

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ВОЗГОРАНИЯ ТОРФА И ДИНАМИКИ ТОРФЯНОГО ПОЖАРА

Винокуров В.Н.¹, Удиллов Т.В.², Александрой В.И.¹

¹ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, Россия (625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7), e-mail: tb-gausz@mail.ru;

²ФГКОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт МВД России», Иркутск, Россия (664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 110), e-mail: udilov_nauka@mail.ru

Проведен обзор математических моделей торфяных пожаров. Проанализированы основные параметры тления торфяной залежи. Отмечено, что в применяемых на практике математических моделях торфяных пожаров учитываются параметры процессов сушки, пиролиза и окисления газообразных и конденсированных продуктов. Вместе с тем отсутствует параметр, учитывающий влияние огнетушащего вещества на процессы влагопереноса в слоях залежи торфа, процессы горения и сушки торфа. Рассмотрены достоинства и недостатки применяемых на сегодняшний день способов тушения торфяных пожаров. Отмечается, что наиболее распространенным способом тушения торфяных пожаров является подслонная подача воды или другого огнегасящего агента. Аргументируется необходимость разработки модели динамики торфяного пожара с учетом воздействия огнетушащего агента, применяемого для тушения.

Ключевые слова: торфяные пожары, математическое моделирование, способы тушения.

ON THE MATHEMATICAL MODELING OF THE COMBUSTION OF PEAT AND DYNAMICS OF A PEAT FIRE

Vinokurov V.N.¹, Udilov T.V.², Aleksandroj V.I.¹

¹State Agrarian University of Northern Zauralye, Russia (625003, Tyumen, street Republics, 7) e-mail: tb-gausz@mail.ru;

²Federal State Public Educational Establishment of Higher Professional Training «Eastern Siberia Institute of the Ministry of the Interior of the Russian Federation», Irkutsk, Russia (664074, Irkutsk, street Lermontova, 110), e-mail: udilov_nauka@mail.ru

Review of mathematical models of peat fires. Analyzed the basic parameters of smouldering peat deposits. It is noted that in practice the mathematical models peat fires are considered parameters of the processes of drying, pyrolysis and oxidation of gaseous and condensed products. However, no options, take into account the effect of extinguishing agent to the migration of moisture into the layers of the peat deposits, combustion processes and drying of peat. The advantages and disadvantages of the current methods extinguish peat fires. It is noted that the most common way to extinguish peat fires is to supply water or other extinguishing agent on the layer of peat. The need to develop models of the dynamics of a peat fire, taking into account the impact of the fire extinguishing agent is proved.

Keywords: peat fires, mathematical modeling, methods of extinguishing.

За последние несколько лет проблема торфяных пожаров стала еще более актуальной. Как отмечается специалистами лесной пирологии [1, 5, 7], в отличие от лесных пожаров и палов сухой травянистой растительности, торфяные пожары способны продолжать действовать в течение нескольких месяцев. Большинство торфяных пожаров начинается весной или летом, а заканчивается глубокой осенью, зимой или следующей весной при таянии снега.

Характерным примером практически полного отсутствия зависимости интенсивности горения от сезонных условий являются ежегодные торфяные пожары в Иркутской области [4. 12]. Так, в 2014 году только в конце ноября ГУ МЧС России по Иркутской области

констатировало окончание основного этапа тушения очагов тлеющего торфа в двух муниципальных образованиях. Всего с начала работ по области было ликвидировано более 1000 очагов, на общей площади более 30 га. Вместе с тем, даже в середине декабря по области сохранялись непотушенные очаги тления торфа.

Действительно, как показала практика, процессы тления торфа существенно не зависят от сезона и температуры воздуха над поверхностью, тогда как основные характеристики и сама вероятность возгорания во многом определяются климатическим и географическим расположением залежей торфа.

