

Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 18–34.

Forests of Russia and economy in them. 2026. № 2 (97). P. 18–34.

Научная статья

УДК 630.432:629.735

DOI: 10.51318/FRET.2026.97.2.002

КАРТИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЗАБРОШЕННЫХ ШТАБЕЛЕЙ (КАРАВАНОВ) ФРЕЗЕРНОГО ТОРФА НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКАХ

Григорий Валерьевич Куксин¹, Людмила Алексеевна Крючковская²,
Илья Михайлович Секерин³, Сергей Вениаминович Залесов⁴

^{1,2} Центр профилактики ландшафтных пожаров, Москва, Россия

^{3,4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ gkuksin1980@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-6884-0382>

² lkryuch@cplp.ru

³ sekerinim@mail.ru, [http:// orcid.org/0000-0003-3492-4322](http://orcid.org/0000-0003-3492-4322)

⁴ zalesovsv@m.usfeu.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-3779-410x](https://orcid.org/0000-0003-3779-410x)

Аннотация. Осушенные торфяные болота и заброшенные фрезерные торфоразработки как на территории государственного лесного фонда, так и на других категориях земель остаются одним из наиболее пожароопасных типов нарушенных ландшафтов в России. Особую опасность представляют оставшиеся на этих территориях штабели (караваны) фрезерного торфа – рыхлого, хорошо аэрируемого материала, способного к быстрому просыханию и длительному тлению. В работе рассматриваются исторические предпосылки формирования таких объектов, их значение для обеспечения пожарной безопасности осушенных торфяников, подходы к картированию таких штабелей (караванов) с использованием данных дистанционного зондирования Земли и открытых картографических ресурсов, методика консервативной дистанционной оценки запасов торфа в заброшенных караванах и оценка возможных выбросов парниковых газов при их сгорании на основе методик ИРСС и национальных нормативов. Обсуждаются влияние таких мер, как обводнение и ликвидация караванов, на снижение пожарной опасности, а также потенциальная экономическая целесообразность вывоза торфа из караванов как одна из мер управления рисками. Намечены направления дальнейших исследований: автоматическое выделение караванов по снимкам сверхвысокого разрешения и натурные обследования их структуры и свойств.

Ключевые слова: торф, фрезерная добыча, штабель, самовозгорание, торфяной пожар

Для цитирования: Картирование и оценка пожарной опасности заброшенных штабелей (караванов) фрезерного торфа на осушенных торфяниках / Г. В. Куксин, Л. А. Крючковская, И. М. Секерин, С. В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. 2026. № 2 (97). С. 18–34.

Original article

MAPPING AND ASSESSING THE FIRE HAZARD OF ABANDONED MILLED PEAT STACKS (CARAVANS) ON DRAINED PEATLANDS

Grigory V. Kuksin¹, Lyudmila A. Kryuchkovskaya², Ilya M. Sekerin³, Sergey V. Zalesov⁴

^{1,2} Landscape Fire Prevention Centre, Moscow, Russia

^{3,4} Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ gkuksin1980@mail.ru, <http://orcid.org/0009-0006-6884-0382>

² lkryuch@cplp.ru

³ sekerinim@mail.ru, [http:// orcid.org/0000-0003-3492-4322](http://orcid.org/0000-0003-3492-4322)

⁴ zalesovsv@m.usfeu.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-3779-410x](https://orcid.org/0000-0003-3779-410x)

Abstract. Drained peat bogs and abandoned milled peat extraction sites, both within the state forest fund and on other land categories, remain among the most fire-hazardous types of disturbed landscapes in Russia. Particularly hazardous are the remaining stacks (caravans) of milled peat in these areas – a loose, well-aerated material capable of rapid drying and prolonged smoldering. This research examines the historical background to the formation of such objects, their importance for ensuring fire safety in drained peatlands, approaches to mapping such stacks (caravans) using Earth remote sensing data and open cartographic resources, a method for conservative remote sensing of peat reserves in abandoned caravans, and an assessment of potential greenhouse gas emissions from their combustion based on IPCC methodologies and national regulations. The impact of measures such as flooding and caravan removal on reducing fire hazard is discussed, as well as the potential economic feasibility of peat removal from caravans as a risk management measure. Further research directions have been identified: automatic detection of milled peat caravans using ultra-high-resolution images and in-situ surveys of their structure and properties.

Keywords: peat, milled peat extraction, stack, self-ignition, peat fire

For citation: Mapping and assessing the fire hazard of abandoned milled peat stacks (caravans) on drained peatlands / G. V. Kuksin, L. A. Kryuchkovskaya, I. M. Sekerin, S. V. Zalesov // Forests of Russia and economy in them. № 2 (97). P. 18–34.

Введение

Промышленная торфодобыча в России на протяжении XX в. сформировала крупные массивы осушенных и выработанных торфяников, значительная часть которых после закрытия торфопредприятий осталась без рекультивации (Панов, 2001; Вомперский, 1986). На раннем этапе торфодобычи в России преобладала резная (кирпичная) добыча, позднее получили развитие машинно-формовочные методы (элеваторные, баггерные) и гидродобыча (Панов, 2001; Практическое руководство..., 2007б). С конца 1920–1930-х гг. и особенно массово в 60–90-е гг. XX в. активно внедрялся фрезерный способ добычи (Панов, 2001; Практическое руководство...,

2007а). Такие разработки требовали создания масштабного дренажа для подготовки равномерно осушенных «карт» и «полей» для поверхностной послойной добычи торфа. После закрытия предприятий большая часть дренажной инфраструктуры была заброшена, выработанные «карты» и подкараванные насыпи начали зарастать лесом и кустарником, но уровень грунтовых вод, как правило, не был восстановлен (Панов, 2021; Ахметьева и др., 2016). В результате на территории европейской части России, на Урале и в ряде регионов Сибири сформировались десятки тысяч гектаров нарушенных торфяных экосистем с высокой пожарной опасностью (Панов, 2021; Сирин и др., 2023).

