

МРНТИ 89.57.35
Секция: География
Научная статья

Анализ динамики пожаров в Наурзумском природном заповеднике и прилегающих территориях с использованием спутниковых данных

Татьяна Брагина^{1,2}, Гульжиян Кабдулова^{3*}, Даникер Чепашев⁴, Гульсезим Жусупова⁵, Арсен Шингужинов⁶, Руслан Жилкибаев⁷, Елизавета Максимкина⁸

¹Костанайский региональный университет имени Ахмета Байтурсынулы, Костанай, Казахстан; e-mail: tm_bragina@mail.ru

²Азово-Черноморский филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО», Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: braginatm@azniirkh.vniro.ru

^{3,4,5,6,7,8}ТОО «Институт ионосферы», Алматы, Казахстан; g.a.kabdulova@gmail.com, d.chepashev@ionos.kz, zhussupova@ionos.kz, a.shinguzhinov@ionos.kz, zhilkibayev@ionos.kz, maximkina.y@ionos.kz

*Корреспонденция: g.a.kabdulova@gmail.com

Цитирование: Брагина, Т., Кабдулова Г., Чепашев Д., Жусупова Г., Шигужинов А., Жилкибаев Р., Байтелиева, А. (2025). Долгосрочный анализ динамики пожаров (2000–2025 гг.) в Наурзумском природном заповеднике и на прилегающих землях (Костанайская область, Казахстан) с помощью спутникового зондирования. Вестник ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Серия: Химия. География, 153(4), 74–90. <https://doi.org/10.32523/3107-278X-2025-153-4-74-90>

Академический редактор:
Н.Е. Рамазанова

Поступила: 04.12.2025
Исправлена: 16.12.2025
Принята: 18.12.2025
Опубликована: 24.12.2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Аннотация. Пожары являются одним из мощных факторов краткосрочного и долгосрочного изменения экосистем, в том числе на особо охраняемых природных территориях. Число и интенсивность пожаров значительно возросли под влиянием освоения человеком земель, изменений климата, социально-экономического состояния населения.

Основная цель данных исследований заключалась в долгосрочном анализе (2000–2025 гг.) частоты возгораний и площадей пожаров в пределах границ Наурзумского государственного природного заповедника (2000–2025) и на прилегающих к заповеднику землях. Особое значение данному исследованию придает высокий статус Наурзумского государственного природного заповедника как части объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Сарыарка – Степи и Озера Северного Казахстана (UNESCO World Heritage Site «Saryarka – Steppe and Lakes of Northern Kazakhstan»). Для выполнения работ использовались современные технологии анализа спутниковых снимков в базах данных Landsat 8 и Sentinel-2. Учитывались термальные точки, даты наблюдений, площади пожаров.

Впервые было показано, что за период с 2000 по 2025 гг. произошло 29 пожаров, суммарная площадь возгораний составила 833 589 га, из них в пределах границ заповедника 236 300 га.

Для минимизации последствий пожаров предлагаются профилактические меры через постоянный контроль и мониторинг состояния ценных объектов природного наследия с использованием современных технологий дистанционного зондирования Земли. Результатами исследований стали количество и площади выгоревших территорий, влияющих на биоразнообразие заповедника за длительный период времени.

Ключевые слова: дистанционное зондирование; спутниковые исследования; пожары; Наурзумский заповедник; прилегающие территории; Костанайская область.

1. Введение

Объектом исследования являются выгоревшие территории Наурзумского государственного природного заповедника (далее Наурзумский ГПЗ) и прилегающие земли (Костанайская область, Казахстан). Наурзумский заповедник расположен в зоне сухих степей (типчако-ковыльных). Благодаря разнообразию почв по механическому составу на сравнительно небольшой территории можно обнаружить ассоциации, относящиеся к некоторым формациям степной растительности. Сообщества степного типа занимают участки западного и восточного плато, его склоны, террасовидные равнины по бортам Тургайской ложбины, встречаются в виде фрагментов в комплексной растительности на днище Тургайской ложбины. Плакорные местообитания в классическом смысле на территории заповедника представлены узкой полосой степей вдоль склона западного плато Терсек-Карагай (Naurzumsky Zapovednik). (2016).

Наурзумский ГПЗ был создан в 1931 году и является одним из старейших заповедников Казахстана. Географически его территория находится в Северо-Тургайской физико-географической провинции степной зоны Евразии, в подзоне сухих дерновинно-злаковых степей на темно-каштановых почвах (географические координаты 51°29' с. ш. 64°18' в. д.). Общая площадь заповедника в современных границах 191 381 га. Территория заповедника расположена в центральной части Тургайской ложбины, соединяющей Западно-Сибирскую низменность с Туранской низменностью, где по засоленным почвам на север продвигаются южные флористические и фаунистические элементы, а в лесах присутствуют бореальные виды. На 63% общей площади заповедника (после расширения и обустройства новых границ в 2004 г. (Bragina, 2009, 2021) занимают степные экосистемы, на 21% территории расположены системы пресных и соленых озер, на 16% произрастают сосновые и осиново-березовые леса. Климат резко континентальный, с жарким летом (средняя температура июля +24,2 °C с абсолютным максимумом +41,6 °C) и холодной малоснежной зимой (средняя температура января минус 17-18 °C, абсолютный минимум - 45,7 °C). Продолжительность солнечного сияния более 2000 часов в год. Среднегодовая сумма осадков 233 мм. Летом часты засухи и суховеи, влажность воздуха опускается до 30 % на месяц и более, что способствует возникновению и распространению пожаров. Особое значение данному исследованию придает высокий статус Наурзумского ГПЗ как части первого в Казахстане и странах Центральной Азии объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Сарыарка – Степи и Озера Северного Казахстана».

В эволюционном отношении пожары являются природным фактором и возникают под влиянием различных причин (He et al., 2019; Keeley et al., 2022; Sayedi et al., 2024; Kamp et al., 2025). В степных экосистемах они могут иметь положительные аспекты, так как разрушают накопившиеся растительные остатки, возвращая минеральные вещества в почву; способствуют поддержанию разнообразия некоторых видов, например, через улучшение условий прорастания семян и питания растений, и выступают как драйверы естественных изменений экосистем и поддержания их природного разнообразия (Leys et al., 2018; Galaktionova et al., 2019; Alvarez et al., 2022). Но в большинстве случаев пожары – это серьезная проблема, которая требует особого внимания со стороны государств и населения. Пожары приводят к разрушению почвенно-растительного покрова, мест обитания дикой флоры и фауны, снижению численности популяций многих видов, приводя их к состоянию уязвимости или исчезновению, изменяют экологические процессы и связи (Kamp et al., 2016; Rachkovskaya et al., 2012; Bragina et al., 2018; Duane et al., 2021; Jolly et al., 2022). В ряде случаев потери могут быть невосполнимыми.

Возгорания происходят под влиянием различных причин, среди которых можно выделить накопление запасов растительной мортмассы (ветоши), сухие грозы, шквалистый ветер, потепление климата и другие (2020; Jones et al., 2022; Shi et al., 2022). Хозяйственное освоение природных территорий вызвало перестройку почвенно-растительных условий,

гидрологического режима, структуры и функции экосистем, привело к деградации обширных территорий, в том числе вследствие обширных и повторяющихся пожаров по вине человека (Pavleychik et al., 2022). Кроме того, пожары приводят к значительному экономическому ущербу, загрязнению атмосферы (угарный газ, оксиды азота и др.) и способствуют выделению углекислого газа, усиливая парниковый эффект, что, в свою очередь, отрицательно влияет на окружающую среду и сохранение биологического разнообразия.