На территории Восточной Сибири в зону интенсивного торфонакопления входит южная часть Иркутской области. Здесь имеются отдельные крупные торфяные месторождения, расположенные по реке Ангаре и ее притокам. Всего на территории Иркутской области известно около 130 торфяных месторождений. Их общие прогнозные ресурсы оцениваются примерно в 0,5-1,0 млрд. т. Наиболее значительные залежи отмечаются на Иннокентьевском (Иркутско-Жилкинском), Топкинском, Плишкинском и Пивоварихинском торфяных месторождениях. Балансовые запасы оценены лишь на Урикском, Карлукском (Грановском) и Поздняковском месторождениях. Известны торфяные залежи на Картагонских (Усольский район) и Ухтуйских (Зиминский район) болотах. Значительные запасы торфа обнаружены на Татархайском, Сайсюрском, Чернореченском болотах (Заларинский район). Имеются залежи торфа вблизи сел Шерагул и Новотроицкого (Тулунский район). Многочисленные торфяники расположены на территории водораздела рек Ии, Икея и Кирея, в пойменном болоте по реке Ук и болоте по реке Хингуй (Нижнеудинский район), а также в Тыретском, Нукутском, Боханском, Куйтунском и других районах [15].

При таком обилии торфяных залежей в регионе, торфяные пожары могут иметь катастрофические масштабы.

Необходимость исследования кинетических характеристик процессов самовозгорания и тления торфа конкретного месторождения с целью разработки способов профилактики и тушения пожаров обсуждалась во многих научных трудах.

Так, в работе [14] автором была исследована кинетика самовозгорания наиболее распространенных в Западной и Восточной Сибири видов торфа. В ходе проведения экспериментов в работе [14] было исследовано 80 образцов различных видов торфа с территорий Иркутской, Новосибирской и Тюменской областей: низинные осоковый и осоково-гипновый со степенью разложения 15-30%, зольностью 6-10%; переходные древесно-сфагновый и древесно-осоковый со степенью разложения 40-60%, зольностью 12-21%; верховой сосново-сфагновый со степенью разложения 35-60%, зольностью 10-15%.

Рассматривая самовозгорание сухого торфа как одностадийный химический процесс, в работе [14] для анализа условий самовозгорания была использована тепловая теория Н.Н. Семенова [13]. В результате исследования автор приходит к выводу, что, зная энергию активации процесса самовозгорания и предэкспоненциальный множитель адиабатической скорости самонагрева, можно определить критическое значение коэффициента охлаждения скопления торфа при заданном значении температуры окружающей среды и рассчитать для этих условий критические линейные размеры скоплений и продолжительность индукционного периода. Автором была разработана модель самовозгорания торфа, в которой тепловой эффект от жизнедеятельности микроорганизмов и биохимических процессов принят за сторонний источник нагрева. Полученная математическая модель была апробирована торфодобывающими предприятиями Тюменской области при категорировании фрезерного торфа по склонности к самовозгоранию [14].

Вместе с тем, разработанная модель самовозгорания торфа, включающая биохимическую и химическую стадии самонагрева, справедлива для скоплений фрезерного торфа промышленной влажности и не учитывает особенностей тления залежей торфа в естественных условиях.

Обзор более актуальных математических моделей торфяных пожаров был проведен профессором А.М. Гришиным в работе [3]. В частности, в ней рассмотрены две полуэмпирические модели горения торфа Э.В. Конева [6], основанные на законе сохранения энергии и законе сохранения массы сгорающего материала. По мнению А.М. Гришина, основным недостатком этих моделей является игнорирование закона сохранения количества движения, многокомпонентности среды и многокомпонентной диффузии, отсутствие конкретных формул для скоростей химических реакций и уравнения состояния смеси газов, образующейся в торфе при его сгорании.

Здесь же, в работе [3], А.М. Гришин указывает на недостатки своей модели, представленной в работе [2]. По его мнению, разработанная с использованием методов механики сплошных реагирующих сред общая математическая модель торфяных пожаров учитывает законы сохранения массы, количества движения и энергии, а также уравнение состояния для смеси реагирующих газов, но не учитывает процессы переноса влаги внутри торфа вследствие фильтрации.

