



Научная статья

ОЦЕНКА УЩЕРБА И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ РЕЗЕРВАТА «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» ПОСЛЕ КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПОЖАРА 2023 ГОДА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Назым Шогелова^{1*}, Сергей А. Сартин²

¹ Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры, Алматы, Казахстан; nazymshogelova@gmail.com (НИИ)

² Северо-Казахстанский университет имени Манаша Козыбаева; Петропавловск, Казахстан; sasartin@ku.edu.kz (САС)

*Автор корреспонденции: Назым Шогелова, nazymshogelova@gmail.com

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

дистанционное зондирование, лесные пожары, вегетационные индексы, восстановление экосистемы

АБСТРАКТ

Катастрофический природный пожар, произошедший 8 июня 2023 года в государственном лесном природном резервате «Семей-Орманы», охватил более 60 000 гектаров лесных и степных экосистем Абайской области, вызвав беспрецедентные разрушения. Целью настоящего исследования является оценка ущерба и мониторинг восстановления экосистемы в течение года после пожара с использованием данных дистанционного зондирования Landsat и расчёта вегетационных индексов NDVI, NBR, dNBR и NDMI. Анализ временного ряда спутниковых снимков за май 2023...июль 2024 гг. позволил выделить зоны горения, определить тяжесть воздействия и отследить начальные этапы регенерации. Результаты показали резкое снижение NDVI и NBR, сопровождаемое устойчиво низкими значениями NDMI, указывающими на деградацию влагонакопительных свойств экосистемы. Несмотря на частичное восстановление травяного покрова, полное возвращение к допожарному состоянию потребует десятилетий, особенно в условиях климатической аридности региона. Полученные данные подчёркивают ценность интеграции ГИС- и ДЗЗ-технологий для оценки воздействия природных возмущений и могут быть использованы в системе экологического мониторинга и управления особо охраняемыми природными территориями.

По статье:

Получено: 16.07.2025

Пересмотрено: 05.09.2025

Принято: 25.09.2025

Опубликовано: 01.10.2025

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема крупных природных пожаров в последние десятилетия приобрела глобальный характер. Спутниковые наблюдения фиксируют рост частоты и интенсивности лесных пожаров во всём мире, что обуславливает острую необходимость эффективных методов мониторинга и оценки их последствий [1]. Ежегодно в разных регионах планеты выгорают миллионы гектаров лесов, сопровождаясь значительным ущербом для экосистем и окружающей среды [2]. Изменение климата и человеческий фактор приводят к учащению экстремальных пожаров, вызывающих деградацию растительного покрова, утрату биоразнообразия и выбросы углерода в атмосферу [3]. Такие пожары оказывают долгосрочное воздействие на биогеохимические процессы – например, происходит массовая потеря биомассы и высвобождение углерода, что вносит вклад в изменение локального и глобального климата [3].

Одно из самых масштабных возгораний последних лет произошло в Казахстане: природный пожар 8 июня 2023 года в государственном лесном природном резервате (ГЛПР) «Семей-Орманы» стал крупнейшим лесным пожаром в истории страны и одним из крупнейших в мире за указанный период [5]. За считанные дни огонь охватил свыше

60 000 га сосновых лесов и степных угодий. Трагедия унесла жизни 14 работников лесной охраны, что привлекло внимание к проблемам обеспечения пожарной безопасности лесов. Пожар вызвал резкую деградацию уникальной экосистемы ленточных боров Прииртышья, сопровождающуюся опустошением растительного покрова, гибелью фауны и разрушением почвенного слоя. Подобные крупные возгорания приводят к радикальным изменениям в экосистемах: нарушаются биогеохимические циклы (углерода, азота и др.), ухудшается качество почв, повышается эрозия и изменяется гидрологический режим территории.

Для цитирования:

Шогелова Н., Сартин С.
Оценка ущерба и
восстановление экосистемы
резервата «Семей-Орманы»
после катастрофического
пожара 2023 года на основе
дистанционного
зондирования //
Гидрометеорология и
экология, 118 (3), 2025, 141-
151.

Оценка ущерба от таких катастрофических пожаров и мониторинг восстановления экосистем имеют важное научное и практическое значение. В ситуациях, когда наземные обследования затруднены из-за масштабов и опасности территории, на передний план выходит применение методов дистанционного зондирования Земли. Современные спутниковые средства наблюдения позволяют оперативно и точно картографировать зоны горения и степень ущерба, дополняя и расширяя возможности традиционных наземных обследований [6]. Особенно критично это для особо охраняемых природных территорий (таких как резерваты и национальные парки), где своевременная объективная оценка последствий пожара необходима для принятия мер по восстановлению и сохранению биоразнообразия. Анализ спутниковых снимков признан ценным инструментом для определения периметра пожара, выделения границ выгоревших участков и оценки градаций тяжести горения; такая информация облегчает процесс планирования восстановительных работ и позволяет оценить воздействие пожара на последующее состояние растительности [7].

Цель исследования – оценить ущерб экосистеме ГЛПР «Семей-Орманы» в результате пожара 8 июня 2023 года с использованием данных дистанционного зондирования Земли и методов геоинформационного анализа. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

- (1) с помощью спутниковых снимков Landsat до и после пожара определить площадь и границы выгоревших территорий;
- (2) количественно оценить степень повреждения растительного покрова на основе спектральных индексов, характеризующих пожар (Normalized Burn Ratio, NBR и его дифференциальная версия dNBR) и состояние растительности (NDVI) и влаги (NDMI);
- (3) проанализировать динамику восстановления экосистемы в течение года после пожара и спрогнозировать тенденции дальнейшей регенерации лесов.

