



УДК 630*432

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ*А.В. Волокитина¹, д-р с.-х. наук, ResearcherID: [D-2518-2019](#),**ORCID: [0000-0002-4007-6048](#)**Т.М. Софронова², канд. с.-х. наук; ResearcherID: [B-1193-2011](#),**ORCID: [0000-0002-9840-4657](#)**М.А. Корец¹, канд. техн. наук; ResearcherID: [P-9487-2015](#), ORCID: [0000-0002-5015-5874](#)*¹Институт леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, Академгородок, 50/28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: volokit@ksc.krasn.ru²Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, ул. Ады Лебедевой, д. 89, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: tmsofronova@gmail.com

Необходимость в прогнозировании поведения пожаров растительности, включая лесные, особенно остро ощущается во время сильных засух, которые периодически повторяются на той или иной территории, а точный их прогноз пока затруднен. Содержать в каждом регионе достаточные силы и средства для подавления всех возникающих пожаров нереально. Только наращивание технической мощи проблему не решит, о чем свидетельствует опыт развитых стран, где большое внимание, наряду с оценкой пожарной опасности, уже давно стали уделять разработке системы прогноза поведения пожаров. В России такой системы пока нет, а использование зарубежного опыта не представляется возможным, так как осложнено рядом факторов и, прежде всего, разными исторически сложившимися подходами к пирологической классификации растительности и ее инвентаризации. В настоящее время существуют все предпосылки для создания российской системы прогноза поведения пожаров растительности (включая лесные): имеются фундаментальные пирологические разработки по результатам исследований природы пожаров; создана и развивается система мониторинга пожаров; совершенствуется оценка пожарной опасности, как природная, так и по условиям погоды. В статье приведена принципиальная схема прогноза поведения пожаров растительности и рассмотрены ее главные компоненты. Для прогноза скорости распространения горения выбрана практическая модель, для которой имеется необходимая информационная база в геоинформационной системе. Разработаны, ретроспективно проверены и зарегистрированы компьютерные программы для создания карт растительных горючих материалов и прогноза поведения низовых лесных пожаров, которые составляют до 97 % от всех возникающих. Приведены примеры этих карт для Чунского участкового лесничества (Красноярский край) в разные периоды пожароопасного сезона, созданные на основе использования лесоустроительной информации и определителя типов основных проводников горения – первой группы растительных горючих материалов, что непосредственно отражено на картах. Информация по другим группам растительных горючих материалов, поддерживающих, задерживающих горение или не участвующих в процессе распространения горения, прилагается к карте в виде пирологического описания. Приведен перечень данных, содержащихся в этом описании, а также причины, сдерживающие внедрение в практику лесопожарной охраны имеющихся в России пирологических разработок по прогнозу поведения пожаров растительности.

Для цитирования: Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 1. С. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25

Ключевые слова: пожар растительности, поведение пожаров, модель распространения горения, информационная база данных, программа прогноза распространения низового пожара.

Пожары, возникающие на территориях, покрытых лесной, степной, кустарниковой, болотной и другой растительностью, уже давно являются для человечества нерешенной глобальной проблемой. Особенно большой ущерб наносят лесные пожары в периоды сильных засух. Борьба с огненной стихией, даже при использовании мощных и дорогостоящих технических средств, зачастую недостаточно эффективна. Поэтому самое серьезное внимание должно уделяться профилактике всех пожаров растительности, так как крупные развиваются из пожаров небольших, непотушенных или плохо локализованных. Необходимо также контролировать возникновение каждого пожара, но в условиях недостатка сил и средств это возможно только с помощью прогнозирования его поведения. Поведение пожара, возникшего на любой территории с растительностью, включая лесную, можно охарактеризовать скоростью пламенного или беспламенного распространения горения и его интенсивностью. Кроме того, необходимо оценить возможность перехода пожара из одного вида в другой, например из низового в верховой или почвенный, а также спрогнозировать последствия горения на том или ином участке. Так, вполне реально до пожара оценить возможный отпад в древостое по спрогнозированной интенсивности горения при данных метеорологических условиях, древесной породе и среднем диаметре ствола. На рис. 1 приведена схема прогноза поведения пожара растительности.



Рис. 1. Принципиальная схема прогноза поведения пожара растительности

Fig. 1. Principle diagram of vegetation fire behavior prediction

Цель данной работы – на основе анализа литературных данных, в том числе зарубежных, и использования результатов собственных многолетних пирологических исследований показать необходимость и возможность прогнозирования поведения пожаров растительности в России.

Наиболее развитые системы прогноза поведения пожаров растительности используются в США [42, 43] и Канаде [45, 58]. Подробное описание этих систем и сложности их применения в России и ряде европейских стран были рассмотрены ранее [14]. Показано, что использование канадской системы в России (даже при некотором сходстве природных условий) не приведет к желаемым результатам, а только затормозит разработку российской системы.

В нашей стране до сих пор нет специальной государственной системы по прогнозу поведения пожаров растительности.

Руководителям тушения пожаров рекомендуется при сложной лесопожарной обстановке составлять прогнозы поведения пожаров, используя план лесонасаждений и примерные пирологические характеристики для некоторых типов леса [35, 36]. Но такие характеристики имеются только для 7 типов леса в европейской части страны и для 4 типов леса на Дальнем Востоке. Для огромной территории Урала и Сибири с множеством типов леса такая информация отсутствует.

Экспериментальные исследования в таежных лесах, направленные на изучение пирологических характеристик разных напочвенных покровов в зависимости от условий погоды, были начаты в России под руководством основоположника лесной пирологии академика И.С. Мелехова. Результатом явилась классификация главной группы напочвенных горючих материалов – выделение типов основных проводников горения с их пирологическими характеристиками [10]. Продолжение этих исследований нашло отражение в новом направлении лесной пирологии – в картографировании растительных горючих материалов (РГМ), которое позволило начать разработку методов прогнозирования поведения пожаров растительности применительно к условиям России [14, 63].

В нашей стране создана и успешно развивается система мониторинга лесных пожаров [7, 8]. Даже были предложения дистанционно отслеживать распространение пожаров, используя дополнительно мелкомасштабные карты растительности [6]. Однако это нереально осуществить на практике: подобные карты не содержат необходимую для прогноза поведения пожара пирологическую характеристику РГМ, они отражают древесную породу и состав древостоя, но в них нет информации о напочвенном покрове, который может значительно отличаться по скорости пожарного созревания и интенсивности горения при данных погодных условиях даже под пологом одной древесной породы с одинаковой полнотой. Кроме того, дистанционный прогноз чаще всего затруднен задымлением и облачностью. Поэтому для прогноза поведения пожаров, их контролирования и тушения необходимы крупномасштабные карты РГМ, отражающие прежде всего основные проводники горения, их пирологические характеристики, а также и другие группы растительных горючих материалов [12, 24, 25].

Дистанционные методы могут быть использованы при оценке степени повреждения пройденных пожарами территорий [9]. Но одной из главных задач прогноза поведения возникших пожаров растительности является предсказание возможного отпада в конкретных древостоях на пути распространения пожара, т. е. еще до начала горения на лесном участке важно определить процент отпада деревьев при спрогнозированной интенсивности горения, данных древесной породе и среднем диаметре деревьев. Известные результаты фундаментальных пирологических исследований позволяют выполнять такой прогноз [14]. Информация о возможном отпаде в том или ином древостое поз-

волит составить оптимальный план контролирования пожара или его остановки. Прогноз вида пожара и его интенсивности будет способствовать осознанному распределению сил и средств и максимально исключит гибель пожарных, особенно в горных условиях.

Чтобы спрогнозировать поведение пожара, кроме пирологической характеристики растительности на том или ином участке территории и информации о погоде, необходимо иметь и модель распространения горения. Для прогноза распространения лесного пожара в ряде стран уже разработано более полусотни моделей [1–5, 17–23, 26, 30, 31, 34, 37, 39, 41, 46–57, 59–62 и др.]. Большинство этих моделей, как за рубежом, так и в России, создавались не лесными специалистами-пирологами, а физиками или математиками. Стремление как можно полнее описать процесс горения РГМ и учесть как можно больше факторов, влияющих на процесс горения, привело к тому, что большинство разработанных моделей в настоящее время не имеют применения в лесопожарной практике. Так, в Северной Америке из большого числа моделей в практике широко используется только одна полуэмпирическая модель Р. Ротермела [54]. В СССР предпринимались попытки адаптировать данную модель для условий распространения низовых лесных пожаров [18, 20, 21]. В настоящее время такие попытки продолжают предприниматься в России [19] и Белоруссии [3–5].

Общее, что есть у всех разработанных моделей распространения лесных пожаров, – отсутствие необходимой информационной базы, включающей прежде всего пирологическую характеристику РГМ. Поэтому сложно представить использование в практике лесного хозяйства большинства предлагаемых моделей. Единственная в России модель распространения низового лесного пожара, для которой уже созданы примеры информационных баз – это простая эмпирическая модель М.А. Софронова, опубликованная раньше американской модели Р. Ротермела [15, 31–33, 54].

В мировой практике изучения природы пожаров растительности и формирования информационных баз данных в целях прогнозирования поведения пожаров можно выделить следующие методы: выборочный, типовой и индивидуально-типовой [14].

При выборочном методе эмпирически изучается «пожарное созревание» и горение отдельных категорий участков растительности (биогеоценозов) в связи с динамичными внешними факторами: метеорологическими условиями и фенологическими периодами. Так, в 60–80 гг. XX в. в различных регионах СССР по методике проф. Н.П. Курбатского [27] проводились наблюдения в отдельных типах леса за динамикой влагосодержания и запасами напочвенного покрова и подстилки, а также за появлением возможности распространения горения в связи с погодными условиями; составлялись местные шкалы «пожарного созревания» изученных типов леса. Этот же метод применялся и в Канаде, где с помощью экспериментальных пожаров получена всесторонняя пирологическая характеристика 16 категорий участков растительности, названных «fuel types», которая используется и сейчас в этой стране [45]. Очевидно, что типов «горючих» биогеоценозов в Канаде гораздо больше. При прогнозе поведения пожара необходима пирологическая характеристика всех участков растительности вокруг пожара, но выборочный метод обеспечить ее не может.

Типовой метод используется в национальной системе (VENAVE) США. Растительность на территории страны характеризуется топливными моделями с их пирологическими характеристиками [38, 40, 44, 64]. Применение данного

метода позволяет описать с пирологической точки зрения каждый участок на территории, но характеристика очень приближенная из-за недостаточного количества топливных моделей.

В индивидуально-типовом методе отражается своеобразие каждого участка растительности. При его практическом использовании индивидуальные характеристики целесообразнее составлять из ряда типовых элементов (как это принято при таксации леса). В Институте леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН разработана методика, которая позволяет на основе имеющихся таксационных описаний и снимков высокого и сверхвысокого разрешения компоновать индивидуально-типовую пирологическую характеристику для любого участка растительности и формировать таким образом информационную базу данных для прогноза поведения пожаров [13].

Для информативного пирологического описания на участках комплексов РГМ необходима их детальная классификация. В природных условиях РГМ находятся в единстве со средой, включая почвенные условия и структуру биогеоценозов. Поэтому при классификации РГМ нельзя абстрагироваться от их природной среды, как это сделано в американской классификации [15]. В России этим требованиям наиболее удовлетворяет классификация проф. Н.П. Курбатского [28, 29], в которой учитывается распределение различных РГМ в пространстве лесного биогеоценоза, а также их роль в возникновении, распространении и развитии лесного пожара. Более детальная классификация была выполнена на основе многолетних фундаментальных пирологических исследований в разных регионах России для различных типов леса (табл. 1) [12].

Таблица 1

Классификация растительных горючих материалов

Группа РГМ	Подгруппа РГМ	Тип, подтип РГМ (их шифры)	Характер горения	Вид и разновидность пожара
I. Слои на почве из мхов, лишайников и мелких растительных остатков (основные проводники горения – ОПГ)	Мшистая	Лишайниковый (Лш)	Пм	Н-1
		Сухомшистый (Сх)	Пм	Н-1, Н-2
		Влажномшистый (Вл)	Пм и Тл	Н-2
		Болотно-моховый (Бм): подтип Бм1 подтип Бм2	Пм Негорим	Н-1
	Опадная	Травяно-ветошный (Тв)	Пм	Н-1
		Рыхлоопадный (Рх)	Пм	Н-1, Н-2
		Плотноопадный (Пл)	Пм и Тл	Н-2
		Беспроводниковый (Бп): подтип Бп1 подтип Бп2	Тл Негорим	ПТ-8,9,11
II. Подстилка, перегнойный и торфяной горизонты	Подстилка	Грубогумусная	Тл	Н-2, ПТ-8
		Модерная	Тл	Н-2, ПТ-8
		Муллевая	Тл	Н-2, ПТ-8
		Дернина	Тл	ПТ-9
	Торф и перегной	Перегнойный горизонт	Тл	ПТ-10, 11
		Торфяной горизонт	Тл	ПТ-11

Окончание табл. 1

Группа РГМ	Подгруппа РГМ	Тип, подтип РГМ (их шифры)	Характер горения	Вид и разновидность пожара
III. Травяно-кустарничковые ярусы (при покрытии 0,5 и более)	Кустарничковая	Брусничный (бр)	Пм	Н
		Толокнянковый (тл)	Пс	Н
		Болотно-кустарничковый (бк)	Пм и Пс	Н
		Другие типы		
	Травяная	Злаковый (зл)	Пс	Н
		Осоковый (ос)	Пс	Н
		Осочковый (осч)	Пм	Н
	Разнотравный (рт)	Пс	Н	
IV. Крупные древесные остатки	Сухостой и валежник	Сухостой	Об, Тл	Н
		Валежник неприземленный	Об	Н
		Валежник приземленный	Об	Н
	Порубочные остатки	Охвоенные	Пм	Н-3
		Неохвоенные	Пс	Н-3
V. Ярус из кустарников и подроста	Из хвойных пород		Пм	В-6
	Из лиственных пород		Пс, Пм	Н-1,2,4
VI. Хвоя, листва, несущие побеги и сухие сучья в кронах деревьев	Из хвойных пород	Кроны в молодняках и в кедровом стланике	Пм	В-6
		Кроны в темнохвойных древостоях	Пм	В-7,6
		Кроны в светлохвойных древостоях	Пм	В-6
	Из лиственных пород	Кроны в лиственных древостоях	Пс	В-6
VII. Стволы и сучья растущих деревьев		Стволы нормальные	Об	Н
		Стволы засмоленные	Пм, Об	Н-5
		Стволы дуплистые и с трухлявой гнилью	Об, Тл	Н

Примечания. 1. Характер горения: Пм – активное пламенное; Тл – тление; Об – обгорание; Пс – пассивное сгорание. 2. Виды и разновидности пожаров: Н – низовые (в том числе беглый (1), устойчивый (2), валежниковый (3), подлесно-кустарниковый (4), стволовой (5)); В – верховые (в том числе вершинный (6), повальный (7)); ПТ – почвенно-торфяные (в том числе постилочный (8), дерновый (9), поверхностный (10), подземный (11)).

В России низовые пожары составляют до 97 % от общего числа, верховые развиваются только из низовых, почвенные, как правило, – из низовых. Поэтому важнейшим является прогноз поведения низовых пожаров, при которых возможность горения и его характеристики во многом определяются слоем гигроскопичных РГМ на поверхности почвы, его запасом, структурой и влагосодержанием. Эти РГМ названы основными проводниками горения, а закономерности их увлажнения, высыхания и горения достаточно хорошо изучены в разных регионах России, что позволило давать типам основных проводников горения характеристики, необходимые для моделирования распространения горения [12].

Такой подход упрощает формирование информационной базы в отношении пирологической характеристики растительности, поскольку главной ее частью становится характеристика типов ОПГ, которые непосредственно отражаются на картах. При этом сведения о других группах горючих материалов помещаются в табличной форме в специальном пирологическом описании (по аналогии с планом лесонасаждений и таксационным описанием к нему) [12].

Таким образом, карты РГМ являются основной частью информационной базы данных, необходимой для прогноза поведения пожаров растительности. Способы создания этих карт различаются по методам пирологической характеристики участков, прежде всего по методам определения типов ОПГ, в том числе в природных условиях.

Типы ОПГ можно оценивать не только непосредственно в лесу, пользуясь разработанным определителем [11, 16], но и косвенным методом по материалам лесоустройства, на основании таксационного описания выделов (через указанные там типы леса). Косвенный метод менее точен, но вполне приемлем для широкого применения на практике. При этом можно выделить следующие способы создания карт РГМ: 1 – автономный, 2 – в процессе лесоустройства, 3 – по материалам лесоустройства.

1. Автономный способ создания карт РГМ. Используются известные методы таксации (наземные и дистанционные), дополненные методами определения типов ОПГ непосредственно в лесу или путем дешифрирования аэро- и космоснимков высокого и сверхвысокого разрешения с помощью определителя. Данный способ хотя и имеет высокую точность, но является трудоемким и дорогостоящим. В настоящее время составлять карты РГМ таким способом целесообразно для сравнительно небольших участков территории, например, там, где запланировано проведение целевых палов, а также на площадях, прилегающих к лесным поселкам и другим важным объектам в лесу (буровые вышки, склады и др.).

2. Способ создания карт РГМ в процессе лесоустройства. На участках, где проводится наземная таксация, типы ОПГ дополнительно оцениваются по краткому определителю и отмечаются в карточке таксации. Там, где таксация выполняется методом дешифрирования снимков, используется способ дешифрирования типов ОПГ [11], сходный с методом дешифрирования типов леса. Поскольку в настоящее время при лесоустройстве (или лесоинвентаризации) применяются компьютерная обработка и хранение картографических материалов в геоинформационной системе (ГИС), карты РГМ выполняются с помощью специально разработанной программы. На практике данный способ был использован при лесоустройстве по первому разряду заповедников «Столбы», «Саяно-Шушенский», «Кузнецкий Алатау», «Убсунурская котловина» [24].

3. Способ создания карт РГМ по материалам лесоустройства. Для оценки типов ОПГ в таксационных выделах применяется косвенный метод, учитывающий связь типов ОПГ с типами леса, отмеченными в таксационном описании. Для этого составляется краткая пирологическая характеристика всех типов леса данного лесничества с использованием схемы типов леса и определителя типов ОПГ. В лесотипологических схемах нередко отсутствуют описания производных типов леса (березняков, осинников и т. д.). В таких случаях необходимо посетить несколько выделов с данными типами леса для определения типа ОПГ. При подобном способе карты РГМ также

создаются автоматизированно [24] и применяются при компьютерном прогнозировании поведения лесных пожаров [25]. На практике данный способ был реализован на примере Чунского лесничества (Красноярский край), для чего были составлены карты РГМ на территории около 1 млн га отдельно для весеннего (осеннего) и летнего периодов, поскольку территория относится к южно-таежным лесам с преобладанием травяных (злаковых) типов леса, в которых типы ОПГ изменяют свои характеристики в течение пожароопасного сезона, в отличие от северо-таежных территорий [14]. На рис. 2 и 3 приведены фрагменты карт для Чунского участкового лесничества.

Краткое пирологическое описание к карте РГМ содержит следующую информацию.

1. Древостой: указывается одна преобладающая древесная порода (элемент леса), если в составе древостоя ее участие составляет 6 и более единиц, при меньшем участии – две преобладающие породы (например, СБ). Если насаждение двухъярусное, то указываются преобладающие породы для каждого яруса через косую черту (например, Б/Е).

2. Средний диаметр: указываются средние диаметры древесных пород, отмеченных в предыдущем пункте.

3. Полнота: указывается общая относительная полнота древостоя.

4. Склон: из таксационного описания приводятся экспозиция склона (буквенное обозначение) и через косую черту – его крутизна в градусах (например, ЮВ/5, СЗ/27). Если уклон не указан, ставится прочерк.

5. Тип леса: указывается краткое обозначение типа леса с уточнением древесной породы (например, С. лш (сосняк лишайниковый)).

6. Тип ОПГ: записываются обозначения типов ОПГ для весны (осени) и лета. При этом используются схема типов леса для данного региона и определитель типов ОПГ (например, Рх/Пл (рыхлоопадный весной, плотноопадный летом)).

7. Критические классы засухи (ККЗ): для каждого типа ОПГ указываются ККЗ, в пределах которых достигается состояние «пожарной зрелости» и возможность распространения пламенного горения (например, I/III (первый (весной)/третий (летом))). В тех случаях, когда участки (выделы) расположены на крутых (круче 20°) склонах южных или северных экспозиций, вводятся разработанные поправки [12].

На основе карт РГМ и ККЗ автоматически составляется карта природной пожарной опасности, на которой красным цветом выделяются выделы, «созревшие» в пожарном отношении (готовые к распространению горения), зеленым – выделы, по которым невозможно распространение горения, желтым – выделы, находящиеся в стадии пожарного «дозревания». Для руководителя тушения пожара – это очень важная информация, позволяющая составить оптимальный план остановки пожара растительности, правильно распределить силы и средства, не рискуя жизнями людей, так как, кроме готовности участка растительности к горению, компьютерная программа рассчитывает возможность перехода низового пожара в верховой или почвенный, возможный отпад в древостое, а также необходимое количество сил и средств.

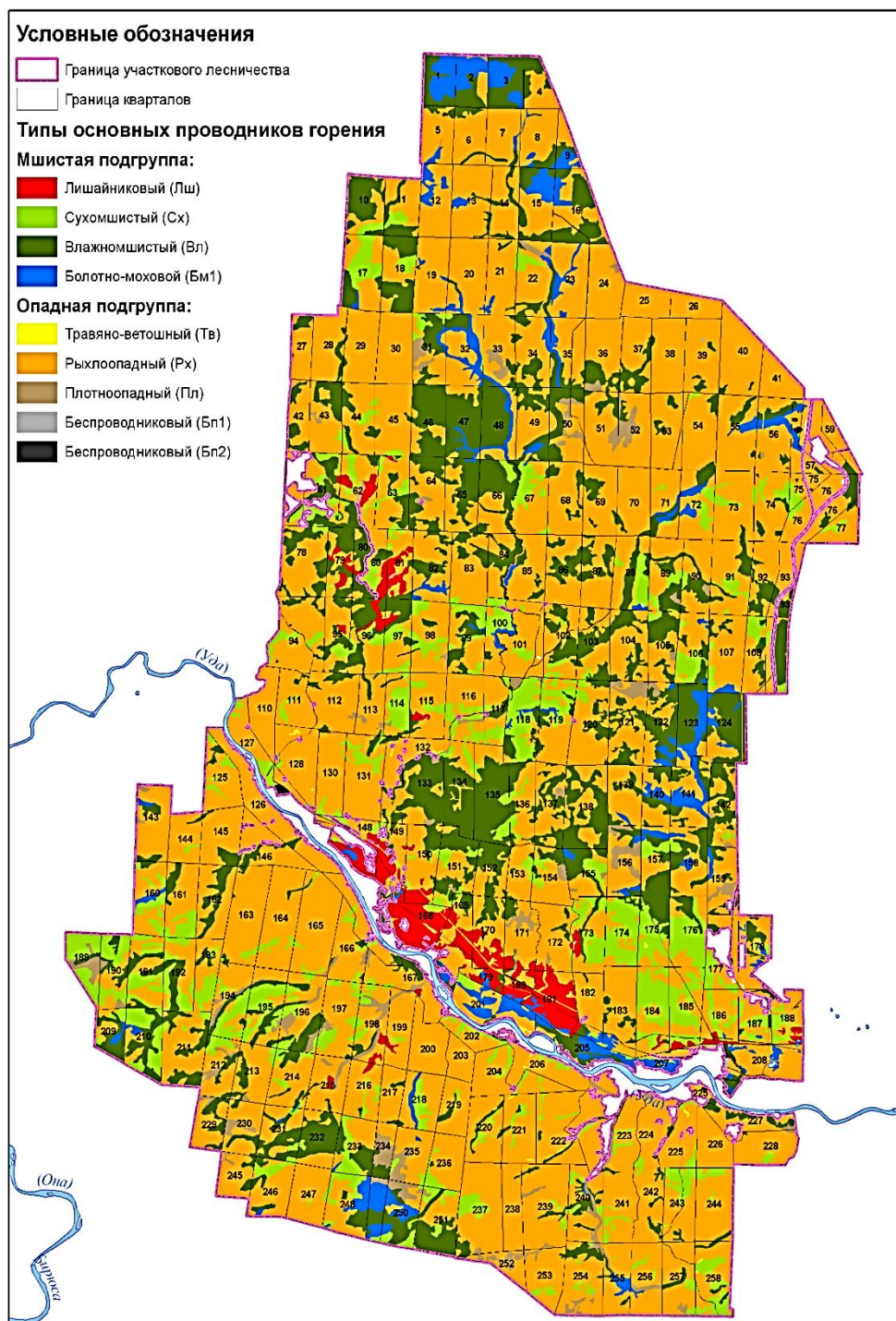


Рис. 2. Карта РГМ для весеннего (осеннего) периода (Чунское участковое лесничество, Красноярский край)

Fig. 2. Vegetation fuel map for spring (autumn) season (Chunskoye Forest District, Krasnoyarsk Krai)

