дополнительная проверка на дублирование по сочетанию даты, координат, яркостной температуры и достоверности не изменила размер итоговой выборки, что указывает на отсутствие повторных записей данного типа после пространственного отбора.

Атрибутивная структура итоговой таблицы обеспечивает как временной, так и термический анализ зарегистрированных аномалий. Для каждой записи сохранены дата наблюдения, год, месяц, день года, координаты, яркостная температура в кельвинах, пересчитанное значение температуры в градусах Цельсия, показатель достоверности, служебные атрибуты продукта и пятилетний период. Среднее значение яркостной температуры по итоговой выборке составило 57,28 °C, медианное – 51,05 °C, максимальное – 156,05 °C. Средняя

достоверность регистрации составила 71,39 %, максимальная – достигала 100 %. Основная часть регистраций относится к среднему и высокому уровню достоверности: 57,49 % записей имеют значения от 30 до 79 %, 39,63 % записей имеют значения от 80 до 100 %, доля низкодостоверных регистраций составляет 2,88 %. Такая структура данных позволяет рассматривать полученную выборку как информативную основу для ретроспективной оценки пожарно-термического фона территории.

Годовая динамика показывает выраженную неравномерность термической активности в районе изучаемых техногенных объектов. За весь период анализа термические аномалии зарегистрированы для 18 лет из 26, при этом 2000, 2016, 2018, 2020, 2021, 2022, 2024 и 2025 гг. не содержат регистраций в пределах выбранной рамки. Наибольшее количество термоточек отмечено в 2003 г., когда было зафиксировано 181 событие, что составляет 16,84 % всей итоговой выборки. Далее следуют 2014 г. со 168 регистрациями, 2007 г. со 156 регистрациями, 2004 г. с 85 регистрациями, 2006 г. с 78 регистрациями, 2013 г. с 66 регистрациями и 2019 г. с 62 регистрациями. Эти годы формируют основные пики термической активности и требуют при последующей интерпретации сопоставления с картами растительного покрова, гидрологических условий, открытых нарушенных поверхностей и промышленной инфраструктуры.

Сводка по пятилетним периодам указывает на концентрацию основной части регистраций в первой половине рассматриваемого временного ряда. В период 2001–2005 гг. зафиксировано 350 термоточек, что составляет 32,56 % итоговой выборки. В период 2006–2010 гг. зарегистрировано 328 термоточек, или 30,51 %. В период 2011–2015 гг. отмечено 317 термоточек, или 29,49 %. Таким образом, на первые три пятилетних интервала приходится 92,56 % всех регистраций. После 2015 г. наблюдается резкое снижение частоты термических аномалий: в период 2016–2020 гг. зафиксировано 77 регистраций, что составляет 7,16 %, а в период 2021–2025 гг. только 3 регистрации, что соответствует 0,28 % итоговой выборки. Такая динамика отражает существенное изменение пожарно-термического режима территории в последние десятилетия и может быть использована как дополнительный индикатор трансформации условий функционирования горнопромышленной геосистемы.

Пятилетняя сводка также показывает изменение термических характеристик зарегистрированных аномалий. В 2001–2005 гг. средняя яркостная температура составила 51,21 °C, в 2006–2010 гг. она повысилась до 55,27 °C, а в 2011–2015 гг. достигла 66,44 °C. Максимальное значение зафиксировано именно в период 2011–2015 гг. и составило 156,05 °C . Этот период характеризуется не максимальным количеством регистраций, но наиболее выраженными температурными значениями, что указывает на повышенную интенсивность отдельных термических событий. В 2016–2020 гг. средняя яркостная температура составила 56,74 °C, при этом число регистраций было значительно меньше. В 2021–2025 гг. зарегистрированы единичные события со средней температурой 31,80 °C , что указывает на слабую выраженность термической активности в пределах принятой рамки в последние годы анализируемого периода.

Месячная структура данных демонстрирует ярко выраженную сезонную концентрацию термических аномалий. На апрель приходится 513 регистраций, что составляет 47,7% итоговой выборки. На май приходится 333 регистрации, или 31,0 % В совокупности апрель и май формируют 78,7 % всех зарегистрированных термических аномалий. Март содержит 80 регистраций, июнь 59 регистраций, сентябрь 41 регистрацию, октябрь 23 регистрации, август 15 регистраций и июль 11 регистраций. Такая сезонная структура соответствует весенне-раннелетнему максимуму пожарно-термической активности, который может быть связан с состоянием сухой растительности, низкой влажностью поверхности, открытыми нарушенными участками и антропогенной нагрузкой в окрестностях населенных пунктов и техногенных объектов.

Наиболее выраженные месячные пики отмечены в апреле 2014 г., когда было зафиксировано 165 регистраций, мае 2003 г. с 95

регистрациями, марте 2003 г. с 77 регистрациями, мае 2006 г. с 70 регистрациями, мае 2007 г. с 65 регистрациями, апреле 2007 г. с 62 регистрациями и апреле 2019 г. с 53 регистрациями. Особенно выделяется апрель 2014 г., который одновременно характеризуется высоким числом регистраций, высокой средней яркостной температурой и максимальным температурным значением за весь период наблюдений. Внутри этого месяца наибольшее количество регистраций пришлось на 13 и 14 апреля 2014 г., когда было зафиксировано соответственно 82 и 80 термоточек. Это указывает на кратковременное, но пространственно выраженное событие, которое должно рассматриваться при картографической интерпретации пятилетнего периода 2011–2015 гг.