Ключевую роль в сохранении биоразнообразия играют особо охраняемые природные территории (ООПТ). Но и они испытывают значительный пресс от деятельности человека и природных пожаров. В то же время количественной оценки числа пожаров и выгоревших площадей на территории ООПТ сравнительно немного (Resco de Dios et al., 2025). Данные ДЗЗ широко используются в Казахстане с 2018 года для мониторинга выгоревших территорий (Kabdulova et al., 2019).

Цель исследования - ретроспективный анализ пожаров на территории Наурзумского государственного природного заповедника и на прилегающих к нему территорий за последнюю четверть века объективными методами дистанционного зондирования Земли. В задачи работы входил анализ частоты и площадей пожаров в период 2000-2025 гг. с фиксацией термальных точек и дат наблюдений.

Результатами исследования является картирование территорий заповедника с использованием термальных точек по данным ДЗЗ как основы получения достоверной и детальной информации о выгоревших площадях за многолетний период наблюдения.

Впервые в Костанайской области на территории ООПТ были использованы дистанционные методы для выявления, анализа и создания разновременных карт с целью изучения частоты, интенсивности и динамики выгоревших территорий за последние десятилетия (2000-2025 гг.).

2. Материалы и методы

В работе использованы дистанционные методы исследования: спутниковые данные.

Для выявления пожаров за многолетний период были использованы данные спутникового мониторинга. Термальные точки (термоточки) за 25 летний период (с 2000-2025 гг.) были получены из системы NASA FIRMS (Fire Information for Resource Management System) на территорию Наурзумского ГПЗ. NASA FIRMS предоставляет координаты тепловых аномалий, зафиксированных сенсорами MODIS и VIIRS. Эти данные использовались как первичный индикатор возможных возгораний, а также как дополнительный слой проверки для временной и пространственной локализации пожаров. По термоточкам определяют время и место пожара.

Дополнительно были загружены спутниковые снимки из облачной платформы Sentinel Hub за каждый анализируемый год, а именно проведен анализ с 2000 по 2025 гг. Основой служила облачная платформа Sentinel Hub, которая содержит снимки Landsat (серии 7, 8-9), а также Sentinel-2 для более поздних лет. Все изображения прошли стандартную предварительную обработку: приведение к единому пространственному разрешению и проекции. После подготовки данных для каждого года были рассчитаны спектральные показатели, необходимые для выделения сгоревших участков.

Ключевым инструментом оценки ущерба стал индекс NBR (Normalized Burn Ratio), рассчитанный для каждого снимка. Для выявления территорий, пострадавших от пожара, наиболее эффективно использовать индекс NBR-RAW. Он формируется на основе каналов 8 и 12 для Sentinel-2 и позволяет уверенно выделять крупные выгоревшие участки. Для оценки степени пожарного воздействия вычисляют разницу между значениями NBR до пожара и после него (Kabdulova et al., 20120). При таком подходе более тёмные пиксели на финальном изображении соответствуют наиболее сильно выгоревшим зонам. На основе NBR были

сформированы карты dNBR - разницы значений индекса до и после пожара. Это позволило выявлять факты выгорания и степень интенсивности повреждения растительности.

NBR индекс для оценки выгоревших участков:

$$\text{Sentinel-2: } \text{NBR} = (\text{B8} - \text{B12}) / (\text{B8} + \text{B12}) \quad (1)$$

$$\text{Landsat 8/9: } \text{NBR} = (\text{B5} - \text{B7}) / (\text{B5} + \text{B7}) \quad (2)$$

$$\text{Landsat 7: } \text{NBR} = (\text{B4} - \text{B7}) / (\text{B4} + \text{B7}) \quad (3)$$

Для оцифровки векторных полигонов границ пожаров по снимкам NBR была создана персональная база данных в программном обеспечении ESRI ArcMap, где было проанализировано около 30 пожаров за 2000-2025 гг. Определяется площадь пожара по полигонам пожаров.

Термоточки интегрируют в базу данных как вспомогательный слой: проверки, что пожар действительно был на этой территории; уточнения дат; подтверждения, что изменения NBR связаны именно с огнём, а не, например, с сезонными колебаниями.

Для получения значений высот, на которых происходил пожар чаще или реже всего, была использована цифровая модель рельефа Copernicus GLO-30 DEM на эллипсоидной высоте. На рисунке 1 показана Copernicus DEM и границы пожаров.

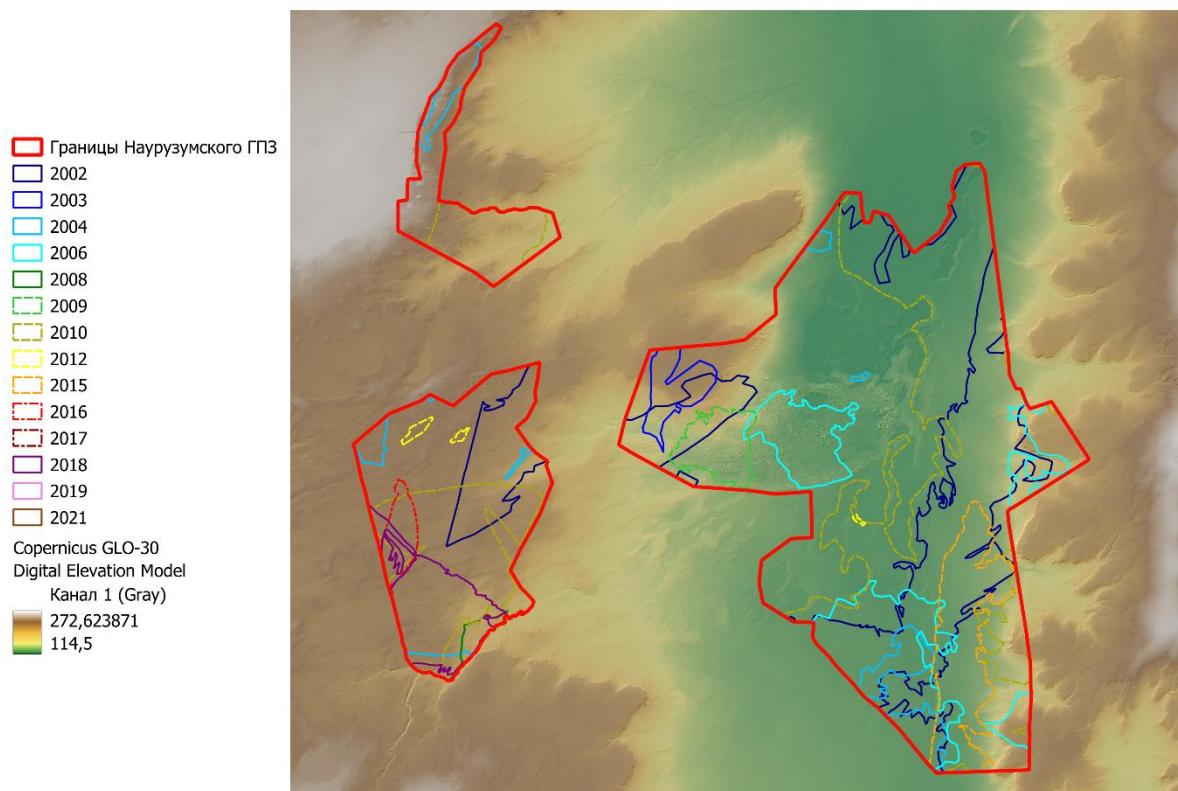


Рисунок 1. Границы пожаров, нанесенные на Copernicus GLO-30 DEM с разрешением 30 м