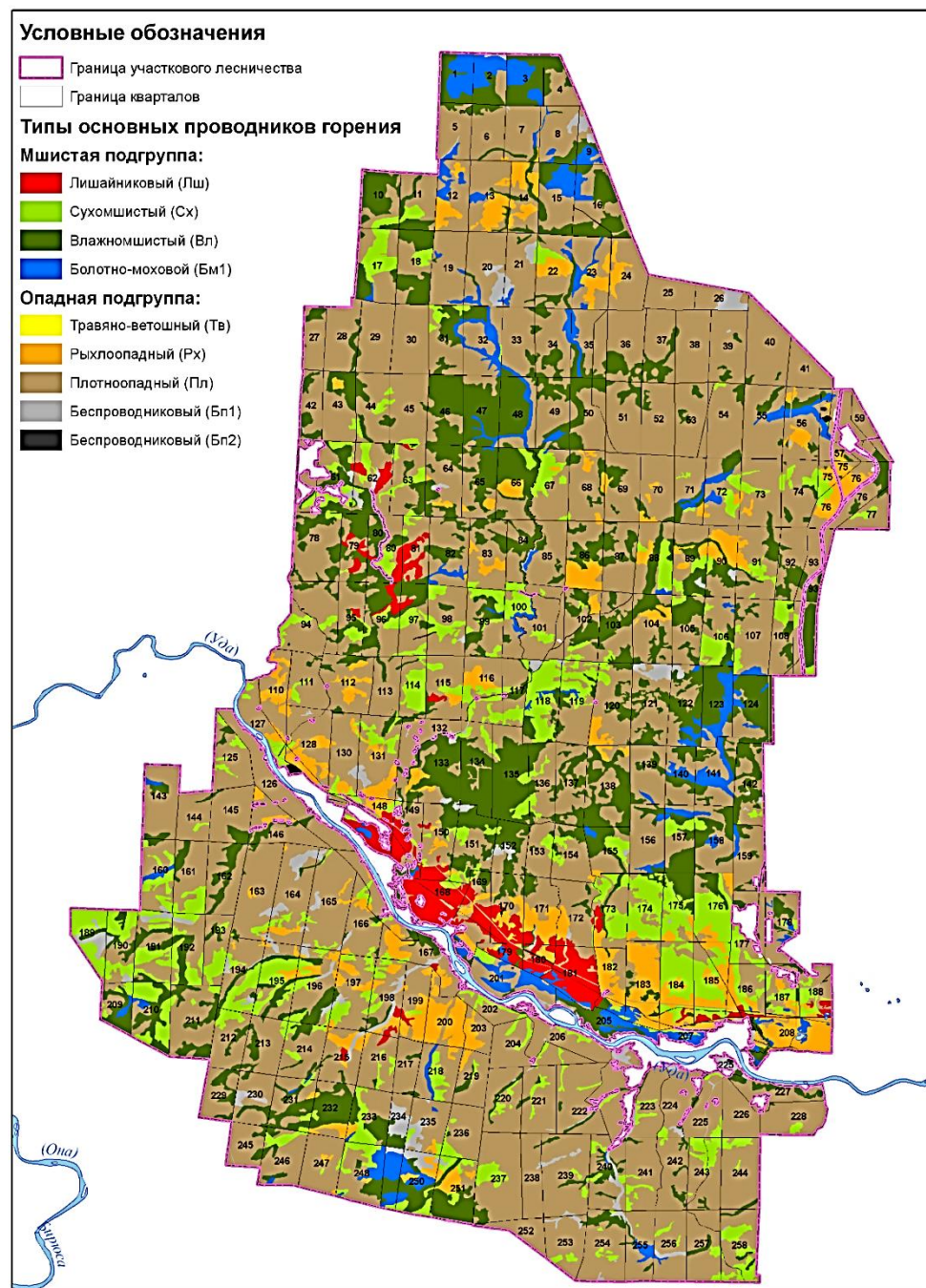


Рис. 3. Карта РГМ для летнего периода (Чунское участковое лесничество, Красноярский край)

Fig. 3. Vegetation fuel map for summer season (Chunskoye Forest District, Krasnoyarsk Krai)

На рис. 4 приведен ретроспективный анализ распространения лесного низового пожара в заповеднике «Столбы», в табл. 2 – характеристика данного пожара и оценка количества сил и средств для его тушения, рассчитанные по разработанной компьютерной программе [25].

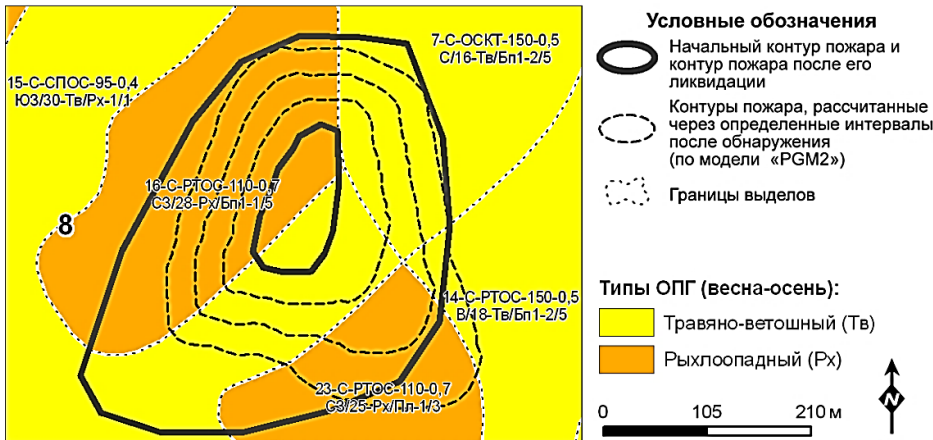


Рис. 4. Прогноз распространения лесного низового пожара, обнаруженного в заповеднике «Столбы» на площади 1 га и ликвидированного на площади 11 га (погодные условия: класс засухи – II; ветер – 2 м/с; относительная влажность воздуха – 31 %)

Fig. 4. Prediction of the spread of a forest surface fire detected in the Stolby Reserve on the area of 1 ha and eliminated on the area of 11 ha. Weather conditions: class of drought – II; wind – 2 m/s; relative air humidity – 31 %

Таблица 2

**Характеристики пожара в заповеднике «Столбы»,
рассчитанные в компьютерной программе [25]**

Характеристика	Время от начала прогноза, ч		
	1	2	3
Площадь пожара, га	2,7	5,2	8,5
Периметр пожара, м	620	870	1120
Скорость увеличения периметра, м/ч	226	260	240
Скорость увеличения площади, га/ч	2,0	2,9	3,6
Средняя скорость фронта пожара, м/ч	33	35	34
Средняя интенсивность кромки, кВт/м	112	109	107
Сила пожара	Средняя	Средняя	Средняя
Оценка количества сил и средств для тушения пожара:			
оптимальная скорость тушения, м/ч	680	780	720
продолжительность тушения, ч/площадь пожарища после тушения, га, при количестве рабочих:			
3	7,0 / 16	–	–
5	3,0 / 8,0	5,0 / 20,0	7,0 / 40,0
7	1,5 / 4,5	2,5 / 11,0	3,5 / 20,0
10	1,0 / 3,5	1,5 / 9,9	2,5 / 17,0
15	0,5 / 0,3	1,0 / 7,0	1,5 / 15,0
20	–	–	1,0 / 14,0

В целях внедрения в лесопожарную практику метода прогноза поведения пожаров растительности продолжается разработка и совершенствование обучающей компьютерной программы для подготовки руководителей тушения пожаров растительности [15].

Результаты многолетних фундаментальных пиралогических исследований, включающие совершенствование оценки пожарной опасности в лесу [16],

