

Составители

**В.И. Петухов
А.Т. Олишевский
О.Г. Черныш**



**ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ЛЕСОВ
И ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**
Часть 1

ВЛАДИВОСТОК · 2019

Дальневосточный федеральный университет
Инженерная школа

ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЛЕСОВ И ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

**Для студентов специальности
20.05.01 «Пожарная безопасность» очной и заочной форм обучения**

Часть 1

Учебное электронное издание
Учебно-методическое пособие

Составители
В.И. Петухов, А.Т. Олишевский, О.Г. Черныш



Владивосток
Дальневосточный федеральный университет

2019

Составители:

Петухов Валерий Иванович, д.т.н., профессор кафедры
Олишевский Андрей Тимофеевич, к.т.н., доцент кафедры
Черныш Ольга Геннадиевна, к.геол.н., доцент кафедры

Кафедра безопасности в чрезвычайных ситуациях и защиты окружающей среды Инженерной школы
Дальневосточный федеральный университет

Пожарная безопасность лесов и тушение лесных пожаров: для студентов специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» очной и заочной форм обучения. Ч. 1: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. В.И. Петухов, А.Т. Олишевский, О.Г. Черныш; Инженерная школа ДВФУ. – Электрон. дан. – Владивосток: Дальневост. федерал. ун-т., 2019. – [61 с.]. – 1 CD. – Систем. требования: процессор с частотой 1,3 ГГц (Intel, AMD); оперативная память от 1 ГБ, Windows (XP; Vista; 7 и т.п.); Acrobat Reader, Foxit Reader либо любой другой их аналог. – ISBN 978-5-7444-4518-8

Учебным планом подготовки студентов специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» очной и заочной форм обучения предусмотрены практические работы по дисциплине «Пожарная безопасность лесов и тушение лесных пожаров». В пособии изложены краткая теория, методика и примеры решения задач по организации пожарной охраны лесных массивов, условиям возникновения и развития лесных пожаров, мероприятиям по их предупреждению и ликвидации, по тактике и технике тушения.

Ключевые слова: лесной пожар, природная пожарная опасность, класс засухи, проводники горения, низовой пожар, верховой пожар, средства тушения, локализация пожара.

*Публикуется по решению кафедры безопасности в чрезвычайных ситуациях
и защиты окружающей среды Инженерной школы ДВФУ*

Режим доступа [аналог данного издания на сайте ИШ ДВФУ]:
<http://www.dvfu.ru/schools/engineering/science/scientific-and-educational-publications/manuals/>

Редактор Г.Б. Арбатская
Компьютерная верстка О.Г. Черныш, Г.Б. Арбатской
Опубликовано: 03.06.2019

Формат PDF
Объем 3,3 МБ [Усл. печ. л. 7,1]
Тираж 30 экз.

Подготовлено редакционно-издательским отделом Инженерной школы ДВФУ
[Русский остров, кампус ДВФУ, корп. С, каб. С714]

Дальневосточный федеральный университет
690091, Владивосток, ул. Суханова, 8

Изготовитель CD: Дальневосточный федеральный университет
(типография Издательства ДВФУ
690091, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 10)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. Практическая работа № 1. ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	6
2. Практическая работа № 2–3. СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕКУЩЕЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ	11
3. Практическая работа № 4–5. ПРОГНОЗ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА	23
4. Практическая работа № 6–7. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ	36
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	51
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Таблица 1	52
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Таблицы 1–4	53
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Таблицы 1–6	56
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Таблицы 1–11	58

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие составлено в соответствии с требованиями Государственного образовательного стандарта для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.05.01 «Пожарная безопасность» при изучении дисциплины «Пожарная безопасность лесов и тушение лесных пожаров».

Целью выполнения практических работ является закрепление основных теоретических разделов курса, изучение методов оценки природной пожарной опасности лесных массивов, построение карт растительных горючих материалов и текущей пожарной опасности, прогноз поведения лесного пожара, составление оперативного плана тушения лесного пожара и оценка причиненного им ущерба.

Практические задания выполняются студентами согласно индивидуальным заданиям (выдаются преподавателем), включающим исходные данные и графические приложения – планшеты в формате А3, представленные выкопировками с карты-схемы расположения и границ части лесного участка (М 1:10000). По завершении выполнения задания каждый студент должен составить отчет, который должен включать: название задания и его цель; исходные данные к заданию; методику его выполнения; расчеты, таблицы, графические приложения.

1. Практическая работа № 1

ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Цель: освоить методику расчета комплексного показателя пожарной опасности по погодным условиям.

В настоящий момент оценка природной пожарной опасности лесных массивов производится на основе расчета индексов, использующих наземные метеорологические измерения температуры и влажности воздуха, а также количества выпавших осадков.

В России ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования» устанавливает использование комплексного показателя (КП) пожарной опасности В.Г. Нестерова, предложенного им в 1949 году.

Комплексный показатель В.Г. Нестерова. Расчет показателя выполняется как баланс влияния иссушающих и увлажняющих метеорологических факторов на влагосодержание эталонного растительного горючего материала. В качестве иссушающих факторов учитываются температура воздуха (t) в 12–14 часов и недостаток насыщения в виде разности между температурой воздуха и температурой точки росы ($t - t_d$) в одно и то же время, в качестве увлажняющего фактора – количество осадков в виде их суммы за 24 часа. В качестве эталонного растительного горючего материала в России (как и в Канаде) принят слой зеленых мхов на дренированной почве в сосновом лесу.

Показатель учитывает совместное влияние температуры воздуха и температуры точки росы на высыхание ЛГМ (лесные горючие материалы) за бездождевой период и тем самым характеризует степень засушливости погоды. Основанием показателя выступает произведение $t \cdot (t - t_d)$. Показатель В.Г. Нестерова рассчитывается по следующей формуле:

$$ПН_n = ПН_{n-1} \cdot K_{oc} + [t \cdot (t - t_d)]_n \quad (1.1)$$

где: t – температура воздуха в 12–15 ч местного времени или в ближайший к нему срок синхронных метеорологических наблюдений, °С;

t_d – температура точки росы за тот же срок, °С;

n – день, для которого рассчитывается показатель;

$n-1$ – предыдущий день;

K_{oc} – коэффициент поправок на осадки (учитывается сумма осадков за предыдущие 24 ч; равен единице, если количество осадков менее 2,5 мм, и равен нулю, если количество осадков больше или равно 2,5 мм).

Таким образом, степень пожарной опасности по условиям погоды оценивается показателем, который учитывает метеорологические факторы, влияющие на изменение влажности лесных горючих материалов. Для вычисления этого показателя необходимы следующие данные: температура воздуха и точка росы на 12–14 ч по местному времени; количество выпавших осадков за предшествующие сутки (т.е. за период с 12–14 ч предыдущего дня). Атмосферные осадки менее 2,5 мм при вычислении комплексного показателя не учитываются.

Расчет комплексного показателя пожарной опасности ведется в течение теплого периода ежедневно от схода снежного покрова весной до установления его осенью. В зависимости от значения комплексного показателя установлены границы классов горимости шкалы В.Г. Нестерова для определения степени пожарной опасности лесов по

условиям погоды (прил. 1, табл. 1). Приведенная шкала классов пожарной опасности является стандартной для всего лесного фонда РФ. В отдельных регионах применяют местные шкалы пожарной опасности, разработанные исходя из комплексных показателей и соответствующей им фактической горимости лесов конкретного региона.

Способность лесных горючих материалов к воспламенению зависит от продолжительности периода без выпадения атмосферных осадков, при увеличении которого происходит подсушивание лесных горючих материалов, и для их увлажнения в дальнейшем требуется значительное количество атмосферных осадков. Периодически выпадающие осадки, увлажняя горючий материал, снижают пожарную опасность в лесу, а при их выпадении в количестве 3 мм и более значение комплексного показателя принимается за 0 (ноль), а затем исчисляется обычным порядком. В то же время для возникновения пожара достаточно подсыхания только верхнего слоя лесного горючего материала. Значительное влияние на данный процесс оказывает облачность. Следует отметить, что после длительного засушливого периода выпадение даже значительного количества атмосферных осадков не может обеспечить полную негоримость лесов. Поэтому значение комплексного показателя за предыдущий период после выпадения осадков в количестве 3 мм и более при высокой горимости лесов (IV класс) не сбрасывается до нуля, а лишь уменьшается наполовину и в дальнейшем исчисляется обычным путем.

В начале весны (после таяния снега) и в конце осени (при отрицательных температурах) при длительном периоде без осадков класс пожарной опасности повышается с I до II, со II до III через каждые десять дней, независимо от значения вычисленного показателя. Весной и осенью, при скорости ветра более 6 м/с на протяжении не менее трех дней подряд, производится однократное повышение пожарной опасности лесов на один класс горимости, а численное выражение комплексного показателя принимают по среднему значению следующего класса, и дальнейшее его увеличение ведется в обычном порядке. Вычисление показателя пожарной опасности начинается со дня установления пожароопасного периода, продолжается ежедневно и заканчивается осенью с установлением снежного покрова.

Практика применения комплексного показателя и основанной на нем шкалы пожарной опасности выявила ряд недостатков, основным из которых является то, что влияние осадков на пожарную опасность в лесу показателем учитывается очень грубо. Для этого задано пороговое значение осадков в 2,5 мм/сут. Второй недостаток – не учитываются различия в увлажнении рыхлого верхнего слоя напочвенного покрова и плотного нижнего слоя (подстилки).

Комплексный показатель ПВГ (показатель влажности зеленых мхов с учетом их гигроскопичности). Основание у показателя В.Г. Нестерова отражает условия испарения со свободной водной поверхности, протекающего до полного исчезновения влаги. Однако ЛГМ (мхи, лишайники, опад и др.) являются гигроскопичными, следовательно, испарение из них происходит не полностью, а только до уровня равновесной влажности, зависящей от температуры и относительной влажности воздуха. По этой причине кустистые лишайники не высыхают до горимого состояния при относительной влажности воздуха более 85%, а мох Шребера – свыше 60%. Длительное повышение влажности воздуха может приводить к увлажнению мхов, лишайников и опада до негоримого состояния, несмотря на то, что

показатель будет увеличиваться. Этот недостаток был устранен путем введения в основание показателя поправки на гигроскопичность горючих материалов. При этом разность $(t - t_d)$ была уменьшена на 5°C , а первый сомножитель увеличен на 10° , т.е. новое основание приняло вид $(t + 10) \cdot (t - t_d - 5)$. Введенная поправка предоставила следующие преимущества. Уменьшение разности $(t - t_d)$ на 5°C привело к тому, что при разности меньше 5°C , т.е. при относительной влажности воздуха днем выше 85%, основание становится отрицательным и показатель начинает уменьшаться даже при отсутствии дождя. С помощью увеличения первого сомножителя на 10° удалось добиться того, чтобы величина нового основания оставалась в среднем на уровне прежнего, что позволило пользоваться одними и теми же шкалами. Еще одной полезной особенностью нового основания является то, что его можно рассчитывать даже при отрицательной температуре воздуха (до -10°). Ведь весенние и осенние пожары в Забайкалье и на Дальнем Востоке могут возникать и распространяться даже при минусовых температурах.