Полученные годовые, месячные и пятилетние таблицы формируют количественную основу для анализа долговременной трансформации пожарно-термического фона в пределах горнопромышленной геосистемы. Годовая таблица позволяет выделить пики межгодовой активности и периоды снижения числа регистраций. Месячная таблица раскрывает сезонную структуру термических аномалий и показывает доминирование весеннего периода. Пятилетняя сводка обеспечивает обобщение данных на уровне этапов наблюдений, что удобно для сопоставления с картами повторяемости, материалами дистанционного зондирования Земли, данными о состоянии растительности, водных поверхностей, техногенных скоплений и нарушенных земель.

Сохранение обработанной базы данных в виде SHP-слоя в проекции WGS 84 UTM zone 49N обеспечивает возможность включения результатов в ГИС-анализ и интерактивное картографирование. Пространственные слои термических аномалий могут быть сопоставлены с границами хвостохранилищ, техногенными водоемами, гидрографической сетью, селитебными территориями и элементами транспортной инфраструктуры. Такие данные имеют значение для цифровой актуализации сведений о техногенных объектах, оценки состояния прилегающих нарушенных территорий, планирования маршрутов БПЛА, выбора участков полевых обследований и обоснования условий биоремедиации.

Таким образом, результаты обработки MODIS FIRMS показывают, что изучаемая территория характеризовался выраженной, но неравномерной во времени термической активностью. Основная часть зарегистрированных аномалий относится к периоду 2001–2015 гг., после чего наблюдается существенное сокращение числа регистраций. Наиболее активные годы представлены 2003, 2007 и 2014 гг., а сезонный максимум устойчиво связан с апрелем и маем. Для задач проекта эти данные могут рассматриваться как дополнительный дистанционный слой, характеризующий пожарно-термический фон техногенно нарушенной территории, условия трансформации растительного покрова, потенциальные риски для восстановительных мероприятий и пространственный контекст экологизации инженерных решений при работе с техногенным минеральным сырьем.

### *Анализ карт пространственно-временной повторяемости термических аномалий*

Картографический анализ пятилетних периодов показывает, что термические аномалии в районе Орловского и Новоорловского горнопромышленного узла имеют выраженную пространственно-временную неоднородность.

В период 2001–2005 гг. (рисунок 3) термические аномалии распределены по большей части территории анализа, что указывает на высокую пространственную распространенность пожарно-термической активности в ранний этап наблюдений. Наиболее выраженные значения повторяемости отмечены в юго-западной части участка, западнее и юго-западнее Новоорловска, где отдельные гексы достигают 7 регистраций. Дополнительная зона концентрации наблюдается в центральной части карты, восточнее основного хвостохранилища и севернее Орловского, где гексагональные ячейки содержат 5–6 регистраций. Значительная часть территории занята ячейками с низкой и средней повторяемостью, что отражает не локальное единичное событие, а широкое

распространение термических аномалий в пределах природно-техногенного окружения ГОКа. Этот период может рассматриваться как этап наиболее выраженной пространственной вовлеченности прилегающих ландшафтов в пожарно-термический режим.

В период 2006–2010 гг. (рисунок 4) пространственная структура термоточек становится более контрастной. Сохраняется активность западнее и вблизи пгт. Новоорловск, где формируется группа ячеек с повторяемостью до 6 регистраций. Одновременно усиливается восточная зона концентрации в районе техногенного водоема и прилегающих нарушенных участков восточнее пгт. Орловский, где максимальное значение достигает 7 регистраций. Наличие нескольких разобщенных зон повышенной повторяемости указывает на полицентричный характер термической активности. В этот период термические аномалии фиксируются как вблизи селитебной и инфраструктурной части пгт. Новоорловск, так и в районе восточных водных объектов, что важно при сопоставлении пожарно-термического фона с гидрографической сетью, техногенными водоемами и участками возможной миграции загрязняющих веществ.

В период 2011–2015 гг. (рисунок 5) наблюдается изменение пространственного рисунка повторяемости. Наиболее заметная концентрация термических аномалий смещается к центральной части участка, в район основного хвостохранилища и прилегающих к нему территорий. Максимальные значения повторяемости до 6 регистраций фиксируются южнее и юго-восточнее Новоорловского хвостохранилища, а также в центральной части между законсервированным хвостохранилищем и действующим. Дополнительная зона активности отмечена в северо-западной части участка, в пределах верхней части гидрографической сети. По сравнению с предыдущими периодами уменьшается выраженность западной группы около Новоорловска и возрастает значение центральных участков, пространственно связанных с техногенными водоемами и нарушенными поверхностями. Такая конфигурация представляет особый интерес для оценки состояния территорий, прилегающих к хвостохранилищам, поскольку термическая активность в этих зонах может влиять на устойчивость растительного покрова, условия рекультивации и перспективы биоремедиации.

Карта периода 2016–2020 гг. (рисунок 6) демонстрирует резкое сокращение площади активных гексов и снижение общей повторяемости термических аномалий. Большая часть территории анализа представлена пустыми ячейками или единичными регистрациями. Небольшие значения повторяемости сохраняются в юго-западной и центрально-южной частях участка, а также в северо-восточной части карты, где отдельная ячейка достигает 4 регистраций. Пространственная структура этого периода характеризуется фрагментарностью и отсутствием крупных устойчивых зон концентрации. Такое снижение согласуется с количественной сводкой, в которой после 2015 г. отмечено значительное уменьшение числа регистраций. С точки зрения экологической интерпретации данный период может отражать изменение пожарно-термического режима территории, снижение частоты открытых термических событий или изменение условий регистрации, требующее последующего сопоставления с данными о растительности, влажности поверхности, хозяйственной активности и метеорологических условиях.