В результате анализа существующих моделей торфяных пожаров, в работе [3] была представлена модель второго поколения и новая постановка задачи о зажигании слоя торфа, расположенного на слое воды, с учетом процессов сушки, пиролиза и окисления газообразных и конденсированных продуктов. В ходе проведения исследований профессором А.М. Гришиным установлено, что с уменьшением толщины слоя торфа над

слоем воды при одинаковой глубине воды под ним и равных значениях плотности теплового потока от внешнего очага горения время зажигания увеличивается. Для тонкого слоя торфа при утолщении под ним слоя воды время зажигания также увеличивается. Данный вывод позволил аргументировано предложить способ борьбы с торфяными пожарами, основанный на изоляции очагов тления закачкой воды под слой реагента малой высоты.

Обзор способов тушения подземных пожаров показал, что большинство из них так или иначе связаны с подачей воды в нижние слои залежей торфа. То есть процессы, протекающие в слоях торфа при тушении пожаров указанными способами, могут быть описаны математической моделью, предложенной в работе [3].

Примером такого способа тушения является способ [8], включающий подачу воды ниже уровня поверхности земли непосредственно к очагу горения, через перфорированную трубу под давлением.

Для компенсации недостатка воды при тушении торфяных пожаров, как правило, применяются технологии откачки грунтовых вод.

Так, в способе тушения пожара [9] на лесных и торфяных массивах, на наиболее пожароопасных участках бурят вертикальные скважины до глубины нахождения грунтовых вод, в скважины устанавливают обсадные трубы с диаметром, обеспечивающим возможность прохождения глубинных насосов, которые при возникновении пожара через автоматические устройства подключают к автономным источникам питания и подают воду в разветвленную быстросборную трубопроводную систему.

Известно, что при иссушении торфа ниже влажности 30% происходит снижение влагопоглощающей способности торфа. Это явление объясняется образованием на его частицах смолянистого гидрофобного слоя, препятствующего увлажнению торфа до влажности, прекращающей его горение. Поэтому для повышения эффективности тушения в воду добавляют различные поверхностно-активные вещества, смачиватели, минеральные вещества или двуокись углерода.

Так, в способе тушения пожара [10] организуется подача в толщу горящего слоя торфа воды, насыщенной двуокисью углерода. Для этого в слое торфа на всю его глубину бурят вертикальную скважину и вдоль ее оси в толще торфяника гидравлическим ударом последовательно выполняют несколько рядов радиальных горизонтальных скважин, при этом перекрывают устье вертикальной скважины, изолируют ее дно от подстилающего горизонта и эту систему скважин заполняют водой, насыщенной двуокисью углерода.

Предполагается, что выполнение в слое горящего торфа на всю его глубину предлагаемой системы скважин и заполнение их водой, насыщенной двуокисью углерода, приведет к понижению температуры горящего слоя, а постепенное заполнение пор торфа

углекислым газом уменьшит доступ кислорода к горючему материалу, что в совокупности обеспечит прекращение процесса горения.

Известны способы тушения торфяного пожара пульпой, образующейся при намыве минерального грунта.

Так, в способе тушения пожара [11], организуется размыв торфа подаваемой пульпой с одновременным заполнением размытой воронки минеральным грунтом и выносом размытой массы обратным потоком.

Стоит отметить, что введение в воду добавок, указанных выше, вносит существенное изменение параметров среды огнетушащего агента, и, соответственно, требует внесения поправок в существующие модели развития торфяных пожаров, учитывающих динамику испарения воды в процессе тушения.

Таким образом, на наш взгляд, необходима разработка математических моделей третьего поколения, в которых будут учитываться параметры подачи, а также основные характеристики огнетушащего агента, применяемого при тушении. Считаем, что данные модели позволят прогнозировать динамику торфяных пожаров с учетом применяемых огнетушащих веществ и обеспечат поиск высокоэффективных способов их тушения.