Copernicus GLO-30 DEM была переведена в проекцию WGS84 UTM zone N41. Для получения реальных высот была скачана модель геоида EGM2008, а затем перепроецирована и обрезана по границам полигона заповедника. Через калькулятор растра были вычислены ортометрические высоты. Ортометрические высоты - это высоты точки поверхности относительно среднего уровня моря (MSL – Mean Sea Level) с учётом геоида, то есть фактической “средней поверхности воды Земли”. Для вычисления ортометрических высот используется следующая формула:

$$H=h-N \quad (4)$$

h - эллипсоидальная высота (исходный DEM);
H - ортометрическая высота (результат после Raster Calculator);
N - геоидная высота (модель EGM96 / EGM2008).

Впоследствии обработки через ПО QGIS была проведена классификация пикселей на высоты с помощью инструмента «анализ растров». Подсчет площадей по классам проводился через инструмент «зональная гистограмма». Для подсчета реальных площадей необходимо умножить полученное число на 900 (если размер пикселя 30x30) и разделить на 10 000 для подсчета площадей в гектарах. Таким образом были вычислены площади на разных высотных интервалах Наурзумского ГПЗ.

Таблица 1. Распределение выгоревшей площади по высотным интервалам на территории Наурзумского ГПЗ методом подсчета классифицированных по высотам растровых пикселей, га

Годы	Площадь выгоревшей территории на высоте до100, га	Площадь выгоревшей территории на высоте 100-200 м, га	Площадь выгоревшей территории на высоте 200-300 м, га	Общая площадь выгоревшей территории за год, га
2021	0	8567,1	0	8567,1
2019	0	1315,71	4614,75	5930,46
2018	0	0	8671,59	8671,59
2016	0	0	2386,89	2386,89
2015	0	12220,38	0	12220,38
2012	0	45,09	374,13	419,22
2010	3,06	70629,39	28953,9	99586,35
2009	0	4213,53	157,05	4370,58
2008	0	7,02	938,88	945,9
2006	0,36	21258,36	3432,87	24691,59
2004	0,54	4765,68	38518,02	43284,24
2003	0,27	569,34	2718,63	3288,24
2002	1,53	35652,42	9818,64	45472,59
Итого	5,76	159244	100585,4	259835,1

Анализ динамики частоты пожаров и выгоревших площадей проведен методом дистанционного зондирования с использованием обработки спутниковых снимков Landsat 7,8-9 и Sentinel-2 на территории Наурзумского заповедника и прилегающих землях за 25-летний период (2000-2025 гг). Термоточки на обследованной территории определялись после проведения тематической обработки результатов космической съемки.

Материалы обработаны статистически с использованием Microsoft Excel (версия 365). На рисунке 2 представлена блок-схема процессов, необходимых для анализа выгоревших территорий пошагово, с указанием этапов работы.

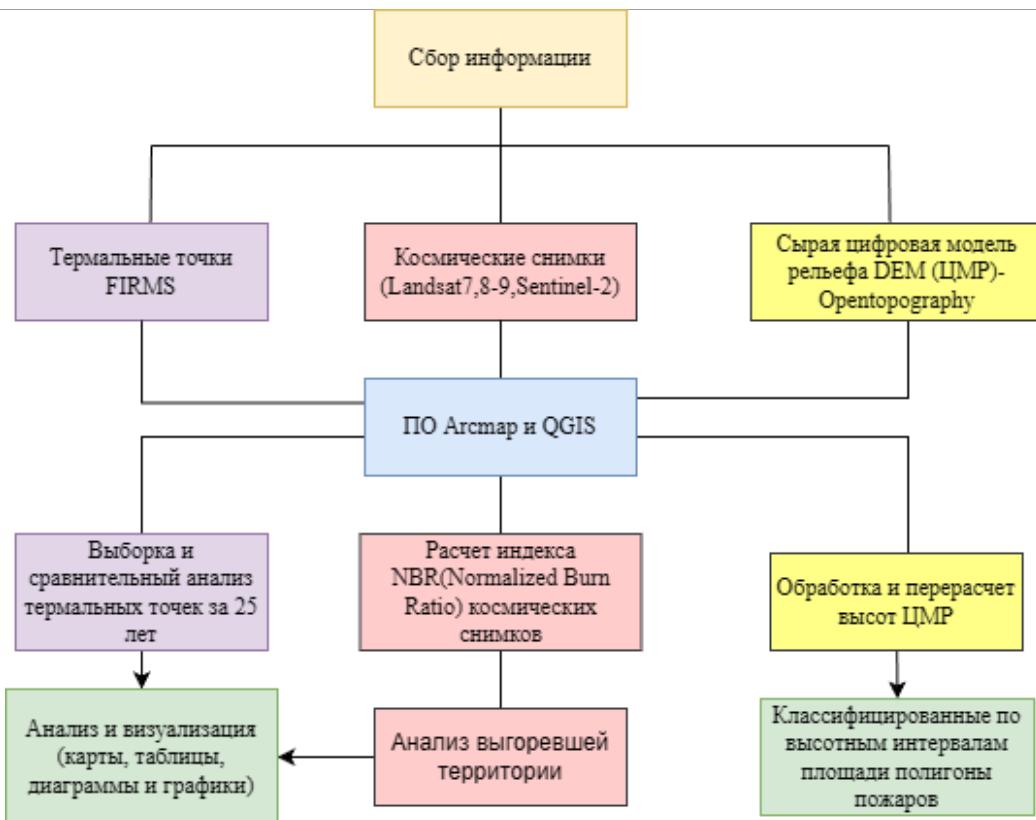


Рисунок 2. Блок-схема процессов сбора, анализа и обработки космических снимков

3. Результаты

Анализ материалов показал, что на территории Наурзумского ГПЗ за исследуемый период произошло 29 возгораний (таблица 1). Число зарегистрированных термоточек составило 1474.

Максимальная выгоревшая площадь зарегистрирована в 2010 году - 100 890 га (52,7 % от общей площади заповедника) с числом зарегистрированных термоточек 266. За весь период наблюдений максимальное число термоточек (416) было отмечено в 2019 году при общей площади пожара 6012 га. Наибольшее число возгораний было зарегистрировано в 2004 году (таблица 2).

Общая площадь возгораний на территории заповедника составила 236 300 га. Наименьшая площадь из выявленных возгораний на территории заповедника 46 га (19.07.2012 г. в 21:34 часов), максимальная 76 170 га (10.06.2010 г. в 21:14 часов). Средняя площадь пожара за период 2000-2025 гг. на территории заповедника составила $8\ 148,28 \pm 2813,63$ га, что указывает на высокий разброс площадей выгорания на территории заповедника.