Период 2021-2025 гг. (рисунок 7) характеризуется минимальной термической активностью. На карте представлены только единичные ячейки с одной регистрацией в западной части участка, вблизи зоны Новоорловска и юго-западного фрагмента рамки анализа. Центральная часть территории, восточный техногенный водоем и район пгт. Орловский практически не содержат зарегистрированных термических аномалий. Такая картина указывает на почти полное отсутствие повторяемой термической активности в пределах принятой рамки в последние годы наблюдений. Этот результат важен как характеристика современного пожарно-термического фона, поскольку он показывает, что на актуальном этапе территория не демонстрирует пространственно устойчивых зон термической повторяемости по данным MODIS FIRMS.

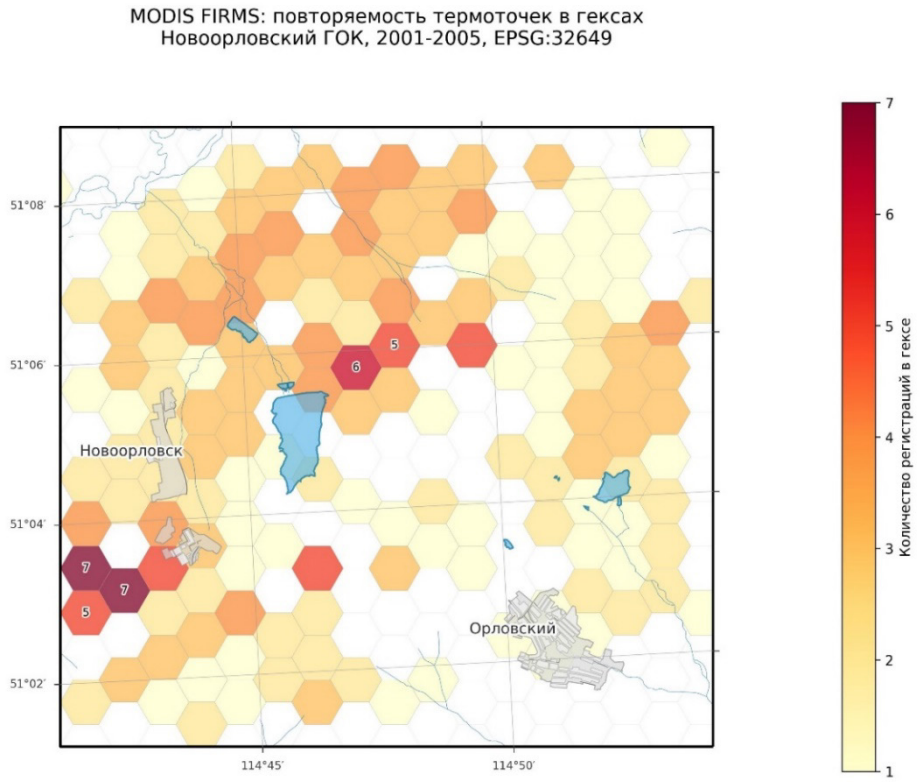



**Рисунок 3.** Повторяемость термоточек в гексах за период 2001–2005 гг.
**Figure 3.** Repeatability of heat points in hex for the period 2001–2005

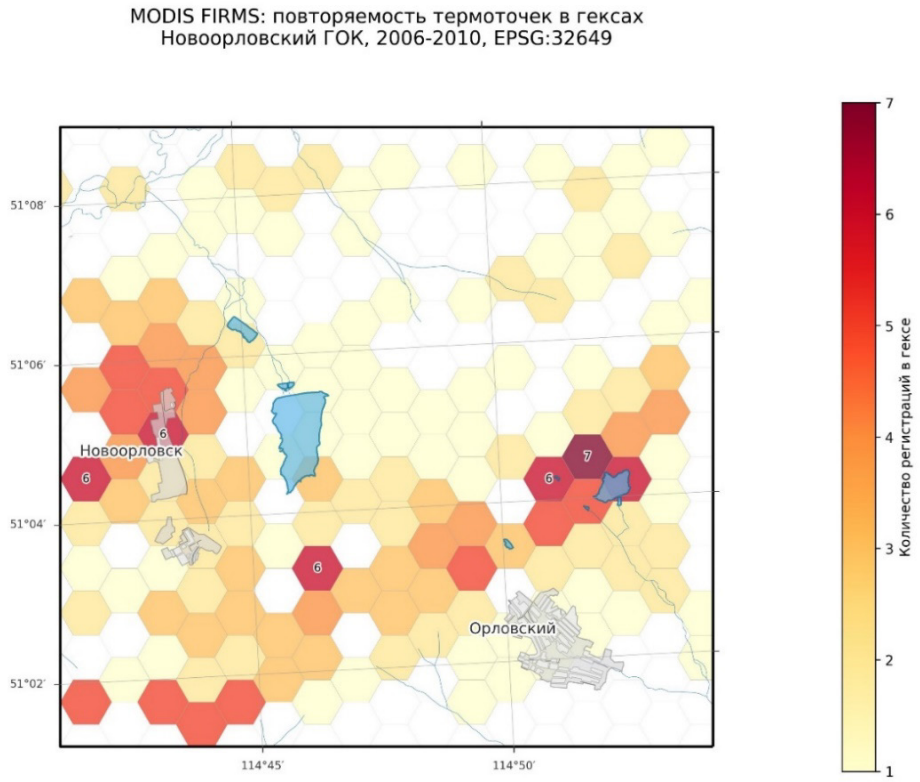



**Рисунок 4.** Повторяемость термоточек в гексах за период 2006–2010 гг.
**Figure 4.** Repeatability of heat points in hex for the period 2006–2010