Пожар в «Семей-Орманы» предоставляет уникальный кейс для исследования, поскольку он затронул обширный массив ленточного соснового бора в полувлажной зоне. Эти леса уязвимы к огню из-за преобладания хвойных деревьев (сосна обыкновенная), не обладающих способностью к корневому прорастанию после пожара, и наличия плотного сухого травяного покрова. Анализ последствий данного пожара с использованием спутниковых данных позволит не только оценить текущий урон, но и сравнить скорость восстановления с аналогичными случаями в других регионах.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки последствий пожара использованы мультиспектральные космические снимки Landsat (спутники Landsat-8/9 OLI) с пространственным разрешением 30 м, полученные на указанные контрольные даты (весна 2023 – лето 2024 гг.). Предварительно снимки прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию, что позволяет сопоставимо анализировать показатели отражательной способности поверхности до и после пожара. В качестве основного метода анализа выбран расчёт информативных спектральных индексов, широко применяемых в мониторинге последствий лесных пожаров [8]. Эти индексы чувствительны к изменениям в состоянии растительности и являются ключевыми для количественной оценки ущерба и последующего восстановления экосистемы на основе спутниковых данных.

В работе рассчитаны следующие индексы:

1) Normalized Burn Ratio (NBR) – нормированное отношение отражательной способности в ближнем инфракрасном (NIR) и коротковолновом инфракрасном диапазонах (SWIR2). Индекс NBR специально разработан для детектирования зон горения: здоровая растительность характеризуется высоким отражением в NIR и низким – в SWIR (благодаря содержанию влаги), тогда как в результате пожара наблюдается обратная картина (снижение отражения в NIR из-за потери зелёной массы и рост отражения в SWIR из-за оголения почвы, золы и сухих остатков) [9]. Таким образом, значения NBR резко уменьшаются на выгоревших участках, вплоть до отрицательных величин, что чётко указывает на потерю живой биомассы [10]. Индекс NBR рассчитывался для каждого снимка; высокие положительные значения NBR соответствуют плотному зеленому покрову, а низкие и отрицательные – обожжённой или оголённой поверхности.

2) Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) – дифференциальный NBR, определяемый как разность между значениями NBR до пожара и после пожара для каждого пикселя. Этот индекс широко используется как показатель тяжести (severity) пожара [11]. Предполагается, что чем сильнее снизился NBR в результате пожара, тем более интенсивное воздействие испытала экосистема [12]. В данной работе dNBR вычислен для пары снимков 6 мая...15 июня 2023 г., то есть для допожарного и сразу послепожарного состояния. По матрице dNBR выполнено пороговое зонирование территории по классам ущерба: низкая степень повреждения, умеренная, высокая и чрезвычайно высокая (практически полная деградация покрова). Пороговые значения выбирались на основе литературы и визуального анализа изображений (традиционно сильно выгоревшие территории соответствуют $dNBR > 0.66...0.75$, умеренно – порядка $0.3-0.5$, низкая – < 0.2 , но границы могут корректироваться под конкретные данные). dNBR позволяет количественно оценить долю площади, пришедшейся на разные степени ущерба, и выделить наиболее пострадавшие участки для приоритетного восстановления.

3) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормированный дифференциальный индекс растительности, вычисляемый по отражению в ближнем ИК и красном диапазонах: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$. NDVI – один из самых распространенных индикаторов, отражающих долю зелёной биомассы, состояние и продуктивность растительного покрова. Высокие значения NDVI (> 0.5) соответствуют густой здоровой растительности, низкие (близкие к 0) – разреженной или поврежденной растительности, отрицательные – отсутствию зелёного покрова (оголенный грунт, гарь, вода). В контексте пожаров NDVI полезен для мониторинга восстановления, показывая возврат зеленой массы на выгоревших территориях по мере прорастания трав, кустарников и сеянцев деревьев. Известно, что NDVI может отражать ранние стадии восстановления за счёт чувствительности к травянистой растительности, даже если древостой ещё не восстановился [13]. В нашем анализе NDVI рассчитан для всех четырёх дат, что позволяет проследить динамику: падение NDVI непосредственно после пожара и его постепенный рост через 6 недель и год.

4) Normalized Difference Moisture Index (NDMI) – нормированный индекс влажности, рассчитываемый по отражению в ближнем инфракрасном (NIR) и среднем инфракрасном (SWIR1) диапазонах: $NDMI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1)$. NDMI характеризует содержание влаги в растительности и почве; он высок при наличии здоровой, увлажненной растительности и снижается при потере влаги. После пожара NDMI резко падает на выгоревших участках вследствие потери живой растительности и влаги, а также иссушения почвы. Данный индекс дополняет NDVI, позволяя оценить, насколько сильно снизилась влажность экосистемы и как она восстанавливается по мере зарастания территории. В послепожарном мониторинге NDMI, наряду с NDVI и NBR, считается информативным показателем для отслеживания регенерации лесов [14]. В работе NDMI также вычислен для всех дат и сопоставлен с динамикой NDVI.

Все расчёты индексов и последующая обработка данных выполнены в ГИС-среде (ArcGIS) с использованием инструментов анализа растров. На каждом этапе осуществлялась верификация результатов: визуальное сравнение цветокомпонитных изображений до/после пожара с картами индексов, наложение масок выгоревших участков на снимки и т. д. Выделенная по dNBR зона пожара и классы тяжести ущерба были проанализированы статистически (площадь каждого класса, процент от общей выгоревшей площади). Для оценки восстановления рассчитаны разности индексов NDVI и NDMI между допожарным состоянием и каждым последующим сроком (15.06.2023, 26.07.2023, 12.07.2024), а также темпы изменения этих индексов во времени. Дополнительно построены графики изменения средних значений NDVI, NDMI и NBR по выгоревшей территории на каждом этапе, что позволяет наглядно оценить тренд восстановления. На основе одного года наблюдений предпринята попытка прогноза дальнейшей динамики: экстраполяцией текущей скорости роста NDVI можно оценить, сколько времени потребуется для возвращения к допожарным значениям (спектральное восстановление). В перспективе планируется уточнить прогноз с использованием более длительного временного ряда и, возможно, привлечения данных за последующие годы. Литературные источники указывают, что полное восстановление NDVI и других спектральных индексов, отражающих продуктивность и биомассу, занимает от 8 до 20 лет в зависимости от типа растительности, интенсивности горения и климатических условий.

