



Научная статья

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ЛЕСОВ КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Алтын А. Жангужина PhD 

Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Қазақстан; altyn8828@mail.ru (А.А.Ж.)

* Автор корреспонденции: Алтын А. Жангужина, altyn8828@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

лесные пожары,
напочвенный покров,
лесная подстилка, угольные
остатки, пепел,
постпирогенная сукцессия,
индекс регенерации, NDVI

АБСТРАКТ

В статье рассматриваются особенности постпирогенной динамики напочвенного покрова лесных экосистем Костанайской области. Цель исследования – оценка закономерностей восстановления лесной подстилки, листового, травяного и древесного опада, а также динамики угольных остатков и пепла на гаревых участках различной давности с учетом типа условий местопроизрастания. Методологической основой послужили полевые исследования на пробных площадях, включающие учет запасов опада (т/га), измерение мощности лесной подстилки, анализ пирогенных остатков и расчет индекса регенерации на основе данных дистанционного зондирования (NDVI, Sentinel-2, Landsat 8).

Установлено, что на гарях 2022 года мощность подстилки минимальна (1,2...1,3 см), запасы листового и древесного опада снижены (0,2...0,6 и 0,5...0,6 т/га соответственно), а содержание угольных остатков достигает 0,6...1,0 т/га. На участках 2004...2010 гг. наблюдается увеличение толщины подстилки до 4,0...4,5 см, снижение пирогенного углерода до 0,2...0,5 т/га и рост индекса регенерации до 0,60...0,80. Фоновые территории характеризуются стабилизированными значениями (подстилка 5,2...6,2 см; индекс 0,72...0,86). Выявлено, что в ксерофильных условиях восстановление замедлено, тогда как в мезофильных и гигрофильных местообитаниях процессы гумификации и регенерации протекают значительно быстрее.

Полученные результаты подтверждают, что скорость постпирогенной сукцессии определяется годом пожара, интенсивностью огневого воздействия и почвенно-гидрологическими условиями. Напочвенный покров может рассматриваться как интегральный индикатор восстановления лесных экосистем и использоваться при разработке мероприятий по их устойчивому восстановлению.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных факторов, влияющих на уровень пожарной опасности лесных участков, является напочвенный покров [1, 2]. Он выступает важным элементом лесной экосистемы под пологом древостоя, отражая особенности микросреды и одновременно оказывая влияние на формирование микроклимата леса и свойства почвы [3...5]. Живой напочвенный покров во многом определяет характер и возможные пути распространения огня на лесной территории [6]. Кроме того, его состояние и свойства во многом обуславливают эффективность восстановления процессов лесообразования на исследуемой территории.

Напочвенный покров включает лесную подстилку, опад, мохово-лишайниковый слой и другие растительные остатки, играющие значимую роль в функционировании лесных ландшафтов. Эти элементы регулируют водно-воздушный режим почвы, создают условия для разложения органического вещества и способствуют образованию гумуса.

В последние годы проблема лесных пожаров приобрела особую актуальность для Костанайской области. Так, в 2022 году в Аулиекольском районе произошел один из крупнейших лесных пожаров в истории региона, охвативший свыше 43 тыс. га лесных территорий. Масштабы данного события привели к значительной трансформации лесных экосистем и обусловили необходимость изучения процессов их постпирогенного восстановления.

К числу важнейших характеристик напочвенного покрова относятся запасы и типы горючих материалов, видовой состав исходной растительности и ее мозаичная структура, а также степень проективного покрытия живыми компонентами [8...10].

В странах СНГ широко применяется классификация лесных горючих материалов, основанная на их функциональной роли в процессе горения. Вероятность возникновения и дальнейшего распространения пожара по напочвенному покрову определяется не только общим количеством горючих материалов, но и их соотношением. Особое значение имеет соотношение между материалами первой группы по классификации Н.П. Курбатского [11, 12], которые характеризуются низкой влажностью и высокой воспламеняемостью, и растительностью с повышенным содержанием влаги, способной сдерживать распространение огня.

Согласно классификации Н.П. Курбатского, лесные горючие материалы подразделяются на три основные категории:

- проводники горения — мелкие сухие растительные остатки (листья, хвоя, сухая трава), легко воспламеняющиеся и обеспечивающие быстрое распространение огня;
- материалы, поддерживающие горение — более крупные элементы, такие как ветви, кора и лесная подстилка, способствующие продолжительному тлению и развитию пожара;
- материалы, замедляющие горение — влажные мхи, зеленая травянистая растительность и кустарники, препятствующие распространению огня [13].

Распределение горючих материалов на лесных территориях отличается выраженной пространственной неоднородностью. На одних участках преобладают мелкие сухие растительные остатки, способствующие быстрому распространению огня, тогда как в других доминируют более влажные компоненты, ограничивающие развитие процесса горения. Совокупность характерных для определённой территории горючих материалов формирует конкретный тип горючих материалов, который нередко определяется по преобладающим видам растительности. В этой связи выделяют хвойные, лиственные и травянистые типы горючих материалов.

Даже в пределах одного лесного типа различия в составе напочвенного покрова могут существенно влиять на вероятность возникновения пожара, особенности его развития и скорость распространения. Наиболее высокой пожарной опасностью характеризуются сухие сосновые боры брусничного типа, отличающиеся значительным количеством легковоспламеняющихся горючих материалов.

Особенно подвержены пожарам лиственные и сосновые леса с лишайниковым покровом. Разреженность древесного яруса в таких насаждениях способствует быстрому высыханию горючих материалов под воздействием солнечной радиации и ветра, что значительно увеличивает вероятность возгорания. Пожары в подобных лесах чаще всего имеют характер низовых и отличаются умеренной интенсивностью. Однако наличие развитого кустарникового яруса и кустистых лишайников может усиливать процесс горения, увеличивая высоту пламени и скорость распространения огня.

В светлых лесах с зеленомошным покровом, относящихся к более свежим типам условий местопроизрастания, вероятность возникновения пожаров обычно ниже. Это обусловлено более высокой влажностью напочвенного покрова, связанной с благоприятными условиями роста деревьев и большей полнотой древостоев. В таких условиях горючие материалы высыхают медленнее, однако возникшие пожары могут характеризоваться устойчивым тлением, что значительно усложняет их тушение [13].

Согласно результатам зарубежных исследований, лесные пожары оказывают длительное и комплексное воздействие на почвенный покров и органическое вещество почвы [14, 15]. Как отмечает Certini, высокие температуры, возникающие во время пожара, вызывают термическое разложение гумуса и других органических соединений, что приводит к существенным изменениям химических и физических свойств почвы [14]. Восстановление ее плодородия может занимать длительное время, поскольку для регенерации почвенных микроорганизмов и растительного покрова требуются десятилетия. Особенно уязвимыми являются торфяные и гумусированные почвы, где потери органического углерода могут достигать 40...60 %.

Исследования Р. Pereira, Е. Brevik, М. Muñoz-Rojas и В. Miller показывают, что эффективность естественного восстановления почв во многом зависит от типа экосистемы, частоты пожаров и климатических условий. По их данным, в условиях аридных средиземноморских ландшафтов восстановление структуры почвы и почвенной биоты после пожара может занимать более 15 лет, тогда как в умеренных лесах этот процесс происходит быстрее благодаря более высокой биологической активности [15].