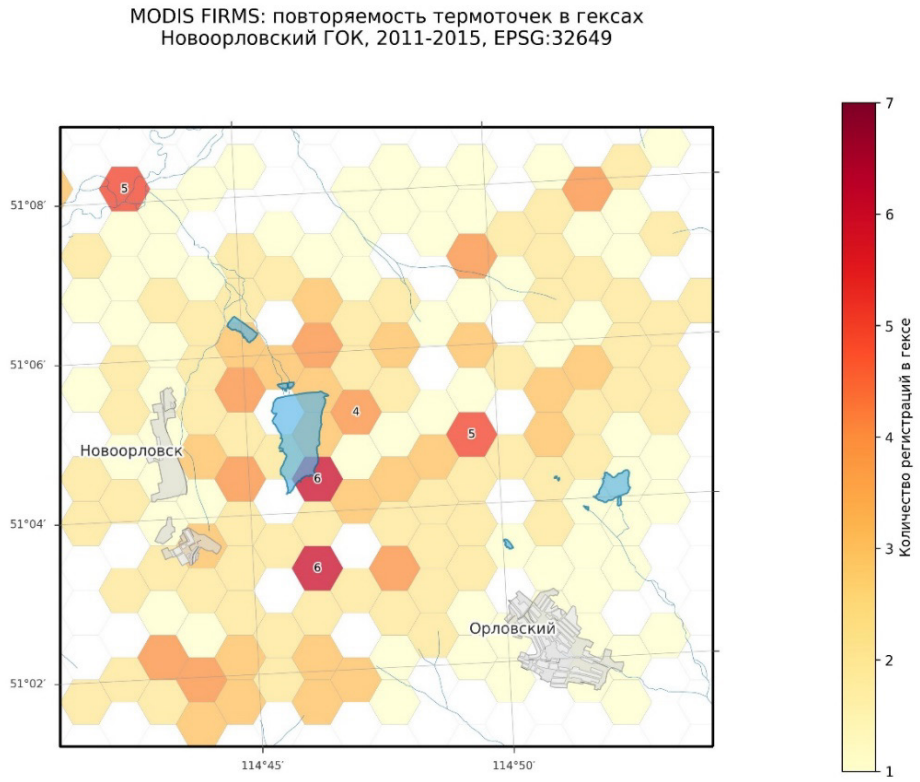



**Рисунок 5.** Повторяемость термоточек в гексах за период 2011–2015 гг.
**Figure 5.** Repeatability of heat points in hex for the period 2011–2015

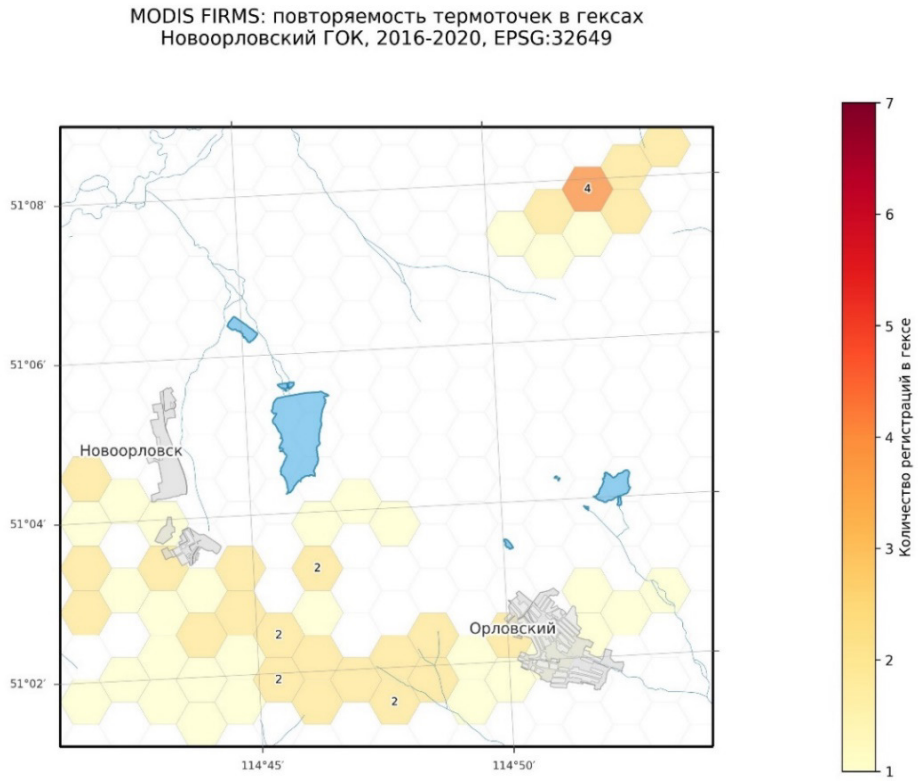



**Рисунок 6.** Повторяемость термоточек в гексах за период 2016–2020 гг.
**Figure 6.** Repeatability of heat points in hex for the period 2016–2020

