

УДК 630*43+630*431.5

КАЗАХСТАНСКИЙ АЛТАЙ: ОХРАНА ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ОТ ПОЖАРОВ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

А. В. Волокитина¹, А. А. Калачев², М. А. Корец¹, Т. М. Софронова³

¹ *Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

² *Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А. Н. Букейхана 021704, Республика Казахстан, Акмолинская обл., Щучинск, ул. Кирова, 58*

³ *Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева 660049, Красноярск, ул. Ады Лебедевой, 89*

E-mail: volokit@ksc.krasn.ru, ridder_lo@mail.ru, mik@ksc.krasn.ru, tmsofronova@gmail.com

Поступила в редакцию 13.07.2020 г.

Рассматривается возможность совершенствования охраны от пожаров лиственничников Казахского Алтая. Предлагается прогнозировать возникновение пожаров и их поведение на основе карт растительных горючих материалов по разработанной компьютерной программе прогноза поведения пожаров растительности, включающей скорость распространения, развитие, ближайшие последствия и расчет сил и средств для остановки пожара. Основой карт растительных горючих материалов (РГМ) является пирологическая характеристика типов леса и других категорий участков, которая базируется на классификации РГМ, разработанной в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Ранее указанная характеристика растительности на территории Казахского Алтая не давалась. Впервые в данном регионе в лиственничных типах леса определены типы основных проводников горения (типы ОПГ), что дает возможность прогнозировать пожарное «созревание» участков растительности, учитывая изменения погодных условий. Типы основных проводников горения в лиственничниках Казахского Алтая устанавливались путем анализа региональных описаний типов леса, которые содержатся в лесоустроительном проекте организации лесного хозяйства. Дано краткое описание компьютерных программ для составления карт растительных горючих материалов («PGM») и для прогноза распространения, интенсивности, развития и последствий возникающих пожаров («PGM2»). На примере Маркакольского лесничества проиллюстрирована работа обеих программ: приведены примеры карт растительных горючих материалов для разных периодов пожароопасного сезона и проанализировано поведение условно заданного низового пожара. Применение выполненных разработок на практике значительно повысит эффективность использования лесопожарной техники и финансовых средств, так как позволит принимать оптимальные решения в случаях недостатка сил и средств пожаротушения при одновременном возникновении нескольких пожаров. В отдельных случаях прогноз поведения действующих пожаров позволит принять решение об отсутствии необходимости их немедленной остановки.

Ключевые слова: *охрана леса от пожаров, растительные горючие материалы, прогноз поведения пожаров растительности, Larix Mill.*

DOI: 10.15372/SJFS20200604

ВВЕДЕНИЕ

До начала XX в. в Казахском Алтае проводились в основном флористические, геоботанические и ограниченные лесоводственные исследования, мало что дававшие для решения лесопирологических проблем (Калачев, 2016). Впервые лиственничные леса на Алтае охарактеризованы в 1936 г. (Баранов, Поляков, 1936). Их материалы по типологии лиственничных лесов использованы при классификации лиственничных лесов СССР (Поварницын, 1941), при этом лиственничники Алтая были отнесены к отдельному лесорастительному району с пятью группами типов: лишайниковая, мшистая, сложная, широколиственная и высокотравная с подлеском. В пределах ареала лиственницы *Larix Mill.* на Алтае были выделены ее климатические фации: типичные, северные и южные, объединенные в один геоморфологический комплекс типов – горные лиственничные леса, для которых разработан определитель типов (Лагов, 1966). Согласно классификации Д. И. Назимовой (1968), территория Казахского Алтая входит в Алтае-Саянскую горную лесорастительную область. По природному пирологическому районированию данная территория относится к южной Алтае-Саянской лесопирологической области с повышенной фактической горимостью лесов (Софронов, Волокитина, 1990).

До конца 1991 г. Казахстан входил в состав СССР с общей системой охраны лесов от пожаров и общим экономическим кризисом. Только с 2008 г. при постепенном выходе из экономического кризиса в Казахстане стала формироваться и укрепляться новая система управления лесами, включающая и совершенствование охраны лесов от пожаров. Основное внимание при этом первоначально уделяли основным лесам (Архипов, 2016), анализировали их горимость, составляли местные шкалы оценки пожарной опасности в лесу. Изучали особенности послепожарного восстановления древостоев пихты сибирской *Abies sibirica* Ledeb. в условиях Рудного Алтая (Калачев, Залесов, 2016). Вопросы прогнозирования возникновения пожаров и их поведения в лиственничниках Казахского Алтая начали разрабатываться в 2019 г. в рамках договора между филиалом Казахского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. А. Н. Букейхана и Институтом леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Была поставлена

задача разработки компьютерной программы «Моделирование очагов и поведения пожаров в лиственничниках Казахского Алтая».

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Горные леса Казахского Алтая отличаются пространственной неоднородностью. Маркакольское лесничество, на примере лесоустроительных материалов которого выполнена разработка программы прогноза поведения пожаров растительности, расположено на территории Маркакольской котловины и ее горного окружения, где четко прослеживается горно-таежный природный пояс. Основу горно-таежного пояса составляют лиственничные леса с примесью темнохвойных пород. Лиственница сибирская *Larix sibirica* Ledeb. произрастает в поясе от 1400 до 2300 м, главным образом на северных и западных склонах, меньше на восточных, а на южных с господством степей почти отсутствует.

Климат Казахского Алтая отличается значительным разнообразием, но изучен очень слабо. Разнообразие климата определяется глубинным внутриконтинентальным положением территории, а также сложностью орографического строения ландшафтов. По данным метеостанции «Маркаколь», расположенной на высоте 1400 м над ур. м., средняя годовая температура – 4.5 °С, абсолютный максимум 29 °С, среднегодовое количество осадков 484 мм, продолжительность безморозного периода составляет 68 дней, а последние весенние заморозки отмечаются 21 июня. Для региона характерны весенние пожары растительности, которые возникают при наличии источников огня на открытых участках сразу после схода снежного покрова. В летнее время могут находиться в «пожарно-зрелом» состоянии участки с мохово-лишайниковым покровом. При засушливой осени возможны осенние пожары.