Список литературы

1. Валендик Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Сафронов. - М.: Наука, 1979. - 197 с.
2. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. - 277 с.
3. Гришин, А.М. О математическом моделировании торфяных пожаров // Вестник Томск. гос. ун-та. Матем. и мех, 2008, № 3. – С. 85–94.
4. Дюжину торфяных пожаров потушили в Иркутской области за минувшие сутки [Электронный ресурс] // Сетевое издание "IrkutskMedia". – Режим доступа: <http://irkutskmedia.ru/news/oblast/27.11.2014/404239/dyuzhinu-torfyanih-pozharov-potushili-v-irkutskoy-oblasti-za-minuvshie-sutki.html> (1 декабрь 2014).
5. Залесов С.В. Лесная пирология [Текст]: учеб. пособие. - Екатеринбург: УГЛТА, 2006. – 303 с.
6. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1977. - 239 с.

7. Общие особенности борьбы с торфяными пожарами [Электронный ресурс]. - Пожары на степных и иных природных территориях. Материалы для педагогов и пожарных добровольцев. – М.: Центр охраны дикой природы, 2012.
8. Пат. 2438739 Российская Федерация, МПК А62D 3/02. Способ тушения торфяного пожара на глубине [Текст] / Дробаденко В.П., Калинин И.С., Малухин Н.Г., Ганджумян Р.А., Луконина О.А., Вильмис А.Л. ; патентообладатель Дробаденко В.П., Калинин И.С., Малухин Н.Г., Ганджумян Р.А., Луконина О.А., Вильмис А.Л. - № 2010146676/12.; заявл. 17.11.2010 ; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1. – 7 с.
9. Пат. 2442623 Российская Федерация, МПК А62D 3/02. Способ тушения пожаров на лесных и торфяных массивах [Текст] / Путуридзе Ш.Н., Пономаренко Б.Н., Амерханов Р.А., Величко С.В., Каверин А.Ф., Продонец Ю.М. ; патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный аграрный университет". - № 2010141260/12; заявл. 07.10.2010 ; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5. – 6 с.
10. Пат. 2444390 Российская Федерация, МПК А62D 3/02. Способ тушения локальных очагов глубинного горения торфа [Текст] / Кизяев Б.М., Губер К.В., Губин В.К., Храбров М.Ю., Максименко В.П., Жезмер В.Б. ; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова Российской академии сельскохозяйственных наук. - № 2010152471/12; заявл. 23.12.2010 ; опубл. 23.12.2010 , Бюл. № 7. – 10 с.
11. Пат. 2444388 Российская Федерация, МПК А62D 3/02. Способ предотвращения и локализации пожара на торфяниках [Текст] / Голубев Н.К., Бедретдинов Г.Х., Васильев В.Н., Ефремов Н.А. ; патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова Российской академии сельскохозяйственных наук. - № 2010152472/12 ; заявл. 23.12.2010 ; опубл. 23.12.2010 , Бюл. № 7. – 6 с.
12. Ситуацию с природными пожарами обсудили в ходе рабочей встречи Губернатор Иркутской области и начальник Сибирского регионального центра [Электронный ресурс] // пресс-служба ГУ МЧС России по Иркутской области. – Режим доступа: <http://www.38.mchs.gov.ru/news/detail.php?news=67176> (1 декабрь 2014).
13. Семенов, Н.Н. Тепловая теория горения и взрывов. – Успехи физических наук, 1940, т.24, вып. 4 - С. 433-486.
14. Удилов В.П. Кинетические характеристики процессов самовозгорания торфов Сибири и их использование при прогнозе и профилактике пожаров: Дис. .канд. техн. наук//ВИПТШ МВД СССР. - М.: 1986. - 211 с.

15. Экономика Иркутской области = Economy Irkutsk Region : в 2 т. - Иркутск : Облмашинформ, 1998 . - Т. 1. - 276 с. - Соавт. : Суходолов А. П.

Рецензенты:

Пирогов С.П., д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Лапшин И.П., д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень.