УДК 614.841.42:631.615

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЖИГАНИЯ ТОРФА ОТ НЕПОТУШЕННЫХ ОКУРКОВ НА ОСУШЕННЫХ БОЛОТАХ В ЗОНЕ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ

Г. В. Куксин[1], Л. А. Крючковская[1], С. В. Залесов[2]

[1] *Центр профилактики ландшафтных пожаров*
127591, Москва, ул. Дубнинская, 26, корп. 4, кв. 127

[2] *Уральский государственный лесотехнический университет*
620100, Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

E-mail: gkuksin@cplp.ru, lkryuch@cplp.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru

Поступила в редакцию 02.04.2025 г.
Принята к публикации 15.08.2025 г.

Приведены результаты экспериментов по определению потенциальной возможности воспламенения высушенного до 10%-й влажности (влагосодержания) торфа от сигаретного окурка. Установлено, что при отсутствии ветра торф не воспламеняется. Значительное влияние на его возгорание оказывает скорость ветра: при 1 м/с торф от окурка воспламеняется в 10 % случаев, 1.5 м/с – в 27 %, а при 2.5 м/с – в 50 % случаев. В процессе воспламенения торфа от сигаретного окурка фильтр сигареты сгорает полностью, что исключает возможность использовать его в качестве доказательства причины ландшафтного пожара. Установлено, что пескование с равномерным распределением песка по поверхности торфа из расчета 2.5 кг/м^2 предотвращает его воспламенение от сигаретного окурка. Таким образом, пескование мест отдыха, мест для курения, отдельных участков торфяников, где пролегают наиболее посещаемые маршруты охотников, рыбаков, сборщиков грибов и ягод, может существенно снизить потенциальную горимость территории, следовательно, может быть использовано при разработке мер по противопожарному устройству.

Ключевые слова: *источники зажигания, окурки как причина пожаров, самовозгорание торфа, торфяные пожары, осушенные болота, профилактика пожаров.*

DOI: 10.15372/SJFS20250512

ВВЕДЕНИЕ

В связи с изменениями климата на территории большинства субъектов Российской Федерации повысились показатели фактической горимости лесов. При этом наблюдается увеличение доли почвенных, или торфяных, пожаров (Залесов и др., 2022; Куксин, 2023). Известно, что высыхание торфяного горизонта до горимого состояния происходит только после выхода его из зоны капиллярного подъема воды вследствие понижения уровня грунтовых вод более чем на 0.5–0.8 м ниже указанного горизонта (Софронов, Волокитина, 1986). Высыхание торфа до стадии возможного заглубления тления в торфяную залежь возможно прежде всего при искусственном осушении заболоченных земель. Развитие торфяных (почвенных) пожаров обычно начинается с вертикального заглубления тления на участках со значительным количеством напочвенных горючих материалов (Арцыбашев, 1974). Несмотря на медленное продвижение кромки горения, данные пожары требуют значительных затрат на их ликвидацию и применения специфических способов тушения (Секерин и др., 2022*а*, *б*). Минимизировать пожарную опасность, особенно на осушенных торфяниках, возможно благодаря своевременному обнаружению очагов возгорания и эффективному противопожарному обустройству территории. При этом для бореальных осушенных торфяников, зарастающих после прекращения добычи торфа,

© Куксин Г. В., Крючковская Л. А., Залесов С. В., 2025

недостаточно данных о том, от каких источников зажигания и при каких условиях происходит возникновение торфяного пожара. Отсутствие этих данных не позволяет рационально и точно ставить задачи по профилактике таких пожаров, обоснованно выделять различные участки в границах осушенного болота, где могут требоваться различные меры по предотвращению пожаров.

При этом осушенные торфяные болота активно изучаются как важные для сдерживания изменения климата объекты (Залесов, 2021). Пожары представляют главную угрозу для успешной реализации климатических проектов на болотах. Способы определения пожарных эмиссий указаны в международных соглашениях и методологиях, при этом отмечается недостаточность данных по бореальным торфяникам (Supplement…, 2014).

Подходы к определению причин ландшафтных пожаров от конкретных источников зажигания, внешних условий, при которых пожар возникает, а также (в случае антропогенных пожаров) поведенческих практик, привычек, способов ведения хозяйства, которые приводят к возникновению ландшафтных пожаров, изучаются во многих странах. Оценка точных причин лесных пожаров очень важна для разработки мер по их профилактике и раннему обнаружению. Так, для всей Европы сделан обзор основных факторов возникновения лесных пожаров, опирающийся как на пространственные данные, так и доступные данные о расследованиях (Ganteaume et al., 2013)

В США детально разработаны методики определения точных причин пожаров и реконструкции сценариев развития пожаров в природной среде. Например, Национальная координационная группа по природным пожарам (National Wildfire Coordinating Group) в 1978 г. впервые выпустила «Руководство по определению происхождения и причин ландшафтных пожаров». В дальнейшем данное руководство несколько раз дорабатывалось, и его последняя редакция опубликована в 2025 г. (Guide…, 2025).

Активно используется анализ пространственных данных о местах возникновения лесных пожаров и причин неслучайного распределения начальных точек пожаров, в частности конфликтов из-за статуса земель или особенностей землепользования, например, для испанского региона Галисия (Fuentes-Santos et al., 2013). Для анализа ситуации с лесными пожарами в Португалии проводилась работа по сопоставлению пространственного распределения пожаров с причинами и мотивами поведения для тех случаев, где были установлены виновные (Meira Castro et al., 2020).