Bright et al. [15] исследовали восстановление NBR в западной Северной Америке после лесных пожаров. Через 5 лет восстановление составило 30...44 %, через 10 лет — 47...72 %, через 13 лет — 54...77 %. Полная регенерация NBR в зависимости от тяжести пожара заняла 9...16 лет, а в некоторых случаях даже более двух десятилетий. В обзоре [16] восстановления экосистем после пожаров в бореальных регионах подчёркивают необходимость десятилетнего периода мониторинга, причём временные ряды Landsat являются ключевым инструментом для оценки успеха восстановления. Применили спутниковые методы (включая SIF) в бореальных лесах Северо-Восточного Китая и показали, что биомасса и фотосинтетическая активность (через SIF) восстанавливаются в течение 6...10 лет, но полное восстановление занимает больше 20 лет [17].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Постпожарная динамика вегетационных и биофизических характеристик экосистемы была проанализирована на основе временных срезов спутниковых данных за четыре ключевых периода: допожарное состояние (6 мая 2023 г.), сразу после пожара (15 июня 2023 г.), в середине вегетационного сезона (26 июля 2023 г.) и спустя один год после пожара (12 июля 2024 г.). Для оценки состояния растительного покрова использовались три индекса: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NBR (Normalized Burn Ratio) и NDMI (Normalized Difference Moisture Index).

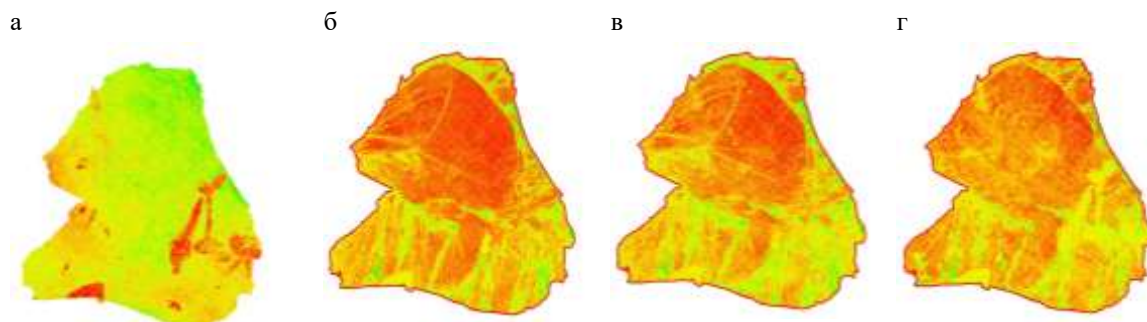


Рисунок 1. Пространственное распределение NDVI: а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.

До пожара (рис. 1, а) среднее значение NDVI по исследуемой территории составляло $+0,04$, что соответствует низкой плотности зеленой биомассы, типичной для раннего весеннего периода или разреженного полога. После воздействия огня (рис. 1, б) NDVI резко снизился до $-0,43$, указывая на значительное разрушение вегетативного покрова и обугливание надземной биомассы. К 26.07.2023 (рис. 1, в) наблюдается частичное восстановление травянистого яруса, выраженное в увеличении NDVI до $-0,39$. Спустя год после пожара (рис. 1, г) среднее значение NDVI составило $-0,25$, что свидетельствует о продолжающемся, но медленном восстановлении растительности. Абсолютный прирост NDVI за первый постпожарный год составил 0.18 единицы, что эквивалентно восстановлению приблизительно 38% утраченного индекса.

Среднее значение индекса NBR до пожара составляло $+0,08$, отражая наличие умеренно развитой растительности с относительно высоким содержанием хлорофилла и влаги. После пожара индекс снизился до $-0,34$, что типично для сильно выгоревших участков. В последующем наблюдается незначительное улучшение: к июлю 2023 г. — до $-0,25$, и спустя год (июль 2024 г.) — до $-0,28$. Таким образом, изменение NBR за год практически отсутствует, что свидетельствует о крайне низком восстановлении древесного компонента экосистемы (рис. 2).

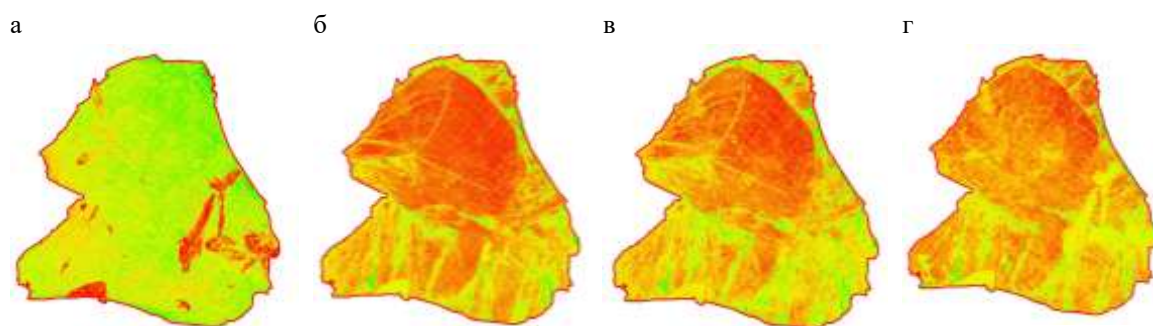


Рисунок 2. Пространственное распределение NBR: а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.

На основе разности допожарного и послепожарного NBR был рассчитан индекс dNBR. Среднее значение dNBR составило $+0,42$, что соответствует классу «умеренно-низкой тяжести» по шкале классификации USGS. Однако пространственное распределение dNBR указывает на значительное варьирование по территории: свыше 30% площади отнесены к категории «высокой тяжести» ($dNBR > 0,66$), около 20% — к «умеренно-высокой тяжести» ($0,44...0,66$), и только 12...14% — к низкой или отсутствующей степени повреждения.

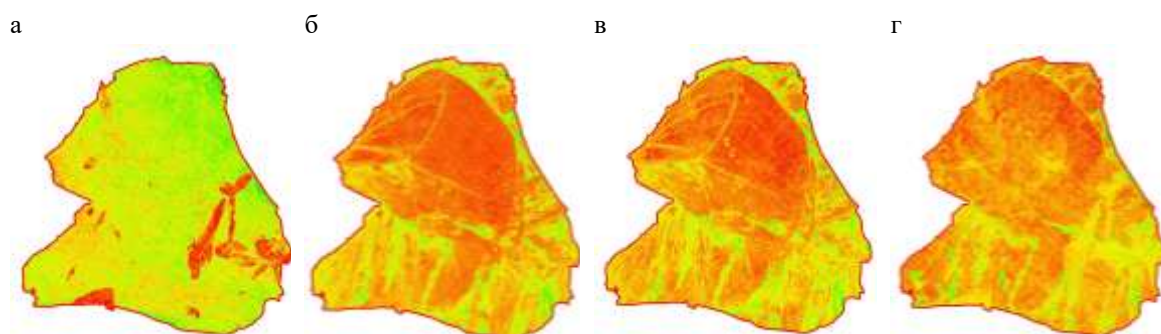


Рисунок 3. Пространственное распределение NDMI а) 05.06.2023 г., б) 15.06.2023 г., в) 26.07.2023 г., г) 12.07.2024 г.

Индекс NDMI (рис.3) до пожара составлял $+0.02$, что указывает на нейтральное состояние увлажнённости покрова. После прохождения огня NDMI снизился до -0.33 , что отражает резкое снижение содержания влаги в биомассе и почве. В июле 2023 г. индекс оставался на уровне -0.31 , и спустя год (июль 2024 г.) изменился незначительно — до -0.314 . Таким образом, восстановление водного баланса в экосистеме не произошло. Стабильность отрицательных значений NDMI в течение года свидетельствует о длительном постпожарном дефиците влаги, что, вероятно, связано как с потерей растительного покрова, так и с климатической аридностью региона.

Темпы восстановления рассчитывались как доля от утраченного значения, возвращённая к определённому моменту времени. За первый год после пожара NDVI восстановился на 38%, тогда как NBR продемонстрировал лишь 14% восстановления, а NDMI практически остался неизменным. Это указывает на преимущественное восстановление травянистого и кустарникового яруса при отсутствии существенной регенерации древостоя и увлажнённости.

Полученные результаты указывают на значительную деградацию экосистемы в результате катастрофического пожара 8 июня 2023 года. Резкое снижение значений всех трех вегетационных индексов подтверждает высокий уровень воздействия на биомассу и влагонакопительные свойства лесной подстилки и почвенного покрова. При этом восстановление индексов наблюдается преимущественно по показателю NDVI, тогда как NBR и NDMI демонстрируют устойчиво низкие значения на протяжении всего года наблюдений.

Ранее опубликованные исследования [18] показали, что восстановление NDVI после крупных пожаров в умеренных и бореальных зонах может занимать от 7 до 15 лет в зависимости от интенсивности пожара и климатических условий. В частности, Morgesi и соавторы [8] указывают, что при сильной интенсивности горения NDVI восстанавливается до предшествующих уровней в течение 10...12 лет, а при умеренной — за 6...8 лет. В работе Ропомарев и соавторов [19], посвященной восстановлению таёжных лесов Сибири, также указано, что NDVI возвращается к фоновым значениям в среднем через 9 лет после пожара. Это согласуется с прогнозируемыми темпами восстановления в исследуемом районе, если принять годовой прирост NDVI за 0.18: полное восстановление может занять около 3.5...4 лет для травостоя и более 10 лет для древесного яруса.

На фоне частичного восстановления NDVI, устойчиво низкие значения NDMI свидетельствуют о глубоком нарушении водного баланса экосистемы. Как показано в работе Хи и соавторы [20], длительный дефицит влаги после пожаров может затруднять восстановление даже в регионах с умеренным климатом. Учитывая аридные особенности Восточного Казахстана, отсутствие роста NDMI за год подтверждает гипотезу о замедленной регенерации.

Сравнительный анализ dNBR также подтверждает высокую степень повреждения. По классификации USGS, среднее значение dNBR ~ 0.42 соответствует умеренно-низкой тяжести, однако пространственное распределение указывает на наличие очагов высокой тяжести ($dNBR > 0.66$). Это может быть связано с локальными условиями: плотностью древостоя, типом растительности и микроклиматом.

Представленный график (рисунок 4) наглядно иллюстрирует асинхронность восстановления различных компонентов экосистемы. NDVI растёт быстрее за счёт вегетации нижнего яруса, тогда как NBR и NDMI остаются стабильными, что указывает на отсутствие полноценной структурной регенерации.