Особым элементом этих ландшафтов являются оставшиеся караваны (штабели) фрезерного торфа, которые формировались как временные склады сезонной продукции. После резкого сокращения спроса на топливный торф в 1990–2000-х гг. многие предприятия были закрыты в сжатые сроки без вывоза торфа и проведения обводнения и рекультивации (Панов, 2021; Куксин, 2024). Караваны, т. е. искусственные насыпи фрезерованного, предварительно высушенного и собранного с полей торфа, остались на наиболее сухих участках выработанных «торфяных карт» и сейчас представляют собой локальные центры повышенной пожарной опасности.

Караваны (штабели) фрезерного торфа – продолговатые насыпи длиной от десятков до сотен метров (рис. 1), чаще всего около 50 м, и высотой, как правило, 2–5 м, в некоторых случаях до 8 м, сформированные послойным складированием подсушенного торфа на специальных подкараванных насыпях (ГОСТ 21123–85; РД 34.44.101–96). Фрезерный торф в караване отличается высокой пористостью и развитой удельной поверхностью

частиц, что способствует интенсивному воздухообмену и быстрому испарению влаги.

В работах по саморазогреванию фрезерного торфа в штабелях (Шпынев, 2001) показано, что в свежесложенных штабелях при определенных сочетаниях влажности и размера штабеля возможны процессы самонагрева. В отраслевых инструкциях по хранению фрезерного торфа на открытых складах (РД 34.44.101–96) регламентируются меры контроля температурного режима (в том числе с инструментальным контролем температуры специальными щупами-термометрами) и допустимые размеры штабелей, а также порядок действий при обнаружении зон повышенной температуры. При этом в нормативных документах не проводится разделения на «старые» и «новые» штабели и не дается отдельной оценки их относительной опасности; речь идет о штабеле как объекте хранения в целом, поскольку в исторический период создания нормативных документов не был актуален вопрос пожарной опасности заброшенных и заросших древесно-кустарниковой растительностью штабелей не вывезенного с предприятий торфа.



Рис. 1. Караван (штабель) фрезерного торфа на действующем торфопредприятии (Костромская область)

Fig. 1. A milled peat caravan (stack) at an operating peat enterprise (Kostroma region)

С практической точки зрения заброшенные караваны на выработанных торфяниках опасны прежде всего как легко воспламеняемый и длительно тлеющий материал при внешнем источнике зажигания. Рыхлая структура торфа, поднятое положение и изоляция от грунтовых вод способствуют длительному поддержанию тления в их объеме после возгорания.

Микробиологические исследования торфа показывают очень большую разницу в разнообразии, численности и активности почвенных микроорганизмов между торфом, находящимся в залежи, и добытым фрезерным торфом (Kuster, 1971). Резкий рост активности грибов и бактерий в свежедобытом торфе приводит к быстрым изменениям в его составе. По мере старения (годы и десятилетия после окончания добычи) в караване происходят существенные изменения. В частности, уменьшается доля легкоразлагаемой органики: первые, наиболее активные субстраты (простые углеводы, растворимые компоненты) уже переработаны микробиотой; остается более инертная, гумифицированная масса. Работы, посвященные изменениям, происходящим в добытом фрезерном торфе не только во время хранения, но даже во время транспортировки в тюках к местам потребления (переработки), показывают (Mofidpoor et al., 2009), что за несколько месяцев в торфе заметно меняется соотношение основных элементов, меняется зольность, кислотность, заметно падает содержание азота. Снижается микробная активность: по мере исчерпания субстрата и высушивания верхних слоев интенсивность микробиологического тепловыделения падает. Работы по микробиологическому самовозгоранию (Шпынев, 2001) указывают, что решающим фактором является сочетание свежего органического материала и оптимальной влажности; оба условия в старом, многократно замороженном/просушенном штабеле обычно нарушены. Кроме того, в караване происходит структурная переработка и уплотнение: под действием собственного веса, многократного намокания-подсыхания и окисления штабель уплотняется, оседает, меняется структура порового пространства и режим воздухопроницаемости; это влияет на теплопроводность и конвективный теплообмен.

Таким образом, через несколько лет после закладки каравана вероятность развития нового процесса самонагревания до критических температур в старом караване должна существенно снижаться.

Документированные случаи самовозгорания торфа относятся именно к свежим штабелям на действующих торфопредприятиях или складах. Достоверных документов о самовозгорании *старых, заброшенных* караванов, не пополнявшихся свежим торфом и многократно переживших циклы намокания-высыхания, в литературе не приводится.

Пожароопасность поверхности каравана определяется сочетанием геометрических, микроклиматических и материаловедческих факторов: из-за низкого уровня болотных грунтовых вод относительно поверхности, из-за нагрева в результате инсоляции, из-за лучшего конвективного испарения и воздействия ветра, а также из-за структуры фрезерного (измельченного) торфа верхняя часть караванов торфа является наиболее быстро просыхающим и пожароопасным элементом на заброшенных фрезерных разработках, особенно при наличии внешних источников зажигания (окурки, костры, поджоги, переход огня от сельхозпалов, искры от техники). Вероятность возникновения на такой быстро высыхающей и продуваемой ветром торфяной поверхности от брошенного окурка существенно выше, чем на затененных или более закрытых от ветра участках (Куксин и др., 2025).

Картирование осушенных торфяников и следов торфодобычи может быть основано на сочетании данных дистанционного зондирования Земли (Sentinel-2, Landsat 8/9, коммерческие снимки сверхвысокого разрешения), цифровых моделей рельефа и векторных картографических слоев. На снимках среднего и высокого разрешения фрезерные разработки выделяются по регулярной сетке «карт» и мелиоративных каналов с характерными расстояниями между соседними каналами в 20 или 40 м; характерной текстуре поверхности выработанных полей; наличием линейных дорог (в том числе насыпей бывших УЖД с характерными поворотами) и технологических площадок.

В России важную роль в создании региональных карт торфяных болот и осушенных торфяников играет ИЛАН РАН, разрабатывающий электронные карты торфяных экосистем на основе ДЗЗ и полевых обследований (Сирина и др., 2023). Важным источником данных о нарушенных торфяниках на различных категориях земли для большинства российских регионов является открытый ресурс АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров» (ЦПЛП) – карта осушенных торфяников, размещенная на платформе NextGIS, с доступом к векторному слою и атрибутивным данным (ЦПЛП, peatfires.nextgis.com).

Цель, методика и объекты исследований

В международной практике методы машинного обучения широко используются для классификации типов торфяников и оценки последствий пожаров (Remote Sensing Mapping..., 2022; Remote Sensing of peatland..., 2024). В литературе нами не найдено специализированных работ, посвященных автоматическому выделению именно штабелей (караванов) торфа на заброшенных разработках, что позволяет рассматривать данное направление как малоизученное и перспективное.

Для оценки запасов торфа в заброшенных караванах могут применяться различные методики с различной степенью точности определения объемов складированного вещества. Одними из наиболее точных являются методики, основанные на геометрическом подходе, аналогичном инвентаризации складов сыпучих материалов (Сальников, Лебедев, 2019).

В рамках выборочных полевых обследований дистанционными методами в сравнении с наземными нами была оценена погрешность определения площади и линейных размеров караванов. Сравнивались треки наземного обхода караванов и полигоны, созданные при экспертно-визуальном дешифрировании космических снимков. Различия в площадях в исследованных случаях составили не более 10 %, причем отличия были как в сторону занижения, так и в сторону завышения площади. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование дистанционных

данных (снимков сверхвысокого пространственного разрешения) дает достаточную точность для предварительных оценок объемов оставшегося в караванах торфа.

Результаты и их обсуждение

Проведенные полевые наблюдения также позволяют предварительно говорить о том, что караваны, поврежденные пожарами прошлых лет, если они отчетливо видны на космическом снимке, все еще содержат большие запасы несгоревшего торфа. Верхний слой грунта в таких случаях часто представлен золой и углем, прикрытыми лесной подстилкой, но под этим слоем находится несгоревший торф. Древостой, сформированный после пожара на поврежденном караване, отличается от окружающих участков большей продуктивностью и высотой (предположительно в результате повышения минерализации почвы, меньшей влажности и лучшего освещения).

Измерения зольности и влажности золы и углей в выгоревшей части караванов и торфа в оставшейся несгоревшей части показали, что верхний слой мощностью до 20 см в поврежденном пожаром караване представлен преимущественно золой, покрытой по поверхности тонкой лесной подстилкой. В слое золы влажность (влажность – отношение массы воды к массе сухого грунта) в момент измерения (в зимние месяцы) составляла около 170 %, содержание органики (недожог или вторично проникшая в этот слой органика) – 20 %. Ниже слоя золы обнаруживается слой углей (торфяного кокса). Влажность этого слоя – около 200 %. Эта влажность уже позволяет возникнуть в таком материале очагам тления, если воздействовать на грунт источником высокой температуры, например разведением костра. Зольность этого слоя в исследованных случаях составила около 10 % (т. е. 90 % – органика).

Эксперименты с зажиганием проб из этого слоя в лабораторных условиях от источника открытого огня (горелка с температурой около 500 °С с временем экспозиции 3 с) показали возможность горения и последующего длительного тления образцов. Мощность этого слоя углей составила около 5 см. Ниже располагался не измененный пожарами торф.

Для исследованных караванов это был верховой торф. Средняя зольность составила около 4,5 %, влажность – около 300–400 %. Такая влажность не позволяет воспламенить этот торф, но при начале тления в верхних (более сухих) слоях очаг даже в зимнее время может постепенно подсушивать и вовлекать в процесс тления такое топливо.

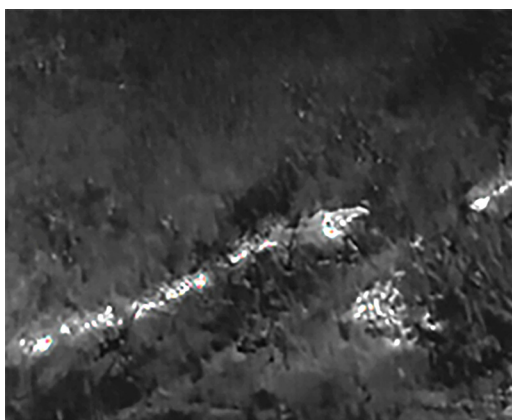
Расчет выбросов парниковых газов при возможном сгорании караванов и прилегающих участков осушенных торфяников опирается на методологию IPCC (2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands) и национальные нормативы, в том числе технический кодекс установившейся практики Республики Беларусь ТКП 17.09-04-2011, регламентирующий расчет выбросов при торфяных пожарах.

По литературным данным, удельные выбросы при торфяных пожарах могут достигать десятков и сотен тонн CO_2 -эквивалента на гектар (Derivation..., 2015; Estimating greenhouse gas..., 2021), что позволяет предположить, что если мы будем применять те же формулы и методики, учитывающие массу горючего материала, долю реально сгоревшей массы, удельные показатели выбросов для торфа, то частичное (обычное для торфяных пожаров) сгорание крупного каравана по климатическому эффекту будет сопоставимо с выгоранием нескольких гектаров осушенного торфяника – несколькими сотнями тонн CO_2 -эквивалента.

Для уточнения характеристик реально оставшихся невывезенных караванов, а также для создания методики картирования таких объектов нами было проведено экспертное дешифрирование космических снимков высокого пространственного разрешения (подложка Google Satellite, пространственное разрешение порядка 0,4–0,6 м) для ряда крупных осушенных торфяников, на которых фрезерная добыча велась в последние десятилетия, в границах Ивановской, Ярославской, Костромской, Вологодской, Владимирской, Свердловской областей.

Для верификации спутниковых данных использовались как выборочные данные с беспилотных воздушных судов (БВС), полученные при тушении горящих караванов торфа как в летний, так и в зимний период (рис. 2), а также наземные данные (рис. 3–4). Обследовались заросшие караваны и караваны с открытым торфом на поверхности, а также сгоревшие или еще горящие караваны (рис. 5).

При наземных обследованиях установлено, что в некоторых случаях за караваны складированного торфа может быть на основе дистанционных данных ошибочно принят похожий объект – штабели пней (прежде всего корней сосны), которые также располагаются на заброшенных торфопредприятиях и имеют сходные размеры (рис. 6).



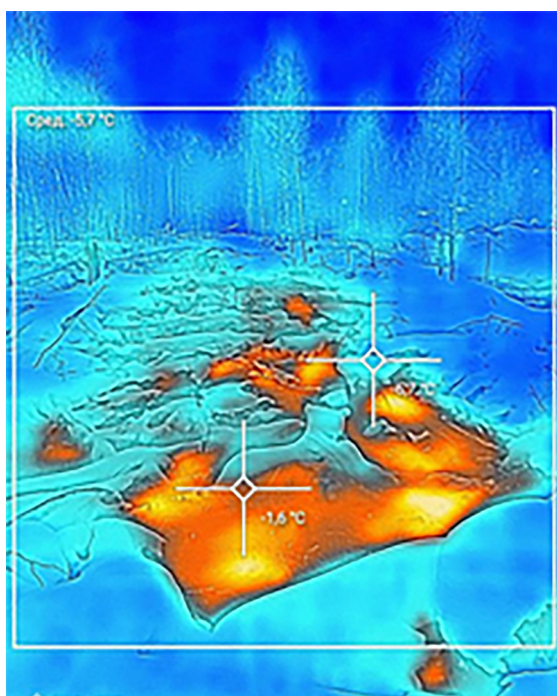
а



б

Рис. 2. Съемка горящего заброшенного торфяного каравана с БВС в зимнее время с применением тепловизора (а) и визуальной камеры (б) (Костромская область)

Fig. 2. Filming a burning abandoned peat caravan from a UAV in winter using a thermal imager (a) and a visual camera (b) (Kostroma region)



а



б

Рис. 3. Наземная съемка горящего заброшенного торфяного каравана в зимнее время с применением тепловизора (*а*) и визуальной камеры (*б*) (Костромская область)

Fig. 3. Ground survey of a burning abandoned peat caravan in winter using a thermal imager (*a*) and a visual camera (*b*) (Kostroma region)



Рис. 4. Наземная съемка заброшенного каравана фрезерного торфа в летнее время. Караван не покрыт растительностью (Ивановская область)

Fig. 4. Ground survey of an abandoned milled peat caravan in summer. The caravan is not covered with vegetation (Ivanovo region)



Рис. 5. Горящий торфяной караван на заброшенном торфопредприятии.
Летнее время (Ленинградская область). Фото Н. Н. Максимовой
Fig. 5. A burning peat caravan at an abandoned peat enterprise.
Summer time (Leningrad region). Photo by N. N. Maximova



Рис. 6. Заброшенный штабель (склад) пней на территории бывшего торфопредприятия
(Ивановская область)
Fig. 6. An abandoned stack (warehouse) of stumps on the territory of a former peat enterprise
(Ivanovo region)

При отрисовке объектов анализировались только те участки, где по технологической схеме фрезерной добычи обычно размещаются караваны торфа, так называемые *подкараванные насыпи*, – сухие приподнятые участки вдоль валовых каналов и технологических дорог. Этот подход позволяет существенно уменьшить риск спутать караван с другими линейными объектами сходных размеров: силосными кучами, стогами сена, земляными валами при копке канав, дорожными насыпями и т. п.

На выбранных участках подкараванных насыпей штабели идентифицировались по совокупности признаков: вытянутая прямоугольная или овальная форма, характерная высотная структура,

положение относительно валовых каналов, наличие следов старых технологических дорог. Далее караваны отрисовывались вручную в QGIS в виде полигонов, для которых автоматически вычислялась площадь, экспертно задавались бинарные признаки зарастания (*zagos*) и следы пожаров (*gogel*). Примеры визуально определяемых караванов с различными признаками приведены на рис. 7–9.

По итогам картирования 400 караванов различной степени сохранности и степени зарастания установлено, что площади оснований варьируют от ~350 до 4200 м², средняя площадь основания составила $S \approx 1564$ м².



а



б

Рис. 7. Ярославская область. Граница участков бывшей гидродобычи и фрезерной добычи торфа. Заросшие древесной растительностью караваны торфа отчетливо видны на подкараванной насыпи:

а – до дешифрирования; б – после дешифрирования

Fig. 7. Yaroslavl region. The boundary of the former hydraulic milled and peat milled sites. Peat caravans overgrown with woody vegetation are clearly visible on the leveled embankment:

а – before decryption; б – after decryption



а



б

Рис. 8. Ивановская область. Участок, заброшенный и частично обводненный после фрезерной добычи торфа. Не заросшие древесной растительностью караваны торфа отчетливо видны на подкараванной насыпи:

а – до дешифрирования; б – после дешифрирования

Fig. 8. Ivanovo region. The site abandoned and partially flooded after peat milling.

Peat caravans not overgrown with woody vegetation are clearly visible on the leveled embankment:

а – before decryption; б – after decryption



Рис. 9. Ивановская область. Участок, заброшенный, заросший деревьями и пройденный интенсивным пожаром после окончания фрезерной добычи торфа. Видны вывалы деревьев с подгоревшими корнями. Контур сгоревшего каравана торфа отрисован по результатам экспертного дешифрирования снимка высокого пространственного разрешения:

a – до дешифрирования; *б* – после дешифрирования

Fig. 9. Ivanovo region. The site is abandoned, overgrown with trees and burned by an intense fire following the completion of milled peat extraction. Fallen trees with burnt roots are visible.

The outline of the burnt peat caravan was drawn based on the results of expert decryption of a high-resolution image:

a – before decryption; *б* – after decryption

Для среднего каравана с площадью основания около 1500 м² при высоте 2 м объем (верхняя граница исходя из типичной призматической формы каравана) $V_2 \approx 3128$ м³; при высоте 3 м $V_3 \approx 4692$ м³; при высоте 4 м $V_4 \approx 6256$ м³. При сухой насыпной плотности 0,1 т/м³ сухая масса каравана при 2 м ≈ 313 т; при высоте 3 м ≈ 469 т; при высоте 4 м ≈ 626 т.

Если принять влажность W как долю воды во влажной массе ($W = 0,5 \dots 0,6$), можно получить следующий набор возможных значений (табл. 1).

В случае пожара, который возник и развивается на бывшем караване складированного торфа, необходимо учитывать, что в процесс тления будет вовлечена и масса торфа под основанием каравана. Поскольку нижняя граница развития торфяных очагов будет определяться прежде всего уровнем грунтовой воды, а насыпь создавалась как наибо-

лее сухое пространство для хранения торфа, то можно исходить из того, что глубина прогорания торфа (глубина очагов до твердого дна) в таких случаях может составлять около 1 м (подтверждается полевыми наблюдениями на пожарах). Для более корректных расчетов объемов сгорающего при горении каравана торфа в вычисления необходимо добавлять торф под основанием каравана. Для консервативной оценки влияния на выбросы парниковых газов именно от горящих караванов мы использовали в расчетах среднюю для изученной выборки площадь основания $S \approx 1564$ м², глубину прогорания 1 м. Таким образом, объем сгорающего под караваном торфа составит дополнительно к сгорающему в караване торфу еще ≈ 1564 м³. Для осушенного торфа в залежи (под караваном) сухая насыпная плотность обычно выше, чем у фрезерного в штабеле.

Таблица 1

Table 1

Масса торфа в старых караванах в зависимости от их размеров и влажности, т
The mass of peat in old caravans depends on their size and humidity, tons

Высота, м Height, m	Сухая масса Dry mass	Масса при влажности 50 % Mass at 50 % humidity	Масса при влажности 60 % Mass at 60 % humidity
2	~313	~626	~782
3	~469	~938	~1173
4	~626	~1251	~1564

В расчетах мы консервативно принимаем ее значение как $0,12 \text{ т/м}^3$ сухой массы (осушенный, но недобытый торф). Тогда сухая масса подстиляющего слоя составит $M \approx 1564 \times 0,12 \approx 188 \text{ т}$.

Значения суммарной сухой массы «караван + 1 м залежи» для разных высот каравана приведены в табл. 2.

Доля углерода в сухом торфе – около 55 % по массе (типичные значения для торфа, подтверждаются экспериментами для бореальных торфов). Если считать, что весь этот углерод окисляется до CO_2 , то на 1 т углерода приходится $44/12 \approx 3,667 \text{ т CO}_2$. Тогда на 1 т сухого торфа приходится 2,02 т CO_2 , т. е. порядка 2 т CO_2 на тонну сухого торфа.

По методике IPCC 2013 (2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands) для пожаров на органических почвах используются масса сгоревшего органического топлива (МВ, т сух. вещества/га), эмиссионные факторы Gef (г/кг сухого) для CO_2 , CH_4 , CO и др. При расчете CO_2 -эквивалента с ис-

пользованием таблиц IPCC следует, что CO_2 дает основной вклад по массе, CH_4 и N_2O по массе топлива малы, но имеют большой GWP. В сумме $\text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$ обычно увеличивают CO_2 -эквивалент для бореальных торфяных пожаров на несколько процентов (Derivation of greenhouse gas..., 2015). Для упрощенного расчета мы считали, что не- CO_2 газы добавляют порядка +10 % к CO_2 -экв, что вписывается в диапазон, который дают комбинации EF из IPCC и экспериментальных работ по торфяным пожарам.

В табл. 3 приведены оценки возможных выбросов CO_2 и других парниковых газов (CO_2 -эквивалент) при горении каравана с подстиляющим слоем торфа.

Приведенные оценки носят приближенный характер и основаны на допущении полной минерализации сухой массы торфа (горение в экстремально засушливых условиях) и использовании типичных значений доли углерода и удельных эмиссий не- CO_2 газов, характерных для бореальных торфяных пожаров.

Таблица 2

Table 2

Суммарная сухая масса торфа в караване и в подстиляющем слое, т
The total dry mass of peat in the caravan and in the underlying layer, tons

Высота каравана, м Caravan height, m	Сухая масса каравана Dry weight of the caravan	Сухая масса подстиляющего слоя Dry mass of the sub-base	Всего сухой массы Total dry matter
2	~313	~188	~500
3	~469	~188	~657
4	~626	~188	~813

Таблица 3

Table 3

Оценка выбросов CO_2 и других парниковых газов (CO_2 -эквивалент) в результате горения старых караванов торфа различной высоты с вовлечением в горение подстиляющего грунта, т
Assessment of CO_2 and other greenhouse gases emissions (CO_2 equivalent) as a result of burning old peat caravans of various heights involving the underlying soil in the combustion, tons

Высота каравана, м Caravan height, m	Сухая масса горящего торфа Dry mass of burning peat	Оценка CO_2 -экв ($\text{CO}_2 + \text{CH}_4 + \text{N}_2\text{O}$) CO_2 -eq assessment
2	~500	~1100
3	~657	~1450
4	~813	~1800

Для среднего по имеющейся выборке каравана ($S \approx 1564 \text{ м}^2$) при высоте 2–4 м и сухой насыпной плотности фрезерного торфа $0,1 \text{ т/м}^3$ полученная сухая масса составляет порядка 300–600 т. При предполагаемой влажности старых караванов 50–60 % это соответствует 600–1600 т влажного торфа. Если дополнительно учесть возможное вовлечение в горение подстилающего 1-метрового слоя осушенного торфа в залежи (сухая плотность $\sim 0,12 \text{ т/м}^3$), суммарная сухая масса «караван + подстилающий слой» составляет ~ 500 –800 т. При доле углерода в торфе около 55 % и полной минерализации эта масса соответствует ориентировочным выбросам порядка 1000–1600 т CO_2 . Учитывая вклад CH_4 и N_2O по методике IPCC (Wetlands Supplement) в виде добавочного увеличения CO_2 -эквивалента на несколько процентов, можно оценить залповые выбросы при полном сгорании одного такого каравана с подстилающим слоем – порядка 1100–1800 т CO_2 -экв.

Приведенные рассуждения и расчеты не учитывают выделение, помимо парниковых газов, других продуктов неполного сгорания торфа, в частности таких опасных веществ, как бензапирен, влияющих напрямую на здоровье людей.

Обводнение осушенных торфяников и восстановление близкого к природному уровня грунтовых вод рассматривается как один из ключевых способов снижения как фоновых эмиссий CO_2 , так и вероятности крупных торфяных пожаров (Günther et al., 2020; Сирин и др., 2023). На выработанных фрезерных полях повышение уровня воды снижает глубину просыхания торфяного слоя и ограничивает развитие подземного тления. Однако для караванов эффект обводнения ограничен: их тело расположено существенно выше уровня воды, капиллярная подпитка практически отсутствует, а микроклимат (инсоляция, обдувание) продолжает способствовать подсушиванию поверхностных слоев. Обводнение может косвенно снижать риск за счет уменьшения распространения подземных очагов вокруг каравана, но сам по себе этот инструмент не устраняет пожарную опасность штабелей. Поэтому мероприятия по обводнению должны дополняться инвентаризацией и картированием караванов, приоритетным вы-

возом или переработкой наиболее крупных и опасных караванов, ограничением доступа к оставшимся пожароопасным местам и локальными инженерными решениями.

Тушение заброшенных торфяных караванов является очень сложной технической задачей, часто определяющей успех всего тушения пожара, поскольку непотушенный караван создает интенсивное задымление, препятствующее работам по тушению, дает разнос искр, вызывающий новые очаги тления и открытого горения. Непотушенный караван может стать местом «зимовки» действующих торфяных очагов, которые дадут возобновление пожара в следующем сезоне (Специфика..., 2022; Куксин и др., 2024). Рекомендации по тушению торфяных караванов, написанные для действующих торфопредприятий, не актуальны при тушении заброшенных караванов, поскольку торф имеет другую влажность, насыпную плотность, а окружающее караван пространство уже не покрыто фрезерной торфяной крошкой, но может иметь растительный покров, определяющий запас и свойства лесных горючих материалов. В настоящее время для тушения заброшенных караванов применяются либо прямое тушение струями воды (в летний период), либо (в зимний период) послойное снятие и охлаждение торфа с применением бульдозерной или экскаваторной техники (рис. 10).

Экономическая целесообразность вывоза торфа из заброшенных караванов зависит от рыночной стоимости торфа, затрат на разработку, погрузку и транспортировку, расстояния до потребителя (предприятие, агрохозяйство, переработчик), качества и пригодности торфа для переработки.

Аналитические обзоры рынка торфа в России показывают, что оптовые цены на торф в последние годы находятся в диапазоне сотен тысяч рублей за тонну в зависимости от вида и назначения (Alto Consulting Group, 2025). В то же время транспортные расходы при удаленности потребителя на десятки километров могут составлять значительную долю себестоимости (Яблонев, 2011).

При небольшой удаленности и наличии устойчивого спроса вывоз торфа из караванов может быть близок к безубыточному или умеренно рентабельному.



Рис. 10. Тушение горящего заброшенного каравана с применением бульдозеров в зимний период (Свердловская область)

Fig. 10. Extinguishing a burning abandoned caravan using bulldozers in winter (Sverdlovsk region)

При больших расстояниях и необходимости серьезной переработки (субстраты, смеси) требуется дополнительное финансирование – например в рамках проектов по снижению пожарной опасности и предотвращенных выбросов парниковых газов.

Выводы

Заброшенные караваны фрезерного торфа на осушенных торфяниках представляют собой локальные объекты с повышенной пожарной опасностью, обусловленной их геометрией, положением относительно уровня грунтовых вод и свойствами фрезерного торфа.

Существующие нормативные и научные источники описывают общие процессы самонагрева торфа в штабелях, но не дают прямых оценок относительной опасности старых заброшенных караванов, что требует отдельного изучения. Картирование осушенных торфяников и бывших торфоразработок может эффективно осуществляться на основе данных ДЗЗ и открытых картографических ресурсов, в частности карты осушенных торфяников ЦПЛП. Предложенная методика дис-

танционной оценки объемов торфа в караванах обеспечивает консервативную оценку запасов и может быть уточнена по результатам натурных исследований. Расчеты выбросов парниковых газов при сгорании караванов на основе методик ИРСС и национальных нормативов показывают потенциально значимый климатический эффект, сопоставимый (для каждого отдельно взятого каравана) с выгоранием нескольких гектаров осушенного торфяника.

Обводнение осушенных торфяников снижает фоновую пожарную опасность, но не устраняет риск возгорания караванов, что требует дополнительных целевых мер.

Экономическая целесообразность вывоза торфа из караванов зависит от рыночной ситуации и удаленности потребителя; в ряде случаев возможна комбинация хозяйственных и климатических (углеродных) мотивов.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются автоматическое выделение караванов по снимкам сверхвысокого разрешения и комплексные натурные обследования их состава и свойств.

Список источников

- Ахметьева Н. П., Курапов А. А., Панова Е. А. Заказник «Журавлиная родина»: современное состояние и охрана от торфяных пожаров // Труды института торфа. 2016. Т. 14, № 67. С. 12–21.
- Вомперский С. Э. Болота и торфяники центральных областей европейской части России. М. : Наука, 1986. 188 с.
- ГОСТ 21123–85. Торф. Термины и определения. Введ. 1986-07-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов : [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023968> (дата обращения: 02.12.2025).
- Куксин Г. В. Тушение лесных торфяных пожаров с использованием подтопления очагов тления и подъема уровня грунтовых вод : дис. ... канд. с.-х. наук / Куксин Григорий Валерьевич. Екатеринбург, 2024. 187 с.
- Куксин Г. В., Крючковская Л. А., Залесов С. В. Экспериментальное исследование зажигания торфа от непотушенных окурков на осушенных болотах в зоне бореальных лесов // Сибирский лесной журнал. 2025. № 5. С. 109–119. DOI: 10.15372/SJFS 20250512
- Куксин Г. В., Секерин И. М., Залесов С. В. Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 3. URL: <https://research-journal.org/archive/3-141-2024-march/10.23670/IRJ.2024.141.43> (дата обращения: 09.01.2026). DOI: 10.23670/IRJ. 2024.141.43
- Панов В. В. Основы торфоведения и торфоразработок. М. : МГУ, 2001. 326 с.
- Панов В. В. Структура и учет пожароопасных торфяников Тверской области // Труды Инсторфа. 2021. № 24 (77). С. 26–33.
- Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа / А. Е. Афанасьев, А. Н. Болтушкин, А. Н. Васильев, В. И. Смирнов. Тверь : ТГТУ, 2007а. 392 с.
- Практическое руководство по организации добычи фрезерного торфа / В. И. Смирнов, А. Н. Васильев, А. Е. Афанасьев, А. Н. Болтушкин. Тверь : ТГТУ, 2007б. 392 с.
- РД 34.44.101–96. Типовая инструкция по хранению углей, горючих сланцев и фрезерного торфа на открытых складах электростанций. М. : ОРГРЭС, 1997. 37 с.
- Сальников В. Г., Басаргин А. А., Астапов А. М. Анализ способов подсчета объемов штабеля сыпучих материалов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Международный научный конгресс, 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. матер. : в 9 т. Т. 1 : Международная научная конференция «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». Новосибирск : СГУ-ГиТ, 2019. С. 203–211.
- Сирин А. А., Медведева М. А., Иткин В. Ю. Вторичное обводнение неиспользуемых осушенных торфяников и сокращение выбросов парниковых газов // Известия Российской академии наук. Сер. географ., 2023. Т. 87, № 4. С. 597–618. DOI: 10.31857/S258755662304012X
- Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период / И. М. Секерин, Г. А. Годовалов, А. М. Ерицов, С. В. Залесов // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26, № 5. Р. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70
- ТКП 17.09-04–2011 (02120). Охрана окружающей среды и природопользование. Климат. Выбросы и поглощение парниковых газов. Правила расчета выбросов при торфяных пожарах / Минприроды. Минск, 2011. 16 с.
- Шпынев В. М. Саморазогревание фрезерного торфа в штабелях и пути его торможения // ГИАБ. 2001. № 2. С. 148–154.
- Яблонев А. Д. Некоторые экономические аспекты, касающиеся проблемы транспорта торфа // Экономика и организация промышленного производства. 2011. № 3. С. 48–51.

- Alto Consulting Group. Рынок торфа в России: текущая ситуация и прогноз 2021–2025 гг. М., 2025. URL: <https://clck.ru/3S7gjo> (дата обращения: 02.12.2025).
- Derivation of greenhouse gas emission factors for peatlands managed for extraction in the Republic of Ireland and the United kingdom / *D. Wilson, S.D. Dixon, R. R. Artz* [et al.] // *Biogeosciences*. 2015. № 12 (18). P. 5291–5308.
- Estimating greenhouse gas emissions from peat combustion in wildfires on Indonesian peatlands, and their uncertainty / *M. J. Rodriguez Vasquez, A. Benoist, J. M. Rida, M. Fortin* // *Global Biogeochemical Cycles*. 2021. № 35 (2). URL: https://www.researchgate.net/publication/348010882_Estimating_Greenhouse_Gas_Emissions_From_Peat_Combustion_in_Wildfires_on_Indonesian_Peatlands_and_Their_Uncertainty (дата обращения: 02.12.2025).
- Gunther A., Barthelmes A., Couwenberg J.* Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions // *Nature Communications*. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/335485099_Prompt_rewetting_of_drained_peatlands_reduces_climate_warming_despite_methane_emissions (дата обращения: 02.12.2025).
- Kuster E.* Microbiology of peat // In III Symposium on Peat in Horticulture. 1971. № 26. P. 23–28.
- Mofidpoor M., Krzic M., Principe L.* Effects of peat source and length of storage time in bales on selected properties of sphagnum peat // *Canadian journal of soil science*. 2009. № 89 (5). P. 635–644.
- Remote Sensing Mapping of Peat-Fire-Burnt Areas / *A. Sirin* [et al.] // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, № 194. URL: https://www.researchgate.net/publication/367820630_Remote_Sensing_Mapping_of_Peat-Fire-Burnt_Areas_Identification_among_Other_Wildfires (дата обращения: 02.12.2025).
- Remote sensing of peatland degradation in temperate and boreal regions / *F. De Waard* [et al.] // *Science of Remote Sensing*. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/383433724_Remote_sensing_of_peatland_degradation_in_temperate_and_boreal_climate_zones_-A_review_of_the_potentials_gaps_and_challenges (дата обращения: 02.12.2025).

