

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВОЗГОРАНИЯ ТОРФЯНИКОВ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Удилов Т.В.<sup>1</sup>, Винокуров В.Н.<sup>2</sup>, Александрой В.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГКОУ ВПО «Восточно-Сибирский институт МВД России», Иркутск, Россия (664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 110), e-mail: [udilov\\_nauka@mail.ru](mailto:udilov_nauka@mail.ru);

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, Россия (625003, Тюмень, ул. Республики, 7), e-mail: [tb-gausz@mail.ru](mailto:tb-gausz@mail.ru)

---

**В работе обобщены сведения о свойствах торфа Иркутской области. Приведена классификация свойств и признаков торфа, обуславливающих его пожарную опасность. Отмечается, что свойства торфа меняются в зависимости от местонахождения залежей, вида растений торфообразователей, климатических особенностей и заболоченности региона. Аргументируется необходимость исследования залежей торфа региона и формирования базы исходных данных для построения математических моделей процессов самозаглубления фронта горения при почвенно-торфяных пожарах, включающих в себя ряд общетехнических, физико-технических, химических, агрохимических, физических, физико-химических и физико-механических свойств торфа. Проведен анализ работ, посвященных почвенно-микробиологическому исследованию торфяников Иркутской области. Получены исходные данные для построения математических моделей процессов самозаглубления фронта горения при почвенно-торфяных пожарах.**

---

Ключевые слова: торфяные пожары, математическое моделирование, скорость самозаглубления торфяного пожара.

## THE SOURCE DATA FOR THE MATHEMATICAL MODELING OF FIRE IN PEATLAND IRKUTSK REGION

Udilov T.V.<sup>1</sup>, Vinokurov V.N.<sup>2</sup>, Aleksandroj V.I.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal 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](mailto:udilov_nauka@mail.ru);

<sup>2</sup>State Agrarian University of Northen Zauralye, Russia (625003, Tyumen, street Republics, 7), e-mail: [tb-gausz@mail.ru](mailto:tb-gausz@mail.ru)

---

**Information about the properties of peat Irkutsk region is shown. Classification of properties and characteristics of peat, causing it to fire danger is shown. It is noted that the properties of peat vary depending on the location of deposits, species of peat formation, climatic features and waterlogged region. The rationale behind the need for research into the peat deposits of the region and establishment of baseline data to build mathematical models of processes combustion front in soil and peat fires, which includes a number of technical, physical, technical, chemical, agro-chemical, physical, physicochemical and physicommechanical properties of peat. The analysis of works devoted to soil-microbiological study of peat lands Irkutsk region. The source data to build mathematical models of processes combustion front in soil and peat fires obtained.**

---

Keywords: peat fires, mathematical modeling, the propagation velocity of the combustion.

В работе [1] автором справедливо отмечается необходимость учета специфических особенностей торфообразования и торфонакопления каждого конкретного региона при сборе исходных данных для моделирования процессов возгорания торфа.

Здесь же автором выдвинуты предположения и экспериментально доказано, что величина скорости тления торфа коррелирует со значениями энергии активации процесса самовозгорания и значениями предэкспоненциального множителя адиабатической скорости самонагревания. Чем выше значения указанных параметров, тем выше значение скорости тления слоя торфа. В свою очередь, данное утверждение дает основания предположить, что

скрытое распространение горения возможно на торфяных залежах, где наблюдается увеличение значений указанных параметров по мере изменения глубины залегания слоев.

Для построения математических моделей процессов самозаглубления фронта горения при почвенно-торфяных пожарах необходим сбор исходных данных, включающих в себя ряд характерных свойств торфа.