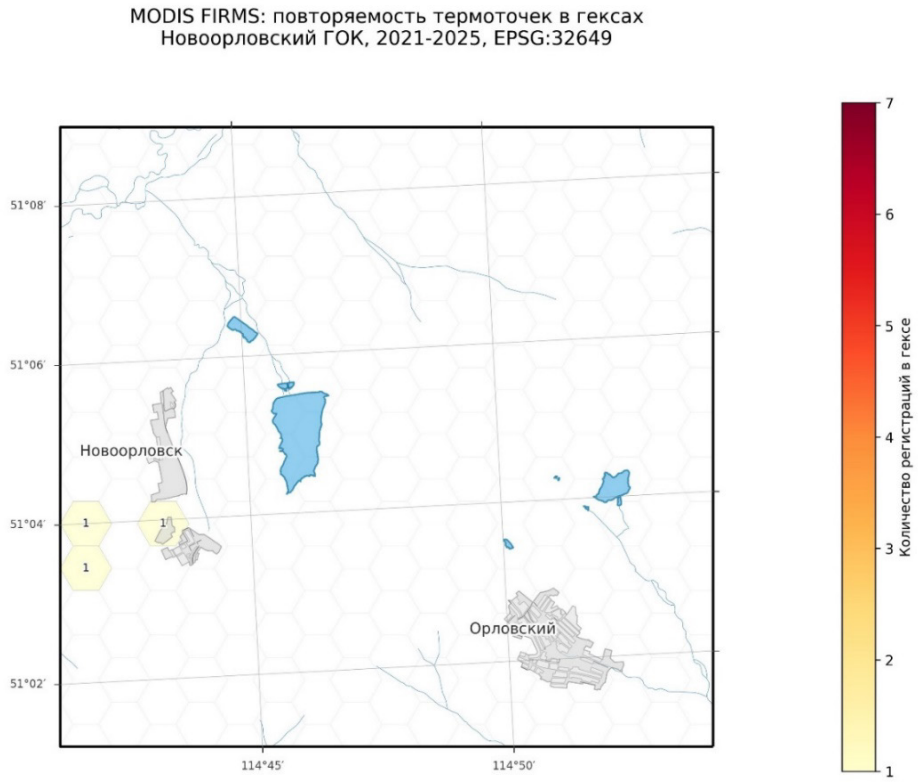



**Рисунок 7.** Повторяемость термоточек в гексах за период 2021-2025
**Figure 7.** Repeatability of heat points in hex for the period 2021-2025

Сопоставление пяти карт позволяет выделить общую тенденцию снижения пространственной насыщенности участков земной поверхности, температура которых аномально выше фоновых значений окружающей среды (т.н. термоточек) от первых трех пятилетних периодов к двум последним. В 2001–2005, 2006–2010 и 2011–2015 гг. термические аномалии формируют широкое поле регистраций с несколькими локальными максимумами. Эти максимумы последовательно проявляются в юго-западной части участка, вблизи Новоорловска, в центральной зоне около основного хвостохранилища и в восточной части у техногенного водоема. После 2015 г. поле термической активности становится разреженным, а к периоду 2021–2025 гг. сохраняются только единичные регистрации. Данная динамика указывает на существенную трансформацию пожарно-термического режима территории за период спутниковых наблюдений.

Наиболее значимыми для дальнейшей интерпретации являются три пространственные зоны. Первая зона расположена западнее и юго-западнее Новоорловска, где максимумы повторяемости хорошо выражены в периодах 2001–2005 и 2006–2010 гг., а единичные регистрации сохраняются и в 2021–2025 гг. Вторая зона соответствует центральной части участка, прилегающей к основному хвостохранилищу и связанным с ним водным объектам, где наибольшая выраженность наблюдается в 2011–2015 гг. Третья зона находится восточнее пгт. Орловский, в районе отдельного техногенного водоема и элементов гидрографической сети, где максимум проявляется в 2006–2010 гг. Выделение этих зон важно для последующего сопоставления с контурами техногенных скоплений, материалами Sentinel, Landsat, данными БПЛА и результатами полевых обследований.

Полученные карты показывают, что термические аномалии пространственно связаны не только с селитебными территориями, но и с природно-техногенным окружением хвостохранилищ, водных объектов и нарушенных земель. Это позволяет рассматривать слой

MODIS FIRMS как дополнительный элемент цифровой характеристики горнопромышленной геосистемы. Он дополняет сведения о техногенных объектах, гидрографии и населенных пунктах, формируя основу для оценки внешних факторов, влияющих на состояние территории хранения техногенного сырья, устойчивость растительного покрова и условия комплексного восстановления нарушенных земель.

Гексагональная агрегация имеет особое значение для научной интерпретации карт, поскольку она переводит точечные регистрации MODIS в площадные показатели повторяемости. Такой переход позволяет рассматривать термические аномалии как пространственный процесс, связанный с участками территории, а не только как набор отдельных координатных событий. Для задач интерактивного картографирования и цифровой платформы проекта это повышает аналитическую ценность результата, поскольку гексагональные слои могут быть сопоставлены с границами хвостохранилищ, техногенными водоемами, зонами рекультивации, гидрографической сетью, транспортной инфраструктурой и результатами других видов дистанционного зондирования Земли.

Таким образом, карты пятилетней повторяемости MODIS FIRMS фиксируют долгосрочную пространственную перестройку пожарно-термического фона в районе Орловского и Новоорловского ГОКов. На ранних этапах наблюдений территория характеризовалась широким распространением термических аномалий и наличием нескольких устойчивых зон концентрации. В последующие периоды произошло сокращение числа активных ячеек и ослабление повторяемости. Полученные результаты целесообразно использовать как вспомогательный дистанционный слой при актуализации данных о техногенных объектах, выборе участков детального дешифрирования, планировании БПЛА-съемки, оценке условий биоремедиации и разработке экологически ориентированных инженерных решений для территорий техногенных скоплений Орловского и Новоорловского ГОКов.

***Сезонность появления термоточек***

Анализ помесячного распределения термоточек MODIS FIRMS показывает резко выраженную сезонную концентрацию термических аномалий в весенний период. За 2000–2025 гг. в пределах района Новоорловского и Орловского ГОКа зарегистрировано 1075 термоточек, из которых на апрель приходится 513 регистраций, на май – 333 регистрации, на март – 80 регистраций. Таким образом, только апрель и май формируют 846 регистраций, или около 78,7 %. При расширении весеннего интервала до марта, апреля и мая суммарное количество термоточек достигает 926 регистраций, что составляет около 86,1 % от общего числа наблюдений.

Полученная структура указывает на устойчивое преобладание весеннего пожарно-термического максимума. Летние месяцы характеризуются значительно меньшим количеством регистраций: в июне отмечено 59 термоточек, в июле – 11, в августе – 15. Осенний период выражен слабо: в сентябре зафиксирована 41 регистрация, в октябре – 23. В январе, феврале, ноябре и декабре термоточки в пределах выбранной рамки анализа отсутствуют. Такая картина свидетельствует о том, что термические аномалии в районе техногенных объектов Орловского ГОКа имеют не равномерное годовое распределение, а отчетливо выраженную сезонную приуроченность к периоду весеннего иссушения травянистой растительности.

Тепловая матрица «год × месяц» уточняет эту закономерность и показывает, что наиболее интенсивные события также сосредоточены преимущественно в апреле и мае. Особенно выделяется апрель 2014 г., когда было зарегистрировано 165 термоточек. Значимые месячные максимумы также отмечены в мае 2003 г., марте 2003 г., мае 2006 г., апреле и мае 2007 г. и апреле 2019 г. Такая повторяемость весенних максимумов в разные годы указывает на устойчивый сезонный механизм формирования термических аномалий, связанный с состоянием сухой надземной фитомассы, открытых степных участков, нарушенных земель и антропогенной активности вблизи населенных пунктов (рисунок 8).

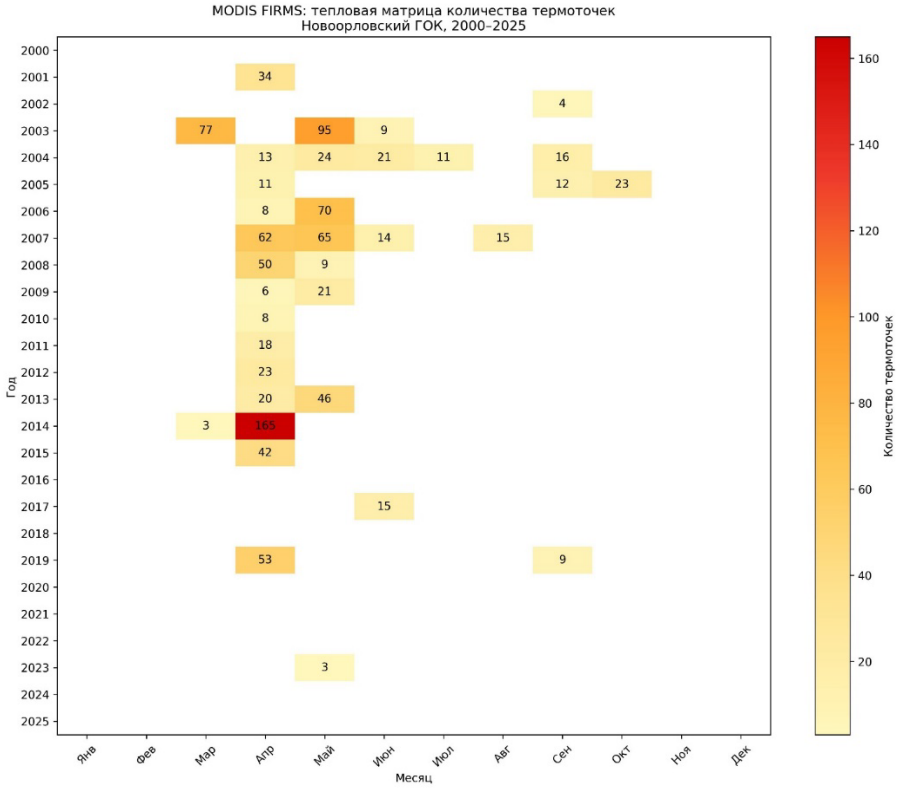



**Рисунок 8.** Тепловая матрица термоточек
**Figure 8.** Thermal matrix of thermal points

Сезонная структура термоточек хорошо согласуется с распространенной для степных и лесостепных районов Забайкалья практикой весеннего сжигания сухой травы (палов). В весенний период до начала активной вегетации на поверхности сохраняется значительный запас сухой прошлогодней растительности. При низкой влажности, ветровой активности и наличии открытых участков такой материал становится легко воспламеняемым. В этих условиях травяные палы могут быстро распространяться по степным и нарушенным территориям, формируя протяженные фронты горения, которые фиксируются MODIS FIRMS как группы термических аномалий (рисунок 9).

Для района Орловского и Новоорловского ГОКов такая интерпретация имеет важное прикладное значение. Термоточки весеннего периода могут отражать не только природную пожарную опасность, но и антропогенно обусловленные палы, возникающие в пределах сельскохозяйственных, селитебных, придорожных и техногенно нарушенных территорий. Их концентрация в апреле и мае показывает, что именно весенний сезон является критическим для оценки пожарно-термического фона горнопромышленной геосистемы. Это особенно важно при анализе состояния хвостохранилищ, техногенных водоемов, открытых нарушенных поверхностей и участков, рассматриваемых как потенциальные зоны биоремедиации.

Полученная сезонность показывает, что при разработке экологически ориентированных инженерных решений необходимо учитывать весенний фактор термического воздействия на прилегающие территории. Повторяющиеся весенние палы могут влиять на устойчивость растительного покрова, состояние поверхностного слоя техногенных почвогрунтов, скорость восстановления нарушенных земель и риски повторной деградации рекультивируемых участков. Поэтому слой MODIS FIRMS может использоваться как дополнительный индикатор сезонного пожарно-термического риска при выборе участков детального дешифрирования, планировании БПЛА-съемки и обосновании мероприятий комплексного восстановления

территорий действующих и законсервированных хвостохранилищ.

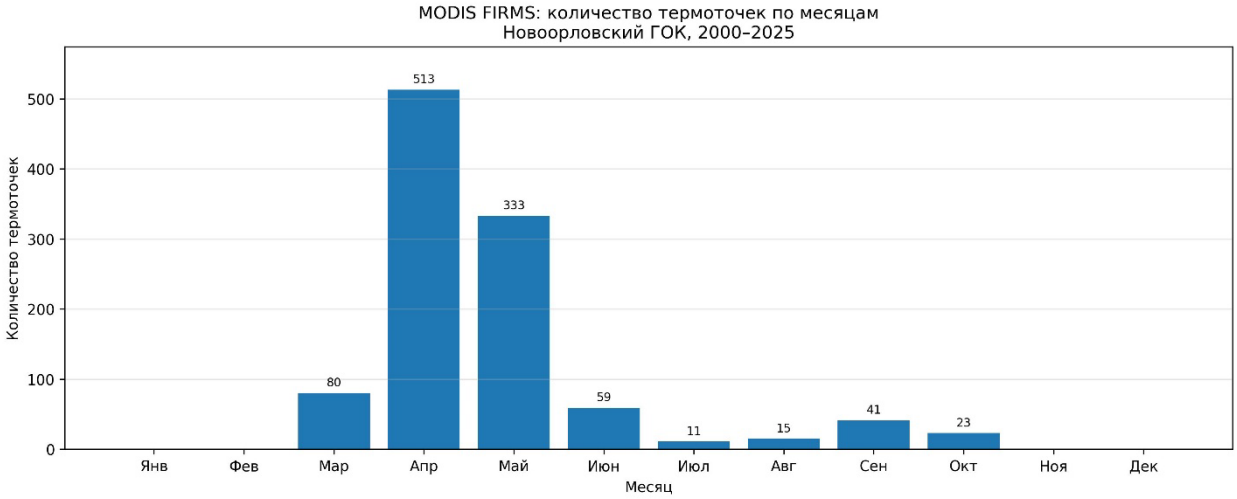



**Рисунок 9.** Количество термоточек по месяцам за 25-летний период
**Figure 9.** Number of temperature points by month over a 25-year period

## Заключение

На основе 26-летнего ряда данных MODIS FIRMS (1075 регистраций) установлено, что пирогенный фактор является значимым элементом геоэкологического риска для хвостохранилища Новоорловского ГОКа. Основной вклад (92,5 % событий) приходится на 2001–2015 гг., после чего наблюдается устойчивое снижение термической активности.

Выявлена жесткая сезонная приуроченность: 78,7 % всех термоточек регистрируется в апреле–мае, что указывает на доминирование антропогенных весенних палов сухой растительности. Пиковые события (апрель 2014 г. – 165 точек) носят кратковременный, но площадный характер.

Пространственный анализ с использованием гексагональной агрегации позволил оконтурить три зоны устойчивой концентрации термоточек, непосредственно примыкающие к техногенным объектам. Их локализация должна учитываться при планировании рекультивационных мероприятий.

Слой MODIS FIRMS рекомендовано включить в качестве обязательного компонента в систему комплексного геоэкологического мониторинга действующих и законсервированных хвостохранилищ Орловского и Новоорловского ГОКов. При проектировании биологической рекультивации, фиторемедиации [9] необходимо предусматривать создание противопожарных минерализованных полос, особенно на участках, соответствующих выявленным потенциально опасным территориям.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на сопряжение данных FIRMS с мультиспектральными снимками высокого разрешения и полевой верификацией для количественной оценки ущерба растительному покрову и степени активизации пыления.

## Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 26-17-20004, https://rscf.ru/project/26-17-20004/.

## Acknowledgements

The research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation No. 26-17-20004, https://rscf.ru/project/26-17-20004/.

## Литература / References

1. Шекиладзе В. Т. Обоснование выбора эффективных водорастворимых полимеров для практического применения их при биологической рекультивации хвостохранилищ (на примере

объекта ЗАО «Новоорловский ГОК») // Вестник Забайкальского государственного университета. 2015. №4. С.71–78. EDN ULWXLR.
Shekiladze V. Substantiation of the Effective Water-Soluble Polymers Choice for Practical Use in Biological Recultivation of Tailings Dump (on the example of JSC «Novoorlovsky GOK»). Transbaikal State University Journal, 2015, iss.4, pp.71–78.

2. Антамошкин О. А., Худякова Е. В., Ермолаева О. С., Водянников В. Т. Автоматизированная оценка потенциальной стабильности хвостохранилищ на основе интеграции ГИС и методов искусственного интеллекта // Известия Тульского государственного университета. 2025. № 4. С. 96–102. EDN MSWXFH.
Antamoshkin O.A., Khudyakova E.V., Ermolaeva O.S., Vodyannikov V.T. Automated assessment of potential stability of tailings storage facilities based on the integration of GIS and artificial intelligence methods. Izvestiya Tula State University, 2025, iss.4, pp.96–102.

3. Шерхов А. Х. Результаты анализа современных данных геоэкологического мониторинга заброшенного Тырныаузского хвостохранилища // Вестник геонаук. 2025. № 9 (369). С. 28–35. DOI: 10.19110/geov.2025.9.4. EDN: ZZQGNS
Sherkhov A. Results of analysis of modern geocological monitoring data of the abandoned Tyrnyauz tailings facility. Vestnik of Geosciences, 2025, iss. № 9 (369), pp. 28–35. DOI: 10.19110/geov.2025.9.4.

4. Кочев Д. В., Шумилова Л. В. Применение спектральных водных индексов на хвостовом хозяйстве Дарасунского рудника по данным дистанционного зондирования Земли программы Landsat // Вестник Забайкальского государственного университета. 2023. Т. 29, № 2. С. 45–60. DOI 10.2109/2227-9245-2023-29-2-45-60. EDN VWZNGB.
Kochev D.V., Shumilova L.V. Application of Spectral Water Indices on the Tailings of the Darasunsky Mine According to the Remote Sensing Data of the Landsat Program. Transbaikal State University Journal, 2023, vol. 29, iss 2, pp. 45–60. DOI 10.2109/2227-9245-2023-29-2-45-60.

5. Пшеченкова Е. П., Самсонов А. А., Бурмистров А. А. и др. Использование данных дистанционного зондирования Земли для анализа экологической нагрузки техногенных объектов Михайловского горно-обогатительного комбината // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2024. Т. 63, № 6. С. 120–131. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-120-131. EDN: EPDLHV.
Pshechenkova E.P., Samsonov A.A., Burmistrov A.A., Churikov Yu.A., Anisimov N.N., Starostin V.I. The Use of Earth Remote Sensing Data to Assess the Environmental Impact of the Mining Waste Facilities of the Mikhailovsky Mining and Processing Plant. Moscow University Geology Bulletin, 2024, Vol. 63, iss. 6, pp.120–131. DOI: 10.55959/MSU0579-9406-4-2024-63-6-120-131.

6. Giglio L., Schroeder W., Justice C. O. The collection 6 MODIS active fire detection algorithm and fire products // Remote Sensing of Environment. 2016. Vol. 178. P. 31–41. DOI: 10.1016/j.rse.2016.02.054.

7. Gorelick N., Hancher M., Dixon M., Ilyushchenko S., Thau D., Moore R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone // Remote Sensing of Environment. 2017. Vol. 202. P. 18–27. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

8. Birch C. P. D., Oom S. P., Beecham J. A. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology // Ecological Modelling. 2007. Vol. 206, No. 3–4. P. 347–359. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.03.041.

9. Huang M., Liu Z., Li X. Phytoremediation of Rare Tailings-Contaminated Soil // Journal of Renewable Materials. 2022. Vol. 10, No. 12. P. 3351–3372. DOI: 10.32604/jrm.2022.022393.

Поступила в редакцию / Received 06.08.2026
Принята к публикации / Accepted 13.08.2026

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Кочев Денис Владимирович,** старший преподаватель, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; SPIN-код: 6153-4450, ORCID: 0000-0002-7833-9712; e-mail: denis.ko4ev@yandex.ru.

**Шумилова Лидия Владимировна**, доктор технических наук, профессор, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия, SPIN-код: 4275-3458, ORCID: 0000-0001-5991-9204; e-mail: shumilovalv@mail.ru.

**Свалова Кристина Витальевна,** кандидат технических наук, доцент кафедры строительства, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; SPIN: 4931-2404, ORCID: 0000-0002-3644-5242; e-mail: kristi24091990s@yandex.ru.

**Насоловец Константин Валерьевич,** аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; e-mail: nasolovets@mail.ru.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Denis V. Kochev,** Senior Lecturer, Transbaikal State University, Chita, Russia; SPIN-code: 6153-4450, ORCID: 0000-0002-7833-9712; e-mail: denis.ko4ev@yandex.ru.

**Lidiya V. Shumilova**, D. Sc. (Technical), Professor, Transbaikal State University, Chita, Russia; SPIN-code: 4275-3458; ORCID: 0000-0001-5991-9204; e-mail: shumilovalv@mail.ru.

**Kristina V. Svalova,** Ph. D. (Technical), Associate Professor, Department of Construction, Transbaikal State University, Chita, Russia; SPIN-code: 4931-2404; ORCID:0000-0002-3644-5242; e-mail: kristi24091990s@yandex.ru.

**Konstantin V. Nasolovets,** postgraduate student, Transbaikal State University, Chita, Russia; e-mail: nasolovets@mail.ru.