Показатель с новым основанием обозначается ПВГ (показатель влажности зеленых мхов с учетом их гигроскопичности) и определяется по формуле:

$$(ПВГ)_n = [(ПВГ)_{n-1} + (t + 10) \cdot (t - t_d - 5)] \cdot K_n \quad (1.2)$$

где: t – температура воздуха в 15–16 ч, $^\circ\text{C}$;

t_d – температура точки росы в 15–16 ч, $^\circ\text{C}$;

n – день, для которого рассчитывается показатель;

$n-1$ – предыдущий день;

K_n – коэффициент поправок на осадки:

$$K = \frac{1,8}{R + 1} \quad (1.3)$$

где: R – сумма осадков за 24 ч, мм, при $R < 0,6$ мм, K принимается равным 1.

Задача 1. Составить прогноз пожарной опасности на участке Асиновского лесничества (Западно-Сибирский южно-таежный равнинный район) на 10 суток (с 16.05 по 25.05) по условиям погоды (табл. 1.1), используя рассмотренные методики расчета комплексного показателя пожарной опасности. Значение накопленной суммы комплексного показателя пожарной опасности на 14.05: ПН – 890,6; ПВГ – 528,5.

Таблица 1.1

Метеорологические условия

Дата	Температура воздуха, $^\circ\text{C}$	Точка росы, $^\circ\text{C}$	Суточная сумма осадков, мм
16.05	14,4	-5	0
17.05	9,4	-7,3	0
18.05	4,5	-10,5	0
19.05	6,7	-12,3	0
20.05	12,5	-6,5	0
21.05	9,8	7,5	2
22.05	10,9	-2,9	0
23.05	22,8	3,3	0
24.05	28,6	1,9	0
25.05	18,3	9,4	2,6

С учетом значений накопленной суммы комплексного показателя пожарной опасности на начало прогнозного периода дальнейший расчет производится следующим образом:

а) комплексный показатель ПН

$$ПН_{16.05} = 890,6 \cdot 1 + 14,4 \cdot (14,4 - (-5)) = 1169,9$$

$$ПН_{17.05} = 1169,9 \cdot 1 + 9,4 \cdot (9,4 - (-7,3)) = 1326,9$$

$$ПН_{18.05} = 1326,9 \cdot 1 + 4,5 \cdot (4,5 - (-10,5)) = 1394,4$$

$$ПН_{19.05} = 1394,4 \cdot 1 + 6,7 \cdot (6,7 - (-12,3)) = 1521,7$$

$$ПН_{20.05} = 1521,7 \cdot 1 + 12,5 \cdot (12,5 - (-6,5)) = 1759,2$$

$$ПН_{21.05} = 1759,2 \cdot 1 + 9,8 \cdot (9,8 - 7,5) = 1781,8$$

$$ПН_{22.05} = 1781,8 \cdot 1 + 10,9 \cdot (10,9 - (-2,9)) = 1932,2$$

$$ПН_{23.05} = 1932,2 \cdot 1 + 22,8 \cdot (22,8 - 3,3) = 2376,8$$

$$ПН_{24.05} = 2376,8 \cdot 1 + 28,6 \cdot (28,6 - 1,9) = 3140,4$$

$$ПН_{25.05} = 3140,4 \cdot 0 + 18,3 \cdot (18,3 - 9,4) = 162,9$$

б) комплексный показатель ПВГ

$$ПВГ_{16.05} = [528,5 + (14,4 + 10) \cdot (14,4 - (-5) - 5)] \cdot 1 = 879,9$$

$$ПВГ_{17.05} = [879,9 + (9,4 + 10) \cdot (9,4 - (-7,3) - 5)] \cdot 1 = 1106,8$$

$$ПВГ_{18.05} = [1106,8 + (4,5 + 10) \cdot (4,5 - (-10,5) - 5)] \cdot 1 = 1251,8$$

$$ПВГ_{19.05} = [1251,8 + (6,7 + 10) \cdot (6,7 - (-12,3) - 5)] \cdot 1 = 1485,6$$

$$ПВГ_{20.05} = [1485,6 + (12,5 + 10) \cdot (12,5 - (-6,5) - 5)] \cdot 1 = 1800,6$$

$$K_{21.05} = \frac{1,8}{2+1} = 0,6; ПВГ_{21.05} = [1800,6 + (9,8 + 10) \cdot (9,8 - 7,5 - 5)] \cdot 0,6 = 1048,3$$

$$ПВГ_{22.05} = [1048,3 + (10,9 + 10) \cdot (10,9 - (-2,9) - 5)] \cdot 1 = 1232,2$$

$$ПВГ_{23.05} = [2232,2 + (22,8 + 10) \cdot (22,8 - 3,3 - 5)] \cdot 1 = 1707,8$$

$$ПВГ_{24.05} = [1707,8 + (28,6 + 10) \cdot (28,6 - 1,9 - 5)] \cdot 1 = 2545,4$$

$$K_{25.05} = \frac{1,8}{2,6+1} = 0,5; ПВГ_{25.05} = [2545,4 + (18,3 + 10) \cdot (18,3 - 9,4 - 5)] \cdot 0,5 = 1327,9$$

Итоговые результаты расчета комплексных показателей пожарной опасности ПН и ПВГ приводятся в следующей форме (таблицы 1.2 и 1.3).

Таким образом, прогноз пожарной опасности на участке Асиновского лесничества по условиям погоды на период с 16.05 по 25.05 можно сформулировать следующим образом. В течение девяти суток с 16.05 по 24.05 сохраняется пожарная опасность III класса. К 25.05 ожидается понижение пожарной опасности до I класса. Комплексный показатель ПВГ отображает аналогичную тенденцию за исключением конечного этапа прогнозирования, что обусловлено особенностями методики расчета.

Таблица 1.2

Результаты расчета комплексного ПН

Дата	Температура воздуха/ точка росы, °C	Суточная сумма осадков, мм	$t \cdot (t - t_d)$	K	ПН	Класс пожарной опасности
15.05					890,6	II
16.05	14,4/-5	0	279,3	1	1169,9	III
17.05	9,4/-7,3	0	157	1	1326,9	III
18.05	4,5/-10,5	0	67,5	1	1394,4	III
19.05	6,7/-12,3	0	127,3	1	1521,7	III
20.05	12,5/-6,5	0	237,5	1	1759,2	III
21.05	9,8/7,5	2	22,6	1	1781,8	III
22.05	10,9/-2,9	0	150,4	1	1932,2	III
23.05	22,8/3,3	2	444,6	1	2376,8	III
24.05	28,6/1,9	0	763,6	1	3140,4	III
25.05	18,3/9,4	2,6	162,9	0	162,9	I

Таблица 1.3

Результаты расчета комплексного показателя ПВГ

Дата	Температура воздуха/ точка росы, °C	Суточная сумма осадков, мм	$(t + 10) \cdot (t - t_d - 5)$	K	ПВГ	Класс пожарной опасности
15.05					528,5	II
16.05	14,4/-5	0	351,4	1	879,9	II
17.05	9,4/-7,3	0	226,9	1	1106,8	III
18.05	4,5/-10,5	0	145,0	1	1251,8	III
19.05	6,7/-12,3	0	233,8	1	1485,6	III
20.05	12,5/-6,5	0	315,0	1	1800,6	III
21.05	9,8/7,5	2	-53,5	0,6	1048,3	III
22.05	10,9/-2,9	0	183,9	1	1232,2	III
23.05	22,8/3,3	2	475,6	1	1707,8	III
24.05	28,6/1,9	0	837,6	1	2545,4	III
25.05	18,3/9,4	2,6	110,4	0,5	1327,9	III

2. Практическая работа № 2–3

СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ РАСТИТЕЛЬНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕКУЩЕЙ ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

Цель: определение на каждом участке растительности по его внешним признакам критических классов засухи, при которых данный участок достигает готовности к горению в разные периоды сезона.

Главным условием существования лесного пожара является распространение его по территории, которая покрыта растительными горючими материалами (РГМ). Их видовое разнообразие, динамика запасов и влагосодержания очень велики как в пространстве, так и во времени. Это предопределяет разнообразие возможностей и характера горения участков растительности, а также последствий пожаров (прил. 2, табл. 1).

Для успешного планирования во время контролирования пожаров необходимо учитывать готовность к горению (состояние «пожарной зрелости») участков вокруг пожара, прогнозировать скорость и интенсивность горения, использовать преграды и рубежи. Это возможно только при наличии крупномасштабных карт РГМ (1:10 000–1:50 000), основой которых может служить неокрашенный план лесонасаждений (в виде лесоустроительных планшетов) с прилагающимся к нему пирологическим описанием таксационных выделов.

Пирологическое описание включает прежде всего характеристику основных проводников горения (ОПГ) на почве, причем для двух фенологических периодов: «голой весны» (осени) и «полного лета», а также характеристику других групп РГМ: подстилку, валежник, травы, кустарники, деревья и условий высыхания ОПГ. Для каждого фенопериода указывается лесопожарный класс засухи, при котором данный участок растительности достигает готовности к горению. Пирологическое описание выделов вместе со схемами (картами-основами), на которых показаны границы и номера выделов, реки, ручьи, озера и дороги, образуют информационную базу данных для быстрого составления крупномасштабных карт РГМ, на основе которых при использовании метеорологической информации возможно составление карт состояния готовности к горению («пожарной зрелости») участков (выделов) любых частей территории, когда в этом возникает необходимость.

Составление карт растительных горючих материалов. Пирологическое описание содержит характеристику всего комплекса РГМ на участке (с учетом ее сезонной динамики), а также условий их увлажнения и высыхания. Пирологическое описание прилагается к карте РГМ. На самой карте отражаются типы основных проводников горения и их сезонная динамика. С этой целью в процессе лесоустройства в карточках таксации отмечаются зашифрованные типы ОПГ при полевых описаниях и при дешифрировании аэроснимков.

Остальные группы РГМ отражаются в пирологическом описании, которое составляется на основе использования таксационного описания и содержит характеристику экспозиции и крутизны склонов, преобладающих древесных пород по ярусам, их полноты, высоты и возраста, подроста, валежа, сухостоя, типов леса. Отмечаются типы ОПГ и критические классы засухи (ККЗ), которые отражают готовность к горению данного типа проводника при типовых условиях (горизонтальная поверхность участка, древостой средней полноты (0,5–0,7) в облиственном или охвоенном состоянии).

В классификации ОПГ учитываются сезонная и погодная динамика свойств этих РГМ, а также влияние режима влажности почвы на скорость их высыхания.

Группа основных проводников горения делится на две подгруппы: «мшистую», которая объединяет слои с преобладанием живого горючего (мхов и лишайников), и «опадную», объединяющую слои с преобладанием мертвого горючего (опада хвои и листвы, усохших трав). Каждая подгруппа делится на типы.

При выделении типов основного проводника горения (типов ОПГ) используется следующий принцип. В один тип (или подтип) в пределах подгруппы объединяются такие ОПГ, которые достигают состояния готовности к горению («пожарной зрелости») в границах одного из классов засухи (КЗ), причем при типовых условиях освещения и затенения, т.е. при отсутствии уклона, средней полноте древостоя (0,5–0,7) и его облиственном состоянии. Такой класс засухи называется критическим (ККЗ). В случае отклонения от типовых условий изменяется и скорость пожарного созревания у типов основного проводника горения, т. е. изменяются критические классы засухи.

Класс засухи (КЗ) данного дня определяется по величине метеорологического показателя пожарной опасности (показателя В. Г. Нестерова).

Описание типов основных проводников горения приводится в табл. 2 (прил. 2).

Указанные в описании критические классы засухи соответствуют типовым условиям высыхания. Возможность распространения горения по слою основного проводника данного типа в те дни, когда класс засухи равен указанному критическому, является неопределенной. В дни с классом засухи меньше критического горение невозможно, а в дни с классом засухи больше критического горение на участке с данным типом ОПГ может распространяться наверняка.

На участках с наличием основных проводников опадной подгруппы скорость пожарного созревания может изменяться в течение сезона, причем значительно, под влиянием уплотнения и разложения мертвого покрова летом и его восстановления осенью. В соответствии с классификационным критерием этот процесс необходимо рассматривать как превращение одних типов ОПГ в другие и обратно. Следовательно, один и тот же участок леса весной, летом и осенью может характеризоваться различными типами ОПГ.

В «мшистой» подгруппе выделение лишайникового и болотно-мохового типов ОПГ производится довольно просто. Сухо- и влажномшистый типы ОПГ различаются, главным образом, по режиму почвенного увлажнения, дренированности. Чтобы оценить их, необходимо учесть местоположение участка на рельефе (положительные или отрицательные формы рельефа, верхняя или нижняя части склона), а также механический состав почвы (суглинистая, супесчаная, песчаная) и ее влажность. Следует обратить внимание на класс бонитета. При хорошей дренированности он обычно выше (I–III классы), при плохой – ниже (IV–V классы). В типах леса с моховым покровом почва и подстилка после схода снегового покрова сохраняют высокую влажность не менее месяца. В этот период сухомшистый тип основного проводника может становиться временно влажномшистым, а влажномшистый – болотно-моховым.

В опадной подгруппе определение типов ОПГ для типов леса сложнее, так как надо определять типы ОПГ для весны (точнее, для фенотериода «голая весна», когда листва в кронах деревьев еще не распустилась, а зеленая трава не отросла) и для осени, а также отдельно для лета (точнее, для «полного лета», т.е. при полном распускании и отращивании растений).

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 разлагается летом, уплотняясь при этом, слой ОПГ из остатков трав, что приводит к превращению одного типа ОПГ в другой: травяно-ветошного весной – в рыхлоопадный летом, а осенью обратно в травяноветошный; рыхлоопадного весной – в плотноопадный летом и вновь в рыхлоопадный осенью; плотноопадного весной – в беспроводниковый летом.

Если в составе травяного покрова насаждений преобладают злаки и осоки (исключая зимне-зеленые осочки), то тип основного проводника весной и осенью травяно-ветошный, летом – рыхлоопадный. Если значительно участие злаков и осок, то они имеют тенденцию разрастаться в изреженных насаждениях этого типа леса. Весной и осенью они характеризуются травяно-ветошным типом, летом – рыхло- или плотноопадным, или даже беспроводниковым (на богатых почвах). Необходимо заметить, что, когда запас нарастающих зеленых трав (в абсолютно сухой массе) превысит запас растительных остатков, образуется практически негоримая смесь, которую условно можно обозначить беспроводниковым типом (подтип Бп₁).

Осочковые типы леса с господством в покрове зимне-зеленых осочек относятся весной к рыхлоопадному типу, летом – к плотноопадному. Папоротниковые, высоко- и крупнотравные типы леса на увлажненных богатых почвах весной можно характеризовать плотноопадным типом, а летом – беспроводниковым (подтип Бп₁). Следует учитывать, что на богатых почвах, особенно с повышенной влажностью, разложение растительных остатков летом идет очень быстро, почти до полного исчезновения слоя опада, т. е. до подтипа Бп₁.

Леса, где в покрове преобладает смесь из разнотравья, мелкотравья, кустарничков, злаков и осок, обычно характеризуются весной рыхлоопадным, а летом – плотноопадным или даже беспроводниковым (подтип Бп₁) типом (на богатых почвах, т. е. в насаждениях I–II классов бонитета).

В высокополнотных (0,8 и более) насаждениях из вечнозеленых хвойных пород с неразвитым травяным покровом или с покровом только из кустарничков тип основного проводника горения определяется характером древесного опада: в ельниках и пихтарниках – это плотноопадный, в сосняках и кедровниках – рыхлоопадный, причем тип основного проводника в течение сезона не изменяется. Очень важна характеристика нелесных и не покрытых лесом категорий площадей (вырубки, гари, прогалины, сенокосы, луга, болота и проч.), где сильное влияние на горение может оказывать ветер. В подтаежных, лесостепных и южно-таежных лесах на старых гарях и рубках обычно разрастаются злаки, реже – осоки, поэтому весной и осенью там будет травяно-ветошный тип ОПГ, а летом из-за сильного разрастания зеленых трав – даже беспроводниковый.

Особенно сложно давать пирологическую характеристику тем участкам, в напочвенном покрове которых сочетаются признаки различных типов основного проводника. Подобных участков много в переходной полосе между южной и средней подзонами тайги. Например, на некоторых переходных и низинных болотах моховой покров зачастую сочетается с развитым травяным ярусом из осок и злаков (вейник

Лангсдорфа). При достаточном запасе, а главное – при равномерном распределении осок и злаков (после их высыхания) они могут служить проводником горения. Такие участки осенью и весной надо относить к травяно-ветошному типу, а летом – к болотно-моховому. На тех болотах, которые не заливают внешние воды, мощный слой осоковой ветоши может сохраняться в течение всего лета. Его характеристика из-за примеси зеленых трав близка к рыхлоопадному типу основного проводника.

О характере других групп РГМ и их запасах можно судить по обычному таксационному описанию выделов, в котором указываются: состав и полнота ярусов древостоя, средние высоты и диаметры, а также запасы по элементам леса, в том числе запас сухостоя, характеристика подроста (состав, высота, густота) и подлеска, живой напочвенный покров (в виде названия типа леса).

Об условиях высыхания ОПГ можно судить по составу и полноте древостоя, крутизне склона и его экспозиции, которые имеются в таксационном описании. Нередко условия высыхания РГМ в выделах отличаются от типовых, тогда и критические классы засухи в этих выделах будут отличаться от типичных, указанных в определителе. Поэтому для оценки очень важной пирологической величины, а именно критических классов засухи для весны и для лета в каждом выделе, следует воспользоваться специальными таблицами (прил. 2, табл. 3, 4).

Главным фактором высыхания РГМ является солнечная радиация. Ее поступление под полог зависит от сомкнутости насаждений, которая, в свою очередь, связана с относительной полнотой. В тех случаях, когда насаждение двухъярусное, необходимо учитывать обобщенную полноту, отражающую условия проникновения солнечной радиации через оба яруса.

Составление крупномасштабных карт РГМ. Крупномасштабные карты РГМ обычно требуются на отдельные участки территории, где возникают и действуют лесные пожары, с целью прогнозирования их поведения и последствий.

Карту РГМ можно превратить в карту текущего состояния «пожарной зрелости» участков (выделов), отмечая их готовность к горению.

Для оценки готовности к горению («пожарной зрелости») необходимо сравнивать критический класс засухи (ККЗ) каждого выдела с классом засухи (КЗ) текущего дня. Он определяется по величине метеорологического показателя пожарной опасности В.Г. Нестерова текущего дня. Все выделы по состоянию их «пожарной зрелости» делятся на три категории: 1) выдел готов к горению, если сегодняшний класс засухи больше критического класса засухи, указанного в пирологическом описании выдела; 2) выдел не готов к горению (не достиг «пожарной зрелости»), если класс засухи сегодняшнего дня меньше критического класса засухи, указанного в пирологическом описании выдела; 3) готовность выдела к горению является неопределенной, если сегодняшний класс засухи равен по величине критическому классу засухи, указанному в пирологическом описании выдела.

Выделы раскрашиваются или заштриховываются по трем указанным выше градациям (например, готовые к горению – красным тоном или вертикальной штриховкой, не готовые к горению – зеленым тоном или горизонтальной штриховкой, участки с неопределенной готовностью к горению – желтым тоном или оставляются без штриховки).

При неопределенной готовности выделов к горению возможна проверка состояния их «пожарной зрелости» двумя способами: 1) по аналогии – если подобные выделы, судя по абрису пожара, горят, то будет гореть и данный; 2) непосредственно во время тушения пожара (при необходимости – путем пробных зажиганий).

Если в период тушения пожара изменяется класс засухи, то пожарное созревание выделов определяется заново и составляется новая карта «пожарной зрелости».

Топоосновой карты РГМ должна служить топографическая карта того же масштаба, что и карта-основа. На карту РГМ обязательно наносятся гидрографическая сеть и дороги. Для горных территорий необходимо отображение на карте рельефа. Можно переснять горизонталь с топоосновы или изобразить штриховыми знаками хребты, водоразделы, лощины, крутые склоны и т.п.

В контурах с помощью раскраски следует обозначить фоновые типы ОПГ, характерные для самого пожароопасного периода в данном районе. Наиболее предпочтительные цвета для типов ОПГ: Лш – красный, Сх – светло-зеленый, Вл – темно-зеленый, Бм – синий, Тв – желтый, Рх – оранжевый, Пл – коричневый, Бп – серый; тон окраски бледный. Если в другие периоды сезона менее пожароопасные ОПГ изменяют свой тип, то эти типы показывают в контурах с помощью сплошной редкой штриховки контуров: Тв – вертикальная штриховая, Рх – вертикальная сплошная, Пл – косая, Бп – горизонтальная сплошная, Бм – горизонтальная штриховая. Но самым рациональным было бы составление отдельных карт РГМ для каждого периода сезона.

Не фоновые, но широко распространенные в данном ПТК типы ОПГ обозначают условными знаками. Типовыми условными знаками указывают преобладающие древесные породы, заросли кедрового стланика, ерника и т.п. Все реки и озера изображаются ярко-голубым цветом.

Порядок составления карт

Карта растительных горючих материалов:

1) определить типы основных проводников горения (ОПГ) и критические классы засухи (ККЗ) для каждого выдела, используя таксационное описание лесного участка и табл. 2, 3 (прил. 2);

2) раскрасить или заштриховать выделы на подготовленной выкопировке по указанным выше типам ОПГ.

Карта текущей природной пожарной опасности:

1) используя сведения о величине лесопожарного показателя засухи Нестерова (или ПВ-1, ПВГ) на дату составления карты РГМ определить готовность к горению для каждого выдела по критическому классу засухи (ККЗ) и текущему классу засухи (КЗ) по трем градациям и записать результаты в таблицу:

- а) при КЗ, превышающем ККЗ – распространение горения возможно (+);
- б) при КЗ, не превышающем ККЗ – распространение горения невозможно (–);
- в) при КЗ, равном ККЗ – возможность распространения горения неопределенная (?).

2) раскрасить или заштриховать выделы на подготовленной выкопировке по трем, указанным выше градациям (например, горимые – красным тоном или вертикальной штриховкой, негоримые – зеленым тоном или горизонтальной штриховкой, участки с неопределенной горимостью – желтым тоном или оставить без штриховки).

Задача 2. Составить карты растительных горючих материалов (РГМ) и текущей природной пожарной опасности на прогнозный период (см. ПР № 1), используя выкопировку с плана лесонасаждений в масштабе 1:10000 с прилагающимся к нему пирологическим описанием таксационных выделов (табл. 2.1), а также результаты расчета комплексного показателя пожарной опасности Нестерова (ПН) (практическая работа № 1, табл. 1.2).

Таблица 2.1

Пирологическое описание таксационных выделов

№ выдела	Площадь, га	Состав	Бонитет	Тип леса ТЛУ	ОПГ (весна, осень/лето)	Полнота	Класс пожарной опасности	Критический класс засухи	Готовность к горению
Асиновское лесничество									
Мало-Юксинское участковое лесничество/ урочище «Новониколаевское»									
Квартал 84 (эксплуатационные леса)									
1	28	3С1Е6Б+ОС+Л+К	3	В	Тв/Пл	0,8	4	II/IV	+
2	38	4Е1С4Б1ОС+Л	3	ТБ	Тв/Бм ₁	0,8	4	II/V	+
3	8,5	7С1Л2Б	5	СФ	Бм ₁	0,6	4	IV	—
4	18	8Б2Е+С	4	ТБ	Тв/Бм ₁	0,7	4	I/IV	+
5	10,9	4С2Е1Л1К2Б	4	В	Тв/Пл	0,6	4	I/III	+
6	0,6	8Б1Е1С	5	ТБ	Тв/Бм ₁	0,4	4	I/IV	+
Квартал 85 (эксплуатационные леса)									
4	10,1	5С5Б+ОС подлесок: Р, редкий	2	РТ	Рх	0,6	3	II	+
Асиновское участковое лесничество/урочище «Филимоновское»									
Квартал 10 (эксплуатационные леса)									
1	13	10Б+ОС подрост: 8Е2ОС, благонадежный подлесок: АЖ ЧР, редкий	3	РТ	Рх/Пл	0,4	4	I/III	+
2	73	5Л2Е1К2Б подлесок: ИВК СПР, густой	4	МШ	Вл	0,6	4	III	?
3	5	3Л2Е5Б	5	МШ	Вл	0,5	4	III	?
4	13	8Е2Б+К	4	СФ	Бм ₁	0,8	4	V	—
5	3,2	3Л2Е5Б	5	МШ	Вл	0,5	4	III	?
6	11	6Б4ОС ОС, средняя поврежденность, трутовик ложный	2	РТ	Рх/Пл	0,4	4	I/III	+

Продолжение табл. 2.1

7	6	8Б2ОС <i>ОС, средняя поврежденность, трутовик ложный</i>	3	РТ	Рх/Пл	0,5	4	II/III	+
8	42	3Л2Е1К4Б	4	МШ	Вл	0,8	4	IV	—
9	6,4	4Л2Е4Б	5	МШ	Вл	0,5	4	III	?
10	1	3Л2Е5Б	5	МШ	Вл	0,4	4	III	?
11	10	5Л4Е1К+Б	4	МШ	Вл	0,8	3	IV	—
12	15	7Л2Е1К+Б подрост: 3К5Л2Е, благонадежный подлесок: ИВК, средний	3	МШ	Вл	0,7	3	III	?
13	9	3Л2Е5Б	4	МШ	Вл	0,6	4	III	?
14	9	6Л2Е1К1Б	5	МШ	Вл	0,8	4	IV	—
15	7,2	8Б2ОС	2	РТ	Рх/Пл	0,8	4	III/IV	?
16	1,4	7Б3ОС подлесок: АЖ Р, редкий <i>ОС, средняя поврежденность, трутовик ложный</i>	2	РТ	Рх/Пл	0,6	4	II/III	+
17	1,6	8Б2ОС	2	РТ	Рх/Пл	0,7	4	II/III	+
18	3,9	8Б2ОС подлесок: Р ЧР АЖ, средний	3	РТ	Рх/Пл	0,3	4	I/III	+
19	8,8	5Л5Е подлесок: СПР ЧР ИВК, средний	4	МШ	Вл	0,7	4	III	?
20	3	7Б2Л1Е	5А	ТБ	Тв/Бм ₁	0,5	4	I/IV	+
21	6,7	6Л4Е	4	МШ	Вл	0,6	3	III	?
22	2,9	5Л2Е1К2Б	5	СФ	Бм ₁	0,6	4	IV	—
23	7	7Б2ОС1Е подлесок: ЧР АЖ, средний	3	РТ	Рх/Пл	0,6	4	II/III	+
24	8,8	5Л5Е	4	МШ	Вл	0,5	3	III	?

Окончание табл. 2.1

25	4,7	7Л1К1Е1Б	5	МШ	Вл	0,5	4	III	?
26	3,3	5Л4Е1К+Б	5	МШ	Вл	0,6	4	III	?
27	9,2	7Б2Е1Л подрост: 6Е4Б, благонадежный подлесок: Р АЖ СПР, средний	4	ТБ	Тв/Бм ₁	0,6	4	I/IV	+
28	3,4	5Л1К2Е2Б	4	МШ	Вл	0,7	3	III	?
29	3,9	6Б4ОС	3	РТ	Рх/Пл	0,3	4	I/III	+
31	0,1	Просеки квартальные ширина 0,5 м, протяженность 1,8 км, чистая							
Квартал 11 (эксплуатационные леса)									
1	16	5Л2Е1К2Б	4	МШ	Вл	0,6	4	III	?
2	3,4	5Е5Л+С+К	5	ТБ	Тв/Бм ₁	0,7	4	I/IV	+
3	18	3К5Л2Е	4	ТБ	Тв/Бм ₁	0,6	4	I/IV	+
8	25	6Л2Е1К1Б	5	МШ	Вл	0,8	4	IV	—
9	9	7Л3Е	5	МШ	Вл	0,6	4	III	?
10	3	3Л3Е4Б	5	МШ	Вл	0,5	4	III	?
14	13	5Л4Е1К+Б	5	МШ	Вл	0,6	4	III	?
15	17	8Л1К1Е+Б	5	СФ	Бм ₁	0,7	4	IV	—
17	0,1	Просеки квартальные ширина 0,5 м, протяженность 1,2 км, чистая							

Примечание. Состав: С – сосна, Е – ель, Л – лиственница, К – кедр, Б – береза, ОС – осина (3К5Л2Е: 30% кедр, 50% лиственница, 20% ель).

ТЛУ (тип лесорастительных условий): В – ветвиловый, ТБ – травяно-болотный, СФ – сфагновый, РТ – разнотравный, МШ – мшистый.

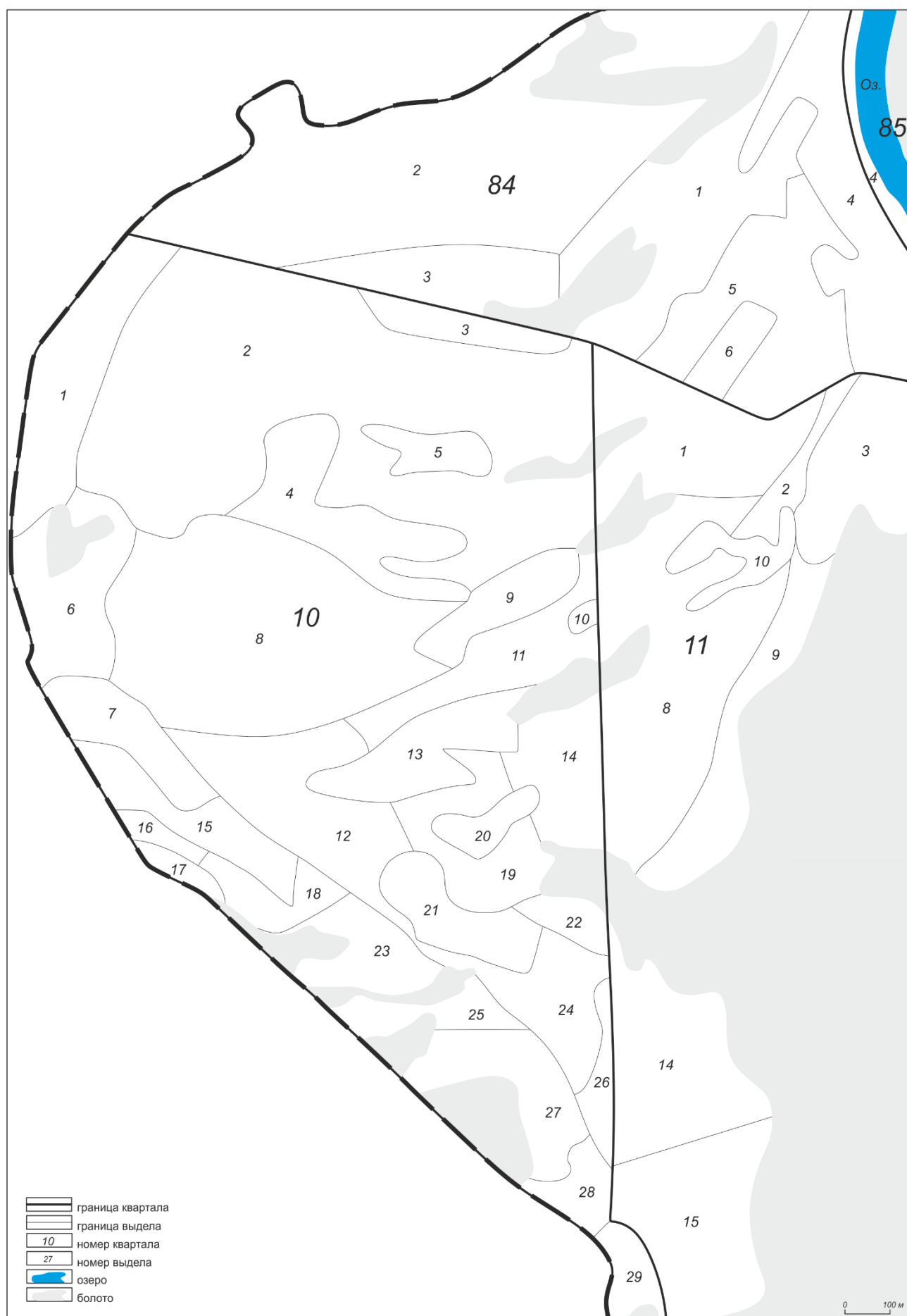


Рис. 2.1. Фрагмент плана лесонасаждений.

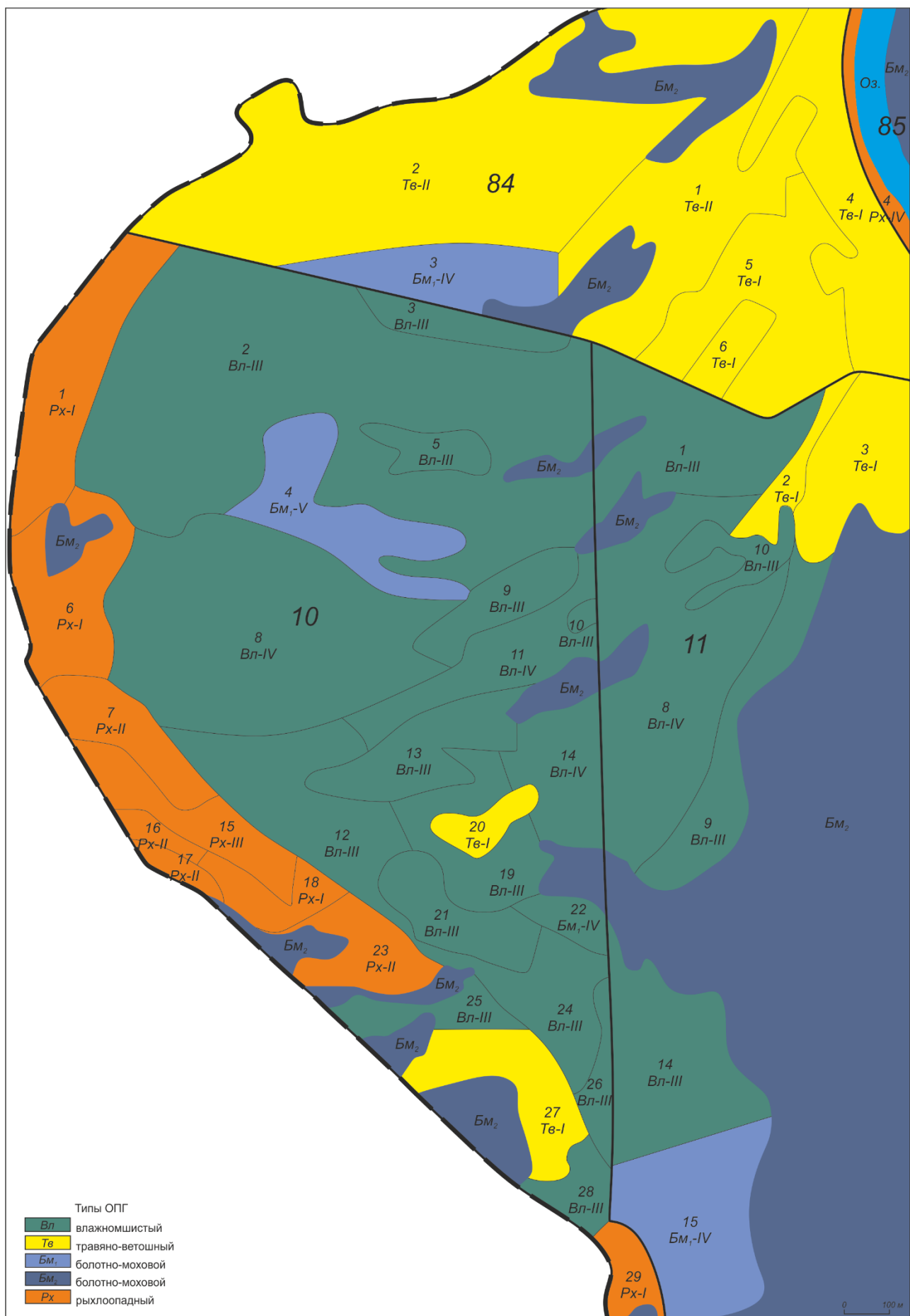
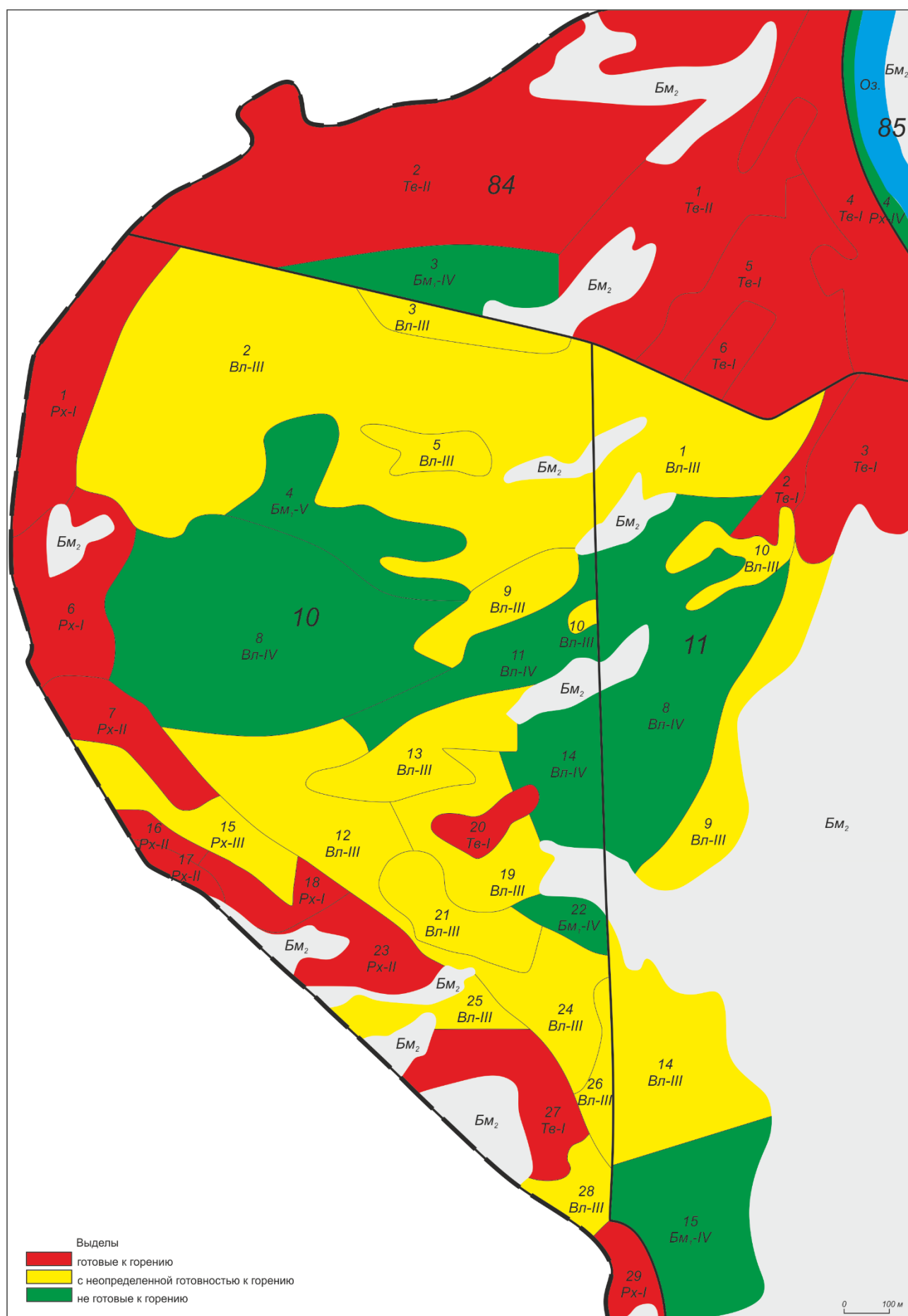


Рис. 2.2. Карта растительных горючих материалов (весенний период).



3. Практическая работа № 4–5

ПРОГНОЗ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Цель: освоить методику прогноза поведения лесного (низового) пожара на основе крупномасштабных карт растительных горючих материалов и метеорологической информации.

Прогноз поведения обнаруженного лесного пожара позволяет рассчитать оптимальные силы и средства для тушения, предусмотреть опасные тенденции и ситуации в его распространении и развитии (вероятность угрозы населенным пунктам или ценным объектам и т. д.), составить оптимальный план управления этим пожаром. Сценарии распространения пожара и его последствий на определенной площади при различных погодных условиях необходимы для выбора оптимальных времени и технологии целевых выжиганий.

Лесной пожар – это неуправляемое горение, распространяющееся по лесной площади, окруженной не горящей территорией.

Кромкой пожара называют непрерывно продвигающуюся по горючему материалу полосу горения, на которой основной горючий материал сгорает с максимальной интенсивностью и образует вал огня.

Фронт пожара – часть кромки пожара, которая продвигается с высокой скоростью и горит наиболее интенсивно.

Тыл пожара – часть кромки пожара, противоположная фронту и распространяющаяся с наименьшей скоростью.

Фланги пожара – части кромки между тылом пожара и его фронтом.

На равнине фронт пожара всегда движется по ветру, а тыл – против ветра. В горах фронтальной кромкой будет та, которая поднимается вверх по склону.

По скорости распространения пожары разделяются на три категории: сильные (свыше 100 м/мин); средней силы (3–100 м/мин) и слабые (до 3 м/мин).

В зависимости от обстоятельств распространения, лесной пожар может иметь различную форму:

- округлую (наблюдается при равномерном распространении огня в безветренную погоду при однородных горючих материалах и относительно ровной местности);
- неравномерную (отмечается при переменном ветре, разнородных горючих материалах, сильно пересеченной местности);
- эллиптическую (наблюдается при устойчивом ветре, относительно ровной местности, однородности горючих материалов).

Классификация лесных пожаров построена по принципу воздействия огня на различные ярусы биогеоценоза:

- низовые;
- верховые;
- почвенные;
- пятнистые.

Низовой пожар характеризуется горением нижних ярусов растительности лесного биоценоза. Распространение огня происходит по напочвенному покрову. Горит лесной опад, состоящий из мелких ветвей, коры, хвои, листьев, лесная подстилка, сухая трава и

травянистая растительность, живой напочвенный покров из трав, мхов, мелкий подрост и кора в нижней части древесных стволов.

Для низового пожара характерна вытянутая форма пожара с неровной кромкой. Цвет дыма – светло-серый, скорость распространения низовых пожаров против ветра в 6–10 раз меньше, чем по ветру. В ночное время суток скорость распространения пожара меньше, чем днём.

По скорости распространения огня и характеру горения низовые пожары характеризуют как беглые и устойчивые.

Беглый низовой пожар возникает чаще всего в весенний период, когда подсыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов напочвенного покрова и прошлогодняя травянистая растительность. Скорость распространения огня достигает 180–300 м/ч (3–5 м/мин) и находится в прямой зависимости от скорости ветра в приземном слое. Лесная подстилка сгорает на 2–3 см вглубь. При этом участки с повышенной влажностью напочвенного покрова остаются нетронутыми огнем и площадь, пройденная беглым огнем, имеет пятнистую форму. Беглый огонь сравнительно мало повреждает древостой, поскольку не задерживается долго на одном месте. Поэтому термин «беглый» было бы правильное понимать как поверхностный. При беглом пожаре уничтожается самосев леса, обгорают кора нижней части деревьев и выходящих на поверхность почвы корней, повреждаются подрост и подлесок. Такие пожары причиняют наименьший вред лесу, поскольку количество сгорающих горючих материалов невелико. Наблюдается мозаичность в распространении огня по площади, участки с повышенной влажностью напочвенного покрова не горят.

Устойчивый низовой пожар характеризуется полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки. Устойчивые низовые пожары развиваются в середине лета, когда подстилка просыхает по всей толщине залегания. На участках, пройденных устойчивым пожаром, полностью сгорает лесная подстилка, подрост и подлесок. Обгорают корни и кора деревьев, в результате этого насаждение получает настолько серьезные повреждения, что часть деревьев гибнет. Скорость распространения огня при устойчивом низовом пожаре от нескольких метров достигает 180 м/ч (1–3 м/мин). Минимальная скорость пламенного горения составляет 0,2 м/мин. По высоте пламени горения кромки низовые пожары характеризуются как слабые (высота пламени до 0,5 м), средние (высота пламени до 1,5 м) и сильные (высота пламени более 1,5 м).

Разновидностью устойчивого низового пожара является *валежный пожар*. В Восточной Сибири опасность возникновения валежных пожаров чрезвычайно высока, так как в лесах имеются огромные площади старых гарей, неочищенных лесосек и других захламленных территорий. Такие участки почти непроходимы для техники. Валежные пожары распространяются очень быстро и охватывают значительные территории. Вследствие высокой интенсивности горения уничтожается органический слой почвы. Борьба с валежными пожарами крайне затруднена.

Деление низовых пожаров на беглые и устойчивые имеет большое практическое значение. Отличаются не только последствия этих видов пожаров, но различны и тактические приемы их тушения.

Верховой пожар отличается от низовых тем, что наряду с горением напочвенного покрова и лесной подстилки горят и кроны деревьев. Они возникают чаще в засушливую погоду и при ветрах средней и большой скорости, за исключением хвойных молодняков, в

которых низовой пожар легко переходит в верховой из-за низкоопущенных крон даже при слабом ветре.

Причины возникновения и разрастания верховых пожаров: переход огня низовых пожаров на кроны хвойных древостоев с низкоопущенными ветвями, в многоярусных древостоях с обильным подростом, молодняках, а также в горных лесах. Возникновению верховых пожаров в значительной степени способствуют засухи и сильные ветры.

Верховой пожар также подразделяют на беглый и устойчивый. При беглом или вершинном верховом пожаре огонь распространяется по кронам деревьев скачкообразно со скоростью 250–330 м/мин. Такие пожары наблюдаются при скорости ветра более 15 м/с. Во время скачка горят только кроны деревьев, горение длится 15–20 с, но за это время пламя уходит вперед на расстояние до 100 м. После каждого скачка распространение огня по кронам прекращается до очередного подхода кромки низового пожара. Как только низовой пожар пройдет участок, на котором сгорели кроны, начинается подогрев крон на следующем участке и процесс повторяется.

С физической точки зрения такое распространение верхового огня объясняется тем, что тепло от горящих крон, поднимаясь наклонно по ветру, лишь частично попадает на соседние кроны и его оказывается недостаточно для подогрева хвои и подготовки ее к воспламенению. Полог древостоя подогревается в основном за счет тепла от низового пожара, под действием ветра тепло подогревает кроны впереди на довольно значительном расстоянии. Затем происходит вспышка, и огонь быстро охватывает подогретые кроны. Средняя скорость продвижения фронта беглого верхового пожара до 40 м/мин. При беглом верховом пожаре огонь быстро распространяется по кронам деревьев в направлении ветра.

При устойчивом верховом пожаре ширина горящей кромки составляет 6–8 м. Такие пожары имеют еще одно название: *повальные*, так как они приводят к полной гибели растительности. При устойчивом (повальном) горении огонь распространяется по всему древостою: от подстилки до крон.

Скорость верховых пожаров: устойчивого – 300–1500 м/ч (5–25 м/мин), беглого – 4500 м/ч и более (75 м/мин и более). Минимальная скорость распространения верхового огня составляет около 4500–4800 м/ч (75–80 м/мин).

Верховые пожары, выделяя большое количество теплоты, вызывают восходящие потоки продуктов горения и нагретого воздуха и образуют конвективные колонки диаметром в несколько сотен метров. Их поступательное движение совпадает с направлением продвижения фронта пожара. Пламя в середине колонки может подниматься на высоту до 100–120 метров. Конвективная колонка увеличивает приток воздуха в зону пожара и порождает ветер, который усиливает горение. Форма площади при беглом верховом пожаре вытянута по направлению ветра. Дым верхового пожара темный.

Верховым пожарам наиболее подвержены хвойные молодняки, заросли кедрового стланика и дуба кустарниковой формы (весной при наличии сухих прошлогодних листьев).

Почвенный пожар возникает и распространяется в результате «заглубления» огня низового пожара в подстилку и торфяной слой почвы.

Почвенные пожары дифференцируют на:

подстильногумусный (горение распространяется на всю толщину лесной подстилки и гумусного слоя);

подземный, или *торфяной* (горение распространяется по торфянистому горизонту почвы или торфяной залежи под слоем лесной почвы).

Торфяные пожары. Торф – это продукт неполного разложения растительной массы в условиях избыточной влажности и недостаточной аэрации. Торф имеет самый высокий из всех твердых топлив показатель влагоемкости. Усредненный элементный состав торфа (С 52–56% масс.; Н 5–6% масс.; О 30–40% масс.), высокая теплотворная способность (23 045 кДж/кг) и коэффициент теплопроводности (1,6–2,09 кДж/кг·°С) свидетельствуют о том, что он способен гореть и без доступа кислорода воздуха. При торфяных пожарах на больших массивах фронт горения очень неоднороден, оно происходит в основном очагами различного размера. Цвет очагов белый, поверхность горения со временем заглубляется под негорящую поверхность, т. е. происходит образование внутренних полостей в торфе. При торфяном пожаре сгорают корни, деревья вываливаются и падают вершинами к центру пожара. Пожарище в большинстве случаев имеет круглую или овальную форму. Скорость распространения огня незначительна – от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров в сутки.

Торфяная залежь обычно имеет относительную влажность 92–95%, что делает ее сравнительно безопасной в пожарном отношении. Торфяные пожары чаще случаются во второй половине лета, когда в результате длительной засухи верхний слой торфа просыхает до относительной влажности 25–100%.

Глубина прогорания торфяной залежи определяется уровнем залегания грунтовых вод. Горение обычно происходит в беспламенной фазе, т. е. в режиме «тления», как за счет кислорода, поступающего вместе с воздухом, так и за счет его выделения при термическом разложении торфа. Хотя скорость продвижения кромки торфяного пожара составляет всего несколько метров в сутки, они отличаются устойчивостью горения, которое при заглублении на 1,0–1,5 м не могут ликвидировать даже обильные осадки.

Процесс горения в нижней части происходит значительно интенсивней, чем вверху. Это можно объяснить тем, что свежий холодный воздух, как более тяжелый, поступает в нижнюю часть зоны горения, где реагирует с горящим торфом. Углекислый и угарный газы, а также продукты пиролиза торфа, находясь в верхней части зоны горения, препятствуют доступу к ней кислорода. Распространению горения на верхние слои почвы препятствует также повышенная влажность в задернелом корнеобитаемом слое почвы, хорошо удерживающем влагу от выпадения осадков и капиллярного подъема грунтовых вод. Заглубляясь в нижние слои торфа до минерального грунта или уровня грунтовых вод, горение может распространяться на десятки и сотни метров от входного отверстия, лишь местами выходя на поверхность.

Пятнистые пожары – это высокоинтенсивные лесные пожары, над которыми возникают мощные конвекционные потоки нагретого воздуха и продуктов сгорания, которые поднимают вверх и рассеивают перед кромкой пожара горящие частицы, от которых возникают пятна новых пожаров.

В настоящее время не сложилось единого мнения о правомерности выделения пятнистых пожаров в отдельный тип. Некоторые исследователи, основываясь на особенностях этих пожаров, считают их отдельным типом, имеющим принципиальные отличия; другие представляют пятнистые пожары как стадию развития верховых пожаров. Поскольку такой тип пожаров требует изменения тактики их предупреждения и тушения, то выделение пятнистых пожаров в отдельный тип обосновано.

Порядок выполнения работы

На карту текущей пожарной опасности следует нанести контур пожара с абриса и указать направление ветра (стрелкой), после чего обозначить четыре направления (из центра пожара), по которым будет прогнозироваться распространение пожара:

- 1) фронтальное, совпадающее с направлением ветра;
- 2) тыловое – в противоположном направлении;
- 3) правофланговое и левофланговое направления, перпендикулярные направлению ветра.

От контура крупного пожара проводят необходимое количество направлений, перпендикулярных кромке и определяют их характер по отношению к направлению ветра. При системе не авиационного, а наземного обнаружения пожаров (с пожарных наблюдательных пунктов) пожар фиксируется практически в момент его возникновения, поэтому прогнозирование распространения ведется не от контура пожара, а от точки – места его возникновения).

Прогнозирование пожара производится по выбранным временным этапам; контур пожара рассчитывается на конец каждого временного этапа (на заданный час определенного дня). Первый период – это обычно время свободного распространения пожара: от момента обнаружения (составления абриса пожара) до расчетного времени прибытия лесопожарной команды.

На весь период прогнозирования поведения пожара необходимо составить прогноз ветрового режима (направления и скорости ветра) и прогноз динамики относительной влажности воздуха по срокам. Форма записи прогнозируемых метеорологических факторов показана в табл. 3.1.

Расчет вероятной скорости распространения низового пожара и силы пожара (интенсивности кромки) делается в пределах каждого временного этапа прогнозирования, сначала – в направлении продвижения фронта пожара, затем – по направлениям флангов и тыла. Для прогноза скорости распространения кромки пожара $V_{кр}$ (м/мин) используется модель М.А. Софронова (1967):

$$V_{кр} = V_o \cdot K_v \cdot K_{вл} \cdot K_{\varphi} \quad (3.1)$$

где: V_o – базовая («штилевая») скорость, м/мин (прил. 3, табл. 1);

K_v , $K_{вл}$, K_{φ} – коэффициенты относительного влияния факторов ветра ($V_{вн}$, м/с), относительной влажности воздуха (%) и уклона (φ , град) (прил. 3, табл. 2–4).

Скорость ветра над покровом $V_{вп}$ (м/с) рассчитывают по формуле:

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n \quad (3.2)$$

где: $V_{вм}$ – скорость ветра на метеостанции;

K_n – коэффициент, учитывающий относительную полноту древостоя Π (по Э.В. Коневу) (прил. 3, табл. 5)

Для удобства расчетов все исходные и итоговые данные заносятся в специальную форму (табл. 3.2).

Расчет по каждой тактической части пожара (или направлению) ведут до тех пор, пока период распространения (нарастающим итогом) не превысит расчетный период. Тогда по последнему выделу делают перерасчет, определяя расстояние, которое пройдет кромка до окончания расчетного периода, и отмечают данную точку на карте:

$$L_n = (V_x)_n \cdot (\Pi_p - \Pi_{n-1}) \quad (3.3)$$

где: L_n – расстояние, которое пройдет кромка пожара по последнему выделу до конца намеченного этапа прогнозирования, м;

V_x – расчетная скорость распространения кромки в последнем выделе, м/мин.

Π_p – время окончания этапа прогнозирования, час. мин;

Π_{n-1} – время окончания распространения пожара по предпоследнему выделу, час. мин.

На пути распространения пожара в каждом направлении могут встречаться преграды в виде негоримых на данный момент выделов и барьеры в виде дорог, ручьев и рек. В тех случаях, когда на пути распространения пожара оказывается негоримый выдел, то распространение пожара в данном направлении прекращается, если преграда шире поперечника пожара. В противном случае пожар обходит преграду с одной или двух сторон. Чтобы оценить поперечник пожара в направлении преграды, следует вначале спрогнозировать распространение пожара по соседним направлениям.

Если на пути распространения пожара оказывается выдел, находящийся в переходной стадии, т.е. возможность горения которого является в данный момент неопределенной, то состояние – пожарной зрелости выдела оценивается экспертным путем или рассчитываются два варианта распространения пожара: 1) считая данный выдел горимым и 2) считая данный выдел негоримым.

Если путь пожару преграждает барьер (дорога, ручей, река и т.п.), то он обычно останавливает тыловую и фланговые кромки, а фронтальная кромка, особенно длинная (более 100 м) или высокоинтенсивная, способна преодолевать такие барьеры (кроме рек шириной 50 м и более, причем в ширину реки входят негоримые участки ее поймы).

Прогнозирование интенсивности кромки пожара необходимо для оценки силы пожара и для определения возможных последствий.

Интенсивность кромки $I_{кр}$ (кВт/м) определяется по формуле:

$$I_{кр} = 0,017 \cdot Q_{сл} \cdot V \quad (3.4)$$

где: $Q_{сл}$ – поверхностная теплота сгорания слоя, МДж/м² (прил. 3, табл. 1);

V – расчетная скорость распространения кромки пожара, м/мин.

Силу низовых пожаров на практике обычно оценивают по высоте пламени h (м) на фронтальной кромке: слабые – до 0,5 м; средней силы – 0,5–1,5 м; сильные – более 1,5 м (Курбатский, 1962). Высота пламени на кромке связана с интенсивностью кромки и является внешним выражением интенсивности. Поэтому силу пожара в каждом выделе можно оценивать еще и по прогнозируемой интенсивности кромки (слабые – до 35, средней силы – 35–120 и сильные – более 120 кВт/м).

Принятая зависимость между этими двумя величинами:

$$h = (I)^{0,46} \quad (3.5)$$

Для составления оптимального плана тушения пожара необходимо также оценивать в конце каждого временного этапа прогнозирования периметр пожара P (м или км) и скорость увеличения периметра (кромки) пожара ΔP (м/час).

Прогнозируемый периметр пожара P (м) можно определить расчетным путем по следующей формуле [1]:

$$P = 3/2 \cdot (L_{\phi-m} + L_{\phi л-ф л}) \cdot K_u \quad (3.6)$$

где: $L_{\phi-m}$ – поперечник пожарища в направлении фронт – тыл, м;

$L_{\phi л-ф л}$ – поперечник пожарища в направлении правый фланг – левый фланг, м;

K_u – коэффициент извилистости кромки (в среднем 1,5).

Периметр пожара можно оценить и непосредственно по карте. Через точки на карте, которые пожар должен достигнуть в расчетное время по каждому направлению, проводится прогнозируемый контур пожара и измеряется длина этого контура (с учетом масштаба) и умножается на коэффициент извилистости.

Скорость увеличения периметра пожара ΔP не зависит от площади пожара и определяется скоростью распространения кромки пожара. ΔP можно оценивать по скорости фронтальной кромки (V_{ϕ}) (прил. 3, табл. 6).

Площадь лесного пожара S (га) можно определить по формуле:

$$S = 4 \cdot 10^{-6} \cdot P^2 \quad (3.7)$$

Задача 3. Сделать прогноз поведения низового пожара на участке Асиновского лесничества на основе крупномасштабной карты растительных горючих материалов (ПР № 2, рис. 2.3), информации о метеорологических условиях (табл. 3.1) и класса засухи по комплексному показателю ПН на текущий день (ПР № 1, табл. 1.2).

Условия высыхания соответствуют типовым. Выделы с неопределенной готовностью к горению склонны к возгоранию.

Таблица 3.1

Метеорологические условия

Этапы расчетного периода:						
Дата и время начала развития пожара – 23.05/11.00						
Дата и время обнаружения пожара – 23.05/16.00						
Дата и время прибытия на место пожара и развертывания работ по его тушению – 23.05/18.00						
ПН	3140,4					
КЗ	III					
Дата	23.05					
Сроки наблюдений на метеостанции	7	10	13	16	19	22
Температура воздуха, °С	14,7	20,5	22,8	23,9	24,5	22
Атмосферное давление, гПа	997,2	996,2	997,3	997,3	994,1	992,2
Ветер: направление скорость, м/с	ЮЗ 11	ЮЗ 11	ЮЗ 11	ЮЗ 5	С 5	С 4
Относительная влажность воздуха, %	31	29	22	19	50	65
$K_{вл}^*$	1,3	1,3	1,7	1,7	0,8	0,7

Примечание. Коэффициент влияния относительной влажности воздуха вносится в таблицу самостоятельно.

Этапы расчетного периода:

I. 11.00–13.00

Метеорологические условия (скорость и направление ветра, относительная влажность):
11ЮЗ/29

1. *Квартал/выдел: 10/2*

Полнота (I)/коэффициент полноты древостоя (K_n)/ОПГ/ККЗ: 0,6/0,23/Вл/III(?)

Протяженность выдела (Ф/ПФ/ЛФ/Т), м: 550/189/143/123

Экспозиция склона / уклон, град: В/1

Коэффициент относительного влияния уклона (K_ϕ): 1

Базовая скорость (V_o , м/мин): 0,23

Скорость ветра над покровом (V_{en} , м/с):

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 11 \cdot 0,23 = 2,53 \text{ м/с}$$

Коэффициент относительного влияния ветра (K_ϕ/K_ϕ'): 3,2/1,2

Коэффициент относительного влияния влажности ($K_{вл}$): 1,3

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$$V_{\phi} = V_o \cdot K_\phi \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,27 \cdot 3,2 \cdot 1,3 \cdot 1 = 1,12 \text{ м/мин}$$

$$V_{\phiл} = V_o \cdot K_{\phi'} \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,27 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 = 0,42 \text{ м/мин}$$

$$V_m = V_o \cdot K_{\phi'} \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,27 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1 = 0,42 \text{ м/мин}$$

Поверхностная теплота сгорания слоя $Q_{сл}$, МДж/м²: 12

Интенсивность тепловыделения I , кВт/м:

$$I_{\phi} = 0,017 \cdot Q_{сл} \cdot V = 0,017 \cdot 12 \cdot 1,12 = 0,23$$

$$I_{\phiл} = 0,017 \cdot Q_{сл} \cdot V = 0,017 \cdot 12 \cdot 0,42 = 0,09$$

$$I_t = 0,017 \cdot Q_{сл} \cdot V = 0,017 \cdot 12 \cdot 0,42 = 0,09$$

Высота пламени на кромке h , м:

$$h_{\phi} = (I)^{0,46} = (0,23)^{0,46} = 0,5$$

$$h_{\phiл} = (I)^{0,46} = (0,09)^{0,46} = 0,3$$

$$h_m = (I)^{0,46} = (0,09)^{0,46} = 0,3$$

(Интенсивность тепловыделения I (кВт/м) и высота пламени на кромке h (м) в пределах каждого выдела рассчитывается непосредственно в итоговой таблице)

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.):

Ф – 120/13.00

ПФ, ЛФ, Т – 120/13.00.