В лесной пирологии выделяют шесть групп свойств и признаков состава торфа, обуславливающих его пожарную опасность [2]:

1. общетехнические свойства торфа (ботанический состав, степень разложения, зольность, влажность, теплота сгорания);

2. физико-технические свойства торфа (плотность торфа и готовой продукции, влажность, водопоглощаемость, полная влагоемкость, прочность, фракционный состав, засоренность посторонними горючими включениями, крошимость);

3. химические свойства торфа (элементный состав, групповой состав);

4. агрохимические свойства (кислотность, химический состав неорганической части, в том числе валовые и подвижные формы элементов питания, характеристики поглощающего комплекса);

5. физические и физико-химические свойства (дисперсность, катионный состав и показатели ионообменных процессов, содержание различных категорий воды, теплофизические и электрофизические характеристики);

6. физико-механические свойства (пористость, реологические свойства, прочность и несущая способность торфяных залежей, внешнее и внутреннее трение).

Степень разложения отражает уровень биохимического распада растений-торфообразователей и показывает процентное содержание в торфе бесструктурного вещества. Значение степени разложения может изменяться в пределах 1-75 % [3]. С увеличением степени разложения теплотворная способность торфа увеличивается [4].

Зольность торфа показывает содержание в нем минеральных элементов.

Для характеристики торфа большое значение имеет обменная кислотность. От неё зависит интенсивность микробиологической деятельности торфообразовательного процесса. Этот показатель, как наиболее характерный и стабильный, используют в качестве диагностического признака в практике геологоразведочных работ. Значение обменной кислотности торфа изменяется в пределах от 2,6 до 7,8 [3].

Считается, что в сухом состоянии (влажностью до 30 %) торф способен загораться от воздействия маломощного источника зажигания. Одним из основных показателей его пожароопасных свойств является удельная теплота сгорания, т.е. количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы массы. Значение теплоты сгорания торфа

изменяется в пределах 18,85-27,3 МДж·кг<sup>-1</sup> [4]. В ряду горючих ископаемых по теплоте сгорания торф занимает место между древесиной и бурными углями.

Пожарная опасность торфа зависит также и от его химических свойств, к числу которых относят элементарный и групповой состав. Органическое вещество торфа состоит из пяти элементов: углерода, водорода, азота, кислорода и серы. В групповом химическом составе выделяют: битумы, водорастворимые, легкогидролизуемые, трудногидролизуемые (целлюлоза) и гуминовые (фульвокислоты и гуминовые кислоты) вещества, негидролизуемый осадок (лигнин).

Почти 70 % массы торфа составляет горючее вещество. Незначительное количество минеральных примесей и разнообразный групповой состав является средой, где интенсивно протекают микробиологические, биохимические и химические процессы. Наличие в составе соединений, легко окисляемых при низких температурах, приводит к тому, что незначительное самонагревание может привести к самовозгоранию и пожару. Считается, что самовозгоранию подвержен только фрезерный торф промышленной влажности, складываемый в скоплениях определенной величины при соответствующем температурном режиме.

Повышенная пожарная опасность торфа обусловлена также тем, что его пористая структура, малая плотность и наличие в составе до 40 % кислорода позволяют процессам горения развиваться в скоплениях и залежах скрыто, практически без доступа воздуха. С этой особенностью, в частности, связаны сложности в организации и проведении работ по локализации и ликвидации почвенно-торфяных пожаров во всем мире.

Как уже было отмечено выше, указанные свойства торфа меняются в зависимости от местонахождения залежей, вида растений торфообразователей, климатических особенностей и заболоченности региона.

Иркутская область расположена в Восточной Сибири на юго-восточной части Среднесибирского плоскогорья. Регион занимает площадь 774 846 кв. км (4,53 % территории России). Из них 22 451 кв. км занимает водная поверхность рек и озер (2,9 % от общей площади области) [5].

Климатическими особенностями Иркутской области является длительная зима, широкая амплитуда температур воздуха и значительное количество часов солнечного сияния. Удаленность Иркутской области от морей и расположение в центре Азиатского материка придают климату резко континентальный характер [5].

На климат Иркутской области оказывают влияние развитая поверхность водоемов - озеро Байкал и ангарские водохранилища. В прилегающих к ним районах зима заметно мягче, а лето прохладнее, сглаживаются резкие среднегодовые и среднесуточные перепады.