классификацию РГМ и методы их картографирования [12], разработанные и зарегистрированные компьютерные программы пироэкологической характеристики таксационных выделов и скорости распространения горения при низовых пожарах [24, 25], методы разработки информационных баз данных [14], создают условия для возможности прогнозирования поведения пожаров растительности. Реальным становится создание Российской системы оценки пожарной опасности и прогноза поведения пожаров растительности, включая лесные пожары. Препятствием этому являются ведомственная разобщенность российских лесных институтов и вузов, отсутствие финансирования для внедрения в практику прикладных разработок академических институтов, недостаточное внимание уровню подготовки молодых ученых-лесопирологов и специалистов лесного хозяйства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Амосов Г.А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров // Возникновение лесных пожаров: сб. ст. М.: Наука, 1964. С. 152–183. [Amosov G.A. Some Patterns of Forest Ground Fires Development. *Occurrence of Forest Fires: Collection of Academic Papers*. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 152–183].
2. Астафьев С.А., Лысенко Д.Ю., Широков А.С. Моделирование процесса распространения лесного пожара с применением теории перколяции // Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т. 55, № 6. С. 70–74. [Astaf'yev S.A., Lysenko D.Yu., Shirokov A.S. Simulation of Forest Fire Spreading with the Use of the Percolation Theory. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie* [Journal of Instrument Engineering], 2012, vol. 55, no. 6, pp. 70–74].
3. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Об особенностях адаптации математических моделей вершинных верховых лесных пожаров // Вестн. БГУ. Сер. 1: Физика. Математика. Информатика. 2010. № 1. С. 138–143. [Barovik D.V., Taranchuk V.B. On the Adaptation Futures of Mathematical Models of Crown Forest Fires. *Vestnik BGU. Ser. 1. Fizika. Matematika. Informatika* [Vestnik BSU. Series 1: Physics. Mathematics. Informatics], 2010, no. 1, pp. 138–143].
4. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Адаптация модели Ротермела для реализации в программном комплексе прогноза распространения лесных пожаров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журн. 2011. Вып. № 6(40). С. 1–8. [Barovik D.V., Taranchuk V.B. Rothermel's Model Adaptation for Implementation in Forest Fires Forecast Software. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti* [Technology of Technosphere Safety], 2011, no. 6(40), pp. 1–8].
5. Баровик Д.В., Таранчук В.Б. Алгоритмические основы построения компьютерной модели прогноза распространения лесных пожаров // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. Сер. С: Фундаментальные науки. 2011. № 12. С. 51–56. [Barovik D., Taranchuk V. Algorithmic Fundamentals of Computer Model for Forest Fires Prediction. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya S. Fundamental'nyye nauki* [Vestnik of Polotsk State University. Part C. Fundamental Sciences], 2011, no. 12, pp. 51–56].
6. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с. [Bartalev S.A., Egorov V.A., Zharko V.O., Lupyuan E.A., Plotnikov D.E., Khvostikov S.A., Shabanov N.V. *Satellite Mapping of Vegetation Cover in Russia*. Moscow, IKI RAS Publ., 2016. 208 p.].
7. Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства РФ (состояние и перспективы развития) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5, т. 2. С. 419–429. [Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Lupyuan E.A., Shchetinskiy V.E. Information System for Remote Monitoring of Forest Fires

of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation (Current State and Development Potential). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2008, vol. 5, no. 2, pp. 419–429].

8. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Щетинский В.Е.* Основные возможности и структура информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ Рослесхоз) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2010. Т. 7, № 2. С. 97–105. [Bartalev S.A., Ershov D.V., Korovin G.N., Kotelnikov R.V., Lupyan E.A., Tshetinskii V.E. The Main Functionalities and Structure of the Forest Fire Satellite Monitoring Information System of Russian Federal Forestry Agency (SMIS-Rosleshoz). *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2010, vol. 7, no. 2, pp. 97–105].

9. *Барталев С.А., Стыценок Ф.В., Хвостиков С.А., Лупян Е.А.* Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14, № 6. С. 176–193. [Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Khvostikov S.A., Loupian E.A. Methodology of Post-Fire Tree Mortality Monitoring and Prediction Using Remote Sensing Data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the Earth from space], 2017, vol. 14, no. 6, pp. 176–193]. DOI: [10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193)

10. *Волокитина А.В.* Экспериментальное изучение влияния осадков на режимы влажности и горения напочвенного покрова в целях определения и прогнозирования пожарной опасности в таежных лесах: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1980. 23 с. [Volokitina A.V. *Experimental Study of the Effect from Precipitation on the Moisture and Combustion Modes of the Ground Cover in Order to Predict Fire Hazard in Taiga Forests*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1980. 23 p.]

11. *Волокитина А.В.* Принципы разработки определителя типов основных проводников горения (на примере Красноярского Приангарья). Деп. в ВИНТИ. N5352–B90. 1990. 31 с. [Volokitina A.V. *Principles for Development of a Type Identifier of Primary Fire Carriers (On the Example of Krasnoyarsk Priangarie)*. Moscow. VINITI Publ., N5352–B90, 1990. 31 p.]

12. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с. [Volokitina A.V., Sofronov M.A. *Vegetation Fuel Classification and Mapping*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2002. 314 p.]

13. *Волокитина А.В., Софронов М.А.* О формировании в процессе лесоустройства информационной базы для прогноза поведения пожаров // *Лесная таксация и лесоустройство*. 2003. № 1(32). С. 102–105. [Volokitina A.V., Sofronov M.A. On the Information Base Formation for Predicting the Behavior of Fires in the Process of Forest Management. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest valuation], 2003, no. 1(32), pp. 102–105].

14. *Волокитина А.В., Софронов М.А., Корец М.А., Софронова Т.М., Михайлова И.А.* Прогноз поведения низовых лесных пожаров. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, 2010. 211 с. [Volokitina A.V., Sofronov M.A., Korets M.A., Sofronova T.M., Mikhaylova I.A. *Forest Fire Behavior Prediction*. Krasnoyarsk, SIF SB RAS Publ., 2010. 211 p.]

15. *Волокитина А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М.* Обучающая программа для прогноза поведения низовых лесных пожаров // *Изв. вузов. Лесн. журн.* 2006. № 5. С. 130–135. [Volokitina A.V., Sofronov M.A., Sofronova T.M. Teaching Programme for Predicting Behavior of Creeping Forest Fires. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2006, no. 5, pp. 130–135]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/upload/iblock/593/593c91321a31b0123b00e991ab0af5fb.pdf>

16. *Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А.* Совершенствование оценки пожарной опасности в лесу: метод. рекомендации. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН); Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, 2018. 44 с. [Volokitina A.V., Sofronova T.M.,

Korets M.A. *Improving the Assessment of Forest Fire Hazard: Instructional Guidelines*. Krasnoyarsk, SIF SB RAS Publ., 2018. 44 p.].

17. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 1981. 278 с. [Grishin A.M. *Mathematical Models of Forest Fires*. Tomsk, TGU Publ., 1981. 278 p.].

18. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 407 с. [Grishin A.M. *Mathematical Modeling of Forest Fires and New Methods to Fight against Them*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1992. 407 p.].

19. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. 199 с. [Gusev V.G. *Physical and Mathematical Models of Fire Spreading and Fire Barriers in Pine Forests*. Saint Petersburg, SPbNIIKH Publ., 2005. 199 p.].

20. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 161 с. [Dorrer G.A. *Mathematical Models of Forest Fire Dynamics*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 161 p.].

21. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404 с. [Dorrer G.A. *Dynamics of Forest Fires*. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2008. 404 p.].

22. Доррер Г.А., Курбатский Н.П. Математические модели лесных пожаров: основные понятия, классификация, требования // Прогнозирование лесных пожаров: сб. ст. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. Сукачёва СО АН СССР, 1978. С. 5–26. [Dorrer G.A., Kurbatskiy N.P. *Mathematical Models of Forest Fires: Basic Concepts, Classification, Requirements. Prediction of Forest Fires*. Collection of Academic Papers: Krasnoyarsk, ILiD SO AN SSSR Publ., 1978, pp. 5–26].

23. Конев Э.В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов // Теплофизика лесных пожаров. Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1984. С. 99–125. [Konev E.V. *Analysis of the Spread of Forest Fires and Prescribed Burns. Thermophysics of Forest Fires*. Novosibirsk, IT SO AN SSSR Publ., 1984, pp. 99–125].

24. Корец М.А., Волокитина А.В. Программа для расчета пирологического описания лесоустройительных выделов: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2014660252 от 03 окт. 2014 г. Опубл. 20.11.2014 г. [Korets M.A., Volokitina A.V. *A Program for Calculating the Pyrological Description of Forest Inventory Units: Certificate of State Registration of a Computer Program on October 3, 2014, No. 2014660252*. 2014].

25. Корец М.А., Волокитина А.В. Программа для прогноза распространения низового пожара: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015661771 от 09 нояб. 2015 г. Опубл. 20.12.2015 г. [Korets M.A., Volokitina A.V. *A Program for Predicting the Spread of Surface Fire: Certificate of State Registration of a Computer Program on November 9, 2015, No. 2015661771*. 2015].

26. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Сборник научно-исследовательских работ по лесному хозяйству: Тр. ЛенНИИЛХ. Вып. XII. М.: Лесн. пром-сть, 1969. С. 244–262. [Korovin G.N. *The Methodology for Calculating Some Parameters of Surface Forest Fires. Collection of Scientific Research on Forestry. Proceedings of LenNIIKKh. Vol. XII*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1969, pp. 244–262].

27. Курбатский Н.П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности в лесах. Л.: ЦНИИЛХ, 1954. 33 с. [Kurbatskiy N.P. *Methodology Guidelines for the Pilot Development of Local Fire Danger Scales in Forests*. Leningrad, TsNIIKKh Publ., 1954. 33 p.].

28. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с. [Kurbatskiy N.P. *Technique and Tactics of Extinguishing Forest Fires*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 154 p.].

29. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО

РАН, 1970. С. 5–58. [Kurbatskiy N.P. Research of Quantity and Properties of Forest Fuels. *Issues of Forest Pyrology*. Krasnoyarsk, IL SO AN SSSR Publ., 1970, pp. 5–58].

30. Софронов М.А. Влияние рельефа на лесные пожары в Западном Саяне // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 127–137. [Sofronov M.A. The Terrain Effect on Forest Fires in the Western Sayan. *Forest Fires and Fighting against Them*. Moscow, AN SSSR Publ., 1963, pp. 127–137].

31. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 152 с. [Sofronov M.A. *Forest Fires in the Mountains of Southern Siberia*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 152 p.].

32. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука, 1990. 205 с. [Sofronov M.A., Volokitina A.V. *Pyrological Zoning in the Taiga Zone*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990. 205 p.].

33. Софронов М.А., Гольдаммер И.Г.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Пожарная опасность в природных условиях. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, 2005. 330 с. [Sofronov M.A., Gol'dammer I.G., Volokitina A.V., Sofronova T.M. *Fire Hazard in the Wild*. Krasnoyarsk, SIF SB RAS Publ., 2005. 330 p.].

34. Телицын Г.П. О распространении горения в лесу // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачёва СО РАН, 1973. С. 164–176. [Telitsyn G.P. On the Spread of Burning in the Forest. *Burning and Fires in the Forest*. Krasnoyarsk, IL SO AN SSSR Publ., 1973, pp. 164–176].

35. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров: утв. Гос. ком. лесн. хоз-ва Совета Министров СССР 08.08.1975. М.: ЦБНТИлесхоз, 1976. 110 с. [*Guidelines for the Detection and Extinguishing of Forest Fires: Approved by the State Forestry Committee of the Council of Ministers of the USSR on August 8, 1975*. Moscow, TsBNTIleskhoz Publ., 1976. 110 p.].

36. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров: утв. приказом Федер. службы лесн. хоз-ва России от 30.06.1995 № 100. М.: Федер. служба лесн. хоз. России, 1995. 96 с. [*Guidelines for the Detection and Extinguishing of Forest Fires: Approved by the Federal Forestry Service of Russia on June 30, 1995, No. 100*. Moscow, Federal Forestry Service of Russia Publ., 1995. 96 p.].

37. Халдина Е.А. Математическое моделирование распространения верховых лесных пожаров с учетом противопожарных преград // Вестн. науки Сибири. 2013. № 4(10). С. 98–103. [Khaldina E.A. Mathematical Modeling of the Spread of Crown Forest Fires with Regard to Fire Barriers. *Vestnik nauki Sibiri* [Siberian Journal of Science], 2013, no. 4(10), pp. 98–103].

38. Anderson H.E. *Aids to Determining Fuel Models for Estimating Fire Behavior*. General Technical Report INT-122. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1982. 22 p.

39. Andrews P.L., Bevins C.D., Seli R.C. *BehavePlus Fire Modeling System, Version 3.0: User's Guide*. General Technical Report RMRS-GTR-106WWW. Ogden, UT, Rocky Mountain Research Station, 2005. 134 p.

40. Andrews P.L., Bevins C.D., Seli R.C. *BehavePlus Fire Modeling System, Version 4.0: User's Guide*. General Technical Report RMRS-GTR-106WWW. Ogden, UT, Rocky Mountain Research Station, 2008. 116 p.

41. Barrows J.S. *Fire Behavior in the Northern Rocky Mountain Forests*. Station Paper No. 29. Missoula, MT, Northern Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1951. 103 p.

42. Burgan R.E., Rothermel R.C. *BEHAVE: Fire Behavior Prediction and Fuel Modeling System – FUEL Subsystem*. General Technical Report INT-167. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1984. 126 p. DOI: [10.2737/INT-GTR-167](https://doi.org/10.2737/INT-GTR-167)

43. Byram G.M. Combustion of Forest Fuels. *Forest Fire: Control and Use*. Ed. by K.P. Davis. New York, McGraw-Hill, 1959, pp. 61–89.

44. Deeming J.E., Burgan R.E., Cohen J.D. *National Fire-Danger Rating System – 1978*. General Technical Report INT-GTR-39. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1977. 63 p.

45. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Information Report ST-X-3. Ottawa, Science and Sustainable Development Directorate, 1992. 64 p.
46. Finney M.A. *FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation*. Research Paper RMRS-RP-4. Ogden, UT, Rocky Mountain Research Station, 1998. 47 p.
47. Finney M.A. *Efforts at Comparing Simulated and Observed Fire Growth Patterns*. Final Report 2/25/2000 INT-95066-RJVA. Missoula, MT, Systems for Environmental Management, 2000. 20 p.
48. Finney M.A. *FARSITE: Fire Area Simulator-Model Development and Evaluation*. Research Paper RMRS-RP-4. Ogden, UT, Rocky Mountain Research Station, 1998. Revised 2004. 47 p. DOI: [10.2737/RMRS-RP-4](https://doi.org/10.2737/RMRS-RP-4)
49. Finney M.A., Ryan K.C. Use of the FARSITE Fire Growth Model for Fire Prediction in U.S. National Parks. *Proceedings of the International Emergency Management and Engineering Conference*. Sofia Antipolis, France, 1995, pp. 183–189.
50. Frandsen W.H., Rothermel R.C. Measuring the Energy-Release Rate of a Spreading Fire. *Combustion and Flame*, 1972, vol. 19, iss. 1, pp. 17–24. DOI: [10.1016/S0010-2180\(72\)80082-8](https://doi.org/10.1016/S0010-2180(72)80082-8)
51. Keane R.E., Burgan R., van Wagendonk J. Mapping Wildland Fuels for Fire Management across Multiple Scales: Integrating Remote Sensing, GIS, and Biophysical Modeling. *International Journal of Wildland Fire*, 2001, vol. 10(4), pp. 301–319. DOI: [10.1071/WF01028](https://doi.org/10.1071/WF01028)
52. Ottmar R.D., Burns M.F., Hall J.N., Hanson A.D. *CONSUME Users Guide*. General Technical Report PNW-GTR-304. Portland, OR, Pacific Northwest Research Station, 1993. 119 p. DOI: [10.2737/PNW-GTR-304](https://doi.org/10.2737/PNW-GTR-304)
53. Reinhardt E.D., Keane R.E., Brown J.K. *First Order Fire Effects Model: FOFEM 4.0, User's Guide*. General Technical Guide INT-GTR-344. Ogden, UT, Intermountain Research Station, 1997. 65 p. DOI: [10.2737/INT-GTR-344](https://doi.org/10.2737/INT-GTR-344)
54. Rothermel R.C. *A Mathematical Model for Predicting Fire Spread in Wildland Fuels*. Research Paper INT-115. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 40 p.
55. Rothermel R.C. *How to Predict the Spread and Intensity of Forest and Range Fires*. General Technical Report INT-143. Ogden, UT, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1983. 161 p. DOI: [10.2737/INT-GTR-143](https://doi.org/10.2737/INT-GTR-143)
56. Scott J.H., Burgan R.E. *Standard Fire Behavior Fuel Models: A Comprehensive Set for Use with Rothermel's Surface Fire Spread Model*. General Technical Report RMRS-GTR-153. Fort Collins, CO, Rocky Mountain Research Station, 2005. 72 p. DOI: [10.2737/RMRS-GTR-153](https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR-153)
57. Sofronov M.A. Effect of Relief on Forest Fire in Western Sayan. *Soviet Progress in Forest Fire Control*. Ed. by N.P. Kurbatskiĭ. New York, Consultants Bureau, 1964, pp. 13–21.
58. Stocks B.J., Lynham T.J., Lawson B.D., Alexander M.E., Van Wagner C.E., McAlpine R.S., Dubé D.E. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview. *The Forestry Chronicle*, 1989, vol. 65, no. 6, pp. 450–457. DOI: [10.5558/tfc65450-6](https://doi.org/10.5558/tfc65450-6)
59. Stratton R.D. Assessing the Effectiveness of Landscape Fuel Treatments on Fire Growth and Behavior. *Journal of Forestry*, 2004, vol. 102, iss. 7, pp. 32–40. DOI: [10.1093/jof/102.7.32](https://doi.org/10.1093/jof/102.7.32)
60. Sullivan A.L. Wildland Surface Fire Spread Modelling, 1990–2007. 1: Physical and Quasi-Physical Models. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18(4), pp. 349–368. DOI: [10.1071/WF06143](https://doi.org/10.1071/WF06143)
61. Sullivan A.L. Wildland Surface Fire Spread Modelling, 1990–2007. 2: Empirical and Quasi-Empirical Models. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18(4), pp. 369–386. DOI: [10.1071/WF06142](https://doi.org/10.1071/WF06142)
62. Sullivan A.L. Wildland Surface Fire Spread Modelling, 1990–2007. 3: Simulation and Mathematical Analogue Models. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18(4), pp. 387–403. DOI: [10.1071/WF06144](https://doi.org/10.1071/WF06144)

63. Volokitina A.V. Forest Fuel Maps. *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*, Dordrecht, Springer, 1996, pp. 239–252. DOI: [10.1007/978-94-015-8737-2_19](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8737-2_19)

64. Wright J.C. *Forest-Fire Hazard Research as Developed and Conducted at the Petawawa Forest Experiment Station*. Ottawa, Department of the Interior, 1967. 40 p.

VEGETATION FIRE BEHAVIOR PREDICTION

A.V. Volokitina¹, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [D-2518-2019](https://orcid.org/0000-0002-4007-6048),

ORCID: [0000-0002-4007-6048](https://orcid.org/0000-0002-4007-6048)

T.M. Sofronova², Candidate of Agriculture; ResearcherID: [B-1193-2011](https://orcid.org/0000-0002-9840-4657),

ORCID: [0000-0002-9840-4657](https://orcid.org/0000-0002-9840-4657)

M.A. Korets¹, Candidate of Engineering; ResearcherID: [P-9487-2015](https://orcid.org/0000-0002-5015-5874),

ORCID: [0000-0002-5015-5874](https://orcid.org/0000-0002-5015-5874)

¹Sukachev Institute of Forest SB RAS, Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: volokit@ksc.krasn.ru

²Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev, ul. Ady Lebedevoy, 89, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: tmsofronova@gmail.com

The necessity for predicting the behavior of vegetation fires, including forest fires, is keenly felt in a time of severe droughts, which periodically recur in this or that area, and their precise prediction is still hampered. It is unfeasible to maintain sufficient forces and means in each region for suppressing all emerging fires. Merely the increase of technical power won't solve the problem, as evidenced by the experience of developed countries, where much attention, along with fire danger rating, has long been given to the development of a fire behavior prediction system. Such system in Russia isn't available yet, and the use of international practices seems to be impossible, since it is complicated by several factors and, above all, different historically developed approaches to the pyrological classification of vegetation and its inventory. Currently, there are all opportunities for creating the Russian system for vegetation fire behavior prediction (including forest fires): fundamental pyrological developments based on the research results of the nature of fires; a fire monitoring system has been created and is being developed; and fire danger (both natural and due to the weather conditions) rating is being improved. The article presents a principle diagram of the vegetation fire behavior prediction and considers its main components. A practical model was chosen for prediction the burning spread rate. The necessary data base for the model is available in the GIS system. Software for creation vegetation fuel (VF) maps and prediction the behavior of surface forest fires, which are up to 97 % of all occurring fires has been developed, retrospectively verified and registered. Examples of the VF maps for the Chunkskoye Forest District (Krasnoyarsk Krai) for different periods of the fire season are given. They are created based on the use of forest management information and a type identifier of primary fire carriers (i.e. the first VF group), which is directly shown in the maps. Information on the other groups of VF supporting, delaying burning or not participating in the process of burning spread, is attached to the map in the form of a pyrological description. A list of the data included in the pyrological description is given, as well as the reasons, which hold back on practical application of pyrological developments available in Russia for predicting the behavior of vegetation fires into the forest fire protection service.

For citation: Volokitina A.V., Sofronova T.M., Korets M.A. Vegetation Fire Behavior Prediction. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 1, pp. 9–25. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-9-25

Keywords: vegetation fire, fire behavior, model of burning spread, information data base, program of surface fire spread prediction.

Поступила 05.04.19 / Received on April 5, 2019