Кроме того, S. Doerr и С. Santin подчёркивают, что последствия лесных пожаров для почв необходимо рассматривать в контексте глобальных изменений климата и углеродного цикла, поскольку пожары существенно влияют на трансформацию и перераспределение органического углерода в экосистемах [16, 17].

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для изучения закономерностей постпирогенной трансформации лесных ландшафтов и выявления особенностей восстановления напочвенного покрова были проведены комплексные полевые и дистанционные исследования на гаревых участках различной давности в пределах лесов Костанайской области (рисунок 1).

Мақала жайында:

Жіберілді: 08.02.2026

Қайта қаралды: 27.02.2026

Қабылданды: 16.09.2026

Жарияланды: 30.09.2026

Дәйексөз үшін:

Жангужина А.А., Оценка влияния лесных пожаров на напочвенный покров лесов Костанайской области// Гидрометеорология и экология, 123 (3), 2026, 254-272.

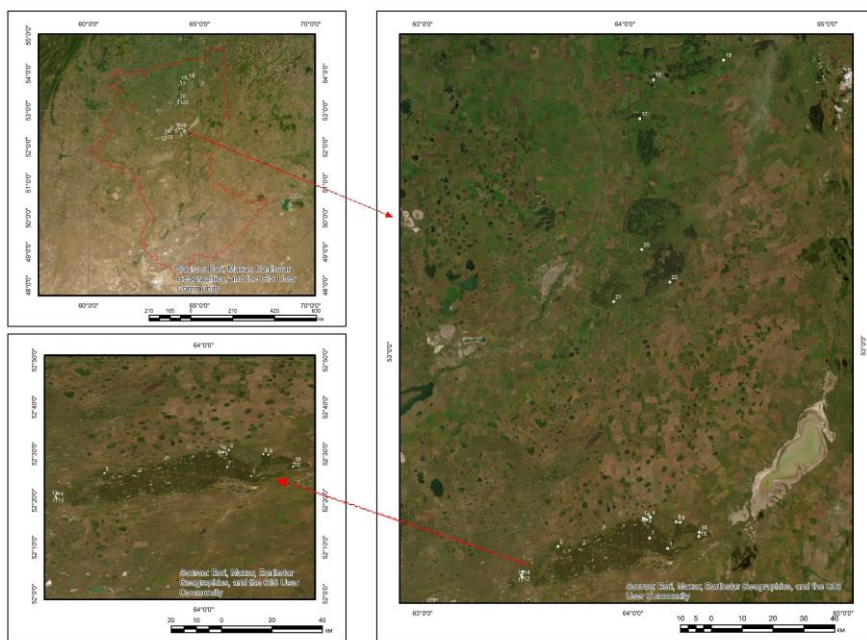


Рисунок 1. Карта расположения лесных пробных площадей

Методический подход основывался на сочетании геоботанических наблюдений, количественной оценки компонентов напочвенного покрова и анализа данных дистанционного зондирования Земли.

Подбор пробных площадей осуществлялся с учётом года возникновения пожара, степени огневого воздействия и типа условий местопроизрастания (ксерофильные, мезофильные и гигрофильные экотопы). Такой подход позволил проследить пространственно-временную динамику восстановительных процессов. Для обеспечения

сопоставимости полученных результатов на всех исследуемых участках применялась единая схема отбора проб и проведения измерений.

В ходе исследования определялись запасы листового, травяного и древесного опада, измерялась мощность лесной подстилки, а также оценивалось содержание пепла и углистых остатков, выступающих индикаторами интенсивности горения. Кроме того, на основе спутниковых данных был рассчитан индекс регенерации растительности. Комплексный характер применённой методики позволил получить целостное представление о процессах восстановления лесных экосистем после пожаров и выявить влияние почвенно-гидрологических условий на темпы постпирогенной сукцессии.

Лесной опад представляет собой растительный материал, накапливающийся на поверхности почвы. Он подразделяется на три основных типа: листовой опад (опавшие листья деревьев и кустарников), травяной опад (отмершие части травянистых растений) и древесный опад (опавшие ветви, кора, шишки и фрагменты стволов). Все указанные компоненты оказывают существенное влияние на почву, её структуру, содержание питательных веществ и водный режим, выполняя важную роль в функционировании лесных экосистем [18...20].

Методика оценки листового опада основана на применении стандартных опадомеров площадью 1 м², устанавливаемых на пробных площадях. Опадомер представляет собой металлическую или пластиковую ёмкость с сетчатым дном и боковыми отверстиями, обеспечивающими естественную вентиляцию и предотвращающими застой влаги. Установка опадомеров проводилась равномерно по территории пробных участков на высоте 30...50 см над поверхностью почвы, что позволяло исключить загрязнение образцов частицами грунта и снизить влияние ветрового переноса.

Сбор образцов осуществлялся ежемесячно в течение вегетационного периода. Отобранный материал высушивался при температуре 65 °С в течение 48 часов до достижения постоянной массы, после чего проводилось его взвешивание с точностью до 0,01 г. Расчёт биомассы листового опада выполнялся по формуле [14, 21].

$$Z = M/S \times 104 \quad (1)$$

где, Z – запас листового опада (т/га),

M – масса высушенного опада (г),

S – площадь пробоотбора (м²).

Оценка травяного опада проводилась методом пробных квадратов площадью 1 м², размещённых на поверхности почвы, в пределах которых фиксировались сухие остатки травянистой растительности, опавшие на грунт. Дополнительно применялись опадомеры, позволяющие учитывать мелкие фрагменты травяного опада, переносимые ветром. Сбор образцов осуществлялся в конце вегетационного периода, когда травянистая растительность завершает фазу роста и переходит в состояние отмирания. Отобранные образцы высушивались в лабораторных условиях при температуре 65 °С до достижения постоянной массы, после чего проводилось их взвешивание с точностью до 0,01 г. Расчёт запаса травяного опада выполнялся по соответствующей формуле.

Древесный опад включал опавшие ветви, кору, шишки, фрагменты стволов и другие древесные остатки. Его учёт проводился на постоянных пробных площадях размером 10 × 10 м, в пределах которых регистрировался весь древесный материал, находящийся на поверхности почвы. Для фиксации мелких древесных фракций использовались опадомеры, тогда как более крупные элементы измерялись и взвешивались непосредственно в полевых условиях.

Собранные образцы подвергались предварительной сортировке: крупные фрагменты древесного опада учитывались по длине и диаметру, а мелкие фракции высушивались при температуре 65 °С до постоянной массы. Полученные значения переводились в показатели запаса на гектар с использованием формулы 1.

Пепел и угольные остатки являются важными компонентами постпирогенного напочвенного покрова. Пепел представляет собой минеральный остаток, образующийся после сгорания органического материала. Он отражает содержание минеральных элементов, высвобождающихся в процессе горения, и может служить индикатором степени воздействия пожара на почву и растительность. Угольные остатки формируются в результате неполного сгорания органического вещества и представлены фрагментами обугленной древесины, листьев и лесной подстилки. Их наличие позволяет оценить интенсивность и продолжительность пожара, а также степень трансформации органического вещества в экосистеме [14, 21].

Лесные пожары существенно изменяют состав и структуру напочвенного покрова, приводя к накоплению пепла и углистых остатков. Эти компоненты выступают индикаторами интенсивности огневого воздействия, скорости минерализации органического вещества и последующих изменений почвенных свойств. В частности, в результате поступления минеральных компонентов пепла наблюдается повышение реакции почвенной среды: значение pH может увеличиваться на 1,2...2,0 единицы, что приводит к снижению кислотности почвы и улучшению условий для роста растений [14]. Угольные остатки обладают высокой сорбционной способностью, благодаря чему способны удерживать влагу и питательные вещества, снижая процессы эрозии и вымывания элементов питания из почвы [23].