Для торфяных пожаров сопоставление пространственных данных о начальных термоточках с данными о землепользовании проводилось в исследованиях по Индонезии (о. Калимантан). На основе этих данных сделаны выводы о влиянии различных концессий (выращивание масличных пальм, выращивание древесины на осушенных болотах) на вероятность возникновения торфяных пожаров (Cattau et al., 2016).

Самый большой полевой эксперимент по возникновению, развитию и подавлению торфяного пожара на осушенных болотах проведен в Индонезии на о. Суматра в рамках проекта GAMBUT в 2021 г. Торф зажигался с помощью тлеющих углей и сжигания растительных остатков, измерялись уровни влажности торфа, температура, развитие очагов днем и ночью, расход воды, необходимой для подавления тления (Santoso et al., 2022).

Полевые расследования пожаров дают обширный материал для анализа конкретных источников зажигания, например сигарет (окурков). Упоминавшееся «Руководство по определению происхождения и причин ландшафтных пожаров» (Guide…, 2025) указывает, что общая доля пожаров от непотушенных сигарет невелика, но при некоторых условиях выброшенный окурок становится их причиной. Авторы исходят из того, что в среднем сигарета горит в течение 10–20 мин (в зависимости от марки) со скоростью 0.21 дюйма (0.5 см) за 1 мин. Большинство людей выбрасывают почти полностью сгоревшую сигарету. Следовательно, слой торфа подвергается воздействию тлеющей сигареты (окурка) 1–2 мин. В связи с таким коротким временем, пока сигарета сохраняет тление, способное перейти на лесные горючие материалы (ЛГМ), обычно для начала пожара должны иметь место следующие обстоятельства:

– относительная влажность менее 22 %;

– наличие ветра (без ветра возгорания не происходит);

– 30 % тлеющего кончика подвергаются воздействию очень мелкого топлива;

– ориентация кончика сигареты к ЛГМ по ветру (ветер будет способствовать воспламенению);

– сигарета располагается в топливе под углом, когда горящий конец направлен вниз.

Само тление сигареты без затяжки (выброшенной, но не догоревшей и представляющей

опасность в случае возникновения ландшафтного пожара) является предметом научных исследований и подробно изучается с построением математических моделей и экспериментальными проверками (Costa, 2003).

Исследование причин снижения числа пожаров с 2000 по 2011 г., вызванных брошенными сигаретами, проводилось в США, где в федеральных лесах в 2011 г. количество лесных пожаров, связанных с курением, составило всего 10 % от уровня 1980 г. Отчасти такое снижение числа пожаров от окурков вызвано значительным повышением качества оценки причин пожаров – те случаи, которые раньше относили к пожарам от сигарет, получили другие, более точные оценки. Это снизило число пожаров от окурков в статистике на 48 %. Но при этом есть и другие факторы. Так, обнаружено, что снижение уровня курения среди взрослых привело к сокращению пожаров, вызванных курением, на 9 %. Также сделан вывод о том, что менее склонные к возгоранию сигареты, по-видимому, успешно ограничивают возникновение лесных пожаров – на 23 % (Butry et al., 2014).

Большое исследование эффективности и последствий принятия стандарта безопасных сигарет проведено для штата Нью Йорк. Кроме последствий первого порядка (снижения числа смертей, травм), авторы оценивают и последствия второго порядка – влияние на экономику, акцизный налог в штате (Ruegg, Petraglia, 2005).

Сама идея разработки сигарет, которые бы менее вероятно приводили к пожарам как в жилых домах, так и в лесу, обсуждалась с начала XX века. Так, самозатухающие сигареты обсуждались в Конгрессе США с 1929 г. (Писклов и др., 2010). Массовое внедрение этой технологии началось только в 2000-е годы. На настоящий момент есть множество технических решений, способствующих тому, чтобы сигарета менее вероятно стала причиной пожара. Наиболее распространенным техническим решением являются полосы сигаретной бумаги, обработанные ингибиторами горения. Лидером по внедрению таких технологий при производстве сигарет были США, где Американское общество испытаний и материалов (ASTM) в 2002 г. разработало и по сей день актуализирует стандарт E2187 «Стандартный метод испытаний для оценки воспламеняющей способности сигарет» (ASTM E2187…, 2024).

В 2005 г. стандарт на «пожаробезопасные сигареты» был принят в Канаде. В 2010 г. законодательство по сигаретам с уменьшенной склонностью к воспламенению вступило в силу в Южной Африке, Австралии, Новой Зеландии, Тайване, Польше, Финляндии, Эстонии (Писклов и др., 2010).

В России «Технический регламент на табачную продукцию» (2014) вводит определение «сигарет с пониженной воспламеняющей способностью», для которых количество сгоревших по всей длине сигарет не превышает 25 % от количества всех испытанных сигарет при проведении анализа их воспламеняющей способности стандартным методом на 10 слоях фильтровальной бумаги. Стандартный метод испытания для оценки воспламеняющей способности сигарет установлен в межгосударственном стандарте ГОСТ ISO 12863-2013 (2019).

При этом на настоящий момент в России пока нет стандартов и норм, регулирующих производство и продажу пожаробезопасных сигарет, т. е. нет обязательных требований или правил, которые бы приводили к тому, чтобы курильщики использовали сигареты со сниженной воспламеняющей способностью. В исследованиях, посвященных сравнению способности сигарет различных производителей вызвать пожар, российские марки сигарет оказались гораздо более пожароопасными, чем сигареты, выполненные по стандартам пожаробезопасных табачных изделий (Писклов и др., 2010).

Для торфяных пожаров в Индонезии на о. Суматра в провинции Риау, которая особенно страдает от торфяных пожаров, ставились практические эксперименты с воспламенением торфа от непотушенных окурков. Торф высушивался при различных температурах (от 35–45 до 115 °C), чтобы максимально снизить количество влаги. Затем его зажигали окурками длиной 30 мм. Для опытов выбрали окурки с максимальной теплотворной способностью, предварительно испытав на калориметре разные марки сигарет. При зажигании окурки укладывались на поверхность торфа, после чего подавался воздух с различной скоростью и под разными углами. Наибольшее число возгораний торфа получено при скорости до 5 м/с, максимальная температура тления достигла в опыте 902 °C (Martin et al., 2020).

Похожие эксперименты проводились и для других видов ЛГМ. Например, переход тления от окурка на сухую хвою сосны (*Pinus* L.) и листву монгольского дуба (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.) изучался в Китае. Хвоя и листва воспламенялись окурками при различной плотности слоя ЛГМ, влажности и скоростях ветра. В дальнейшем для обработки результатов 3600 зажи-

ганий с различными комбинациями факторов применялись регрессионный и дисперсионный анализы. Авторы приходят к выводу, что наиболее вероятно возникновение пожара от окурка в сухой хвое при влажности (влагосодержании) ЛГМ ниже 10 % и скорости ветра около 4 м/с. Время на развитие пожара до начала активного пламенного горения составило от 2.5 до 7 мин после бросания окурка (Zhang, Tian, 2024).

Похожие эксперименты были поставлены в Китае с листвой монгольского дуба. Листва высушивалась до постоянной массы в печах, затем ее увлажняли до нужной в эксперименте влажности, давали воде впитаться (в пакетах в течение суток) и поджигали окурками при различных скоростях ветра и плотности слоя. Окурки брались с несгоревшей частью после фильтра 2 см. По итогам 2520 зажиганий применяли дисперсионный анализ для установления наиболее важных факторов и пошаговую регрессию для лучшего понимания влияния различных сочетаний факторов. Исследование показало, что вероятность возгорания листьев монгольского дуба, воспламененных окурками, значительно коррелирует с содержанием влаги и скоростью ветра, но не связана с плотностью топливного слоя. При отсутствии ветра вероятность возгорания была равна нулю. Максимальное содержание влаги в листьях монгольского дуба, которое может быть воспламенено окурками, составило 15 % (Sun et al., 2018).

Теоретические и экспериментальные исследования зажигания торфа от нагретого предмета также неоднократно проводились учеными из разных стран, но эти математические модели и отдельные лабораторные эксперименты не учитывали наличие характерной болотной растительности на поверхности торфяника и внешних условий (ветра, влажности и т. п.). При этом диапазон температур, способных воспламенить торф при касании нагретого тела, полученный в математических моделях, приемлемо совпадает с лабораторными опытами (Кулеш, Субботин, 2009).

Цель работы – оценить влияние скорости ветра в приземном слое воздуха и минерализации почвы на вероятность возникновения торфяного пожара от брошенного тлеющего сигаретного окурка при V классе пожарной опасности по условиям погоды с низким уровнем грунтовой воды для различных по поверхностным характеристикам и растительности участков осушенного болота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта для отбора проб выбран крупный осушенный торфяник в Камешковском районе Владимирской области – «Большое Урсово болото». На территории комплекса бывших верховых болот с 1920-х годов велись обширные торфоразработки. Два основных способа добычи торфа – карьерный способ с применением элеваторных машин на основе паровых локомобилей и затем фрезерный (послойный) способ добычи сформировали сочетание двух основных типов микроландшафтов. На месте бывших карьеров элеваторной добычи сформировался комплекс вторичных болот, внешне напоминающий грядово-мочажинный комплекс, состоящий из бровок с древесной растительностью (с преобладанием сосны и березы (*Betula* L.)) между карьерами и сплавины (сфагнового или шейхцериевого «ковра») на поверхности зарастающих карьеров. На месте выработанных фрезерных полей добычи зарастание идет неравномерно, но самым пожароопасным видом микроусловий можно считать не зарастающие растительностью участки с открытым торфом, быстро просыхающие на солнце.

Данные о распределении пожаров прошлых лет (Пожарная опасность…, 2025), позволяют делать вывод о том, что на осушенных болотах они случаются регулярно. Так, с 2002 по 2024 г. пожары возникали на «Большом Урсовом болоте» каждые 2–3 года, чаще всего в весенний период и в летние месяцы (вероятно, развивающиеся как продолжение непотушенных весенних очагов тления). В 2024 г. крупный торфяной пожар площадью около 100 га возник на этом болоте осенью и не был полностью потушен до зимы, что обусловило факт наличия транссезонного (зимующего) пожара.

Распределение пожаров по территории, определяемое с помощью начальных точек пожаров прошлых лет по первым термоточкам и проверки предположений о начальных точках пожаров по анализу снимков среднего пространственного разрешения, показывает, что пожары возникали на этом болоте на участках бывшей фрезерной и элеваторной (карьерной) добычи и по времени возникновения (апрельские выходные дни и майские праздники, а также конец лета – начало осени) связаны с антропогенной активностью, в том числе могли быть вызваны брошенными окурками.

Для проведения практических опытов с окурками в качестве источника зажигания за основу были взяты методики, применявшиеся ранее в других странах (Sun et al., 2018; Martin et al., 2020; Zhang, Tian, 2024).

В связи с необходимостью изучить вероятность инициирования торфяного пожара на определенной поверхности пробы отбирались так, чтобы сохранить ненарушенный почвенный покров и характерную болотную растительность (для тех участков отбора проб, где растительность была). На поверхности бровки между элеваторными карьерами преобладали различные виды осок (*Carex* L.), встречались мирт (*Myrtus* L.), багульник (*Ledum* L.), вереск (*Calluna* Salisb.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), зеленые и сфагновые мхи.

В полевых условиях были взяты и размещены в специальные контейнеры (поддоны) пробы почвы и напочвенных горючих материалов с бровок между карьерами элеваторной добычи с несгоревшего участка болота (координаты: 56°323979 с. ш., 40°902884 в. д.). Размер пробных площадей – 30 × 50 см с высотой 25 см (на глубину рыхлого слоя лесной подстилки и очеса с верхней границей инертного торфа).

Также были отобраны пробы с открытых (незаросших или не полностью заросших растительностью) участков бывшей фрезерной добычи торфа (координаты: 56°331417 с. ш., 40°918458 в. д.). Выбирались участки, в меньшей степени пострадавшие от торфяных пожаров прошлых лет (без торфяной золы в составе поверхностных слоев почвы).

Для нашей работы выбрана методика определения влажности (влагосодержания) торфяного грунта, утвержденная действующим межгосударственным стандартом ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» (2019). В соответствии с методикой, применимой для торфяных грунтов, мы определяли «влажность, включая гигроскопическую влажность», методом высушивания до постоянной массы. Этот параметр определялся как отношение массы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной массы, к массе высушенного грунта. Аналогично определялась влажность почвы в соответствии с еще одним межгосударственным стандартом ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений» (2006).

Пробы были высушены до влажности поверхностного слоя 10 %, что соответствует наиболее пожароопасному состоянию, которое может быть достигнуто при высоких классах пожарной опасности по условиям погоды и на фоне низкого расположения уровня грунтовых вод. Для достижения такой влажности образцы высушивались в течение длительного времени при температуре около 95 °С со взвешиванием каждые 2 ч до прекращения изменения массы, т. е. до полностью сухого состояния с влажностью (влагосодержанием) 0 %. Затем путем естественного увлажнения образцов влагой воздуха (при размещении вне эксикатора в комнатных условиях и с периодическим взвешиванием для определения набора массы за счет атмосферной влаги) влажность (влагосодержание) образцов была доведена до 10 %. Для образцов с бровок карьеров с гораздо более низкой степенью разложения торфа, содержащих хорошо различимые фрагменты болотных растений, время высушивания составило более 72 ч, а для образцов торфа более высокой степени разложения с фрезерных полей время высушивания составило 48 ч.

При высушивании образцов применялась стандартная методика, при которой торф в сушильном шкафу нагревается от комнатной температуры до 105 °С и так высушивается с регулярным взвешиванием и дальнейшим помещением обратно в духовой шкаф до тех пор, пока повторные взвешивания не покажут прекращение изменения массы. С учетом необычно крупных (неравномерно прогреваемых) для такого опыта образцов контроль температуры дополнительно проводился с использованием термопар типа «К» (с возможностью измерять температуру до 700 °С) и ручными тепловизорами. Из-за неравномерного нагрева в отдельные моменты температура поверхностного слоя торфа (для образцов с фрезерных полей) и болотной растительности (для образцов с бровок карьеров) достигала 95–110 °С. В ходе этого опыта, как и во всех предыдущих экспериментах с высушиванием торфа при высоких температурах, ни в одном случае не наблюдалось случаев дальнейшего самонагревания и самовозгорания торфа.

В качестве сигарет, из которых изготавливались источники зажигания («окурки») с длиной несгоревшей части 3 см, была выбрана марка Winston Blue. Выбор обусловлен тем, что в последние годы это – самые популярные в России сигареты (Топ-10…, 2024). Длина несгоревшей части выбрана по аналогии с подобными меж-

Рис. 1. Опыт с зажиганием открытого торфа без пескования (слева) и открытого торфа с пескованием (полоска справа). Съемка в визуальном режиме.

Рис. 2. Опыт с зажиганием окурками напочвенного покрова и верхнего слоя торфа. Образец поверхности вторично зарастающего болота с бровки бывшего элеваторного карьера. Анемометры контролируют скорость ветра на разных высотах. Съемка в визуальном режиме.

дународными исследованиями (Sun et al., 2018; Martin et al., 2020; Zhang, Tian, 2024).

Сигареты зажигались газовой зажигалкой с принудительной подачей газа под давлением. Таким образом в кончике сигареты создавалась температура в диапазоне, характерном для затяжки курильщика (600–900 °C) (Geiss, Kotzias, 2007), что давало начало устойчивого тления табака и сигаретной бумаги с визуально красно-оранжевой зоной тления и выделением характерного дыма.

Для отдельных участков образцов фрезерного торфа с бывших полей добычи было проведено пескование (смешивание верхнего слоя торфа с песком). Методики, применяемые в сельском хозяйстве для рекультивации осушенных болот (Зайдельман и др., 2005) и снижения пирогенных потерь плодородия предполагают внесение песка от 800 т/га, что соответствует примерно 8 кг/м^2. Опыт тушения многочисленных пожаров на рекультивированных путем пескования торфяных землях показал, что даже гораздо более горячие источники зажигания, такие как травяные и низовые лесные пожары, не приводили к тлению торфа, т. е. вероятность воспламенения торфа от окурка была заведомо близка к нулю при таком интенсивном пескование.

В опыте мы существенно снизили количество вносимого песка, предположив, что при нанесении на поверхность с неглубоким (до 2–3 см) перемешиванием песка с верхним слоем торфа для снижения пожарной опасности может хватить меньшей концентрации. Пескование проводилось из расчета 2.5 кг/м^2. Песок взвешивали на лабораторных весах, площадь пробы для нанесения песка измеряли с помощью рулетки (рис. 1).

Для создания условий с определенной скоростью ветра в опытной установке применялись аккумуляторные вентиляторы с регулируемой скоростью потока воздуха. Изменение направления потока, дистанции и скорости вращения вентиляторов позволяло получать нужные скорости потока воздуха над поверхностью образца.

Для контроля скорости воздушного потока применялись одновременно несколько анемометров, расположенных над образцами на штативах на различной высоте и разном удалении от вентиляторов (рис. 2).

Для контроля влажности образцов, помимо регулярных взвешиваний, проводился непрерывный контроль электронными влагомерами ИВ-44.

Для контроля температуры почвы и регистрации заглубления очагов тления применялись за-

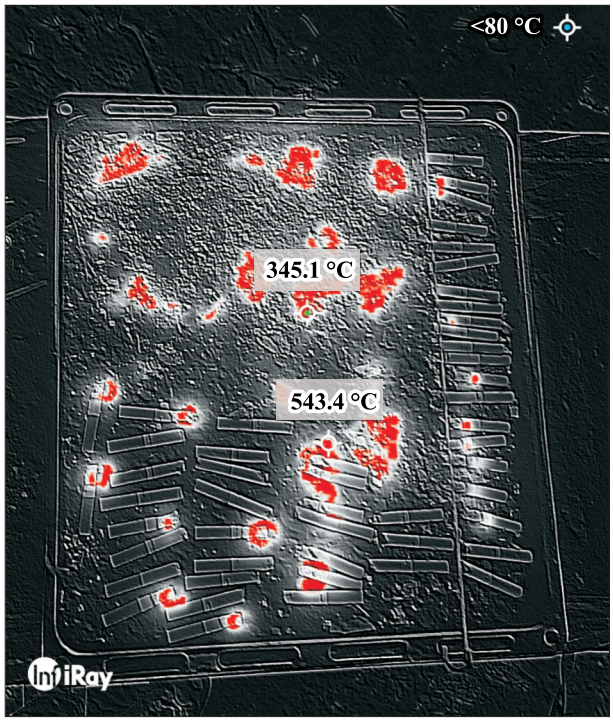

Рис. 3. Пример тепловизионной съемки опыта с зажиганием открытого торфа без пескования (слева) и открытого торфа с пескованием (полоска справа). Видны догорающие окурки, несколько мест, где торф начал тлеть и инициировать устойчивые очаги.

глубленные на 1–2 см в почву термопары типа «К», выведенные на мультиметр с функцией измерения температуры. Для контроля температурных показателей тлеющих окурков и точной фиксации начала тления торфа, времени начала тления от начала опыта, а также перехода тления в открытое горение, применялась установленная на штативе тепловизионная камера InfiRay, встроенная в смартфон Doogee 20V Pro, в режиме фото- и видеосъемки, а также съемка на фото- и видеокамеры в визуальном режиме (рис. 3).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведены шесть групп опытов с общим количеством зажиганий 310 шт., из которых в четырех группах сравнивали эффективность зажиганий на образцах чистого торфа и торфа с песком в условиях отсутствия ветра в приземном слое воздуха и при скоростях ветра от 1 до 2.5 м/с. Остальные две группы опытов проведены на образце торфа с болотной растительностью в условиях отсутствия ветра и при ветре скоростью 2.5 м/с.

В ходе опытов по зажиганию часть окурков погасла, не догорев до фильтра. Такие окурки не привели к воспламенению торфа или растительности на поверхности торфяного образца. Доля окурков, которые самопроизвольно погасли, выше при отсутствии ветра и снижается по мере роста его скорости. Часть догоревших до фильтра окурков привела к образованию очагов тления торфа или к тлению и зажиганию растительности на поверхности торфяной почвы. При этом в некоторых случаях возникшие очаги тления торфа (ямки с тлением, с образованием торфяной золы и с выделением характерного дыма с торфяным запахом) не стали устойчивыми и погасли самопроизвольно до окончания опыта (1–2 мин после догорания окурка): торфяная зола остыла, и развитие очага не наблюдалось. Часть очагов, напротив, стали устойчивыми, и в течение 1–2 мин после догорания окурка продолжали расширяться и заглубляться, выделяя все больше дыма и тепла. Именно такие случаи мы считали наиболее близкими к процессу возникновения торфяного пожара в реальных условиях и отдельно учитывали как «развившиеся очаги тления».

Результаты опытов с применением тлеющих окурков в качестве источника зажигания представлены в таблице.

Опыты с пескованием участка с открытым фрезерным верховым торфом показали, что внесение песка из расчета 2.5 кг/м^2 позволяет существенно снизить вероятность возникновения пожара от окурка на торфяной поверхности. В безветренную погоду, а также при скоростях ветра до 2.5 м/с на таком участке не было ни одного устойчивого очага тления.

Опыты с зажиганием поверхности открытого торфа с бывших полей фрезерной добычи без пескования показали, что в безветренную погоду очаги тления торфа либо не образуются, либо гаснут сами, не получив достаточного притока воздуха. Данные согласуются с аналогичными результатами для торфа в Индонезии и других видов ЛГМ в аналогичных экспериментах (Sun et al., 2018; Martin et al., 2020; Zhang, Tian, 2024). При скоростях ветра в приземном слое от 1 до 2.5 м/с окурки длиной 3 см способны вызывать устойчивые очаги тления торфа, которые затем не гаснут сами и заглубляются в торфяную залежь. Так, доля эффективных зажиганий на чистом торфе от общего числа опытов в исследовании составила 20.74 % (рис. 4).

В ходе опыта было отмечено, что, как и в аналогичных работах коллег, сигареты более вероятно догорали до конца и давали воспламенение торфа, если они падали кончиком в сто-

Результаты экспериментальных зажиганий образцов торфа сигаретными окурками

Номер группы опытов, условия	Вид ЛГМ	Число окурков, шт.			Число очагов тления, шт.	
		тлеющих в начале опыта	погасших, не догорев	сгоревших полностью	возникших	развившихся
1, без ветра	Чистый торф	25	23	2	1	0
	Торф с песком	25	22	3	0	0
2, ветер 1 м/с	Чистый торф	50	24	26	7	5
	Торф с песком	0	0	0	0	0
3, ветер 1.5 м/с	Чистый торф	30	12	18	9	8
	Торф с песком	20	8	12	0	0
4, ветер 2.5 м/с	Чистый торф	30	6	24	17	15
	Торф с песком	10	3	7	0	0
5, без ветра	Растительность на торфе	20	10	10	0	0
6, ветер 2.5 м/с	» » »	100	15	85	3	2
	В с е г о …	310	123	187	37	30

рону источника ветра, а также кончиком вниз с касанием почвы. Сигареты, упавшие фильтром в сторону ветра или вверх кончиком, почти не дали очагов тления (два случая успешного воспламенения в опыте с самым сильным ветром) и чаще гасли сами.

Время от начала опыта (от зажигания сигареты) до фиксирования устойчивого очага тления уменьшалось с усилением ветра и составило от 7 до 11 мин.

Температурный режим в большинстве случаев имел характерные температуры тления сигареты в начале опыта (150–170 °С без ветра, 200–300 °С при ветре до 2–3 м/с, направленном в кончик сигареты). Обычно был непродолжительный эпизод с понижением температуры в конце сгорания табака и бумаги, а затем рост температуры тлеющего торфа до 300–540 °С с последующей стабилизацией температуры на более низких значениях (200–350 °С).

Важно отметить, что во всех случаях, где сигарета приводила к образованию очага тления, фильтр сгорал без видимого остатка уже через 7–10 мин от начала опыта, т. е. обнаружить сигаретный фильтр как свидетельство начала пожара по причине выброшенного окурка не представляется возможным (ни в одном случае фильтр окурка, вызвавшего тление торфа, не сохранился даже частично).

Опыты с зажиганием поверхности торфа с характерной болотной растительностью с бывших карьеров элеваторной добычи показали, что в безветренную погоду очаги тления торфа не образуются. Данные согласуются с аналогичны-

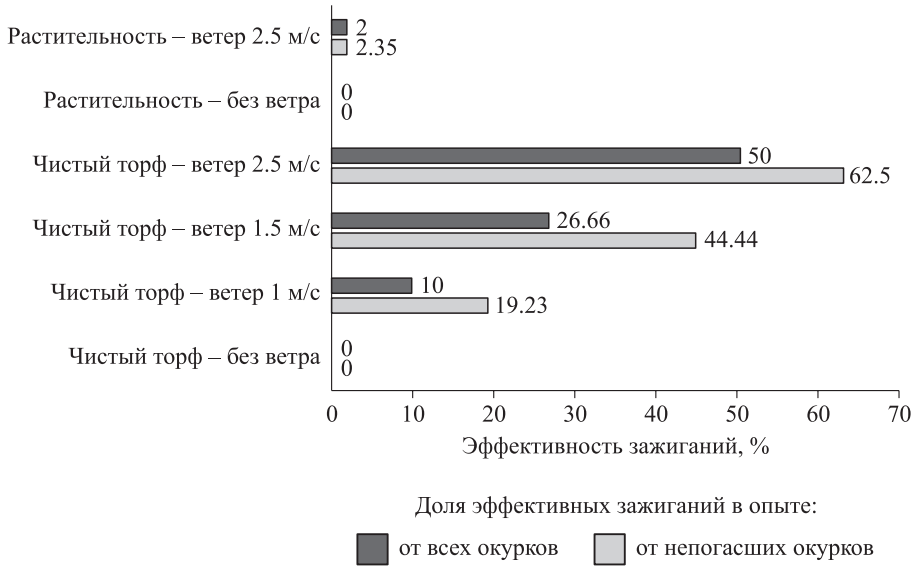

Рис. 4. Эффективность зажиганий ЛГМ от окурков при различных скоростях ветра в приземном слое воздуха.

ми результатами для торфа в Индонезии и для других видов ЛГМ (хвои, листвы) в аналогичных экспериментах (Sun et al., 2018; Martin et al., 2020; Zhang, Tian, 2024).