Для рельефа типично господство широких плато, иногда сильно размытых. Они характерны для водораздельных участков. Склоны гор крутые, расчлененные глубокими ущельями. Абсолютные высоты местности колеблются от 900 до 4000 м. Таежные почвы Казахского Алтая относятся к Алтайскому ороклиматическому региону и характеризуются сезонно-мерзлотным температурным режимом и летним или весенне-летним атмосферным увлажнением.

Пирологическую характеристику лиственничников Казахского Алтая выполняли путем анализа «Схемы типов леса», используе-

мой при лесоустройстве лесов в Казахстане. На основе классификации растительных горючих материалов (РГМ) и лесоустроительной информации (план лесонасаждения, таксационное описание) по Маркакольскому лесничеству составляли фрагменты карт РГМ и карт текущей природной пожарной опасности. Программное обеспечение, разработанное на основе эмпирической модели распространения горения по территории (Волокитина и др., 2010), включает два компонента: программу для расчета пирологического описания выделов «РГМ» (может использоваться как самостоятельный продукт для формирования карт пожарной опасности) и программы для прогноза распространения пожара «РГМ2» (использует данные, рассчитанные в программе «РГМ»).

Программа «РГМ» рассчитывает пирологические характеристики лесоустроительных выделов: тип основного проводника горения (ОПГ) и критический класс засухи (ККЗ), при котором выдел переходит в стадию пожарного созревания. В качестве входных данных программа использует стандартную таблицу таксационного описания выделов. Алгоритм (Волокитина и др., 2010) использует данные по категориям земель, типам леса, характеристикам первого и второго яруса древостоев (породный состав, возраст и высоту). При расчете затененности и ККЗ учитываются также характеристики подроста и подлеска, солнечная экспозиция и крутизна выдела (при наличии). Результирующее пирологическое описание формируется в виде таблицы (DBF) для двух пожароопасных сезонов: весна–осень и лето. С использованием стандартных функций распространенных ГИС-приложений, таких как ArcGIS или MapInfo, пирологическое описание связывается с картографическим слоем выделов для создания сезонных карт растительных горючих материалов и карт текущей пожарной опасности (ТПО) для каждого заданного класса засухи (КЗ). Легенда карт ТПО формируется по принципу: 1) горимые выделы, если $KЗ < ККЗ$; 2) выделы в стадии пожарного созревания, если $KЗ = ККЗ$; 3) негоримые выделы, если $KЗ > ККЗ$.

Программа «РГМ2» разработана для автоматизации методики прогноза распространения пожара растительности. ПО использует оболочку и функционал ГИС-приложения ESRI ArcView GIS в качестве модуля-расширения. Программа использует полигональный векторный слой лесоустроительных выделов, связанный с таблицами таксационного и пирологического описания (полученный в программе «РГМ»). На

первом этапе алгоритм «РГМ2» рассчитывает таблицу показателей горения выделов на основе заданного показателя пожарной опасности (ПВ2), влажности воздуха, направления и скорости ветра. При наличии учитываются также данные о рельефе местности (уклон и экспозиция). На втором этапе расчета пользователь задает начальное положение очага или очагов горения (заданной формы и площади), указывает желаемую продолжительность и точность прогнозирования горения, после чего запускаются расчет и анимация распространения кромки пожара. В результате формируется множество последовательных во времени полигональных абрисов развития пожара с заданным в зависимости от точности расчета временным интервалом. Для каждого абриса пожара (момента времени горения) по запросу пользователя можно получить подробную информацию о пожаре: площадь, периметр, скорость роста площади и периметра, среднюю интенсивность кромки пожара, оценку необходимых для тушения сил и средств, включающих ширину противопожарного барьера, скорость и продолжительность тушения, необходимое количество людей и/или бульдозеров. Дополнительно для каждого пройденного пожаром выдела рассчитывают вероятность перехода низового пожара в верховой и долю возможного отпада древостоя по всем основным породам леса. Возможности программы позволяют также произвольно задавать расположение и форму объектов, останавливающих кромку распространения пожара, для моделирования эффекта защитных противопожарных полос, рек или других возможных преград для пожара.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Прежде всего были проанализированы существующие модели распространения лесных пожаров и выбрана практичная эмпирическая модель, которая легла в основу разработки программ прогноза поведения пожаров для Казахского Алтая.

Анализ моделей распространения горения по лесной территории. Можно выделить три типа моделей: аналитические, экспериментально-статистические и экспериментально-аналитические. Примером аналитической модели может служить аэротермохимическая, разработанная А. М. Гришиным (1981, 1992). Процессы горения в ней рассматриваются на фундаментальном уровне. Горение слоя растительных горючих материалов анализируется на основе законов

тепло- и массопереноса и газовой динамики с учетом большого числа физико-химических характеристик РГМ и особенностей состояния среды. В модели десятки уравнений, описывающих трехмерные процессы массообмена, фазовых и химических превращений при горении, много характеристик горючих материалов и состояния окружающей среды. Но рекомендовать данную модель для использования в практике пожаротушения сложно, так как невозможно получить требуемые исходные данные по каждому участку с растительностью на значительную территорию. Это затруднительно даже для одного сравнительно небольшого участка, поскольку модель описывает горение однородных слоев, а в естественных условиях слои горючего отличаются по составу, плотности, влагосодержанию и другим свойствам. Кроме того, такая важная характеристика, как сгорающий запас, изменяется даже в течение суток под влиянием метеорологических условий и влажности субстрата.

Экспериментально-статистические модели базируются на данных экспериментальных пожаров в конкретных типах леса. Так, модель Г. Н. Коровина (1969), разработанная на результатах 72 огневых опытов, предполагала определение скорости распространения всех тактических кромок пожара, его площади и периметра. Канадские ученые при разработке подобной модели включали прогноз развития пожара (Forestry Canada, 1992). Лимитирующим использование моделей данного типа фактором является ограниченное число типовых комплексов, имеющих достоверные пирологические характеристики. Как в России, так и в Канаде не представляется возможным прогнозировать поведение пожара на любом участке территории, покрытой растительностью. Сюда же можно отнести и чисто статистические, весьма грубые модели, использующие базы данных по прошлым пожарам с указанием места их действия и условий. Такой подход использовали в своей работе Н. А. Марченко (1993) и Ю. В. Подрезов (2001).

Экспериментально-аналитические модели базируются, как правило, на обобщении большого экспериментального материала. Так, за рубежом из множества разработанных моделей широко используется только модель R. C. Rothermel (1972). К сожалению, из-за различий в подходах к пирологической классификации растительности данную модель не представляется возможным применять ни в России, ни в Казахстане. Поэтому мы остановили свой выбор на модели, разработанной в Институте леса им. В. Н. Сука-

чева СО РАН (Софронов, 1967), поскольку для нее к настоящему времени разработан метод создания необходимой информационной базы, проверенный на одном из лесничеств Красноярского края и на четырех заповедниках.

Модель М. А. Софронова (1967) основана на базовой скорости распространения пламенной кромки пожара растительности при разных типах основного проводника горения, а также на использовании относительного влияния на горение ветра, уклона и относительной влажности воздуха, суточные колебания которой могут быть довольно значительными. Для установления коэффициентов относительного влияния указанных факторов проводились экспериментальные огневые опыты в разных типах леса с разными пирологическими характеристиками. На основе анализа результатов нескольких сотен экспериментальных зажиганий, которые сопровождалось взятием образцов напочвенного покрова для определения влагосодержания, в качестве базовой принята скорость распространения кромки низового пожара на горизонтальной поверхности конкретного участка территории при штиле (отсутствии ветра) и 40%-й относительной влажности воздуха. Базовая скорость распространения горения, поверхностная полнота сгорания слоя и сгорающий запас были определены для каждого типа основного проводника горения с учетом динамики метеорологических условий (Волокитина, Софронов, 2002). На основе полученных пирологических характеристик появилась возможность прогноза поведения любого низового пожара, включающего прогноз не только скорости тактических частей пожара, но и его развития в почвенный или верховой, используя компьютерную программу (Корец, Волокитина, 2015). Проверка разработанной программы выполнена на основе анализа распространения низовых пожаров как в равнинных, так и в горных условиях. Результаты проверки подтвердили достоверную работу разработанной программы и возможность ее использования в лесопожарной практике.

Поэтому для разработки моделирования распространения пожаров в лиственничниках Казахского Алтая принято решение использовать практичную эмпирическую модель М. А. Софронова (1967):

$$V_x = V_o \times K_w \times K_r \times K_\phi,$$

где V_x – скорость распространения пожара, м/мин; V_o – базовая скорость, м/мин; K_w – коэффициент влияния ветра; K_r – коэффициент влия-

ния относительной влажности воздуха; K_{ϕ} – коэффициент влияния уклона поверхности.

Пирологическая характеристика лиственничников Казахского Алтая. Все растительные горючие материалы в различных биогеоценозах подразделяются на 7 групп по классификации Н. П. Курбатского (1962, 1970). Каждая группа имеет свои отличительные характеристики по их роли в процессе возникновения и распространения как пламенного, так и беспламенного горения. Дальнейшая классификация РГМ заключалась в делении каждой группы на типы. Так, экспериментальное изучение закономерностей увлажнения и высыхания группы мохово-лишайникового и мертвого покровов под влиянием погодных условий позволило выделить типы основных проводников пламенного горения и выполнить деление растительных горючих материалов, относящихся к одной группе, на однотипные комплексы – типы РГМ (Волокитина, Софронов, 2002).

Наиболее детальной является классификация основных проводников горения, от которых зависит возможность возникновения пожара растительности, включая лесные, и распространение его по территории. Для практического использования в полевых условиях и для анализа «Схем типов леса» разработан «Краткий определитель типов основных проводников горения». На основе классификации типов РГМ разработаны методы картографирования растительных горючих материалов (Волокитина, Софронов, 2002). Исходными материалами для пирологической характеристики типов леса являются: схема типов леса в виде таблицы, используемая при лесоустройстве, где дается подробное описание типов леса и таксационные описания кварталов, а также определитель типов ОПГ. Порядок работы: при характеристике леса по типу ОПГ вначале определяют подгруппу, и если более 50 % площади в данном типе леса покрыто мхами и лишайниками, то это мшистая подгруппа, если менее половины или мхи отсутствуют – опадная.

При определении типа ОПГ обращают внимание на следующие главные моменты: на характер мохово-лишайникового или мертвого покровов, на характер почвы и режим ее увлажнения. В мшистой подгруппе выделение лишайникового и болотно-мохового типов ОПГ по определителю производится достаточно просто. Сухо- и влажномшистый типы различаются, главным образом, по режиму почвенного увлажнения, дренированности. Чтобы оценить

ее, необходимо учесть местоположение на рельефе, характерное для данного типа леса (положительная или отрицательная формы рельефа, верхняя или нижняя часть склона), а также механический состав почвы (суглинистая, супесчаная, песчаная) и ее влажность, указанные в описании типа леса. Следует обратить внимание также на класс бонитета. При хорошей дренированности он обычно выше (I–II классы), при плохой – ниже (IV–V классы). При названии типа леса зеленомошный – это чаще сухомшистый тип ОПГ, а при названиях мшистый и аулакомниевый – влажномшистый. Кроме того, необходимо помнить, что в мшистой подгруппе тип ОПГ в течение сезона не изменяется. В типах леса с моховым покровом почва и подстилка после схода снегового покрова сохраняют высокую влажность и сухомшистый тип может характеризоваться некоторое время влажномшистым, а влажномшистый – болотно-моховым типом ОПГ.

На территории Казахского Алтая при пирологической характеристике типов леса и других категорий участков (пастбища, сенокосы, редины, каменистые россыпи) чаще отмечаются типы основных проводников горения опадной подгруппы, где определение типов ОПГ является более сложным. В описаниях типов леса обычно не дается характеристика опада, приходится судить о нем по косвенным признакам. Кроме того, надо определять типы ОПГ для весны и осени, а также отдельно для лета. В опадной подгруппе, где слой ОПГ состоит из мелких растительных остатков, зачастую в течение сезона его запас, структура сложения и скорость пожарного созревания значительно изменяются из-за различий в скорости поступления и разложения растительных остатков. Особенно интенсивно опад разлагается летом, уплотняя при этом слой ОПГ из остатков трав, что приводит к превращению одного типа ОПГ в другой: травяно-ветошный весной – в рыхлоопадный (Рх) летом, а осенью обратно в травяно-ветошный (Тв). Если в составе травяного покрова насаждений преобладают злаки и осоки (исключая зимнезеленые осочки), то тип ОПГ весной и осенью – травяно-ветошный, а летом рыхло- и плотноопадный (Пл) или даже беспроводниковый (Бп), поскольку, когда запас нарастающих зеленых трав (в абсолютно сухой массе) превысит запас растительных остатков, образуется негоримая смесь, которую условно можно обозначить подтипом Бп1 (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика типов леса и других категорий участков Казахстанского Алтая по типам основных проводников горения и критическим классам засухи

Тип леса, категория участка	Шифр	Типы ОПГ*		ККЗ (при полноте 0.5–0.7)	
		весна/осень	лето	весна/осень	лето
Лиственничник субальпийский	ЛСА	Пл	Бп1	III	V
» чернично-моховой	ЛЧМ	Вл	Вл	III	III
» травяной	ЛТ	Тв	Бп1	I	V
Лиственничник-кедровник моховой	ЛКМ	Сх	Сх	II	II
Лиственничник-пихтовник моховой	ЛПИМ	Вл	Вл	III	III
Лиственничник пихтово-разнотравный	ЛППР	Пл	Пл	III	III
» смородиновый	ЛСМ	Пл	Пл	III	III
» высокотравный	ЛВТ	Пл	Бп1	III	V
» злаково-разнотравный	ЛЗР	Тв	Бп1	I	V
» спирейный	ЛСП	Тв	Пл	I	III
Ельник горно-долинный	ЕГД	Пл	Пл	III	III
Пихтач кустарниковый	ПК	Рх	Пл	II	III
» травяно-папоротниковый	ПТП	Рх	Бп1	II	III
» травяно-папоротниково-моховой	ПТПМ	Пл	Бп1	III	V
Березняк травяной	БТ	Тв	Бп1	I	V
Осинник сухой	ОСС	Пл	Пл	III	III
Ивняк приручейный	ИВПР	Рх	Бп1	II	V
Пастбище	–	Тв	Бп1	I	V
Прогалина	–	Тв	Бп1	I	V
Редина	–	Тв	Пл	I	III
Крутой склон	–	Тв	Бп1	I	V
Каменистая россыпь	–	Тв	Бп1	I	V
Скальное обнажение	–	Бп2	Бп2	Негорим	Негорим
Курумник	–	Бп2	Бп2	»	»

*Примечание**. Типы ОПГ: Сх – сухомшистый; Вл – влажномшистый; Тв – травяно-ветошный; Пл – плотноопадный, Рх – рыхлоопадный, Бп – беспроводниковый. ККЗ – критический класс засухи, при котором возможно распространение горения при типовых условиях: равнинная поверхность и полнота 0.5–0.7. При нетиповых условиях вводятся разработанные поправки на уклон и полноту. I–V классы засухи по условиям погоды: I – менее 300 ед., II – 301–400, III – 1001–4000, IV – 4001–10 000, V – более 10 000 ед. показателя В. Г. Нестерова.

На рис. 1–4 приведены примеры участков растительности с разными типами основного проводника горения. Совсем отсутствуют ОПГ в курумниках (см. рис. 1), т. е. тип ОПГ при этом беспроводниковый (Бп2), что исключает возможность распространения пламенного горения при пожаре на данном участке. Подобное обстоятельство позволит руководителю тушения возникшего пожара растительности составить оптимальный план тушения и правильно расставить силы и средства пожаротушения. На территории Казахстанского Алтая часто встречаются каменистые россыпи, очень пожароопасные весной и засушливой осенью, поскольку они, как правило, поросли злаками и образуют травяно-ветошный тип ОПГ (см. рис. 2).

В летнее время после отрастания зеленой части злаков пожароопасность таких участков значительно снижается, а распространение пламенного горения исключается.

Весной и засушливой осенью также очень пожароопасны лиственничники травяные (см. рис. 3). В эти же периоды пожароопасного сезона менее пожароопасны лиственничники высокотравные (см. рис. 4), так как характеризуются чаще всего плотноопадным типом ОПГ, который созревает при типовых условиях только при II классе засухи по условиям погоды.

И травяные, и высокотравные лиственничники летом непожароопасны, когда запасы зеленой массы преобладают над запасами усохшей части. Усохшая часть злаков частично перегни-



Рис. 1. Курумник. Основные проводники горения отсутствуют. Распространение пламенного горения исключено.



Рис. 2. Каменистая россыпь, поросшая злаками. Пожароопасна весной и сухой осенью уже при I классе засухи по условиям погоды из-за травяно-ветошного типа основного проводника горения.

вает, а частично оставшаяся уплотняется и может проводить только беспламенное горение – тление с невысокой скоростью. Такие участки летом характеризуются беспроводниковым типом ОПГ – Бп1.

На основе разработанной компьютерной программы («PGM») составлены карты расти-

тельных горючих материалов (карты PGM). На рис. 5 приведены фрагменты карт PGM и карт текущей природной пожарной опасности для разных периодов пожароопасного сезона.

В весенне-осенний период преобладает пожароопасный травяно-ветошный тип ОПГ, по которому возможно распространение пламен-



Рис. 3. Лиственничник травяной. Негоримый в летнее время.



Рис. 4. Лиственничник высокотравный. Негоримый в летнее время.

ного горения уже при I классе засухи по условиям погоды, чему будут способствовать горные условия и ветер. Летом пожароопасность территории значительно снижена. При III классе засухи по условиям погоды в стадии пожарного созревания находятся только отдельные участки, а большая часть территории негорима. При сильной засухе (при V классе засухи и выше) распространение пламенного горения возможно на отдельных участках с плотноопадным типом ОПГ, а беспламенного (тления) – на большей части территории с беспроводниковым типом ОПГ (Бп1), где под травяным покровом присутствует подсыхающая подстилка.

Программа прогноза поведения пожаров в лиственничниках Казахского Алтая. На основе выбранной модели распространения пожара и пирологической характеристики лиственничников Казахского Алтая и других категорий участков разработана компьютерная программа («PGM2»), включающая автоматизированное составление карт растительных горючих материалов на основе лесостроительной информации. Примеры карт РГМ для лиственничников Казахского Алтая выполнены по материалам Маркакольского лесничества. На основе карты РГМ составлены карты текущей природной пожарной опасности для пяти классов засухи по условиям погоды. Данные карты позволяют прогнозировать места возможного возникновения пожара в зависимости от усло-

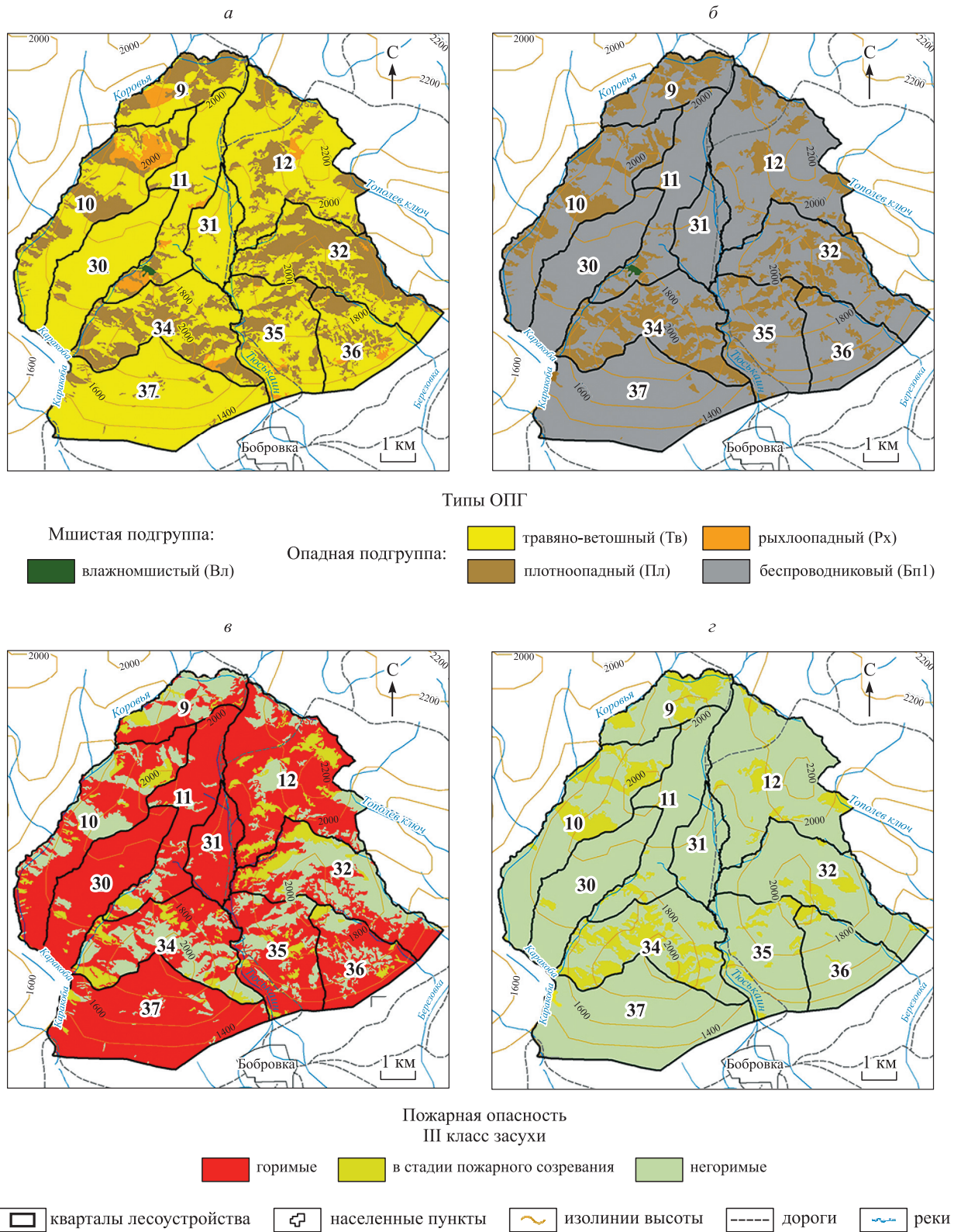
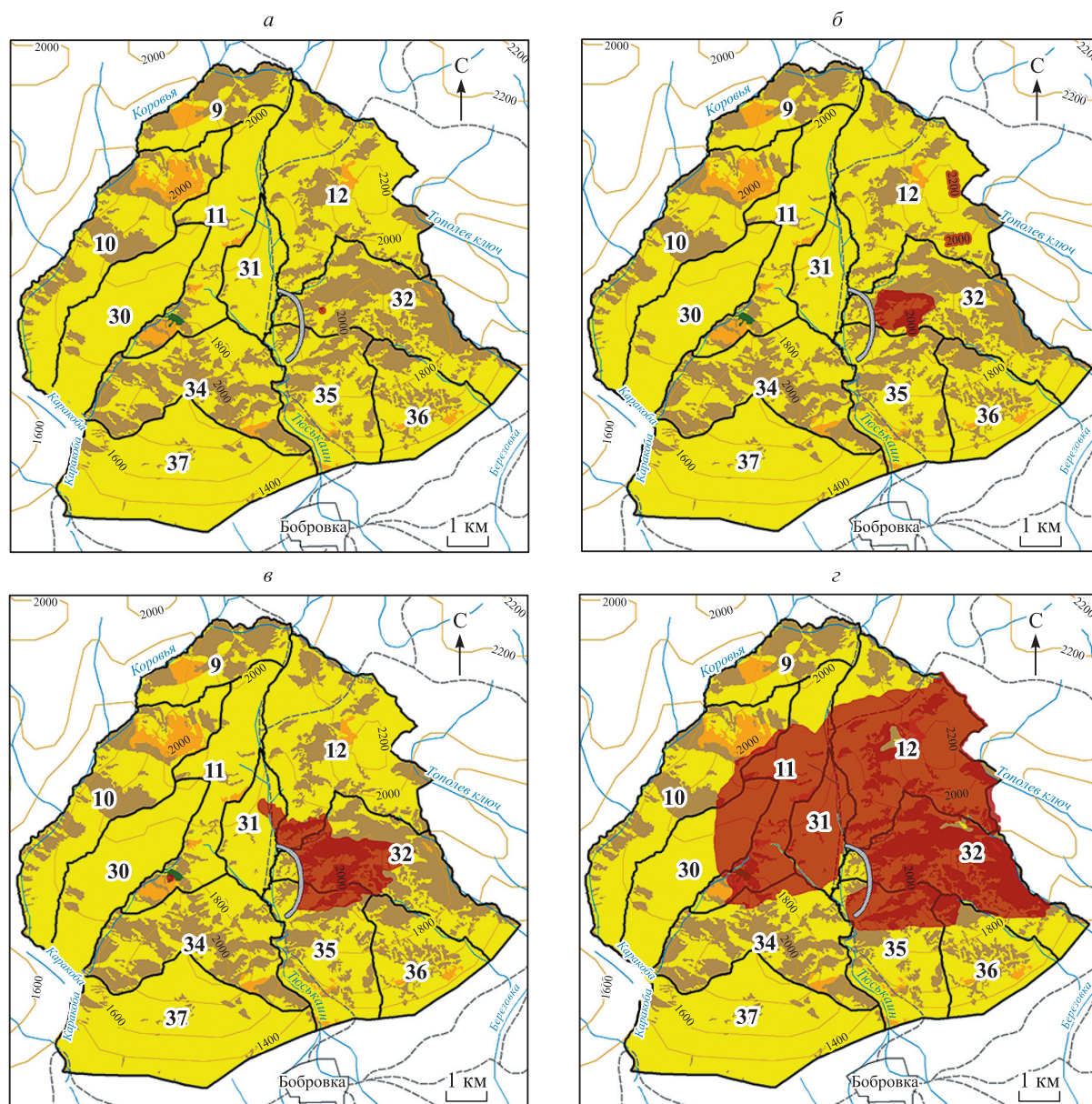


Рис. 5. Фрагменты карт растительных горючих материалов на Маркакольское лесничество для пожароопасных сезонов: *а* – весенне-осеннего, *б* – летнего и карт природной пожарной опасности при III классе засухи по условиям погоды для пожароопасных сезонов: *в* – весенне-осеннего, *г* – летнего.



Типы ОПГ (весна, осень)

Мшистая подгруппа:

■ влажномшистый (Вл)

Опадная подгруппа:

■ травяно-ветошный (Тв) ■ рыхлоопадный (Рх) ■ плотноопадный (Пл)

■ пройдено пожаром ■ противопожарный барьер ■ кварталы лесоустройства
■ населенные пункты ■ изолинии высоты ■ дороги ■ реки

Рис. 6. Пример развития низового пожара, рассчитанного по программе «PGM2». Время от начала горения (чч:мм:сс): а – 00:00:00; б – 24:15:00; в – 36:15:00; г – 48:00:00. Входные параметры модели и расчетные характеристики пожара приведены в табл. 2.

вий погоды и сведений о горимости территории за последние 10 лет. Кроме того, разработанная программа позволит на основе карты РГМ определять скорость распространения горения, развитие пожара и его последствия в виде доли от-

пада в древостое, а также выполняет расчет сил и средств для остановки пожара.

На рис. 6 приведена демонстрация работы программы «PGM2» при заданных источнике пожара и метеорологических условиях.

Таблица 2. Условия и результаты распространения заданного низового пожара растительности в Маркакольском лесничестве (Казахстанский Алтай) (пример использования программы прогноза поведения пожара («PGM2»))

Перечень условий и результатов по заданному пожару	Варианты ситуаций с пожаром			
	а	б	в	г
<i>Исходные данные для модели распространения пожара растительности</i>				
Период сезона: в – весна, о – осень	в (о)	в (о)	в (о)	в (о)
Время от начала горения: чч:мм:сс	00:00:00	24:15:00	36:15:00	48:00:00
Показатель засухи (ПВ-1), ед.	2300	2300	2300	2300
Влажность воздуха, %	40	40	40	40
Направление ветра, градусы	0	315	45	45
Скорость ветра, м/с	0	5	7	7
Исходный очаг пожара, га	3	3	3	3
Дополнительный очаг пожара, га	–	–	3	3
Средняя крутизна склона, градусы	27	25	18	21
Преобладающая экспозиция склонов	ЮЗ	СЗ	3	ЮВ
<i>Характеристики пожара</i>				
Площадь, га	3	117	539	3219
Периметр, м	669	4438	14 854	46 877
Скорость увеличения периметра, м/ч	221	717	3156	97
Скорость увеличения площади пожара, га/ч	2	23	210	186
Средняя скорость фронта пожара, м/ч	28	60	155	40
Средняя интенсивность кромки пожара, кВт/м	50	86	235	269
Оценка интенсивности пожара	Слабая	Средняя	Средняя	Средняя
Оптимальная скорость тушения пожара, м/ч	663	2150	9468	290
Ширина противопожарного барьера, м	4	9	17	6
Использование бульдозера при тушении пожара: (+) – рекомендуется; (–) – не рекомендуется	–	+	Большие затраты	Большие затраты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование в лесопожарной практике пирологической характеристики лиственничников Казахстанского Алтая и программы прогноза поведения пожаров позволит оптимизировать расход сил и средств при тушении пожаров и сократить горимость лесов в регионе.

Статья подготовлена в рамках договора № 10/1 от 25.04.2019 г. между КазНИИЛХА и ИЛ СО РАН, а также при частичной поддержке гранта РФФИ № 18-05-00781А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (REFERENCES)

Архипов Е. В. Горимость горных лесов Восточного Казахстана // Интенсификация лесного хозяйства России: проблемы и инновационные пути решения: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ., Красноярск, 19–23 сент. 2016 г. Красноярск: ИЛ СО РАН, 2016. С. 18–20 [Arhipov E. V. Gorimost gornyykh lesov

Vostochnogo Kazakhstana (Inflammability of mountain forests in the Eastern Kazakhstan) // Intensifikatsiya lesnogo khozyaystva Rossii: problemy i innovatsionnye puti resheniya: mat-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchast., Krasnoyarsk, 19–23 sent. 2016 g. (Intensification of the Russian forestry: problems and innovative solutions. Proc. All-Rus. Sci.-Pract. Conf. Int. Participat., Krasnoyarsk, 19–23 Sept., 2016). Krasnoyarsk: Inst. For., Sib. Br., Rus. Acad. Sci., 2016. P. 18–20 (in Russian with English abstract)].

Баранов В. И., Поляков П. П. Геоботанические исследования в Восточном Алтае // Уч. зап. Казан. ун-та. 1936. Т. 96. Вып. 6. С. 3–65 [Baranov V. I., Polyakov P. P. Geobotanicheskie issledovaniya v Vostochnom Altai (Geobotanical studies in the Eastern Altai) // Uch. zap. Kazan. un-ta (Sci. notes Kazan Univ.). 1936. V. 96. Iss. 6. P. 3–65 (in Russian)].

Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 306 с. [Volokitina A. V., Sofronov M. A. Klassifikatsiya i kartografirovanie rastitel'nykh goryuchikh materialov (Vegetation fuel classification and mapping). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN (Sib. Br. Rus. Acad. Sci. Publ. House), 2002. 306 p. (in Russian with English title, summary, contents and preface)].

- Волокитина А. В., Софронов М. А., Корец М. А., Софронова Т. М., Михайлова И. А. Прогноз поведения лесных пожаров. Красноярск: Изд-во СО РАН, 2010. 210 с. [Volokitina A. V., Sofronov M. A., Korets M. A., Sofronova T. M., Mikhaylova I. A. Prognoz povedeniya lesnykh pozharov (Forest fires behavior prediction). Krasnoyarsk: Izd-vo SO RAN (Sib. Br. Rus. Acad. Sci. Publ. House), 2010. 210 p. (in Russian with English title, summary and contents)].
- Гришин А. М. Математические модели лесных пожаров. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. 278 с. [Grishin A. M. Matematicheskie modeli lesnykh pozharov (Mathematical models of forest fires). Tomsk: Tomsk. Univ. Publ., 1981. 278 p. (in Russian)].
- Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. 404 с. [Grishin A. M. Matematicheskoe modelirovanie lesnykh pozharov i novye sposoby bor'by s nimi (Mathematical modeling of forest fires and new ways of fighting them). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1992. 404 p. (in Russian)].
- Калачев А. А. Лесоводственно-экологические факторы формирования темнохвойных насаждений и принципы рационального использования горных лесов Рудного Алтая: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург: УГЛУТУ, 2016. 38 с. [Kalachev A. A. Lesovodstvenno-ekologicheskie faktory formirovaniya temnokhvoynykh nasazhdeniy i printsipy ratsional'nogo ispol'zovaniya gornyykh lesov Rudnogo Altaya: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk (Silvicultural-ecological factors of forming dark coniferous stands and the principles of rational use of mountain forests in Rudny Altai: dr. agr. sci. (DSc) thesis). Yekaterinburg: Ural St. For. Engineer. Univ., 2016. 38 p. (in Russian)].
- Калачев А. А., Залесов С. В. Особенности послепожарного восстановления древостоев пихты сибирской в условиях Рудного Алтая // ИВУЗ. Лесн. журн. 2016. № 2 (350). С. 19–30 [Kalachev A. A., Zalesov S. V. Osobennosti poslepozhar'nogo vosstanovleniya drevostoev pikhty sibirskoy v usloviyakh Rudnogo Altaya (Peculiarities of post-fire recovery of the Siberian fir tree stands in the conditions of Rudny Altai) // IVUZ. Lesn. Zhurn. (For. J.). 2016. N. 2 (350). P. 19–30 (in Russian with English abstract)].
- Корец М. А., Волокитина А. В. Программа для прогноза распространения низового пожара. Свид-во гос. рег. программы для ЭВМ № 2015661771 от 09 ноября 2015 г. [Korets M. A., Volokitina A. V. Programma dlya prognoza rasprostraneniya nizovogo pozhara. Svid-vo gos. registr. programmy dlya EVM N. 2015661771 ot 09 noyabrya 2015 g. (Program for prediction of surface fire spread. Certificate state registr. for the computer program N. 2015661771, 9 Nov., 2015) (in Russian)].
- Коровин Г. Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Сб. науч.-иссл. работ по лесн. хоз-ву: тр. ЛенНИИЛХ. Вып. XII. М.: Лесн. пром-сть, 1969. С. 244–262 [Korovin G. N. Metodika rascheta nekotorykh parametrov nizovykh lesnykh pozharov (The methodology for calculating some parameters of ground forest fires) // Sb. nauch.-issl. rabot po lesn. khoz-vu: (Coll. Sci.-Res. Works For.): tr. LenNIILKh (Proc. Leningrad For. Res. Inst.). Iss. XII. Moscow: Lesn. prom-st' (Timber Industry), 1969. P. 244–262 (in Russian)].
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 153 с. [Kurbatskiy N. P. Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov (Technics and tactics of forest fire suppression). Moscow: Goslesbumizdat, 1962. 153 p. (in Russian)].
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопр. лесн. пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5–58 [Kurbatskiy N. P. Issledovanie kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov (Study of the quantity and properties of forest combustible materials) // Vopr. lesn. pirologii (Questions of forest pyrology). Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR (Inst. For. Timber, Rus. Acad. Sci., Sib. Br.), 1970. P. 5–58 (in Russian)].
- Лагов И. А. Принципы классификации лиственничных лесов Казахского Алтая // Классификация типов горных лесов Казахстана. Тр. КазНИИЛХ. 1966. Т. V. Вып. 5. С. 20–23 [Lagov I. A. Printsipy klassifikatsii listvennichnykh lesov Kazakhstanskogo Altaya (The principles for classification of larch forests of the Kazakhstan Altai) // Klassifikatsiya tipov gornyykh lesov Kazakhstana (Classification of types of mountain forests of Kazakhstan). Tr. KazNIILH (Proc. Kazakh. For. Res. Inst.). 1966. V. 5. Iss. 5. P. 20–23 (in Russian)].
- Марченко Н. А. Оценка пожарной опасности лесов по вероятности возникновения пожаров с определенной скоростью распространения на основе анализа состояния ландшафтов // Геогр. и природ. ресурсы. 1993. № 4. С. 131–136 [Marchenko N. A. Otsenka pozhar'noy opasnosti lesov po veroyatnosti vozniknoveniya pozharov s opredelennoy skorost'yu rasprostraneniya na osnove analiza sostoyaniya landshaftov (Assessment of forest fire danger by probability of fire occurrence with a certain spread rate on the basis of landscape conditions analysis) // Geogr. i prirod. resursy (Geogr. Nat. Res.). 1993. N. 4. P. 131–136 (in Russian with English abstract)].
- Назимова Д. И. Лесорастительное районирование Западного Саяна // Лесоведение. 1968. № 1. С. 3–17 [Nazimova D. I. Lesorastitel'noe rayonirovanie Zapadnogo Sayana (Forest vegetation zoning for the Western Sayan) // Lesovedenie (For. Sci.). 1968. N. 1. P. 3–17 (in Russian with English abstract)].
- Поварницын В. А. Типы лесов сибирской лиственницы СССР // Тр. Сиб. лесотех. ин-та. 1941. С. 17–51 [Povarnitsyn V. A. Tipy lesov sibirskoy listvennitsy SSSR (Forest types of the Siberian larch in the USSR) // Tr. Sib. lesotekh. in-ta (Proc. Sib. Inst. For. Engineer.). 1941. P. 17–51 (in Russian)].
- Подрезов Ю. В. Основные положения метода комплексного прогнозирования чрезвычайных лесопожарных ситуаций. М.: ВИНТИ, 2001. Вып. 3. 23 с. [Podrezov Yu. V. Osnovnye polozheniya metoda kompleksnogo prognozirovaniya chrezvychaynykh lesopozharnyykh situatsiy (Basics for the method of complex prediction of emergency forest fire situations). Moscow: VINITI, 2001. Iss. 3. 23 p. (in Russian)].
- Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 149 с. [Sofronov M. A. Lesnye pozhary v gorakh Yuzhnoy Sibiri (Forest fires in mountains of Southern Siberia). Moscow: Nauka, 1967. 149 p. (in Russian)].
- Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб.