В то же время чрезмерное накопление пепла (более 7 т/га) может вызывать уплотнение и частичную цементацию поверхностного слоя почвы, что ухудшает её водопроницаемость и замедляет процессы восстановления растительного покрова. Одновременно углистые остатки могут способствовать развитию пионерных видов растений, таких как берёза и осина, создавая благоприятные условия для ранних стадий постпирогенной сукцессии.

Особенности накопления зольных остатков во многом зависят от механического состава почв. На песчаных почвах зола относительно быстро вымывается атмосферными осадками, тогда как на суглинистых почвах она может накапливаться и дольше сохраняться в верхних горизонтах, формируя дополнительный резерв питательных веществ [14]. Таким образом, умеренное содержание пепла способствует восстановлению лесных экосистем после пожаров, тогда как его избыточное накопление может приводить к нарушению почвенных процессов.

Методика отбора проб предусматривала проведение измерений на каждой пробной площади (ПП) в пяти точках. Точки отбора располагались равномерно по территории участка на расстоянии около 10 м друг от друга, что обеспечивало репрезентативность полученных данных.

Отбор образцов осуществлялся следующим образом: на поверхности почвы устанавливалось металлическое кольцо размером 50 × 50 см (площадь 0,25 м²), после чего с поверхности собирались все зольные и углистые остатки до глубины 5 см. В каждой точке выполнялось по три повторных отбора, которые затем объединялись в одну среднюю пробу для последующего анализа [2...4, 21...23].

Лабораторная обработка включала сушку образцов в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 24 часов до достижения постоянной массы. После этого проводилось измерение массы образцов до и после сушки. Взвешивание выполнялось на электронных аналитических весах с точностью ±0,01 г.

Для разделения фракций использовалось сито с размером ячейки 2 мм: мелкодисперсный пепел проходил через сито, тогда как более крупные угольные частицы задерживались на его поверхности. Полученные значения пересчитывались на единицу площади, а расчёт массы пепла на гектар выполнялся по формуле (2).

$$Z = M : S \times 104 \quad (2)$$

где Z – запас пепла (т/га),

М – масса пепла (г),
S – площадь отбора (м²).

Дополнительно рассчитывается доля угольных остатков в общей массе проб (формула 3):

$$P = M_{\text{уголь}} : M_{\text{общ}} \times 100 \% \quad (3)$$

где, М уголь – масса угольных частиц,
М общ – общая масса проб.

Лесная подстилка (см) представляет собой слой органического материала, формирующийся на поверхности почвы и состоящий из опавших листьев, хвоя, древесных остатков и продуктов их разложения. Она играет важную роль в функционировании лесных экосистем, участвуя в круговороте питательных веществ, регулировании водного режима и поддержании структуры почвы. Кроме того, мощность лесной подстилки может служить индикатором накопления органического вещества в экосистеме [18...19].

На каждой пробной площади (ПП) измерения проводились в пяти точках: одна точка располагалась в центре участка, а четыре дополнительные — по углам квадрата размером 10 × 10 м. Использование такой схемы размещения точек позволяет учитывать пространственную неоднородность последствий пожара и получать более достоверное среднее значение толщины подстилки для исследуемого участка.

Измерения выполнялись с использованием почвенного щупа. Щуп устанавливался вертикально и погружался в слой подстилки до достижения поверхности минерального горизонта почвы. Глубина проникновения щупа фиксировалась как показатель мощности лесной подстилки. В каждой точке измерение повторялось пять раз, после чего рассчитывалось среднее значение толщины подстилки для участка по формуле (4).

$$H = \sum h_i : n \quad (4)$$

где, H – средняя толщина подстилки (см),
h_i – измеренные значения в точках,
n – число измерений.

Сильные лесные пожары способны существенно снижать мощность лесной подстилки, уменьшая её толщину на 70...90 %. Это приводит к ослаблению её функций по удержанию влаги и защите почвы от эрозионных процессов. Гаревые участки с минимальной толщиной подстилки (менее 2 см) требуют длительного мониторинга, поскольку в таких условиях возрастает риск эрозии и деградации почвенного покрова [18...23].

Индекс регенерации представляет собой количественный показатель, позволяющий оценить степень восстановления растительного покрова на основе данных дистанционного зондирования Земли [18...23]. Данный индекс учитывает плотность растительности, её видовой состав, а также состояние почвы и её способность к восстановлению после пожара. После пожаров восстановление лесных ландшафтов определяется не только степенью выгорания растительности, но и сохранностью напочвенного покрова, который играет ключевую роль в процессах почвообразования, влагонакопления и минерализации органического вещества.

Для оценки восстановления растительности используется нормализованный вегетационный индекс NDVI, рассчитываемый по спутниковым данным Sentinel-2 и Landsat-8. На основе значений NDVI определяется индекс регенерации (IR), который отражает степень восстановления растительного покрова на гаревых участках. Расчёт индекса NDVI осуществляется по формуле (4), после чего определяется индекс регенерации (IR) на основе полученных значений NDVI.

$$IR=NDVI\ 2024 : NDVI\ pre-fire \tag{5}$$

где, NDVI (до пожара) – значение NDVI перед пожаром (по архивным снимкам).
NDVI (2024) – значение NDVI на текущий год.

Интерпретация полученных результатов: $IR > 0.8$ – полное восстановление, $0.5 \leq IR \leq 0.7$ – умеренное восстановление, $IR < 0.4$ – слабое восстановление.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ запасов напочвенного покрова на гаревых участках Костанайской области показал существенные различия в динамике восстановления лесной растительности. Установлено, что характер и темпы восстановления зависят от времени, прошедшего после пожара, типа почвенного покрова, интенсивности огневого воздействия, а также особенностей ландшафтных условий.

Запасы напочвенного покрова, включающие органическое вещество, сформированное из опада, растительных остатков и углистых фракций, играют важную роль в процессе восстановления лесных экосистем. Их формирование определяется скоростью разложения зольных и угольных остатков, активностью почвенной биоты, а также климатическими факторами, такими как количество атмосферных осадков и температурный режим. На участках с различными типами почв наблюдается неодинаковая интенсивность накопления лесной подстилки и древесного опада, что, в свою очередь, влияет на влагоудерживающую способность почвы и доступность питательных веществ для формирующегося растительного покрова. В песчаных и супесчаных почвах восстановление запасов напочвенного покрова происходит медленнее вследствие их низкой влагоемкости, тогда как в суглинистых и бурых лесных почвах данный процесс протекает более активно.

На пробных площадях, подвергшихся сильным пожарам 2022 года (ПП 1, 2, 5, 7), отмечается значительное снижение запасов напочвенного покрова, что приводит к ухудшению структуры почвы, уменьшению её влагоудерживающей способности и, как следствие, замедлению процессов естественной регенерации растительности. В то же время постепенное накопление органического вещества в напочвенном покрове способствует восстановлению почвенной микрофлоры, улучшению физико-химических свойств почвы и ускорению роста растительности. На противопожарных полосах и более старых гарях, где после пожара прошло более десяти лет, наблюдается постепенное восстановление лесной подстилки и древесного опада, что способствует активизации процессов почвообразования и стабилизации лесных экосистем.