Вблизи байкальского побережья среднегодовая температура имеет положительное значение [5].

Зимой на территории Иркутской области устанавливается безветренная, ясная и морозная погода, с характерными температурными инверсиями и высоким атмосферным давлением. Продолжительность зимы на большей части территории Иркутской области около 180 дней, а в северных районах и в горах – до 200 дней. Мощность снежного покрова в различных районах Иркутской области колеблется от почти полного его отсутствия до 600 мм и более. Весна начинается в конце марта и продолжается около 35 дней. Снежный покров сходит в апреле. Среднесуточная температура на большей части территории Иркутской области переходит к устойчиво положительной лишь к началу мая. Лето короткое, но может быть очень жарким. Начинается в последних числах мая и длится 90-110 дней. Поверхность земли быстро нагревается, над ней формируется область низкого давления и устанавливается циклонический тип погоды. Максимальные температуры в большинстве районов Иркутской области могут превышать +30 °С. Первая половина лета, как правило, жаркая и сухая. В конце июля и в августе часто отмечаются затяжные дожди. В это время может выпасть до 85 % годовой суммы осадков [6].

Лесной пожароопасный сезон на территории области, как правило, начинается в первых числах мая и заканчивается в конце октября.

Осень длится около месяца и характеризуется резкими суточными колебаниями температур и ранними заморозками. В короткий период с середины сентября до середины октября среднесуточная температура опускается ниже нулевой отметки. В октябре на большей части территории области появляется снежный покров. Основная часть рек замерзает к ноябрю [6].

На территории Иркутской области встречается вечная мерзлота, которая образовалась в ледниковый период, в результате длительного и глубокого выхолаживания земной поверхности. В северной и северо-восточной частях мерзлота распространена повсеместно. Отдельные ее участки на различной глубине можно встретить и в южных районах Иркутской области: Нижнеудинском, Качугском и др. Сохранению мерзлоты способствуют отрицательные среднегодовые температуры [6].

К особенностям почв области относят их мелкоконтурность в силу большой расчлененности рельефа и разнообразия литологического состава пород, пониженный температурный режим вследствие глубокого сезонного промерзания и медленного оттаивания. Наблюдается склонность почвы области к ветровой и водной эрозии [5].

Специалистами отмечается, что Иркутская область характеризуется достаточно интенсивным торфонаколением [6]. Известно [7], что в регионе общая площадь болот

составляет около 3 млн. га, и около 60% из них занята торфяными болотными низинными почвами.

По данным ресурса «Торфяные болота России» со ссылкой на Федеральную службу государственной регистрации, кадастра и картографии [8], площадь болот Иркутской области составляет около 2,5 % от общей площади региона (Рис. 1).