References

- Akhmeteva N. P., Kurapov A. A., Panova E. A.* Crane Homeland Nature Reserve: Current Status and Protection from Peat Fires // *Proceedings of the Peat Institute*. 2016. Vol. 14, № 67. P. 12–21. (In Russ.)
- Alto Consulting Group. The Russian peat market: current situation and forecast 2021–2025. Moscow, 2025. URL: <https://clck.ru/3S7gjo> (accessed 02.12.2025).
- Derivation of greenhouse gas emission factors for peatlands managed for extraction in the Republic of Ireland and the United kingdom / *D. Wilson, S.D. Dixon, R. R. Artz* [et al.] // *Biogeosciences*. 2015. № 12 (18). P. 5291–5308.
- Estimating greenhouse gas emissions from peat combustion in wildfires on Indonesian peatlands, and their uncertainty / *M. J. Rodriguez Vasquez, A. Benoist, J. M. Rida, M. Fortin* // *Global Biogeochemical Cycles*. 2021. № 35 (2). URL: https://www.researchgate.net/publication/348010882_Estimating_Greenhouse_Gas_Emissions_From_Peat_Combustion_in_Wildfires_on_Indonesian_Peatlands_and_Their_Uncertainty (accessed 02.12.2025).
- GOST 21123–85. Peat. Terms and Definitions : Introduced on July 1, 1986 // Electronic collection of legal and regulatory document : [website]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023968> (accessed 02.12.2025).
- Gunther A., Barthelmes A., Couwenberg J.* Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions // *Nature Communications*. 2020. URL: https://www.researchgate.net/publication/335485099_Prompt_rewetting_of_drained_peatlands_reduces_climate_warming_despite_methane_emissions (accessed 02.12.2025).

- Kuksin G. V.* Extinguishing Forest Peat Fires by Flooding Smoldering Spots and Raising the Groundwater Level: Diss. ... Cand. of Agricultural Sciences / *Kuksin Grigory Valerievich*. Yekaterinburg, 2024. 187 p.
- 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 // *Siberian Forest Journal*. 2025. № 5. P. 109–119. DOI: 10.15372/SJFS 20250512 (In Russ.)
- Kuksin G. V., Sekerin I. M., Zalesov S. V.* Features of the development of peat fires in winter // *International Research Journal*. 2024. № 3. URL: <https://research-journal.org/archive/3-141-2024-march/10.23670/IRJ.2024.141.43> (accessed 09.01.2026). DOI: 10.23670/IRJ. 2024.141.43 (In Russ.)
- Kuster E.* Microbiology of peat // In III Symposium on Peat in Horticulture. 1971. № 26. P. 23–28.
- Mofidpoor M., Krzic M., Principe L.* Effects of peat source and length of storage time in bales on selected properties of sphagnum peat // *Canadian journal of soil science*. 2009. № 89 (5). P. 635–644.
- Panov V. V.* Fundamentals of peat science and peat extraction. Moscow : Moscow State University, 2001. 326 p.
- Panov V. V.* Structure and accounting of fire-hazardous peatlands in the Tver Region // *Proceedings of Instorf*. 2021. № 24 (77). P. 26–33. (In Russ.)
- Practical guide to organizing milled peat extraction / *A. E. Afanasyev, A. N. Boltushkin, A. N. Vasiliev, V. I. Smirnov*. Tver : TSTU, 2007a. 392 p.
- Practical guide to organizing milled peat extraction / *V. I. Smirnov, A. N. Vasilyev, A. E. Afanasyev, A. N. Boltushkin*. Tver : TSTU, 2007b. 392 p.
- RD 34.44.101-96, Standard instructions for storing coal, oil shale, and milled peat in open warehouses of power plants. Moscow : ORGRES, 1997. 37 p.
- Remote Sensing Mapping of Peat-Fire-Burnt Areas / *A. Sirin* [et al.] // *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14, № 194. URL: https://www.researchgate.net/publication/367820630_Remote_Sensing_Mapping_of_Peat-Fire-Burnt_Areas_Identification_among_Other_Wildfires (accessed 02.12.2025).
- Remote sensing of peatland degradation in temperate and boreal regions / *F. De Waard* [et al.] // *Science of Remote Sensing*. 2024. URL: https://www.researchgate.net/publication/383433724_Remote_sensing_of_peatland_degradation_in_temperate_and_boreal_climate_zones_-A_review_of_the_potentials_gaps_and_challenges (accessed 02.12.2025).
- Salnikov V. G., Basargin A. A., Astapov A. M.* Analysis of methods for calculating the volumes of a stack of bulk materials // *Interexpo GEO-Siberia. XV International Scientific Congress, April 24–26, 2019, Novosibirsk : collection of materials in 9 volumes. Vol. 1: International Scientific Conference “Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying”*. Novosibirsk: SGUGiT, 2019. P. 203–211.
- Shpynev V. M.* Spontaneous combustion of milled peat in stacks and ways to stop it // *Ministry information and Analytical Bulletin*. 2021. № 2. P. 148–154. (In Russ.)
- Sirin A. A., Medvedeva M. A., Itkin V. Yu.* Rewatering of unused drained peatlands and reduction of greenhouse gas emissions // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2023. Vol. 87, № 4. P. 597–618. DOI: 10.31857/S258755662304012X (In Russ.)
- Specifics of the Spread and Extinguishing of Peat Fires in Winter / *I. M. Sekerin, G. A. Godovalov, A. M. Eritsov, S. V. Zalesov* // *Forestry Bulletin*. 2022. Vol. 26, № 5. P. 64–70. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-5-64-70 (In Russ.)
- TKP 17.09-04–2011 (02120). Environmental protection and environmental management. Climate. Emissions and absorption of greenhouse gases. Rules for calculating emissions from peat fires. Minsk, 2011. 16 p.
- Vompersky S. E.* Swamps and peatlands of the central regions of European Russia. Moscow : Science, 1986. 188 p.
- Yablonev A. D.* Some economic aspects related to the problem of peat transportation // *Economy and organization of industrial production*. 2011. № 3. P. 48–51. (In Russ.)

Информация об авторах

Г. В. Куксин – кандидат сельскохозяйственных наук;

Л. А. Крючковская – инженер;

И. М. Секерин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

С. В. Залесов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

Information about the authors

G. V. Kuksin – Candidate of Agricultural Sciences;

L. A. Kryuchkovskaya – engineer;

I. M. Sekerin – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor;

S. V. Zalesov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

Статья поступила в редакцию 27.02.2026; принята к публикации 25.03.2026.

The article was submitted 27.02.2026; accepted for publication 25.03.2026.