Прогноз, основанный на текущей динамике восстановления и анализе вегетационных индексов, позволяет предположить, что при благоприятных условиях — отсутствии повторных пожаров, реализации программ лесовосстановления и сохранении умеренного климатического режима — показатели NDVI и NDMI на основной части гаревой территории смогут достичь допожарных уровней в течение пяти лет, то есть к

2028 году. Это будет свидетельствовать о формировании устойчивого травяно-кустарникового покрова, обладающего определённой экологической стабильностью. Однако, учитывая низкую динамику восстановления индекса NBR и сохраняющиеся высокие значения dNBR, можно ожидать, что структурное восстановление древесного яруса (в т.ч. восстановление хвойных пород) потребует значительно большего времени — порядка 10...15 лет.



Рисунок 4. Динамика средних значений вегетационных индексов

Подобные временные оценки согласуются с международными наблюдениями. В частности, по данным исследований в средиземноморских сосновых экосистемах [8], спустя 10 лет после пожара значительная часть территории демонстрирует восстановление NDVI и NDMI, однако только 5...10% участков, подвергшихся интенсивному выгоранию ($dNBR > 0.66$), достигают стадии восстановления древесного полога. Это подчёркивает критическую зависимость восстановительных процессов от исходной интенсивности горения, типа растительности и постпожарного управления.

Учитывая климатическую специфику Абайской области — в частности, преобладание резко континентального климата с низким уровнем осадков и высокой амплитудой температур — восстановление водного баланса после крупномасштабных пожаров может быть существенно затруднено. Среднегодовое количество осадков в регионе составляет около 250–350 мм, при этом большая их часть приходится на весенне-летний период, который в 2023 году был аномально сухим. Такие условия ограничивают влагозапас в почве и затрудняют формирование молодой растительности с высоким водоудержанием. Согласно результатам исследований в аридных и полуаридных зонах Центральной Азии и Западной Монголии [20, 21], NDMI может оставаться на стабильно низком уровне в течение нескольких лет после пожара даже при начавшемся восстановлении биомассы. Это связано как с ограниченным водоснабжением, так и с медленным развитием корневых систем у вновь появившихся травяных и кустарниковых видов, неспособных полноценно удерживать влагу. В условиях Абайской области NDMI служит чувствительным индикатором климатически лимитированного восстановления.

В контексте экосистемы «Семей-Орманы» ожидается, что спектральное восстановление (по NDVI/NDMI) будет происходить быстрее, чем физическое возобновление древостоя, и для полной регенерации леса потребуется как минимум одно-два десятилетия системного сопровождения и мониторинга.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Катастрофический лесной пожар в резервате «Семей-Орманы» 2023 года привёл к беспрецедентному разрушению экосистемы на площади десятков тысяч гектаров. Применение данных дистанционного зондирования (снимки Landsat, индексы NBR, dNBR, NDVI, NDMI) позволило оперативно и количественно оценить масштаб ущерба.

Выявлено, что большая часть выгоревшей территории испытала пожароразрушения высокой и экстремальной степени – спутниковый индекс dNBR указывает на практически полную потерю живого растительного покрова на около 70% площади гарей [3].

Проведённый анализ на основе спутниковых данных Landsat за период с мая 2023 года по июль 2024 года позволил количественно и качественно оценить последствия одного из крупнейших лесных пожаров в истории Казахстана, произошедшего на территории государственного природного резервата «Семей-Орманы». Использование вегетационных и биофизических индексов (NDVI, NBR, NDMI) позволило отразить как начальное состояние экосистемы, так и динамику её восстановления в течение первого года после катастрофы.

Результаты показали:

- 1) резкое снижение NDVI (с +0.04 до –0.43) и NBR (с +0.08 до –0.34) сразу после пожара, что свидетельствует об уничтожении надземной биомассы и разрушении полога;
- 2) минимальный прирост NDMI в течение года, указывающий на сохраняющийся водный дефицит и структурную деградацию экосистемы;
- 3) умеренно-низкую среднюю степень тяжести пожара по dNBR (+0.42), но с доминированием участков высокой тяжести ($dNBR > 0.66$), где восстановление практически не происходит.

В течение одного года наблюдается частичное восстановление NDVI за счёт травяной растительности, однако структурные компоненты лесной экосистемы (древостой, влажность почвогрунта) практически не восстановились. Такой дисбаланс в восстановлении подтверждает выводы международных исследований о необходимости многолетнего мониторинга и многоуровневого подхода к оценке последствий пожаров.

Полученные данные подчеркивают важность интеграции спутникового мониторинга с наземными обследованиями для комплексной оценки воздействия лесных пожаров и планирования восстановительных мероприятий. Методика, применённая в настоящем исследовании, может быть использована для регулярного мониторинга природных и антропогенных возмущений в особо охраняемых природных территориях Казахстана и сопредельных стран, находящихся в зоне климатических рисков.

Настоящее исследование внесло вклад в понимание последствий чрезвычайного пожара в ленточных борах на востоке Казахстана и продемонстрировало возможности современных технологий дистанционного зондирования в экосистемной оценке. Результаты работы могут быть полезны для аналогичных исследований в других регионах, а также для совершенствования стратегии управления природными пожарами. В дальнейшем планируется расширять временной ряд наблюдений (с привлечением данных за 2...5 лет после пожара), а также использовать данные более высокого пространственного разрешения (например, Sentinel-2) для детального анализа мозаичности восстановления. Дополнительной задачей является сопоставление спектральных индексов с полевыми данными – измерениями возобновления древесной растительности, почвенных характеристик – чтобы откалибровать модели прогнозирования. Тем не менее, уже сейчас ясно, что для полного возрождения экосистемы «Семей-Орманы» потребуются десятилетия, и успех этого процесса во многом зависит от усилий по восстановлению и будущего режима охраны территории. Полученный опыт подтверждает критическую важность дистанционного мониторинга пожаров и постпожарной динамики, позволяющего на научной основе оценивать экологические риски и разрабатывать меры адаптации и восстановления [22].

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация - САС; управление данными - НШ; формальный анализ - НШ; методология - НШ; программное обеспечение - НШ; отслеживание - САС; Визуализация - НШ; написание исходного проекта - НШ; написание и редактирование обзора - НШ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu C-L, Wang Y-R and Liu W-Y (2025) Multi-index remote sensing for post-fire damage assessment: accuracy, carbon loss, and conservation implications. *Front. For. Glob. Change*. 8:1577612. doi: [10.3389/ffgc.2025.1577612](https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1577612)
2. Shogelova, N. ., & Sartin, S. . (2023). Earth remote sensing application for forest fire size, burn state and fire recovery. *Engineering Journal of Satbayev University*, 145(3), 31–39. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.05>
3. Santos, S. M. B. d., Bento-Gonçalves, A., Franca-Rocha, W., & Baptista, G. (2020). Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. *Geosciences*, 10(3), 106. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030106>
4. Zhou, G., Eisenhauer, N., Du, Z., Lucas-Borja, M., Zhai, K., Berdugo, M., Duan, H., Wu, H., Liu, S., Revillini, D., Sáez-Sandino, T., Chai, H., Zhou, X., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Fire-driven disruptions of global soil biochemical relationships. *Nature Communications*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56598-z>.
5. Sentinel Asia. (2023, June 8). *Forest fire in Kazakhstan on 08 June, 2023*. Retrieved July 9, 2025, from <https://sentinel-asia.org/EO/2023/article20230608KZ.html>
6. N.Shogelova, & S. Sartin. (2021). Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions on the example of world experience. *Journal of Geography and Environmental Management*, 63(4), 4–14. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.01>
7. Toleubekova Zh., Shogelova N., Shults R., Tatarincev L. Organization of forest fund use: from monitoring to sustainable forest model use // *Sustainable Development of Mountain Territories*. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 266–281. DOI: [10.21177/1998-4502-2025-17-1-266-281](https://doi.org/10.21177/1998-4502-2025-17-1-266-281).
8. Morresi, D., Vitali, A., Urbinati, C., & Garbarino, M. (2019). Forest Spectral Recovery and Regeneration Dynamics in Stand-Replacing Wildfires of Central Apennines Derived from Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 11(3), 308. <https://doi.org/10.3390/rs11030308>
9. Tienaho, N., Wittke, S., Yrttimaa, T., Kivimäki, A., Puttonen, E., Saarinen, N., & Vastaranta, M. (2025). Examining low-intensity surface fires in boreal forests using sentinel-2 time series and bitemporal terrestrial laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40, 29 - 40. <https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2457469>.
10. Siqueira, R., Moqedace, C., Silva, L., De Oliveira, M., De Barros Cruz, G., Francelino, M., Schaefer, C., & Fernandes-Filho, E. (2025). Do finer-resolution sensors better discriminate burnt areas? A case study with MODIS, Landsat-8 and Sentinel-2 spectral indices for the Pantanal 2020 wildfire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 46, 3968 - 3991. <https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2496000>.
11. Delcourt, C., Combee, A., Izbicki, B., Mack, M., Maximov, T., Petrov, R., Rogers, B., Scholten, R., Shestakova, T., Wees, D., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. *Remote. Sens.*, 13, 2311. <https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU21-2518>.
12. Rossetti, I., Calderisi, G., Cogoni, D., & Fenu, G. (2024). Post-Fire Vegetation (Non-)Recovery across the Edges of a Wildfire: An Unexplored Theme. *Fire*. <https://doi.org/10.3390/fire7070250>.
13. Alegria, C. (2022). Vegetation Monitoring and Post-Fire Recovery: A Case Study in the Centre Inland of Portugal. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su141912698>.
14. Hao, B., Xu, X., Wu, F., & Tan, L. (2022). Long-Term Effects of Fire Severity and Climatic Factors on Post-Forest-Fire Vegetation Recovery. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f13060883>.
15. Bright, B.C., Hudak, A.T., Kennedy, R.E. et al. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types. *fire ecol* 15, 8 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9>
16. Chu, T., & Guo, X. (2014). Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review. *Remote Sensing*, 6(1), 470-520. <https://doi.org/10.3390/rs6010470>
17. Guo, M., Li, J., Yu, F., Yin, S., Huang, S., & Wen, L. (2021). Estimation of post-fire vegetation recovery in boreal forests using solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) data. *International Journal of Wildland Fire*, 30(5), 365–377. <https://doi.org/10.1071/WF20162>
18. Shogelova N., Sartin S., & Toleubekova Zh. (2025). Analysis of vegetation data from the quarters of the "Dalneye" forestry district. *Journal of Geography and Environmental Management*, 77(2). <https://doi.org/10.26577/JGEM20257726>
19. Ponomarev, E., Masyagina, O., Litvinsev, K., Ponomareva, T., Shvetsov, E., & Finnikov, K. (2020). The Effect of Post-Fire Disturbances on a Seasonally Thawed Layer in the Permafrost Larch Forests of Central Siberia. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f11080790>.
20. Xu, H., Chen, H., Chen, D., Wang, Y., Yue, X., He, B., Guo, L., Yuan, W., Zhong, Z., Huang, L., Zheng, F., Li, T., & He, X. (2024). Global patterns and drivers of post-fire vegetation productivity recovery. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01520-3>.
21. Mohamed, A., & Kimura, R. (2014). Applying the Moisture Availability Index (NTDI) over Vegetated Land in Central Asia: Mongolian Steppe. *Journal of Water Resource and Protection*, 06, 1335-1343. <https://doi.org/10.4236/JWARP.2014.614123>.
22. Liu, Y., Wu, C., Jia, R., & Huang, J. (2018). An overview of the influence of atmospheric circulation on the climate in arid and semi-arid region of Central and East Asia. *Science China Earth Sciences*, 61, 1183-1194. <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9202-1>.

REFERENCES

1. Liu C-L, Wang Y-R and Liu W-Y (2025) Multi-index remote sensing for post-fire damage assessment: accuracy, carbon loss, and conservation implications. *Front. For. Glob. Change*. 8:1577612. doi: [10.3389/ffgc.2025.1577612](https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1577612)
2. Shogelova, N. ., & Sartin, S. . (2023). Earth remote sensing application for forest fire size, burn state and fire recovery. *Engineering Journal of Satbayev University*, 145(3), 31–39. <https://doi.org/10.51301/ejsu.2023.i3.05>
3. Santos, S. M. B. d., Bento-Gonçalves, A., Franca-Rocha, W., & Baptista, G. (2020). Assessment of Burned Forest Area Severity and Postfire Regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) Using dNBR and RdNBR Spectral Indices. *Geosciences*, 10(3), 106. <https://doi.org/10.3390/geosciences10030106>

4. Zhou, G., Eisenhauer, N., Du, Z., Lucas-Borja, M., Zhai, K., Berdugo, M., Duan, H., Wu, H., Liu, S., Revillini, D., Sáez-Sandino, T., Chai, H., Zhou, X., & Delgado-Baquerizo, M. (2025). Fire-driven disruptions of global soil biochemical relationships. *Nature Communications*, 16. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56598-z>.
5. Sentinel Asia. (2023, June 8). *Forest fire in Kazakhstan on 08 June, 2023*. Retrieved July 9, 2025, from <https://sentinel-asia.org/EO/2023/article20230608KZ.html>
6. N.Shogelova, & S. Sartin. (2021). Remote sensing in urban forestry: recent applications and future directions on the example of world experience. *Journal of Geography and Environmental Management*, 63(4), 4–14. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2021.v63.i4.01>
7. Toleubekova Zh., Shogelova N., Shults R., Tatarincev L. Organization of forest fund use: from monitoring to sustainable forest model use // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2025. – Т. 17. – № 1. – С. 266–281. DOI: 10.21177/1998-4502-2025-17-1-266-281.
8. Morresi, D., Vitali, A., Urbinati, C., & Garbarino, M. (2019). Forest Spectral Recovery and Regeneration Dynamics in Stand-Replacing Wildfires of Central Apennines Derived from Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 11(3), 308. <https://doi.org/10.3390/rs11030308>
9. Tienaho, N., Wittke, S., Yrttimaa, T., Kivimäki, A., Puttonen, E., Saarinen, N., & Vastaranta, M. (2025). Examining low-intensity surface fires in boreal forests using sentinel-2 time series and bitemporal terrestrial laser scanning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 40, 29 - 40. <https://doi.org/10.1080/02827581.2025.2457469>.
10. Siqueira, R., Moquedace, C., Silva, L., De Oliveira, M., De Barros Cruz, G., Francelino, M., Schaefer, C., & Fernandes-Filho, E. (2025). Do finer-resolution sensors better discriminate burnt areas? A case study with MODIS, Landsat-8 and Sentinel-2 spectral indices for the Pantanal 2020 wildfire detection. *International Journal of Remote Sensing*, 46, 3968 - 3991. <https://doi.org/10.1080/01431161.2025.2496000>.
11. Delcourt, C., Combee, A., Izbicki, B., Mack, M., Maximov, T., Petrov, R., Rogers, B., Scholten, R., Shestakova, T., Wees, D., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the Differenced Normalized Burn Ratio for Assessing Fire Severity Using Sentinel-2 Imagery in Northeast Siberian Larch Forests. *Remote Sens.*, 13, 2311. <https://doi.org/10.5194/EGUSPHERE-EGU21-2518>.
12. Rossetti, I., Calderisi, G., Cogoni, D., & Fenu, G. (2024). Post-Fire Vegetation (Non-)Recovery across the Edges of a Wildfire: An Unexplored Theme. *Fire*. <https://doi.org/10.3390/fire7070250>.
13. Alegria, C. (2022). Vegetation Monitoring and Post-Fire Recovery: A Case Study in the Centre Inland of Portugal. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su141912698>.
14. Hao, B., Xu, X., Wu, F., & Tan, L. (2022). Long-Term Effects of Fire Severity and Climatic Factors on Post-Forest-Fire Vegetation Recovery. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f13060883>.
15. Bright, B.C., Hudak, A.T., Kennedy, R.E. et al. Examining post-fire vegetation recovery with Landsat time series analysis in three western North American forest types. *fire ecol* 15, 8 (2019). <https://doi.org/10.1186/s42408-018-0021-9>
16. Chu, T., & Guo, X. (2014). Remote Sensing Techniques in Monitoring Post-Fire Effects and Patterns of Forest Recovery in Boreal Forest Regions: A Review. *Remote Sensing*, 6(1), 470-520. <https://doi.org/10.3390/rs6010470>
17. Guo, M., Li, J., Yu, F., Yin, S., Huang, S., & Wen, L. (2021). Estimation of post-fire vegetation recovery in boreal forests using solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) data. *International Journal of Wildland Fire*, 30(5), 365–377. <https://doi.org/10.1071/WF20162>
18. Shogelova N., Sartin S., & Toleubekova Zh. (2025). Analysis of vegetation data from the quarters of the "Dalneye" forestry district. *Journal of Geography and Environmental Management*, 77(2). <https://doi.org/10.26577/JGEM20257726>
19. Ponomarev, E., Masyagina, O., Litvintsev, K., Ponomareva, T., Shvetsov, E., & Finnikov, K. (2020). The Effect of Post-Fire Disturbances on a Seasonally Thawed Layer in the Permafrost Larch Forests of Central Siberia. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f11080790>.
20. Xu, H., Chen, H., Chen, D., Wang, Y., Yue, X., He, B., Guo, L., Yuan, W., Zhong, Z., Huang, L., Zheng, F., Li, T., & He, X. (2024). Global patterns and drivers of post-fire vegetation productivity recovery. *Nature Geoscience*. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01520-3>.
21. Mohamed, A., & Kimura, R. (2014). Applying the Moisture Availability Index (NTDI) over Vegetated Land in Central Asia: Mongolian Steppe. *Journal of Water Resource and Protection*, 06, 1335-1343. <https://doi.org/10.4236/JWARP.2014.614123>.
22. Liu, Y., Wu, C., Jia, R., & Huang, J. (2018). An overview of the influence of atmospheric circulation on the climate in arid and semi-arid region of Central and East Asia. *Science China Earth Sciences*, 61, 1183-1194. <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9202-1>.