Опыты с зажиганием поверхности торфа с характерной болотной растительностью с бывших карьеров элеваторной добычи при скоростях ветра в приземном слое до 2.5 м/с показали, что окурки длиной 3 см способны вызывать устойчивые очаги тления торфа, которые затем не гаснут сами и заглубляются в торфяную залежь. Вероятность такого события ниже, чем на открытом торфе (два случая из 120 опытов, т. е. 2.35 %). Можно предположить, что это связано с тем, что многие окурки застревают в растительности, не имеют плотного контакта с горючими материалами, оказываются защищены от ветра. Время на развитие очага тления от начала опыта несколько больше, чем для открытого торфа (до 15 мин). Но при развитии очагов уже на 17-ю минуту от начала опыта возможно возникновение открытого горения и переход пожара в низовой лесной с продвижением пламени (температура выше 580 °C) и образованием многочисленных новых очагов.

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало, что различные по своей поверхности и растительности участки одного осушенного торфяного болота могут иметь различные вероятности возникновения торфяного пожара от одного источника зажигания (от брошенных окурков). Вероятность возникновения очагов тления от непотушенного окурка невелика при полном отсутствии ветра в приземном слое воздуха, а наличие ветра является ключевым фактором для возникновения пожара от окурка. При скорости ветра 2.5 м/с фрезерный торф с влажностью (влагосодержанием) 10 % загорается от каждого второго окурка.

Пескование открытых участков торфа, оставшихся в местах бывшей фрезерной добычи, даже относительно небольшими объемами песка (2.5 кг/м^2) в местах выбрасывания непотушенных окурков, может существенно снизить вероятность возникновения пожара по этой причине.

Результаты показывают, что посещение осушенных болот людьми в периоды чрезвычайной пожарной опасности может быть безопасным в пожарном отношении только при исключении использования источников огня, включая сигареты. Полученные данные позволяют продумывать практические меры по снижению риска антропогенных пожаров на торфяниках, в том числе конкретные ограничения – запрет посещения или запрет использования открытого огня вне специально оборудованных мест.

Также представляется возможным на практике разрабатывать подходы к тому, как могут быть обустроены популярные тропы и маршруты, а также специально выделенные для отдыха, приготовления пищи или курения места в границах крупных и при этом посещаемых осушенных болот. В частности, возможно учитывать результаты исследования в части воздействия ветра в приземном слое на возникновение и развитие торфяных очагов, а также оценку эффекта от пескования при конструировании пожаробезопасных мест отдыха на отдельных участках болота, например на насыпях бывших узкоколейных железных дорог. Окружение мест отдыха или места для курения барьерами, препятствующими ветру в приземном слое (например, установка с этой целью информационных щитов, выполняющих ветрозащитную функцию, специальных павильонов, беседок со стенкой от ветра, расположение места курения в местах, закрытых от ветра естественными преградами) в сочетании с дополнительным пескованием практически исключит вероятность возникновения пожара от окурка или иного небольшого источника огня в таких местах.

Проведенная работа показала необходимость продолжения исследований, направленных на выработку подходов к более точному определению природной пожарной опасности осушенных болот с учетом их неоднородности, а также условий, при которых достигается высокая и чрезвычайная пожарная опасность для таких территорий в зависимости от погоды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 150 с.

ГОСТ ISO 12863-2013. Сигареты. Стандартный метод испытания для оценки воспламеняющей способности. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартинформ, 2019. 24 с.

ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. Введ. 1990-06-01. М.: Стандартинформ, 2006. 8 с.

ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. Введ. 2016-04-01. М.: Стандартинформ, 2019. 31 с.

Зайдельман Ф. Р., Батраков А. С., Шваров А. П. Изменение физических свойств осушенных торфяных почв после внесения песка разными способами // Почвоведение. 2005. № 2. С. 218–231.

Залесов С. В. Роль болот в депонировании углерода // Междунар. науч.-иссл. журн. 2021. № 7 (109). Ч. 2. С. 6–9.

Залесов С. В., Платонов Е. П., Платонов Е. Ю. Пожары и их последствия в Западной Сибири. Екатеринбург: УГЛТУ, 2022. 191 с.

Куксин Г. В. Влияние уровня грунтовых вод и влажности на развитие торфяного пожара // Лесохоз. информ. 2023. № 4. С. 71–84.

Кулеш Р. Н., Субботин А. Н. Зажигание торфа внешним локальным источником тепла // Пожаровзрывобезопасность. 2009. № 4. С. 13–18.

Писклов В. П., Резниченко И. А., Лешуков В. А. Исследование пожаробезопасности сигарет российских и зарубежных производителей // ИВУЗ. Пищев. технол. 2010. № 4. С. 111–114.

Пожарная опасность осушенных торфяных болот: сайт / АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров». М., 2025. https://peatfires.nextgis.com/resource/5/display

Секерин И. М., Годовалов Г. А., Ерицов А. М., Залесов С. В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесн. вестн. 2022*а*. Т. 26. № 5. С. 64–70.

Секерин И. М., Ерицов А. М., Кректунов А. А., Залесов С. В. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Междунар. науч.-иссл. журн. 2022*б*. № 5 (119). Ч. 2. С. 81–85.

Софронов М. А., Волокитина А. В. Лесные почвенно-торфяные пожары на юге Западной Сибири // Лесн. хозво. 1986. № 5. С. 56–58.

Технический регламент Таможенного союза «Технический регламент на табачную продукцию» ТР ТС 035/2014. М., 2014. https://docs.cntd.ru/document/420239195

Топ-10 марок сигарет, которые больше всего покупают у нас в стране // Национальный научный центр компетенций в сфере противодействия незаконному обороту промышленной продукции. М., 2024. https://nnck.gov.ru/news/top-10-marok-sigaret-kotorye-bolshe-vsego-pokupayut-u-nas-v-strane/

ASTM E2187: Standard test method for measuring the ignition strength of cigarettes. ASTM Int., 2024. 10 p.

Butry D. T., Prestemon J. P., Thomas D. S. Investigation of the decline in reported smoking-caused wildfires in the USA from 2000 to 2011 // Int. J. Wildland Fire. 2014. V. 23. N. 6. P. 790–798.

Cattau M., Harrison M., Shinyo I., Tungau S., Uriarte M., DeFries R. Sources of anthropogenic fire ignitions on the peat-swamp landscape in Kalimantan, Indonesia // Glob. Environ. Change. 2016. V. 39. P. 205–219.

Costa F. S. Natural smoldering of cigarettes // Proc. HT2003 ASME Summer Heat Transfer Conf. 2003. V. 36940. P. 87–93.

Fuentes-Santos I., Marey-Pérez M., González-Manteiga W. Forest fire spatial pattern analysis in Galicia (NW Spain) // J. Environ. Manag. 2013. V. 128. P. 30–42.

Ganteaume A., Camia A., Jappiot M., San-Miguel-Ayanz J., Long-Fournel M., Lampin C. A review of the main driving factors of forest fire ignition over Europe // Environ. Manag. 2013. V. 51. P. 651–662.

Geiss O., Kotzias D. Tobacco, cigarettes and cigarette smoke: An overview. Luxembourg: Office Official Publ. Europ. Comm. 2007. 73 p.

Guide to wildland fire origin and cause determination. Boise: Nat. Wildfire Coord. Group., 2025. 248 p.

Martin A., Agusta Y. W., Palamba P. Experimental investigation of cigarette butts as a trigger on smoldering combustion propagation of peat: Case study on Pelelawan peat // J. Ocean, Mechan. Aerospace-Sci. & Engineer. 2020. V. 64. N. 3. P. 100–104.

Meira Castro A. C., Nunes A., Sousa A., Lourenço L. Mapping the causes of forest fires in Portugal by clustering analysis // Geoscience. 2020. V. 10. N. 2. Article 53.

Ruegg R., Petraglia L. Impact assessment of New York state's cigarette fire safety performance standard. Gaithersburg: Nat. Inst. Standards and Technol., 2005. 222 p.

Santoso M. A., Christensen E., Amin H. M. F., Palamba P., Hu Y., Purnomo D., Cui W., Pamitran A., Richter F., Smith T., Nugroho Y., Rein G. GAMBUT field experiment of peatland wildfires in Sumatra: from ignition to spread and suppression // Int. J. Wildland Fire. 2022. V. 31. N. 10. P. 949–966.

Sun P., Zhang Y., Sun L., Hu H., Guo F., Wang G., Zhang H. Influence of fuel moisture content, packing ratio and wind velocity on the ignition probability of fuel beds composed of Mongolian oak leaves via cigarette butts // Forests. 2018. V. 9. N. 9. Article 507. 15 p.

Supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: wetlands / T. Hiraishi, T. Krug, K. Tanabe, N. Srivastava, J. Baasansuren, M. Fukuda, T. G. Troxler (Eds.). Switzerland: The Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014. 354 p.

Zhang Y., Tian L. Ignition of forest fires by cigarette butts: using *Pinus massoniana* needles as an example // Fire. 2024. V. 7. N. 3. Article 65. 16 p.

EXPERIMENTAL STUDY OF PEAT IGNITION FROM UNEXTINGUISHED CIGARETTE BUTTS IN DRAINED BOGS IN THE BOREAL FOREST ZONE

G. V. Kuksin[1], L. A. Kryuchkovskaya[1], S. V. Zalesov[2]

[1] *Wildfire Prevention Center*
Dubninskaya str., 26, korp.4, apt. 127, Moscow, 127591 Russian Federation

[2] *Ural State Forest Engineering University*
Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

E-mail: gkuksin@cplp.ru, lkryuch@cplp.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru

The article presents the results of experiments conducted in order to establish the potential possibility of ignition of peat with 10 % moisture content from cigarette butts. The results showed that peat did not ignite from cigarette butts in the absence of wind. Wind velocity was the key factor that influenced the possibility of peat ignition from a cigarette butt. Ignition probability of cigarette butts was 10 % when the wind velocity was 1 m/s. As the wind velocity increased, ignition probability grew accordingly: 27 % of all experiments ended with peat ignition when the wind velocity was 1.5 m/s, and 50 % of experiments ended with peat ignition when the wind velocity was 2.5 m/s. During the process of peat ignition the cigarette filters burned completely, which prevents using filters as the evidence in order to investigate the cause of peat fires. The results showed that the arenation of the peat surface at the rate of 2.5 kg/m^2 prevented peat ignition from cigarette butts. Thus, the arenation of those drained peatlands sites where popular camping and smoking areas as well as hunting, fishing, mushroom and berries foraging routes are located can significantly reduce peatlands fire hazard and therefore can be used to develop fire prevention measures.

Keywords: *ignition sources, cigarette butts as a cause of fires, spontaneous combustion of peat, peat fires, drained peatlands, fire prevention.*

How to cite: *Kuksin G. V., Kryuchkovskaya L. A., Zalesov S. V.* Experimental study of peat ignition from unextinguished cigarette butts in drained bogs in the boreal forest zone // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2025. N. 5. P. 109–119 (in Russian with English abstract and references).