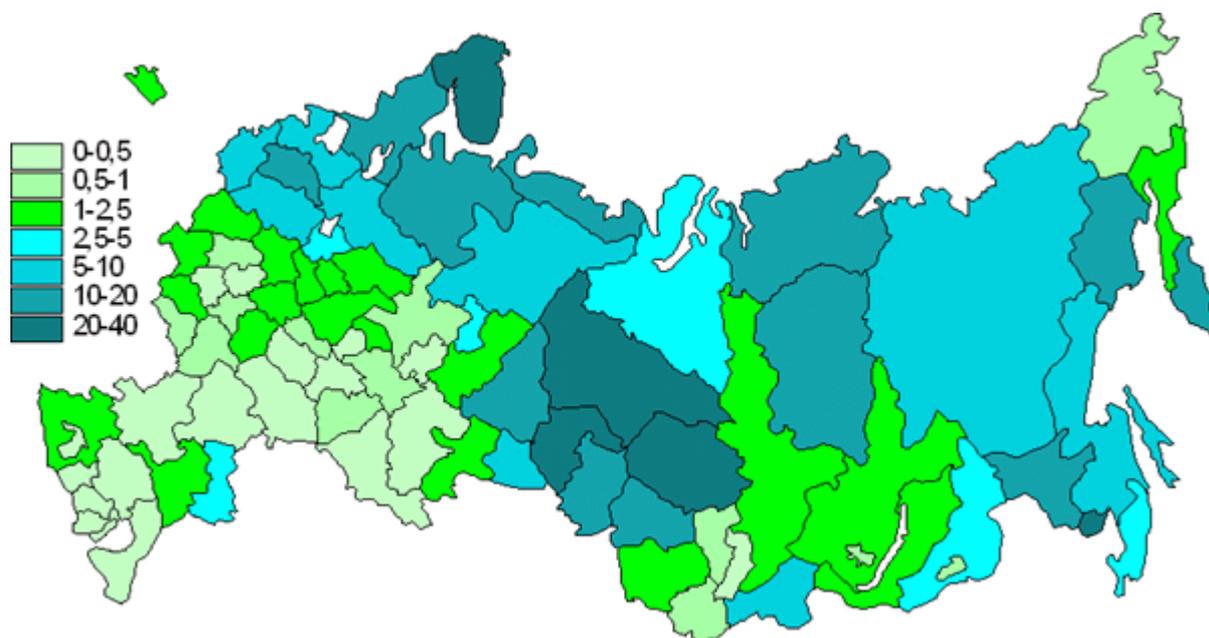


Рис. 1 Площадь болот в процентах от общей площади субъектов Российской Федерации (по состоянию на 01.01.2000, Росземкадастр)

Особенно большие площади болотные почвы занимают в бассейне Нижней Тунгуски, в предгорье Восточного Саяна, на Патомском нагорье, меньше – в Прибайкальской горной системе, а также широко распространены по долинам рек. Растительность на болотных почвах представлена осоками, белоголовником, вейником, пушицей, из кустарников преобладают карликовая береза, ива, таволга, из древесных – ель, лиственница, береза, реже малорослая сосна [5].

Почвенно-микробиологическому исследованию торфяников Иркутской области посвящен ряд работ. Так, доцентом кафедры ботаники и генетики Иркутского государственного университета И.Г. Ляховой отмечается, что формирование торфяных почв в регионе связано с избыточным увлажнением. Существенное влияние на процесс заболачивания оказывает сезонно-многолетняя мерзлота, которая, являясь природным водоупорным горизонтом, препятствует инфильтрации избыточных вод до июня-июля месяца. Заболачиванию также способствуют слабые уклоны, наличие закочкарности, многочисленные западины [9].

Наиболее широко торфяные залежи распространены в Иркутско-Черемховской равнине. При этом отмечается их неоднородность. Местами они имеют небольшую мощность торфа – до 2 м, в то же время на отдельных участках она достигает 4 м.

Среди торфяных болотных низинных почв преобладают два подтипа: болотные низинные типичные торфяные и болотные низинные типичные торфяно-глеевые. По родовым признакам широко распространены обычные, они занимают 65-70%, меньше – карбонатные – 10-15%, солончаковые – 5-7%, оруднелые – 1-5%, заиленные – 1-2%. Верхний горизонт этих почв характеризуется повышенными значениями зольности, плотности сложения ( $0,52 - 0,74 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ ) и плотности твердой фазы (2,0 – 2,1).

Болотные низинные торфяно-глеевые оруднелые почвы встречаются в южно-таежной и лесолуговой провинциях области. Особенностью этих почв является почвенный профиль, обогащенный соединениями железа. В работе [7] отмечается, что в таких торфяных горизонтах содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  достигает 14 %.

Необходимо отметить, что наличие соединений железа повышает пожарную опасность торфа. В работе [10], при проведении исследований распространения очага горения в торфе П.Л. Фалюшин пришел к выводу, что продвижению очага горения с поверхности залежи торфа в глубину или по горизонтам при подземных пожарах способствуют экзотермические процессы, протекающие в зоне пиролиза. При этом непосредственно в зоне горения интенсивность процессов увеличивается за счет каталитического влияния соединений железа в пирофорном состоянии.

Анализ степени разложения торфяных горизонтов болотных низинных почв показал, что данный показатель изменяется в широких пределах. К примеру, средняя степень разложения низинного торфа Нижне-Илимского района Иркутской области [11] составляет 48%. Низинный тип торфа Верхне-Ангарских болот [12], напротив, характеризуется средней степенью разложения 25-40%.

В работе [12] отмечается, что в Верхне-Ангарских болотах встречаются также залежи торфа верхового типа. Причем, глубина таких залежей обычно значительная – от 2,5 до 5 м. Торф подобных залежей характеризуется низкой зольностью – от 1,6 до 4 %, характерной для верхового типа кислотностью – от 3,4 до 5, и незначительной степенью разложения – от 5 до 20 %. Также, И.Г. Ляховой отмечается, что для впадин байкальского типа характерным является наличие залежей смешанного типа – когда нижняя половина залежи сложена переходными торфами, а верхняя – фускум-торфом. Степень разложения подобного торфа колеблется от 5 до 30%, зольность увеличивается по слоям вниз с 2 до 8 %.

Учитывая характеристики торфа конкретных залежей региона и зависимости, полученные в работе [1], можно определить значения энергии активации процесса

самовозгорания и предэкспоненциального множителя адиабатической скорости самонагрева. Указанные параметры, в свою очередь, предлагается использовать для выявления участков торфяных залежей, где вероятно самозаглубление и скрытое распространение фронта горения при пожаре.

Таким образом, массив экспериментальных данных, полученный в результате обзора исследований почвенно-микробиологических характеристик торфяников Иркутской области, позволяет сформулировать задачи построения математических моделей процессов самозаглубления фронта горения при почвенно-торфяных пожарах в регионе.

### Список литературы

1. 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.
2. Семенский Е.П. Технический анализ торфа. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
3. Физико-химические основы технологии торфяного производства / И.И. Лиштван [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1983. – 232 с.
4. Кираковский Н.Ф. Стационарные двигатели внутреннего сгорания (контроль, наладка, испытание). Справочное руководство / Н.Ф. Кираковский, Н. М. Глаголев, И. М. Шелудько. – Киев: гос. науч.-техн. изд-во машстрой. лит-ры, 1955. – 406 с.
5. Энциклопедия-хрестоматия Иркутской области и Байкала [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://irkipedia.ru/> (12 января 2015).
6. Экономика Иркутской области = Economy Irkutsk Region : в 2 т. – Иркутск : Облмашинформ, 1998. – Т. 1. – 276 с.
7. Иванюта С.И. Торфяные мерзлотные почвы низинных болот юга Иркутской области / С.И. Иванюта, Л.А. Иванюта // Материалы IV региональной научно-практической конференции «Интеллектуальные и материальные ресурсы Сибири». – Иркутск: ИРО АН ВШ России, 2001. – С. 38-46.
8. Торфяные болота России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.peatlands.ru/> (12 января 2015).
9. Ляхова, И.Г. Генезис и классификация торфяных залежей Байкальской Сибири // Материалы VII Всесоюзного совещания по болотоведению. – Калинин, 1984. – С. 75-81.
10. Фалюшин П.Л. О механизме распространения очага горения в торфе / П.Л. Фалюшин // Сборник научных трудов «Природопользование». – Минск: Институт природопользования Беларуси, 2011. – Вып. 19. – С. 204-206.

11. Дубровина Е.Е. К вопросу о ботаническом составе торфов болот Нижне-Илимского района Иркутской области // Тезисы докладов Второй Российской конференции «Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока». – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1996. – С. 318-319.

12. Ляхова И.Г. Характеристика и возможности хозяйственного использования торфяников Прибайкальского участка БАМ / И.Г. Ляхова, И.Я. Ляхов // Тезисы докладов к четвертой научной конференции, посвященной проблеме «Сельскохозяйственные мелиорации на мерзлотных почвах Забайкалья». – Чита: Изд-во СО АН СССР, 1983. – С. 151-154.

**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.