Таблица 2. Пожары в пределах границ Наурзумского ГПЗ (2000–2025). Костанайская область, Казахстан

Год	Термоточки/ спутник	Дата	Выгоревшая площадь, га/спутник	% выгоревшей территории
2000- 2001	-	-	-	
2002	61/ Terra	2002-09-20-17:32	14044/ Landsat 7	52,64
		2002-09-25-06:39	1534/ Landsat 7	
		2002-10-01-07:40	30490/ Landsat 7	
2003	22/ Terra	2003-09-02-07:38	3334/ Landsat 7	3,81
2004	84/ Terra,Aqua	2004-06-28-06:25	1832/ Landsat 7	22,94
		2004-08-24-08:04	366/ Landsat 7	
		2004-09-24-07:14	88/ Landsat 7	
		2004-09-27-06:06	4288/ Landsat 7	
		2004-10-02-08:02	37331/ Landsat 7	
2005	-	-	-	-
2006	85/ Terra	2006-06-20-07:50	1277/ Landsat 7	13,06
		2006-07-28-07:14	14024/ Landsat 7	
		2006-08-12-08:17	3557/ Landsat 7	
		2006-08-12-17:42	6145/ Landsat 7	
2007	-	-	-	-
2008	3/ Terra	2008-08-27-07:09	959/Landsat 7	0,5
2009	33/ Terra	2009-06-20-07:03	4429/ Landsat 7	2,31
2010	266/ Terra, Aqua	2010-06-10-21:14	76170/ Landsat 7	52,71
		2010-07-29-17:49	6331/ Landsat 7	
		2010-08-12-18:01	18389/ Landsat 7	
2011	-	-	-	-
2012	17/ VIIRS SUOMI, Aqua	2012-07-07-08:06	270/ Landsat 7	0,22
		2012-07-07-08:42	109/ Landsat 7	
		2012-07-19-21:34	46/ Landsat 7	
2013	-	-	-	-
2014	-	-	-	-
2015	251/ VIIRS SUOMI	2015-08-03-07:34	12376/ Landsat 8-9	6,46
2016	22/ Terra	2016-08-27-07:45	2423/ Landsat 8-9	1,26
2017	-	-	-	-
2018	30 / J1 VIIRS C2	2018-04-18-09:17	8799/ Sentinel-2	4,59
2019	415/ MODIS, Terra	2019-07-23-09:06	1307/ Sentinel-2	3,14
		2019-07-23-17:06	1159/ Sentinel-2	
		2019-07-20-16:23	3546/ Sentinel-2	
2020	-	-	-	-
2021	184/ Aqua, Terra	2021-08-17-08:42	5662/ Sentinel-2	2,95
		2021-07-22-16:45	3015/ Sentinel-2	
2022- 2025	-	-	-	-

Сравнительный анализ динамики пожаров показал, что за этот же период на границах и прилегающих к заповеднику территориях общая площадь выгоревших участков составила 833 589 га, что более чем в 3,5 раза больше, чем на территории заповедника (таблица 3). При этом число термоточек было 4,3 раза выше. Самые крупные пожары на сопредельных территориях произошли в те же годы, что и на территории заповедника: в 2004 году (102 949 га) (рисунок 3) и в 2010 году (214 716 га). Это косвенно указывает на доминирующее влияние природных факторов на распространение огня в эти периоды.

Таблица 3. Сравнительная таблица динамики пожаров в 2000-2025 гг. в Наурзумском ГПЗ в пределах границы и на прилегающих территориях. Костанайская область, Казахстан

Год	Динамика пожаров на границах и прилегающих территориях		Динамика пожаров в пределах границы	
	Термоточки	Площадь, га	Термоточки	Площадь, га
1	2	3	4	5
2000 -2001	-	-	-	-
2002	296	25680	61	14044
		26363	-	1534
		82295	-	30490
2003	160	3383	22	3334
2004	256	1879	84	1832
		987	-	366
		88	-	88
		47611	-	4288
		102949	-	37331
2005	-	-	-	-
2006	295	4497	85	1277
		92487	-	14024
		12548	-	3557
		6145	-	6145
2007	-	-	-	-
2008	175	4576	3	959
2009	68	4429	33	4429
2010	635	214716	266	76170
		35601	-	6331
		19324	-	18389
2011	-	-	-	-
2012	53	270	17	270
		109	-	109
		46	-	46
2013	-	-	-	-
2014	-	-	-	-
2015	543	21048	251	12376
2016	272	2423	22	2423

1	2	3	4	5
2017	86	201	1	-
		686	-	-
		161	-	-
		1154	-	-
2018	67	12457	30	8799
2019	3037	1365	415	1307
		87453	-	1159
		10370	-	3546
2020	-	-	-	-
2021	332	6442	184	5662
		3846	-	3015
2022 -2025	-	-	-	-

В качестве примера приведен космический снимок Landsat-7 ETM+L2 от 2 октября 2004, где показаны выгоревшие площади в границах заповедника и на сопредельных землях (рисунок 3).

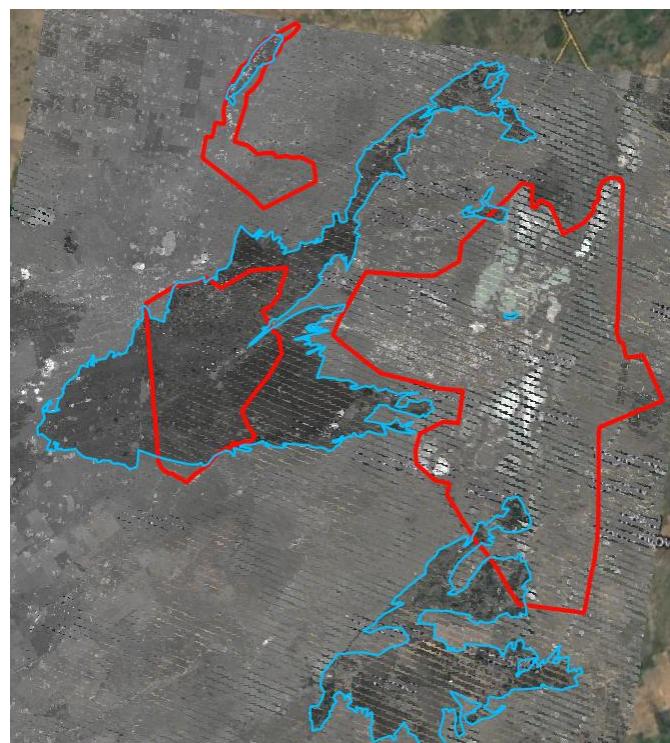


Рисунок 3. Космический снимок Landsat-7 ETM+L2 от 02.10.2004 г. Костанайская область
Условные обозначения: 1) красные линии - границы Наурзумского ГПЗ; 2) голубые линии - граница выгоревшей территории в результате пожара

На рисунке 4 визуализированы выгоревшие территории в пределах границ Наурзумского ГПЗ в 2000-2025 гг.

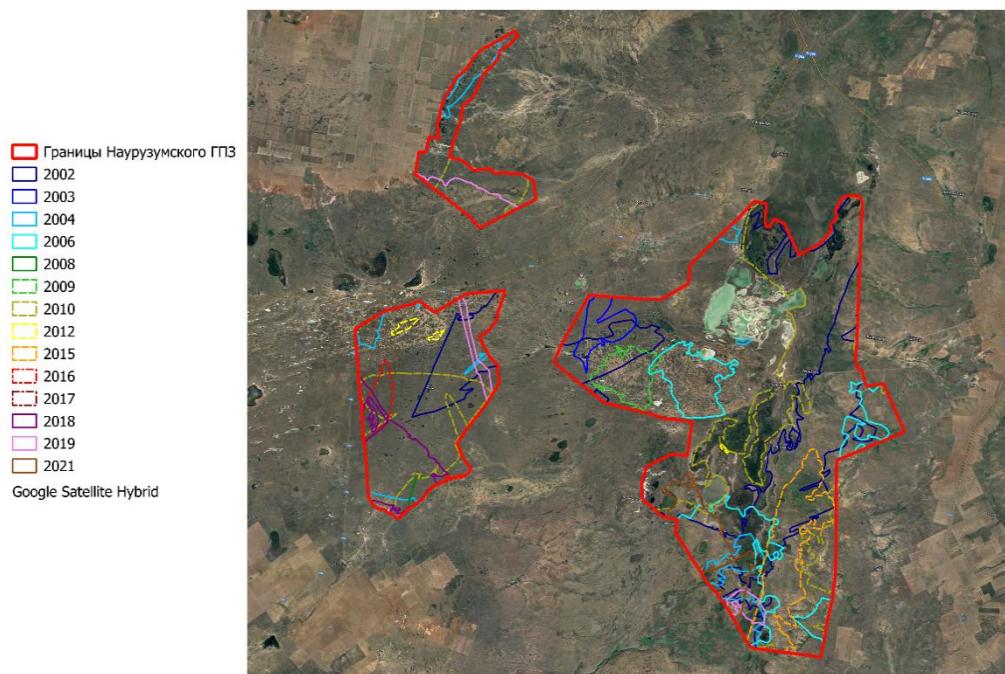


Рисунок 4. Выгоревшие территории в пределах границ Наурзумского ГПЗ в 2000-2025 гг. приведены на рисунке 4

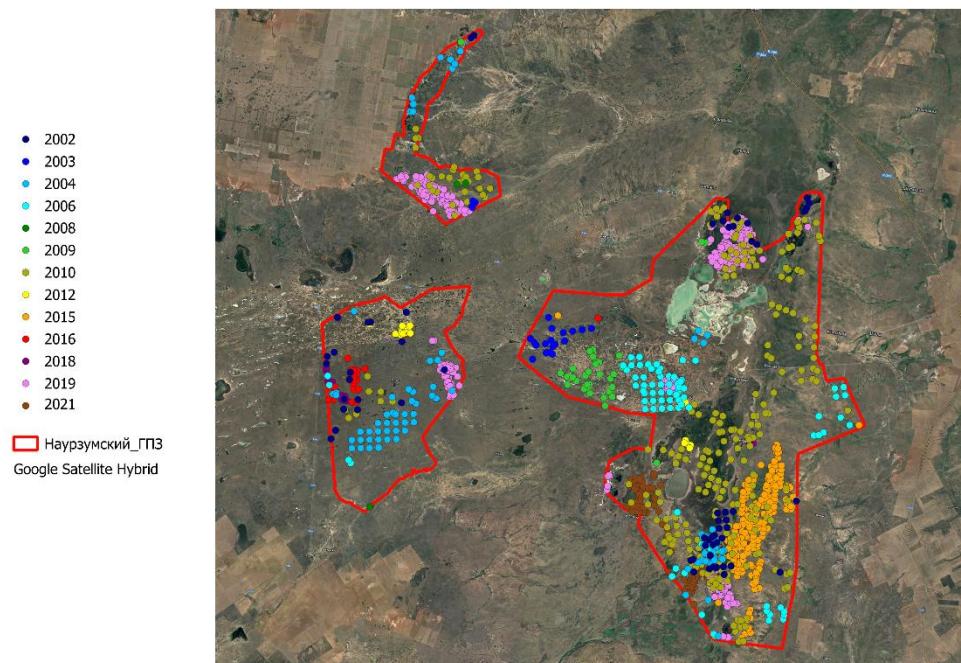


Рисунок 5. Термоточки возгораний на территории Наурзумского ГПЗ за период 2000-2025 гг

Анализ данных показал, что в течение 25 лет в Наурзумском ГПЗ и прилегающих территориях выгоревшая площадь составила 833 589 га, из них в пределах границ ГПЗ 236 300 га (рисунок 6).

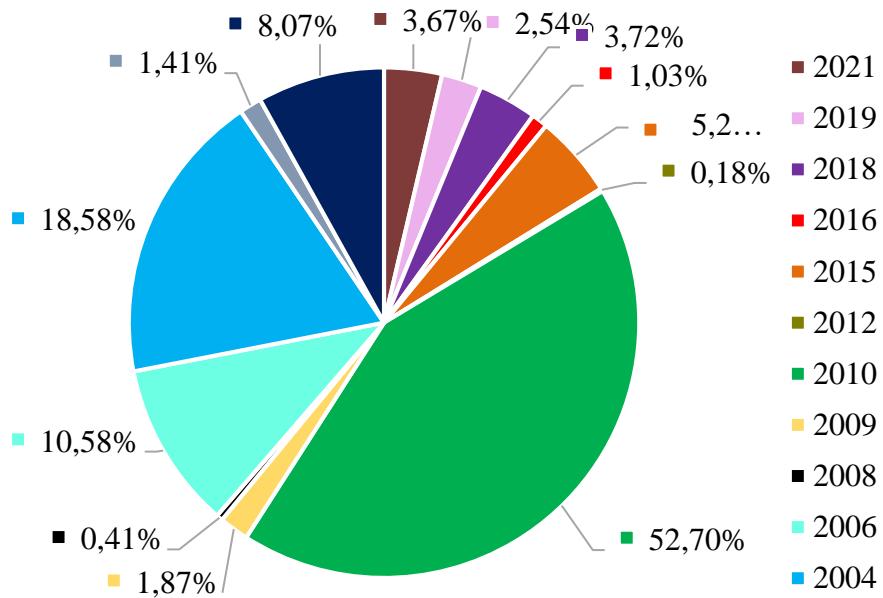


Рисунок 6. Сравнительная диаграмма выгоревших площадей (в %) на территории Наурзумского ГПЗ по годам (2000-2025 гг.)

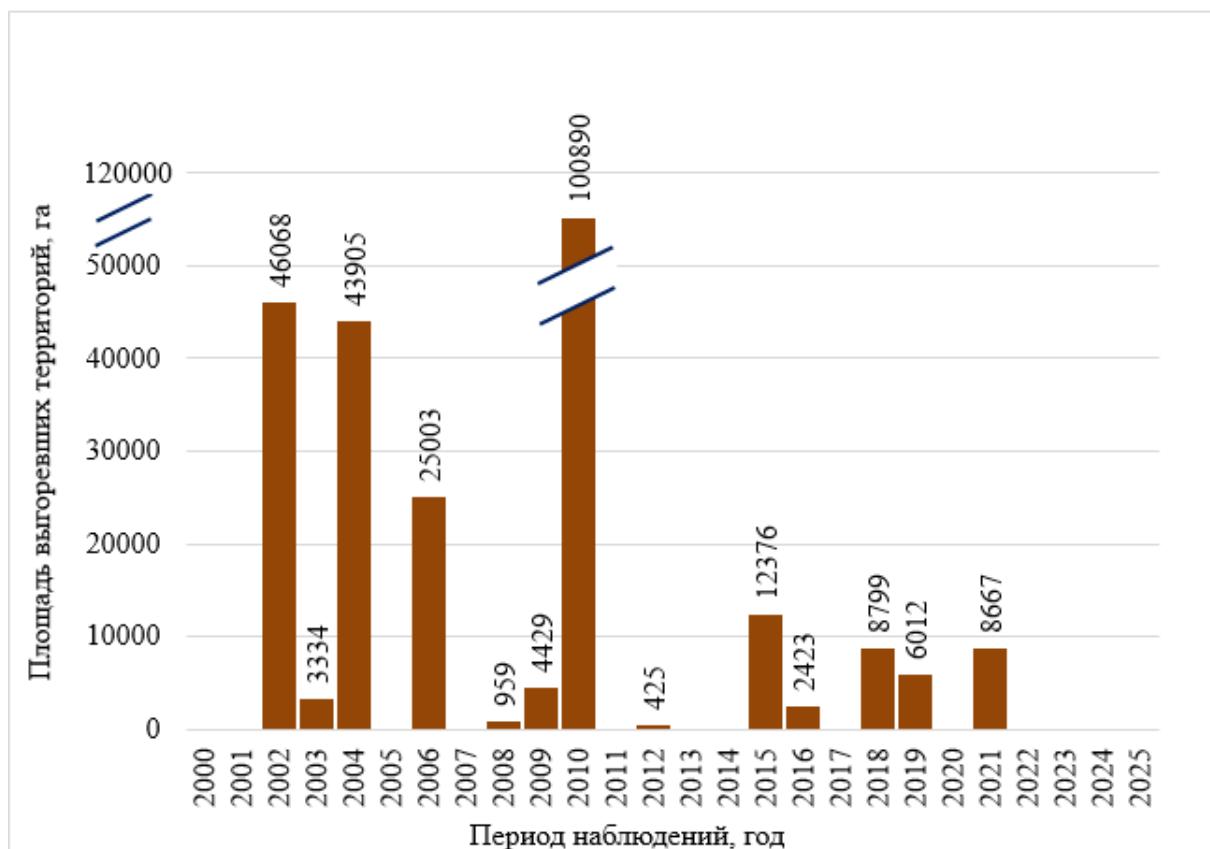


Рисунок 7. Сравнительная диаграмма площадей выгоревших территорий Наурзумского ГПЗ (2000-2025 гг)

Самые крупные площади выгоревших территорий по данным ДЗЗ отмечаются в 2002, 2004, 2006 и 2010 годах (рисунок 7), а с 2022 года на протяжении 4-х лет отсутствуют

выгоревшие территории, возможно, это связано и с активным проведением космического мониторинга гослесфонда в республиканском масштабе, когда ведется ежедневный контроль за термоточками и своевременным оповещением через геосервисы заинтересованных организаций и государственных органов.

4. Обсуждение

В последние десятилетия отмечается значительный рост научных исследований о пожарах и их последствиях (Keeley et al., 2022; Alvarez et al., 2024). Повышенный интерес к особо охраняемым природным территориям связан с тем, что стратегия в области сохранения биоразнообразия до 2030 г. призывает к расширению ООПТ не менее, чем на 30 % суши и моря (CBD, 2022). С появлением новых технологий появилась возможность дистанционного зондирования Земли и обработки данных космических исследований обширных территорий (Suresh Babu et al., 2024). Результаты проведенных исследований в регионе представительства Наурзумского государственного природного заповедника выявили значительные площади выгоревших участков в последнюю четверть века как внутри границ заповедника, так и на сопредельных территориях. Впервые на данной территории проведен анализ частоты и площадей пожаров в период 2000-2025 гг. с фиксацией термоточек и дат наблюдений. Полученные результаты согласуются с данными других авторов о необходимости современных подходов к оценке опасности и необходимости профилактики возгораний на особо охраняемых природных территориях (Kamp et al., 2016; Rachkovskaya et al., 2012; Bragina et al., 2018; Pavleychik et al., 2022). Особый интерес представляют данные о том, что в отдельные годы площадь пожаров достигала 52,7 % от общей площади заповедника, а на сопредельных территориях общая площадь возгораний была в 3,5 раза больше, чем на территории заповедника.

В настоящее время все больше научных исследований посвящено работам по прогнозу и моделированию пожаров на территории Казахстана (Chepashev et al., 2025; Babu et al., 2024; Babu et al., 2025).

В связи с этим необходимо провести аналогичные исследования и анализ на других природных территориях особого статуса для объективной оценки воздействий пирогенного фактора.

5. Заключение

Проведенный анализ показал, что ООПТ подвергаются опасности выгорания значительных площадей, угрожающих сохранению биологического разнообразия. Это требует дальнейшего анализа состояния пожарной опасности ООПТ и последствий возгораний в долгосрочном аспекте на основе современных технологий.

В целом частота и интенсивность пожаров увеличивается во всем мире, что обусловлено изменением климата и его региональными флуктуациями, изменениями в системах землепользования и сменой растительного покрова, неэффективными мерами борьбы с пожарами. В результате обширные участки различных ландшафтов повысили степень пожарной опасности. Повышение эффективности управления пожарами и их предотвращение, особенно на охраняемых природных территориях, их раннее предупреждение требуют применения новых стратегий и технологий экологических исследований.

Дистанционное зондирование Земли является одним из наиболее эффективных и доступных методов при оценке частоты и интенсивности пожаров при использовании спутниковых снимков, термальных точек и использования индекса возгорания (NBR-индекс).

На основе анализа данных ДЗЗ, полученных по материалам спутниковых миссий Landsat-7, Landsat-8, Landsat-9 и Sentinel-2, а также информации о термических аномалиях системы NASA FIRMS, выполнен многолетний анализ динамики пожаров. Установлено, что

за 25-летний период суммарная площадь выгоревших территорий в пределах Наурзумского ГПЗ и на прилегающих землях составила 833 589 га, из которых 236 300 га приходятся непосредственно на территорию заповедника.

6. Вспомогательный материал: нет вспомогательного материала.

7. Вклады авторов

Концептуализация - Т.Б., Г.К.; методология - Г.К.; программное обеспечение - А.Ш., Р.Ж.; валидация - Д.Ч.; формальный анализ - Т.Б., Е.М.; исследование - Г.К., Ч.Д.; ресурсы - Г.Ж.; курирование данных - Д.Ч.; написание - подготовка оригинального черновика - Г.К., А.Ш.; написание - рецензирование и редактирование - Ч.Д.; визуализация - А.Ш., Г.Ж.; руководство - Г.К.; администрирование проекта - Д.Ч.; получение финансирования - Д.Ч. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

8. Информация об авторах

Брагина, Татьяна - доктор биологических наук, профессор, Костанайский региональный университет им. А. Байтурсынова, ул. Тауелсіздік, 118, Костанай, Казахстан, 110000; главный научный сотрудник Азово-Черноморского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»), ул. Береговая, 21В, Ростов-на-Дону, Россия, 344002; tm_bragina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5568-9082>

Кабдулова, Гульжиян – кандидат географических наук, Ph.D., главный научный сотрудник, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, g.a.kabdulova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7738-7624>

Чепашев, Даникер – заведующий лабораторией, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, d.chepashev@ionos.kz, <https://orcid.org/0000-0002-8417-3990>

Жусупова, Гульсезим - младший научный сотрудник, докторант, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, zhussupova@ionos.kz, <https://orcid.org/0009-0009-5330-9697>

Шингужинов, Арсен – инженер, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, a.shinguzhinov@ionos.kz, <https://orcid.org/0009-0003-2024-6104>

Жилкибаев, Руслан - инженер, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, zhilkibayev@ionos.kz, <https://orcid.org/0009-0006-2057-9197>

Максимкина, Елизавета - младший научный сотрудник, ТОО «Институт ионосферы», Садоводческое товарищество «Ионосфера», 117, Алматы, Казахстан, 050020, maximkina.y@ionos.kz, <https://orcid.org/0009-0007-6925-1202>

9. Финансирование: Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан в рамках ПЦФ BR24992865 «Разработка многофункциональной системы наземно-космического мониторинга и раннего предупреждения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» на 2024-2026 годы.

10. Благодарности: нет

11. Конфликты интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

12. Список литературы

1. Alvarez, A. J., Lecina-Diaz, E., Batllori, A., Duane, L., Brotons, L., & Retana, J. (2024). Spatiotemporal patterns and drivers of extreme fire severity in Spain for the period 1985–2018. *Agricultural and Forest Meteorology*, 358, 110185. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110185>
2. Bragina, T. M. (2009). Naurzum ecological network (history of study, current status, and long-term conservation of biological diversity in the region of representation of a UNESCO World Natural Heritage site (Naurzumskaya ekologicheskaya set' (istoriya izucheniya, sovremennoe sostoyanie i dolgosrochnoe sohranenie biologicheskogo raznoobraziya regiona predstavitel'stva prirodnogo ob'ekta Vsemirnogo naslediya YUNESKO) in Russian). Kostanay printing (Kostanaj poligrafiya). ISBN 978-601-7109-10-3.
3. Bragina, T. M., Nowak, A., Vanselow, K. A., & Wagner, V. (2018). *Grasslands of Kazakhstan and Middle Asia: The ecology, conservation and use of a vast and globally important area*. In V. R. Squires, J. Dengler, H. Feng, & L. Hua (Eds.), *Grasslands of the world* (pp. 139–167). CRC Press. <https://www.crcpress.com/link/link/p/book/9781498796262>
4. Bragina, T. M. (2021). Composition and structure of soil invertebrate communities (mesofauna) of the Naurzum Nature Reserve (Sostav i struktura soobshchestv pochvennyh bespozvonochnyh (mezofauna) Naurzumskogo zapovednika in Russian). Kostanay printing (Kostanaj poligrafiya). ISBN 978-601-7640-54-5.
5. CBD (Convention on Biological Diversity). (2022). *Kunming-Montreal global biodiversity framework*. <https://www.cbd.int/doc/c/e6d3/cd1d/daf663719a03902a9b116c34/cop-15-1-25-en.pdf>
6. Chepashev, D., Nurakynov, S., Sharma, D., Sydyk, N., & Kabdulova, G. (2025). Mapping fire hazard potential in Kazakhstan. *International Journal of Wildland Fire*, 34(9), WF24232. <https://doi.org/10.1071/WF24232>
7. Duane, A., Castellnou, M., & Brotons, L. (2021). Towards a comprehensive look at global drivers. *Climatic Change*, 165, 43. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03066-4>
8. Galaktionova, L. V., & Vasilchenko, A. V. (2019). Sustainability of soils to fires. *Nature Conservation Research*, 4(Suppl. 2), 98–103. <https://doi.org/10.24189/ncr.2019.041>
9. He, T., Lamont, B. B., & Pausas, J. G. (2019). Fire as a key driver of Earth's biodiversity. *Biological Reviews*, 94(6), 1983–2010. <https://doi.org/10.1111/brv.12544>
10. Jolly, C. J., Dickman, C. R., Doherty, T. S., van Eeden, L. M., Geary, W. L., Legge, S. M., Woinarski, J. C. Z., & Nimmo, D. G. (2022). Animal mortality during fire. *Global Change Biology*, 28(6), 2053–2065. <https://doi.org/10.1111/gcb.16044>
11. Jones, M. W., Abatzoglou, J. T., Veraverbeke, S., Andela, N., Lasslop, G., Forkel, M., Smith, A. J. P., Burton, Ch., Betts, R. A., van der Werf, G. R., Sitch, S., Canadell, J. G., Santin, C., Kolden, C., Doerr, S. H., & Le Quere, C. (2022). Global and regional trends and drivers of fire under climate change. *Reviews of Geophysics*, 60(2), e2020RG000726. <https://doi.org/10.1029/2020RG000726>
12. Kabdulova, G., Kabzhanova, G., Baktybekov, K., Aimbetov, A., & Aligazhiyeva, L. (2019). *Satellite remote sensing for monitoring of the forest resources of Kazakhstan*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering. Conference paper. <https://doi.org/10.1117/12.2533563>
13. Kabdulova, G., Meiranova, T., Aimbetov, A., Kabzhanova, G., & Baktybekov, K. (2020). *GIS capabilities in monitoring of forest logging and assessment of burned areas based on Earth remote sensing data*. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Conference paper. <https://doi.org/10.1117/12.2570965>
14. Kamp, J., Bhagwat, T., Hölzel, N., & Smelansky, I. (2025). Collapse and recovery of livestock systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 380(1874). <https://doi.org/10.1098/rstb.2024.0062>

15. Kamp, J., Koshkin, M. A., Bragina, T. M., Katzner, T. E., Milner-Gulland, E. J., Schreiber, D., Sheldon, R., Shmalenko, A., Smelansky, I., Terraube, J., & Urazaliev, R. (2016). Persistent and novel threats. *Biodiversity and Conservation*, 25(12), 2521–2541. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1083-0>
16. Keeley, J. E., & Pausas, J. G. (2022). Evolutionary ecology of fire. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 53, 203–225. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102320-095612>
17. Leys, B. A., Marlon, J. R., Umbanhowar, C., & Vannière, B. (2018). Global fire history of grassland biomes. *Ecology and Evolution*, 8(17), 8831–8852. <https://doi.org/10.1002/ece3.4394>
18. Naurzum State Nature Reserve (Naurzumsky Zapovednik in Russian). (2016). Scientific activity (Nauchnaya deyatel'nost'). <https://naurzum.kz/ru/o-zapovednike/nauchnaya-deyatelnost>
19. Pavleychik, V. M., Chibilev, A. A., & Padalko, Y. A. (2022). Pyrological situation in the steppes of northern Eurasia. *Doklady Earth Sciences*, 505(1), 591–597. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22080141>
20. Rachkovskaya, E. I., & Bragina, T. M. (2012). Steppes of Kazakhstan. In M. Werger & M. van Staalduinen (Eds.), *Eurasian steppes* (pp. 103–148). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3886-7_3
21. Resco de Dios, V., Cunill Camprubí, À., Campos-Arceiz, A., Clarke, H., He, Y., Zveushe, O. K., Domènech, R., Ying, H., & Yao, Y. (2025). Protected areas show substantial. *Fire*, 8, 405. <https://doi.org/10.3390/fire8100405>
22. Sayedi, S. S., Abbott, B. W., Vanniere, B., Leys, B., Colombaroli, D., Romera, G. G., Stowinski, M., Aleman, J. C., Blarquez, O., Feurdean, A., Brown, K., Aakala, T., Alenius, T., Allen, K., Andric, M., Bergeron, Y., Biagioli, S., Bradshaw, R., Bremond, L., Brisset, E., Brooks, J., Brugger, S. O., Brussel, Th., Cadd, H., Cagliero, E., Carcaillat, Ch., Carter, V., Catry, F. X., Champreux, A., Chaste, E., Chavardes, R. D., Chipman, M., Conedera, M., Connor, S., Constantine, M., Mustaphi, C. C., Dabengwa, A. N., Daniels, W., De Boer, E., Dietze, E., Estrany, J., Fernandes, P., Finsinger, W., Flantua, S. G. A., Fox-Hughes, P., Gaboriau, D. M., Gayo, E. M., Girardin, M. P., Glenn, J., Gluckler, R., Gonzalez-Arango, C., Groves, M., Hamilton, D. S., Hamilton, R. J., Hantson, S., Hapsari, K. A., Hardiman, M., Hawthorne, D., Hoffman, K., Inoue, J., Karp, A. T., Krebs, P., Kulkarni, Ch., Kuosmanen, N., Lacourse, T., Ledru, M.-P., Lestienne, M., Long, C., Lopez-Saez, J. A., Loughlin, N., Niklasson, M., Madrigal, J., Maezumi, S. Y., Marcisz, K., Mariani, M., McWethy, D., Meyer, G., Molinari, Ch., Montoya, E., Mooney, S., Morales-Molino, C., Morris, J., Moss, P., Oliveras, I., Pereira, J. M., Pezzatti, G. B., Pickarski, N., Pini, R., Rehn, E., Remy, C. C., Revelles, J., Rius, D., Robin, V., Ruan, Y., Rudaya, N., Russell-Smith, J., Seppa, H., Shumilovskikh, L., Sommers, W. T., Tavsanoglu, C., Umbanhowar, Ch., Urquiaga, E., Urrego, D., Vachula, R. S., Wallenius, T., You, Ch., & Daniau, A.-L. (2024). Assessing changes in global fire regimes. *Fire Ecology*, 20(1), 18. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00237-9>
23. Shi, K., & Touge, Y. (2022). Characterization of global wildfire burned area spatiotemporal patterns. *Scientific Reports*, 12(1), 644. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04726-2>
24. Suresh Babu, K. V., Singh, S., Kabdulova, G., Kabzhanova, G., & Baktybekov, G. R. (2024). Burned area mapping based on KazEOSat-1. *Environmental Sciences Proceedings*, 29(1), 82. <https://doi.org/10.3390/ECRS2023-16841>
25. Suresh Babu, K. V., Singh, S., Kabdulova, G., & Kabzhanova, G. (2025). A novel framework for fire risk assessment in Kazakhstan: integrating machine learning and remote sensing. *Front. For. Glob. Change*, Sec. Fire and Forests, 8. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1680856>

Спутниктік мәліметтерді пайдалана отырып, Наурызым қорығы мен оған жақын аумақтардағы өрт динамикасын талдау

Татьяна Брагина, Гульжиян Кабдулова, Даникер Чепашев, Гульсезим Жусупова, Арсен Шингужинов, Руслан Жилкибаев, Елизавета Максимкина

Аннотация. Өрт экожүйелердің қысқа мерзімді және ұзак мерзімді өзгерістеріне, соның ішінде ерекше қорғалатын табиғи аумақтарға да әсер ететін ең күшті факторлардың бірі болып табылады, Өрттің саны мен қарқындылығы жерді игеру, климаттың өзгеруі, халықтың әлеуметтік-экономикалық жағдайы сияқты факторлардың әсерінен айтарлықтай артты.

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты – Наурызым мемлекеттік табиғи қорығы (2000–2025 жж.) және оған іргелес аумақтар шегінде 2000-2025 жылдар аралығындағы өрттердің жиілігі мен олардың көлемін ұзак мерзімді талдау.

Бұл зерттеудің маңыздылығын арттыратын жайт – Наурызым мемлекеттік табиғи қорығының ЮНЕСКО-ның Бүкіләлемдік мұра нысаны «Сарыарқа – Солтүстік Қазақстанның далалары мен көлдері» құрамына енүі. Зерттеу жұмыстарын орындау үшін Landsat 8 және Sentinel-2 дерекқорларындағы спутниктік суреттерді өндөудің заманауи технологиялары қолданылды. Термалды нұктелер, бақылау күндері, өрт аудандары ескерілді.

Алғаш рет 2000–2025 жылдар аралығында 29 өрттің тіркелгені, олардың жалпы ауданы 833 589 гектарды құрағаны, оның ішінде қорық аумағында 236 300 гектар болғаны көрсетілді.

Өрт салдарын азайту мақсатында табиғи мұраның аса құнды нысандарын заманауи қашықтықтан зондтау технологияларын пайдалана отырып, тұрақты бақылау мен мониторинг жүргізу арқылы профилактикалық шаралар ұсынылады.

Зерттеудің нәтижелері ұзақ уақыт аралығында қорықтың биоалуантұрлілігіне әсер ететін өрт саны мен олардың аудандарын анықтауға мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: қашықтықтан зондтау; спутниктік зерттеулер; өрттер; Наурызым қорығы; іргелес аумақтар; Қостанай облысы.

Analysis of fire dynamics in the Naurzum Nature Reserve and adjacent areas using satellite data

Tatyana Bragina, Gulzhiyan Kabdulova, Daniker Chepashev, Gulsezim Zhusupova, Arsen Shinguzhinov, Ruslan Zhilkibaev, Yelizaveta Maximkina

Abstract: Wildfires are one of the major drivers of short-term and long-term ecosystem change, including within protected natural areas. The number and intensity of fires have increased significantly due to land use expansion, climate change, and the socio-economic conditions of local populations.

The main objective of this study was a long-term analysis (2000–2025) of fire frequency and burned area within the boundaries of the Naurzum State Nature Reserve (2000–2025) and in the adjacent territories.

The importance of this research is highlighted by the high conservation status of the Naurzum State Nature Reserve as a part of the UNESCO World Heritage Site “Saryarka – Steppe and Lakes of Northern Kazakhstan.” Modern satellite image analysis technologies and databases (Landsat 8 and Sentinel-2) were used to conduct the study. Thermal hotspots, observation dates, and burned areas were taken into account.

For the first time, it was demonstrated that during the period from 2000 to 2025, a total of 29 wildfires occurred, with a combined burned area of 833,589 ha, of which 236,300 ha were within the reserve's boundaries.

To minimize the consequences of wildfires, preventive measures are proposed through continuous monitoring and assessment of valuable natural heritage areas using modern Earth remote sensing technologies.

The results of the study include the number and extent of burned areas that have influenced the biodiversity of the reserve over an extended period.

Keywords: remote sensing; satellite research; wildfires; Naurzum Reserve; adjacent territories; Kostanay Region.