отд-ние, 1990. 205 с. [Sofronov M. A., Volokitina A. V. Pirologicheskoe rayonirovaniye v taezhnoy zone (Pyrological zoning in the taiga zone). Novosibirsk: Nauka. Sib. Br., 1990. 205 p. (in Russian)].
Forestry Canada. Fire Danger Group. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction

System. Science and Sustainable Development Directorate. Inf. Rep. ST-X-3. Ottawa. 1992. 63 p.
Rothermel R. C. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Ogden: USDA, For. Serv. Res. Paper. Int. 115. Intermountain For. Range Exp. St., 1972. 40 p.

KAZAKHSTAN ALTAI: VEGETATION FIRE PROTECTION OF LARCH FORESTS

A. V. Volokitina¹, A. A. Kalachev², M. A. Korets¹, T. M. Sofronova³

¹ V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Science, Siberian Branch
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² A. N. Bukeykhan Kazakh Scientific Research Institute of Forestry and Agroforestmelioration
Kirov str., 58, Shchuchinsk, Akmola Oblast, 021704 Republic of Kazakhstan

³ V. P. Astaf'ev Krasnoyarsk State Pedagogical University
Ada Lebedeva str., 89, Krasnoyarsk, 660049 Russian Federation

E-mail: volokit@ksc.krasn.ru, ridder_los@mail.ru, mik@ksc.krasn.ru, tmsofronova@gmail.com

Possibility is considered for improvement of fire protection in larch forests of the Kazakhstan Altai. It is proposed to predict the occurrence of fires and their behavior based on vegetation fuel maps using the computer program for predicting vegetation fire behavior, including fire spread rate, development, immediate effects and assessment of manpower and means to suppress the fire. The vegetation fuel maps (VF maps) are based on the pyrological description of forest types and other categories of sites, as well as on the VF classification developed at the V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch. Vegetation of the Kazakhstan Altai has never been described this way before. For the first time, the larch forest types of this region have been analyzed in terms of the types of primary fire carriers (PFC types), thus making it possible to predict flammability of vegetation plots taking into account weather dynamics. The PFC types in the Kazakhstan Altai larch forests have been identified by analyzing regional descriptions of forest types present in the forestry inventory plan. There is a brief description of the computer programs for making VF maps (PGM) and for predicting fire spread rate, intensity, development and effects (PGM2). A performance test is given to both programs on the example of the Markakolsky Forestry District: examples of VF maps for different periods of the fire season are given and behavior of a conditionally specified surface fire is analyzed. The use of these developments in practice will significantly increase the efficiency of firefighting equipment and financial means, as it will contribute to making optimal decisions in cases of several fires being active and insufficient fire suppression means and manpower available. In some cases, behavior prediction of active fires may prove that there is no need to immediately suppress them.

Keywords: forest fire protection, vegetation fuels, prediction of vegetation fire behavior, *Larix Mill.*

How to cite: Volokitina A. V., Kalachev A. A., Korets M. A., Sofronova T. M. Kazakhstan Altai: vegetation fire protection of larch forests // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2020. N. 6. P. 41–53 (in Russian with English abstract and references).