Разработанная нами матрица запасов напочвенного покрова в различных лесорастительных условиях исследуемого региона представлена в таблице 1.

Таблица 1

Матрица запаса напочвенного покрова в различных лесорастительных условиях региона исследования

№	Координаты	Ландшафтное описание	Год пожара	Пепел (т/га)	Угольные остатки (т/га)	Листовой опад (т/га)	Травяной опад (т/га)	Древесный опад (т/га)	Лесная подстилка (см)	Индекс регенерации
1	52°25'14.70'' N 64°10'11.59'' E	Сосновый бор на слабовсхолмленных древнеаллювиальных равнинах на серых лесных песчаных почвах	2022	1,2	0,6	0,6	0,1	0,5	1,2	0,4

2	52°25'52.55'' N 63°38'48.83'' E	Гаревые участки в сосновом бору на дюнах на песчаных почвах	2022	2,4	0,8	0,27	0,14	0,6	1,3	0,5
3	52°30'21.46'' N 64°4'16.48''E	Сосново-берёзовые леса на песчаных холмах на бурых лесных супесчаных почвах		1,5	0,3	1,2	0,4	0,8	5,2	0,7
4	52°30'47.54'' N 64°5'26.08''E	Лиственные и сосновые леса с преобладанием черемухи и осины на бурых лесных супесчаных почвах	2004	1,0	0,2	1,0	0,25	0,9	4,0	0,8
5	52°30'38.52'' N 64°3'21.89''E	Смешанный сосново-березово-осиновый лес на боровых песках с густым подлеском на песчаных и супесчаных почвах	2022	3,0	1,0	0,2	0,1	0,6	1,2	0,6
6	52°30'24.12'' N 64°4'0.61''E	Сосновый лес на слабовсхолмленных равнинах с серыми лесными супесчаными почвами		1,1	0,3	1,3	0,2	0,9	5,3	0,7
7	52°27'9.06'' N 64°5'3.56''E	Сосновый бор на всхолмленных равнинах на боровых песках на песчаных и супесчаных почвах	2022	2,8	0,9	0,2	0,3	0,5	1,20	0,6
8	52°29'54.12'' N 64°12'47.45'' E	Сосновый лес на всхолмленных равнинах с боровыми песками на песчаных и супесчаных почвах		1,3	0,3	1,4	0,3	1,1	6,2	0,8
9	52°29'47.79'' N 64°13'52.47'' E	Сосновый лес на всхолмленных равнинах с боровыми песками на песчаных и супесчаных почвах		1,2	0,3	1,5	0,2	1,0	6,0	0,8
10	52°21'30.18'' N 63°28'41.52'' E	Смешанный сосново-березовый лес на боровых песках на песчаных и супесчаных		1,4	0,3	1,6	0,4	1,1	6,2	0,9

		почвах								
11	52°20'53.44'' N 63°28'20.49'' E	Сосново-березовый лес на песчаных массивах с дерново-подзолистыми супесчаными почвами	1,3	0,3	1,5	0,3	1,1	5,9	0,8	
12	52°20'45.28'' N 63°28'23.14'' E	Смешанный сосново-березовый лес на боровых песках на песчаных и супесчаных почвах	1,1	0,2	1,2	0,2	1,1	5,5	0,8	
13	52°20'32.27'' N 63°28'33.71'' E	Сосновых лес на мелкобугристых всхолмлениях на песчаных почвах	1,5	0,4	1,7	0,3	0,9	5,9	0,8	
14	52°20'31.22'' N 63°28'32.71'' E	Березовый лес на древнеаллювиальных равнинах на дерново-подзолистых супесчаных почвах	1,2	0,3	1,3	0,2	0,50	5,8	0,8	
15	52°27'17.02'' N 64°19'10.66'' E	Сосновый лес на слабовсхолмленных равнинах на бурых лесных супесчаных почвах	1,3	0,3	1,4	0,2	0,9	5,2	0,8	
16	52°27'59.07'' N 64°19'20.76'' E	Сосново-березовый лес на бурых лесных супесчаных почвах	1,2	0,3	1,5	0,2	0,9	5,5	0,7	
17	53°40'27.5"N 64°4'3.9"E	Сосновый бор на 2020 эоловых массивах с черноземными суглинистыми почвами	2,2	0,6	1,1	0,5	0,5	2,5	0,7	
18	53°47'16"N 64°08'19"E	Сосновый бор на эоловых массивах с серыми лесными песчаными почвами	1,4	0,4	1,6	0,3	0,9	5,7	0,8	
19	53°50'30"N 64°29'08"E	Лиственные леса на 2010 пойменных равнинах на черноземных суглинистых почвах	1,0	0,2	1,1	0,3	0,72	4,5	0,8	
20	53°17'27.6"N 64°4'20.6"E	Гаревые участки в 2010 бывших сосновых лесах на эоловых песчаных массивах с	0,8	0,5	0,6	1,5	0,60	4,0	0,6	

		черноземными супесчаными почвами									
21	53°08'35"N 63°55'42"E	Лиственные леса на пойменных равнинах с преобладанием осины и черемухи на черноземных супесчаных почвах	2009	1	0,3	1,2	0,28	0,59	4,4	0,6	
22	53°14'30"N 64°18'22"E	Сосновый лес на эоловых песчаных массивах на песчаных и супесчаных почвах		1,5	0,42	1,6	0,3	0,85	5,5	0,8	

В исследуемом регионе лесной опад играет важную роль в восстановлении лесных экосистем после пожаров. Его количество и состав зависят от возраста гаревых участков, породного состава древостоя и почвенно-гидрологических условий. В первые годы после пожара, как правило, наблюдается активное накопление травянистого опада, тогда как доля листового и древесного опада увеличивается по мере восстановления древесной растительности и формирования древостоя.

Лесной опад является одним из информативных показателей динамики постпирогенного восстановления лесных экосистем. Его количественные и качественные характеристики позволяют оценить процессы накопления органического вещества, изменения биологической продуктивности и устойчивость растительного покрова к внешним воздействиям [18...20].

В ходе исследования были проанализированы три основных компонента опада — листовой, травяной и древесный, а также их связь с типом условий местопроизрастания, составом лесных насаждений и давностью пожара. Установлено, что на гаревых участках 2022 года показатели листового и древесного опада остаются низкими, что объясняется отсутствием сформировавшегося древостоя и ограниченным вкладом древесной растительности в формирование напочвенного покрова. Напротив, на участках с давностью пожара более 10 лет наблюдается увеличение доли древесного опада, что свидетельствует о восстановлении структуры леса и постепенном формировании лесной подстилки.

Анализ динамики напочвенного покрова показал, что интенсивность накопления опада определяется не только возрастом насаждений, но и особенностями почвенного субстрата. В условиях песчаных почв и подзолистых супесей процесс накопления органического вещества протекает медленнее, тогда как бурые лесные, чернозёмные супесчаные и суглинистые почвы способствуют более активному накоплению листового и древесного опада.

Диапазон значений травяного опада на гаревых участках исследуемых пробных площадей варьирует от 0,1 до 1,5 т/га. На старых гарях (пробные площади 4, 19, 20, 21), сформировавшихся в период 2004...2010 гг., отмечается более высокое накопление травяного опада (0,25...1,5 т/га) по сравнению с гарями 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7), где значения составляют лишь 0,1...0,15 т/га (рисунок 2).



Рисунок 2. Травяной опад на ПП 4

Это свидетельствует о постепенном восстановлении древесного яруса, активном развитии травянистого покрова и формировании более устойчивого лесного сообщества. Максимальное значение травяного опада (1,5 т/га) зафиксировано на гаревых участках пробной площади 20, расположенной в сосновых лесах на эоловых песчаных массивах с чернозёмными супесчаными (мезофильными) почвами. Высокий показатель объясняется благоприятными условиями увлажнения, способствующими интенсивному развитию травянистой растительности, а также высокой сомкнутостью древостоя, формирующей благоприятный микроклимат и поддерживающей высокую биопродуктивность напочвенного покрова.

Сравнение с фоновыми территориями показывает, что уровень травяного опада на гаревых участках 2004...2010 годов приближается к значениям фоновых лесов (0,2...0,6 т/га), однако остаётся несколько выше. Это указывает на продолжающийся процесс зарастания поверхности почвы травянистыми видами и активное накопление органического вещества в напочвенном покрове. В то же время на гарях 2022 года значения травяного опада значительно ниже, что обусловлено отсутствием сформировавшегося древостоя и недостаточным накоплением органической массы на начальных стадиях постпирогенного восстановления экосистем.

Также прослеживается зависимость динамики травяного опада от типа почвенного субстрата. В условиях песчаных и супесчаных почв (пробные площади 1, 2, 5, 7) процессы накопления органического вещества протекают медленнее, тогда как на бурых лесных супесчаных почвах (ПП 4), а также на чернозёмных суглинистых (гигрофильных) и чернозёмных супесчаных (мезофильных) почвах (пробные площади 19, 20, 21) интенсивность накопления опада значительно выше.

Таким образом, пространственно-временная динамика опада выступает важным индикатором восстановительных процессов в лесных экосистемах, пострадавших от пожаров, и может использоваться для оценки эффективности естественной регенерации лесных ландшафтов.

Листовой опад также играет значительную роль в формировании напочвенного покрова, обогащая почву органическим веществом и способствуя восстановлению экосистем после пожаров. На гаревых участках 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7) его значения варьируют в пределах 0,2...0,6 т/га, что существенно ниже по сравнению с фоновыми лесными участками, где показатели составляют 1,2...1,7 т/га. Низкие значения листового опада обусловлены отсутствием сомкнутого древостоя и слабым развитием древесной растительности. На гарях 2004...2010 годов (пробные площади 4, 19, 20, 21) наблюдаются

более высокие значения листового опада — 1,0...1,2 т/га, однако они всё ещё уступают показателям фоновых лесов (рисунок 3).



Рисунок 3. Листовой опад на ПП 3

Это свидетельствует о продолжительном восстановлении лесных экосистем, изменении видового состава древесного полога и недостаточной сомкнутости крон, что приводит к сниженной продуктивности листового опада.

Замедленное накопление листового опада может быть связано с типом почвенного субстрата. В песчаных и супесчаных (ксерофильных) условиях (пробные площади 1, 2, 5, 7) процесс протекает медленнее, чем на бурых лесных супесчаных (ПП 4), черноземных суглинистых (гигрофильных) и черноземных супесчаных (мезофильных) почвах (пробные площади 4, 19, 20, 21), что дополнительно объясняет различия в восстановлении напочвенного покрова.

Таким образом, листовый опад на старых гаревых участках постепенно увеличивается, но его уровень по-прежнему ниже фоновых значений, что указывает на неполное восстановление структуры лесного покрова.

Древесный опад включает в себя остатки коры, ветвей и других частей деревьев, и его динамика отражает интенсивность обновления древостоя и формирование устойчивого лесного сообщества. На гарях 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7) его уровень остается низким (0.5...0.6 т/га), что связано с отсутствием сформировавшегося древостоя и преобладанием травянистых видов на начальных стадиях восстановления. Лесные экосистемы этих участков находятся в ранней фазе сукцессионных процессов, когда основной вклад в напочвенный покров вносят лиственный и травяной опад, а поступление древесного материала остается минимальным.

В то же время на гарях 2004...2010 годов (пробные площади 4, 19, 20, 21) наблюдается постепенное увеличение древесного опада (0.59...0.9 т/га), что свидетельствует о формировании устойчивого лесного сообщества и приближении показателей к фоновым значениям (0.8...1.1 т/га) (рисунок 4).



Рисунок 4. Древесный опад на ПП 21

Дополнительно тип почвенного субстрата влияет на динамику восстановления. В песчаных и супесчаных условиях (пробные площади 1, 2, 5, 7) накопление древесного опада замедлено из-за низкой влагоёмкости и слабого развития древесных видов. На бурых лесных супесчаных, чернозёмных суглинистых (гигрофильных) и чернозёмных супесчаных (мезофильных) почвах (пробные площади 4, 19, 20, 21) его значения выше, что указывает на более благоприятные условия для развития лесных сообществ.

Таким образом, древесный опад является важным индикатором восстановления лесных экосистем. По мере формирования древостоя на гарях 2022 года ожидается его увеличение, что приведёт к стабилизации структуры лесного покрова и завершению ранних этапов восстановления.

Анализ динамики лесной подстилки, листового и древесного опада на гаревых участках различной давности позволяет оценить процессы постпирогенного восстановления лесных экосистем. Формирование этих компонентов определяется совокупностью факторов: климатическими условиями, почвенно-гидрологическими особенностями, интенсивностью пожара и биотическими процессами. Их мощность зависит от возраста пожара, условий местопроизрастания и типа лесных сообществ.

Толщина лесной подстилки на исследуемых участках варьирует от 1.2 до 5.7 см. Минимальные значения (1.2...1.3 см) отмечены на гарях 2020...2022 гг., где сильное горение привело к минерализации органического слоя. Максимальные значения (5.2...6.2 см) зафиксированы на фоновых участках с благоприятными условиями увлажнения и замедленным разложением органики.

Гаревые участки 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7) характеризуются тонким слоем подстилки (1.2...1.3 см). Высокая концентрация угольных остатков (0.6...1.0 т/га) указывает на интенсивное выгорание органического горизонта. Древесный опад здесь находится на начальной стадии восстановления (около 0.5 т/га), что связано с отсутствием сомкнутого древостоя и преобладанием травянистой растительности. Листовой опад составляет 0.2...0.6 т/га, что значительно ниже фоновых значений (1.2...1.7 т/га) и свидетельствует о замедленной регенерации древесных пород.

На гарях 2004...2010 гг. (пробные площади 4, 19, 20, 21) мощность подстилки увеличивается до 4.0...5.1 см. Средняя толщина подстилки на участках 2009...2010 гг. достигает 4.5 см, а на участке 2004 г. составляет около 4.0 см, что указывает на постепенное восстановление биологической продуктивности. Здесь наблюдается снижение содержания угольных остатков (0.5...0.8 т/га) и стабилизация поступления детрита. Древесный опад

составляет 0.5...0.8 т/га, а листовой — 1.0...1.3 т/га, однако эти значения всё ещё ниже фоновых.

Фоновые участки (например, пробные площади 3, 14, 18) характеризуются максимальной мощностью подстилки (5.2...5.7 см), что связано с благоприятными условиями увлажнения и интенсивным поступлением органического материала. В зрелых лесных сообществах уровень древесного опада стабилен (0.5...0.6 т/га), а листовой достигает 1.3...1.7 т/га.

Процесс восстановления лесной подстилки после пожара проходит несколько стадий [2, 14, 23].:

- ранняя стадия (0...5 лет) — интенсивное разложение угольных остатков и минимальная мощность подстилки (1.2...1.3 см);
- средняя стадия (10...20 лет) — формирование устойчивого органического слоя (2.5...5.1 см) и увеличение биопродуктивности;
- поздняя стадия (>30 лет) — максимальная мощность подстилки (5.2...5.7 см), характерная для зрелых лесных сообществ.

Таким образом, восстановление подстилки определяется комплексом климатических, почвенных и биотических факторов. Гаревые участки 2022 года демонстрируют начальную стадию восстановления, тогда как на гарях 2004...2010 годов наблюдается постепенная стабилизация экосистемных процессов.

Изучение пепла и угольных остатков на участках различной давности позволяет оценить интенсивность огневого воздействия и динамику постпирогенных изменений.

На гарях 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7) зафиксированы максимальные концентрации пепла (1.2...3.0 т/га) и угольных остатков (0.6...1.0 т/га), что свидетельствует о высокой интенсивности пожара.

На гарях возрастом 10...20 лет (пробные площади 4, 19, 20, 21) содержание пепла снижается до ~1.0 т/га, а угольных остатков — до 0.2...0.5 т/га вследствие их минерализации и вымывания.

На фоновых территориях содержание угольных остатков составляет около 0.3 т/га, что указывает на стабилизацию органического горизонта.

Динамика пирогенных остатков подтверждает постепенное уменьшение их концентрации с увеличением давности пожара. В ксерофильных песчаных почвах разложение углеродных остатков происходит медленнее, тогда как в увлажнённых почвах процессы деградации и вымывания протекают интенсивнее.

Анализ индекса регенерации также выявил различия в скорости восстановления растительного покрова. На гарях 2022 года индекс составляет 0.40...0.61, на участках 2004...2010 гг. — 0.60...0.80, а на фоновых территориях достигает 0.72...0.86. Это свидетельствует о постепенном восстановлении лесных сообществ и стабилизации экосистемных процессов.

Таким образом, восстановление лесных экосистем зависит от давности пожара и условий местопроизрастания. В ксерофильных условиях процессы регенерации протекают медленнее, тогда как в мезофильных и гигрофильных экотопах восстановление происходит значительно быстрее. Эти различия необходимо учитывать при разработке мероприятий по восстановлению лесных ландшафтов.

Полученные результаты согласуются с выводами зарубежных и отечественных исследователей, изучавших динамику напочвенного покрова после пожаров и его роль в процессах постпирогенной сукцессии. По данным Certini [24], пожары приводят к значительным изменениям химических и физических свойств лесной подстилки и органического вещества почвы. В первые годы после пожара наблюдается резкое снижение запасов опада вследствие его полного или частичного выгорания. Восстановление напочвенного покрова зависит от типа растительности, климатических условий и интенсивности пожара. Аналогичные выводы получены и отечественными исследователями. Так, Софронов и Волокитина [25] отмечают, что пирогенное воздействие приводит к

разрушению органического горизонта почвы и изменению структуры напочвенного покрова, а Иванова [26] указывает на важную роль лесной подстилки в процессах восстановления лесных экосистем после пожаров.

Исследования DeBano [27] показали, что восстановление лесной подстилки тесно связано с динамикой регенерации растительности. В первые годы после пожара зольные отложения и угольные остатки оказывают значительное влияние на химический состав почвы, изменяя доступность питательных элементов и водный режим, что в дальнейшем определяет скорость разложения вновь формирующегося опада. Knicker [30] отмечает, что пирогенный углерод, образующийся в процессе горения, может накапливаться в составе подстилки и почвы, влияя на микробиологическую активность и процессы гумификации.

Исследования Santín [2] показывают, что скорость разложения углеродных остатков во многом зависит от условий увлажнения. В условиях повышенной влажности активность микроорганизмов возрастает, что ускоряет процессы минерализации органического вещества. В более засушливых регионах пирогенный углерод отличается высокой устойчивостью к микробной деградации и может сохраняться в составе лесной подстилки в течение длительного времени.

По данным Preston и Schmidt [29], скорость восстановления лесного покрова после пожара во многом определяется динамикой накопления лесного опада и формированием нового органического горизонта. В экосистемах с активным восстановлением древесных пород наблюдается более быстрое накопление опада и формирование устойчивой лесной подстилки. Pereira и соавторы [15] отмечают, что пирогенный углерод и зольные остатки могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на рост молодых растений в зависимости от их концентрации и химического состава.

Согласно исследованиям González-Pérez [30], углеродные остатки, образующиеся при горении органического вещества, могут сохраняться в почвах на протяжении 15...20 лет, особенно в песчаных почвах с низкой биологической активностью.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что интенсивность постпирогенных изменений лесных экосистем определяется сочетанием климатических факторов, почвенных условий, химического состава пирогенных остатков и структуры растительного покрова.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа влияния пожаров на напочвенный покров показали, что выявленные закономерности динамики лесного опада, формирования лесной подстилки и влияния углеродных остатков на восстановление растительности в целом соответствуют данным зарубежных исследований. Они подтверждают, что интенсивность постпирогенных трансформаций определяется совокупностью факторов, включая климатические условия, химический состав пирогенных остатков и особенности растительных сообществ.

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие выводы:

- Установлено, что постпирогенная динамика лесов Костанайской области определяется временем, прошедшим после пожара, интенсивностью огневого воздействия и условиями местообитания. На горях 2022 года (пробные площади 1, 2, 5, 7) мощность лесной подстилки остаётся минимальной (1,2...1,3 см), тогда как на участках, пройденных пожарами 2004...2010 гг., органический слой стабилизируется до 4,0...4,5 см, что сопровождается увеличением индекса регенерации.
- Значения листового и травяного опада минимальны на молодых горях и увеличиваются по мере формирования древостоя. Древесный опад возрастает с 0,5...0,6 т/га в первые годы после пожара до 0,8...1,1 т/га в более зрелых сообществах. Одновременно содержание угольных остатков снижается с 0,6...1,0 т/га до 0,2...0,5 т/га через 10...20 лет, что отражает постепенное восстановление биогеохимических процессов.
- Индекс регенерации варьирует от 0,40...0,61 на горях 2022 года до 0,60...0,80 на участках после пожаров 2004...2020 гг., однако остаётся ниже фоновых значений (0,72...0,86).

В мезофильных условиях восстановление происходит быстрее (индекс до 0,8), тогда как в ксерофильных местообитаниях значения остаются на уровне 0,40...0,70, что связано с более низкой продуктивностью древесного яруса.

– Восстановление лесных экосистем сопровождается постепенным накоплением органического вещества и улучшением свойств почвы. В благоприятных условиях этот процесс занимает около 20...30 лет, тогда как на бедных и аридных почвах может продолжаться более 50 лет.

Почвенно-грунтовые условия исследованных пробных площадей в целом благоприятны для произрастания древесной растительности и поддержания биологической активности почв, что способствует постепенному восстановлению лесных экосистем после пожаров.

ДОСТУПНОСТЬ ДАННЫХ

В данном исследовании использованные данные были получены авторами из открытых источников.

ВКЛАД АВТОРОВ

Концептуализация – ААЖ; управление данными – ААЖ; формальный анализ – ААЖ; методология – ААЖ; программное обеспечение – ААЖ; руководство исследованием – ААЖ; визуализация – ААЖ; написание первоначального варианта рукописи – ААЖ; рецензирование и редактирование – ААЖ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pereira P., Brevik E.C., Muñoz-Rojas M., Miller B.A. Soil and fire: impacts of wildfires on soil properties and ecosystem functioning // *Land Degradation & Development*. – 2018. – Vol. 29. – P. 405–421.
2. Santín C., Doerr S.H. Fire effects on soils: the human dimension // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2016. – Vol. 371.
3. Doerr S.H., Santín C. Global trends in wildfire and its impacts on soil // *Nature Reviews Earth & Environment*. – 2021. – Vol. 2. – P. 398–413.
4. Pellegrini A.F.A., Jackson R.B. The long-term impacts of fire on ecosystems and soil carbon // *Nature Geoscience*. – 2020. – Vol. 13. – P. 728–735.
5. Holden Z.A., Jolly W.M., Parsons R.A. Influence of fuel moisture and vegetation structure on wildfire activity // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10.
6. Smith A.M.S., Kolden C.A., Bowman D.M.J.S. Biophysical controls of fire regimes and vegetation response // *Global Ecology and Biogeography*. – 2021.
7. Yebra M., Dennison P.E., Chuvieco E., Riaño D. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 215. – P. 1–14.
8. Keane R.E. *Wildland Fuel Fundamentals and Applications*. – 2nd ed. – Berlin: Springer, 2023.
9. Scott J.H., Burgan R.E. Standard fire behavior fuel models and their applications in fire danger assessment // *USDA Forest Service Research*. – 2017.
10. Chuvieco E., Pettinari M.L., Yebra M. et al. Advances in global fire danger estimation using satellite data // *Remote Sensing of Environment*. – 2020.
11. Курбатский Н.П. Лесные горючие материалы и их роль в распространении лесных пожаров. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
12. Курбатский Н.П. Исследование лесных горючих материалов. – Новосибирск: Наука, 1970. – 312 с.
13. Иванова Г.А., Конрад С.Г. Лесные горючие материалы и пожары в лесах Сибири. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2019.
14. Certini G., Moya D., Lucas-Borja M.E., Mastrolonardo G. The impact of fire on soil organic matter and soil functions: a review // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – Vol. 488.
15. Pellegrini A.F.A., Ahlström A., Hobbie S.E. et al. Fire frequency drives decadal changes in soil carbon and nitrogen and ecosystem productivity // *Nature*. – 2018. – Vol. 553. – P. 194–198.
16. Moody J.A., Shakesby R.A., Robichaud P.R. et al. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes // *Earth-Science Reviews*. – 2013. – Vol. 122. – P. 10–37.
17. Santín C., Doerr S.H., Preston C.M., González-Rodríguez G. Pyrogenic organic matter production from wildfires: a missing sink in the global carbon cycle // *Global Change Biology*. – 2016. – Vol. 22. – P. 1621–1633.
18. Berg B., McLaugherty C. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. – 3rd ed. – Berlin: Springer, 2020.
19. Prescott C.E. The influence of the forest canopy on nutrient cycling // *Tree Physiology*. – 2018. – Vol. 38. – P. 1641–1655.
20. Zhang D., Hui D., Luo Y., Zhou G. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors // *Journal of Plant Ecology*. – 2018. – Vol. 11. – P. 1–14.
21. Harmon M.E., Fasth B., Woodall C., Sexton J. Carbon concentration of standing and downed dead wood and litter in forest ecosystems // *Forest Ecology and Management*. – 2019. – Vol. 432. – P. 770–780.
22. Pettorelli N. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) // Satellite Remote Sensing for Conservation*. – Oxford: Oxford University Press, 2016.
23. Veraverbeke S., Hook S., Hulley G. An alternative spectral index for rapid fire severity assessment // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 205. – P. 108–117.
24. Jones M.W., Santín C., van der Werf G.R., Doerr S.H. Global fire emissions buffered by the production of pyrogenic carbon // *Nature Geoscience*. – 2019.
25. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирология леса. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2007.
26. Иванова Г.А. Лесные пожары и их влияние на лесные экосистемы Сибири. – Красноярск: СО РАН, 2014.
27. Scott A.C., Bowman D.M.J.S., Bond W.J. et al. *Fire on Earth: An Introduction*. – Wiley-Blackwell, 2014.

28. Knicker H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? // *Biogeochemistry*. – 2007. – Vol. 85. – P. 91–118.
29. Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // *Nature*. – 2015.
30. González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter: a review // *Environment International*. – 2004. – Vol. 30. – P. 855–870.

REFERENCES

- 1 Pereira P., Brevik E.C., Muñoz-Rojas M., Miller B.A. Soil and fire: impacts of wildfires on soil properties and ecosystem functioning // *Land Degradation & Development*. – 2018. – Vol. 29. – P. 405–421.
- 2 Santín C., Doerr S.H. Fire effects on soils: the human dimension // *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. – 2016. – Vol. 371.
- 3 Doerr S.H., Santín C. Global trends in wildfire and its impacts on soil // *Nature Reviews Earth & Environment*. – 2021. – Vol. 2. – P. 398–413.
- 4 Pellegrini A.F.A., Jackson R.B. The long-term impacts of fire on ecosystems and soil carbon // *Nature Geoscience*. – 2020. – Vol. 13. – P. 728–735.
- 5 Holden Z.A., Jolly W.M., Parsons R.A. Influence of fuel moisture and vegetation structure on wildfire activity // *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10.
- 6 Smith A.M.S., Kolden C.A., Bowman D.M.J.S. Biophysical controls of fire regimes and vegetation response // *Global Ecology and Biogeography*. – 2021.
- 7 Yebra M., Dennison P.E., Chuvieco E., Riaño D. A global review of remote sensing of live fuel moisture content for fire danger assessment // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 215. – P. 1–14.
- 8 Keane R.E. *Wildland Fuel Fundamentals and Applications*. – 2nd ed. – Berlin: Springer, 2023.
- 9 Scott J.H., Burgan R.E. *Standard fire behavior fuel models and their applications in fire danger assessment* // USDA Forest Service Research. – 2017.
- 10 Chuvieco E., Pettinari M.L., Yebra M. et al. Advances in global fire danger estimation using satellite data // *Remote Sensing of Environment*. – 2020.
- 11 Kurbatskii N.P. *Lesnye goryuchie materialy i ikh rol' v rasprostranenii lesnykh pozharov*. – M.: Nauka, 1975. – 256 s.
- 12 Kurbatskii N.P. *Issledovanie lesnykh goryuchikh materialov*. – Novosibirsk: Nauka, 1970. – 312 s.
- 13 Ivanova G.A., Konard S.G. *Lesnye goryuchie materialy i pozhary v lesakh Sibiri*. – Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2019.
- 14 Certini G., Moya D., Lucas-Borja M.E., Mastrolonardo G. The impact of fire on soil organic matter and soil functions: a review // *Forest Ecology and Management*. – 2021. – Vol. 488.
- 15 Pellegrini A.F.A., Ahlström A., Hobbie S.E. et al. Fire frequency drives decadal changes in soil carbon and nitrogen and ecosystem productivity // *Nature*. – 2018. – Vol. 553. – P. 194–198.
- 16 Moody J.A., Shakesby R.A., Robichaud P.R. et al. Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes // *Earth-Science Reviews*. – 2013. – Vol. 122. – P. 10–37.
- 17 Santín C., Doerr S.H., Preston C.M., González-Rodríguez G. Pyrogenic organic matter production from wildfires: a missing sink in the global carbon cycle // *Global Change Biology*. – 2016. – Vol. 22. – P. 1621–1633.
- 18 Berg B., McClaugherty C. *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration*. – 3rd ed. – Berlin: Springer, 2020.
- 19 Prescott C.E. The influence of the forest canopy on nutrient cycling // *Tree Physiology*. – 2018. – Vol. 38. – P. 1641–1655.
- 20 Zhang D., Hui D., Luo Y., Zhou G. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors // *Journal of Plant Ecology*. – 2018. – Vol. 11. – P. 1–14.
- 21 Harmon M.E., Fasth B., Woodall C., Sexton J. Carbon concentration of standing and downed dead wood and litter in forest ecosystems // *Forest Ecology and Management*. – 2019. – Vol. 432. – P. 770–780.
- 22 Pettorelli N. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* // *Satellite Remote Sensing for Conservation*. – Oxford: Oxford University Press, 2016.
- 23 Veraverbeke S., Hook S., Hulley G. An alternative spectral index for rapid fire severity assessment // *Remote Sensing of Environment*. – 2018. – Vol. 205. – P. 108–117.
- 24 Jones M.W., Santín C., van der Werf G.R., Doerr S.H. Global fire emissions buffered by the production of pyrogenic carbon // *Nature Geoscience*. – 2019.
- 25 Sofronov M.A., Volokitina A.V. *Pirologiya lesa*. – Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2007.
- 26 Ivanova G.A. *Lesnye pozhary i ikh vliyanie na lesnye ekosistemy Sibiri*. – Krasnoyarsk: SO RAN, 2014.
- 27 Scott A.C., Bowman D.M.J.S., Bond W.J. et al. *Fire on Earth: An Introduction*. – Wiley-Blackwell, 2014.
- 28 Knicker H. How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? // *Biogeochemistry*. – 2007. – Vol. 85. – P. 91–118.
- 29 Lehmann J., Kleber M. The contentious nature of soil organic matter // *Nature*. – 2015.
- 30 González-Pérez J.A., González-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter: a review // *Environment International*. – 2004. – Vol. 30. – P. 855–870.

ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫ ОРМАНДАРЫНЫҢ ЖЕРҮСТІ ЖАМЫЛҒЫСЫНА ОРМАН ӨРТТЕРІНІҢ ӘСЕРІН БАҒАЛАУ

Алтын А. Жангужина PhD

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан; altyn8828@mail.ru (А.А.Ж.)

*Автор корреспондент: Алтын Жангужина, altyn8828@mail.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

орман өрттері, жерүсті жамылғысы, орман төсеніші, көмір қалдықтары, күл, өрттен кейінгі сукцессия, қалпына келу индексі, NDVI индексі

По статье:

Получено: 11.03.2026

Пересмотрено: 30.03.2026

Принято: 06.08.2026

Опубликовано: 30.09.2026

АНДАТПА

Мақалада Қостанай облысының орман экожүйелерінде өрттен кейін қалыптасатын жерүсті жамылғысының өзгеру барысы қарастырылады. Зерттеудің мақсаты – әртүрлі жылдары өртенген аумақтарда орман төсенішінің, жапырақ, шөптесін және сүрек қалдықтарының қайта қалыптасу заңдылықтарын, сондай-ақ көмір қалдықтары мен күлдің өзгерісін өсу ортасының ерекшеліктеріне байланысты бағалау.

Зерттеу жұмысы далалық бақылауларға негізделді. Сынақ алаңдарында өсімдік қалдықтарының қоры (т/га) есептеліп, орман төсенішінің қалыңдығы өлшенді, өрттен қалған қалдықтарға талдау жүргізілді. Сонымен қатар, қашықтан зондтау деректері (NDVI, Sentinel-2, Landsat 8) пайдаланылып, қалпына келу деңгейі бағаланды.

Нәтижесінде 2022 жылы өртенген аумақтарда орман төсенішінің өте жұқа екені (1,2...1,3 см), жапырақ пен сүрек қалдықтарының азайғаны (тиісінше 0,2...0,6 және 0,5...0,6 т/га), ал көмір қалдықтарының мөлшері жоғары (0,6...1,0 т/га) екені анықталды. 2004...2010 жылдары өртенген учаскелерде төсеніш қалыңдығы 4,0...4,5 см-ге дейін жетіп, көмір қалдықтары азайған (0,2...0,5 т/га), ал өсімдіктің қайта қалпына келу көрсеткіші артқаны байқалды (0,60...0,80). Табиғи (фондық) аумақтарда көрсеткіштер тұрақты деңгейде қалыптасқан (төсеніш 5,2...6,2 см; көрсеткіш 0,72...0,86). Зерттеу көрсеткендей, қуаң (ксерофильді) жағдайларда қалпына келу баяу жүреді, ал ылғалы жеткілікті (мезофильді және гигрофильді) ортада бұл үдерістер жылдамырақ жүзеге асады. Жалпы алғанда, өрттен кейінгі өзгерістердің қарқыны өрттің болған уақытына, оның күшіне және топырақ пен ылғал жағдайына байланысты. Жерүсті жамылғысы орман экожүйесінің қалпына келу деңгейін сипаттайтын маңызды көрсеткіш ретінде қарастырылып, оларды тиімді қалпына келтіру шараларын жоспарлауда қолдануға болады.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF FOREST FIRES ON THE FOREST FLOOR COVER OF THE FORESTS OF KOSTANAY REGION

Altyn Zhanguzhina PhD

L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan; altyn8828@mail.ru (A.A.Zh.)

Corresponding author: Altyn Zhanguzhina, altyn8828@mail.ru

KEY WORDS

forest fires, forest floor cover, forest litter, charcoal residues, ash, post-fire succession, regeneration index, NDVI vegetation index.

ABSTRACT

The article examines the features of post-fire (post-pyrogenic) dynamics of the forest floor cover in forest ecosystems of the Kostanay region. The aim of the study is to assess the patterns of recovery of forest litter, leaf, herbaceous, and woody litterfall, as well as the dynamics of charcoal residues and ash on burned sites of different ages, taking into account site conditions. The methodological basis consisted of field studies conducted on sample plots, including the assessment of litter reserves (t/ha), measurement of forest litter thickness, analysis of pyrogenic residues, and calculation of the regeneration index using remote sensing data (NDVI, Sentinel-2, Landsat-8). The results show that on burned areas of 2022 the forest litter layer is minimal (1.2...1.3 cm), while the stocks of leaf and woody litter are reduced (0.2...0.6 and 0.5...0.6 t/ha, respectively), and the content of charcoal residues reaches 0.6...1.0 t/ha. On sites affected by fires in 2004...2010, the litter thickness increases to 4.0...4.5 cm, pyrogenic carbon decreases to 0.2...0.5 t/ha, and the regeneration index rises to

По статье:

Получено: 11.03.2026

Пересмотрено: 30.03.2026

Принято: 06.08.2026

Опубликовано: 30.09.2026

0.60...0.80. Background areas are characterized by stabilized values (litter thickness 5.2...6.2 cm; regeneration index 0.72...0.86). It was revealed that recovery processes are slower under xerophilic conditions, whereas in mesophilic and hygrophilic habitats humification and regeneration processes occur significantly faster.

The obtained results confirm that the rate of post-fire succession is determined by the year of the fire, fire intensity, and soil-hydrological conditions. The forest floor cover can be considered an integral indicator of forest ecosystem recovery and may be used in developing measures for their sustainable restoration.

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