2023 ЖЫЛҒЫ АПАТТЫ ӨРТТЕН КЕЙІН «СЕМЕЙ-ОРМАНЫ» РЕЗЕРВАТЫ ЭКОЖҮЙЕСІНЕ КЕЛТІРІЛГЕН ЗИЯНДЫ БАҒАЛАУ ЖӘНЕ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУДІ ДИСТАНЦИЯЛЫҚ ЗОНДАУ ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Назым Шогелова^{1*}, Сергей А. Сартин²

¹ Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты, Алматы, Қазақстан; nazymshogelova@gmail.com

² М.Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Петропавловск, Қазақстан; sasartin@ku.edu.kz

*Автор корреспонден: Назым Шогелова, nazymshogelova@gmail.com

ТҮЙІН СӨЗДЕР

АБСТРАКТ

қашықтықтан зондтау,
орман өрттері,
вегетациялық индекстер,
экожүйені қалпына келтіру

Мақала жайында:

Жіберілді: 16.07.2025
Қайта қаралды: 05.09.2025
Қабылданды: 25.09.2025
Жарияланды: 01.10.2025

2023 жылғы 8 маусымда «Семей-Орманы» мемлекеттік орман табиғи резерваты аумағында болған апаттық табиғи өрт Абай облысындағы 60 000 гектардан астам орман және дала экожүйелерін қамтып, бұрын-соңды болмаған залал келтірді. Осы зерттеудің мақсаты – Landsat спутниктік деректері мен NDVI, NBR, dNBR және NDMI вегетациялық индекстерінің көмегімен өрттен кейінгі бір жыл ішінде экожүйеге келген зиянды бағалау және қалпына келу үдерісін бақылау. 2023 жылғы мамырдан 2024 жылғы шілдеге дейінгі спутниктік кескіндердің уақыттық қатарын талдау арқылы жану аймақтары анықталып, әсер ету ауырлығы бағаланып және қайта қалпына келудің бастапқы кезеңдері анықталды. Нәтижелер NDVI және NBR индекстерінің күрт төмендегенін, ал NDMI мәндерінің бірқалыпты төмен деңгейде қалғанын көрсетті, бұл экожүйенің ылғалды жинау қабілетінің нашарлағанын білдіреді. Шөптесін жамылғының ішінара қалпына келгеніне қарамастан, толық қалпына келу үшін, әсіресе аймақтың құрғақ климаттық жағдайларын ескере отырып, бірнеше онжылдық қажет болады. Алынған деректер табиғи өзгерістердің әсерін бағалау үшін ГАЖ және қашықтықтан зондтау технологияларын біріктірудің маңыздылығын көрсетеді және оларды ерекше қорғалатын табиғи аумақтарды экологиялық мониторингтеу мен басқару жүйесінде қолдануға болады.

ASSESSMENT OF ECOSYSTEM DAMAGE AND RECOVERY IN THE «SEMEY-ORMANY» RESERVE AFTER THE CATASTROPHIC 2023 WILDFIRE BASED ON REMOTE SENSING DATA

Nazym Shogelova^{1*}, Sergey Sartin²

¹Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan; nazymshogelova@gmail.com

²North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, Petropavlovsk, Kazakhstan; sasartin@ku.edu.kz

*Corresponding author: Nazym Shogelova, nazymshogelova@gmail.com

KEY WORDS

remote sensing,
wildfires,
vegetation indices,
ecosystem recovery

ABSTRACT

The catastrophic wildfire that occurred on June 8, 2023, in the State Forest Nature Reserve «Semey-Ormany» affected over 60,000 hectares of forest and steppe ecosystems in the Abai Region, causing unprecedented destruction. The aim of this study is to assess the damage and monitor the ecosystem's recovery during the year following the fire using Landsat remote sensing data and the calculation of vegetation indices such as NDVI, NBR, dNBR, and NDMI. The analysis of the time series of satellite imagery from May 2023 to July 2024 allowed for the identification of burn areas, assessment of fire severity, and observation of the initial stages of regeneration. The results revealed a sharp decline in NDVI and NBR values, accompanied by persistently low NDMI values, indicating degradation of the ecosystem's moisture retention capacity. Despite partial recovery of the herbaceous cover, a full return to pre-fire conditions will require decades, especially under the region's arid climatic conditions. The findings emphasize the value of integrating GIS and remote sensing technologies for assessing the impacts of natural disturbances and highlight their applicability in ecological monitoring and management systems of protected natural areas.

About article:

Received: 16.07.2025
Revised: 05.09.2025
Accepted: 25.09.2025
Published: 01.10.2025

Примечание издателя: заявления, мнения и данные во всех публикациях принадлежат только автору (авторам), а не журналу "Гидрометеорология и экология" и/или редактору (редакторам).