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м:

Ф – 134/134 м,

ПФ, ЛФ, Т – 50/50 м.

II. 13.00–16.00

Метеорологические условия: 11ЮЗ/22

1. *Квартал/выдел: 10/2*

I/K_n /ОПГ/ККЗ: 0,6/0,23/Вл/III(?)

Протяженность выдела (Ф/ПФ/ЛФ/Т), м: 550/189/143/123

Экспозиция склона / уклон, град: В/1

$K_{\phi}: 1$

V_o , м/мин: 0,23

V_{en} , м/с:

$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 11 \cdot 0,23 = 2,53 \text{ м/с}$

$K_{\phi}/K_{\phi}': 3,2/1,2$

$K_{\phi l}: 1,7$

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$V_{\phi} = V_o \cdot K_{\phi} \cdot K_{\phi l} \cdot K_{\phi} = 0,27 \cdot 3,2 \cdot 1,7 \cdot 1 = 1,47 \text{ м/мин}$

$V_{\phi l} = V_o \cdot K_{\phi}' \cdot K_{\phi l} \cdot K_{\phi} = 0,27 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,55 \text{ м/мин}$

$V_m = V_o \cdot K_{\phi}' \cdot K_{\phi l} \cdot K_{\phi} = 0,27 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,55 \text{ м/мин}$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.):

Ф – 180/16.00

ПФ – 180/16.00

ЛФ – 164/15.44

Т – 134/15.14

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м:

Ф – 265/399 м,

ПФ – 99/149

ЛФ – 93/143

Т – 73/123

2. Квартал/выдел: 10/1

П/К_н/ОПГ/ККЗ: 0,4/0,38/Рх/І(+)

Протяженность выдела, м: 180

Экспозиция склона / уклон, град: В/2

$K_{\phi}: 1$

V_o , м/мин: 0,4

V_{en} , м/с:

$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 11 \cdot 0,38 = 4,18 \text{ м/с}$

$K_{\phi}': 1,6$

$K_{\phi l}: 1,7$

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$V_{\phi} = V_o \cdot K_{\phi}' \cdot K_{\phi l} \cdot K_{\phi} = 0,4 \cdot 1,6 \cdot 1,7 \cdot 1 = 1,09 \text{ м/мин}$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.): ЛФ – 16/16.00

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м: ЛФ – 17/160

3. Квартал/выдел: 10/6

П/К_н/ОПГ/ККЗ: 0,4/0,38/Рх/І(+)

Протяженность выдела, м: 87

Экспозиция склона / уклон, град: В/1

$K_{\phi}: 1$

V_o , м/мин: 0,4

V_{en} , м/с:

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 11 \cdot 0,38 = 4,18 \text{ м/с}$$

K_g : 1,6

Коэффициент относительного влияния влажности ($K_{вл}$): 1,7

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$$V_m = V_o \cdot K_g \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,4 \cdot 1,6 \cdot 1,7 \cdot 1 = 1,09 \text{ м/мин}$$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.): Т – 46/16.00

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м: Т – 50/173

III. 16.00–18.00

Метеорологические условия: 5ЮЗ/19

1. Квартал/выдел: 10/2

П/К_н/ОПГ/ККЗ: 0,6/0,23/Вл/III(?)

Протяженность выдела (Ф/ПФ/ЛФ/Т), м: 550/189/143/123

Экспозиция склона / уклон, град: В/1

K_ϕ : 1

V_o , м/мин: 0,27

V_{en} , м/с:

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 5 \cdot 0,23 = 1,15 \text{ м/с}$$

K_g/K_g : 1,7/1,1

$K_{вл}$: 1,7

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$$V_{дв} = V_o \cdot K_g \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,27 \cdot 1,7 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,78 \text{ м/мин}$$

$$V_{дл} = V_o \cdot K_g \cdot K_{вл} \cdot K_\phi = 0,27 \cdot 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,5 \text{ м/мин}$$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.):

Ф – 120/18.00

ПФ – 80/17.20

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м:

Ф – 94/493 м,

ПФ – 40/189

2. Квартал/выдел: 10/1

П/К_н/ОПГ/ККЗ: 0,4/0,38/Рх/I(+)

Протяженность выдела, м: 180

Экспозиция склона / уклон, град: В/2

K_ϕ : 1

V_o , м/мин: 0,4

V_{en} , м/с:

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 5 \cdot 0,38 = 1,9 \text{ м/с}$$

K_g : 1,2

$K_{вл}$: 1,7

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$$V_{дл} = V_o \cdot K_{г'} \cdot K_{вл} \cdot K_{\phi} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,82 \text{ м/мин}$$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.): ЛФ – 120/18.00

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м: ЛФ – 98/301

3. Квартал/выдел: 10/6

П/К_н/ОПГ/ККЗ: 0,4/0,38/Рх/І(+)

Протяженность выдела, м: 87

Экспозиция склона / уклон, град: В/1

K_{ϕ} : 1

V_o , м/мин: 0,4

$V_{вп}$, м/с:

$$V_{вп} = V_{вм} \cdot K_n = 5 \cdot 0,38 = 1,9 \text{ м/с}$$

$K_{г'}$: 1,2

$K_{вл}$: 1,7

Вероятные скорости распространения низового пожара по выделу:

$$V_m = V_o \cdot K_{г'} \cdot K_{вл} \cdot K_{\phi} = 0,4 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 1 = 0,82 \text{ м/мин}$$

Период распространения по выделу в минутах/до (час. мин.): Т – 44/16.44

Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м: Т – 37/210

Прогнозируемый периметр пожара P на 16.00:

Протяженность кромок основных тактических частей пожара:

Ф – 399 м; ПФ – 149 м; ЛФ – 160 м; Т – 173 м.

$$L_{дб-м} = 399 + 173 = 572 \text{ м}$$

$$L_{дл-дл} = 149 + 160 = 309 \text{ м}$$

$$P_{16.00} = 3/2 \cdot (L_{дб-м} + L_{дл-дл}) \cdot K_u = 1,5 \cdot (572 + 309) \cdot 1,5 = 1982 \text{ м}$$

Прогнозируемый периметр пожара на 18.00:

Протяженность кромок основных тактических частей пожара:

Ф – 493 м; ПФ – 189 м; ЛФ – 301 м; Т – 210 м.

$$L_{дб-м} = 493 + 210 = 703 \text{ м}$$

$$L_{дл-дл} = 189 + 301 = 490 \text{ м}$$

$$P_{18.00} = 3/2 \cdot (L_{дб-м} + L_{дл-дл}) \cdot K_u = 1,5 \cdot (703 + 490) \cdot 1,5 = 2684 \text{ м}$$

Фактический периметр (по абрису) с учетом извилистости составляет:

$$P_{18.00} = P_{\phi} \cdot K_u = 2000 \cdot 1,5 = 3000 \text{ м}$$

из них с активно распространяющейся кромкой

$$P_a = P_{\phi} \cdot K_u = 1500 \cdot 1,5 = 2250 \text{ м}$$

Площадь лесного пожара S (га):

$$S_{16.00} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot P^2 = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1982^2 = 15,71 \text{ га}$$

$$S_{18.00} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot P^2 = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 2684^2 = 28,82 \text{ га}$$

Прогноз поведения низового пожара

Лесничество: Асиновское															
Участковое лесничество: Асиновское															
1	Тактическая часть пожара (фронт, правый фланг, левый фланг, тыл)	Ф	Ф	Ф	ПФ	ПФ	ПФ	ЛФ	ЛФ	ЛФ	ЛФ	Т	Т	Т	Т
2	Квартал и номер выделов на карте	10/2	10/2	10/2	10/2	10/2	10/2	10/2	10/2	10/1	10/1	10/2	10/2	10/6	10/6
3	Протяженность выдела, м	550	550	550	189	189	189	143	143	180	180	123	123	87	87
4	Тип ОПГ	Вл	Вл	Вл	Вл	Вл	Вл	Вл	Вл	Рх	Рх	Вл	Вл	Рх	Рх
5	Критический класс засухи (ККЗ)	III	III	III	III	III	III	III	III	I	I	III	III	I	I
6	V_o (базовая скорость), м/мин	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,4	0,4	0,27	0,27	0,40	0,4
7	Экспозиция склона/ уклон, град	В/0	В/0	В/0	В/1	В/1	В/1	В/1	В/2	В/2	В/2	В/0	В/0	В/0	В/0
8	K_ϕ	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
9	Полнота древостоя (или затененность покрова)	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,6	0,6	0,4	0,4
10	K_d (для ветра у поверхности земли)	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,38	0,38	0,23	0,23	0,38	0,38
11	$V_{вп}$, м/с (ветер над покровом)	2,53	2,53	1,15	2,53	2,53	1,15	2,53	2,5	4,18	1,9	2,53	2,53	4,18	1,9
12	K_v	3,2	3,2	2,1	1,2	1,2	1,1	1,2	1,2	1,6	1,2	1,2	1,2	1,6	1,2
13	$V_{кр}$ (скорость кромки пожара), м/мин	1,12	1,47	0,78	0,42	0,55	0,5	0,42	0,42	1,09	0,82	0,42	0,55	1,09	0,82
14	$Q_{сл}$, МДж/м ² (поверхностная теплота сгорания слоя)	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	11	11
15	$I_{кр}$, кВт/м (интенсивность кромки)	0,23	0,3	0,16	0,09	0,11	0,1	0,09	0,09	0,2	0,15	0,09	0,11	0,2	0,15
16	h , м (высота пламени на кромке)	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4
17	Период распространения по выделу в минутах / до (час. мин.)	120/ 13.00	180/ 16.00	180/ 18.00	120/ 13.00	180/ 16.00	80/ 17.20	120/ 13.00	164/ 15.44	16 16.00	120/ 18.00	120/ 13.00	134/ 15.14	46/ 16.00	44/ 16.44
18	Расстояние, пройденное кромкой / в том числе нарастающим итогом, м	134/ 134	265/ 399	94/ 493	50/ 50	99/ 149	40/ 189	50/ 50	93/ 143	17/ 160	98/ 301	50/ 50	73/ 123	50/ 173	37/ 210

Практическая работа № 6–7
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ЛЕСНЫХ
ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Цель: освоить методику определения количества продуктов сгорания ЛГМ, их теплотворной способности и действительной температуры горения.

Растительные (древесные и травянистые) материалы, способные воспламеняться от источников высоких температур, подразделяются на 3 группы: *легковоспламеняющиеся и быстрогорящие* (сухая трава, опавшие листья, хвоя, мелкие ветки, сучья, некоторые кустарнички, самосев и др.), которые способствуют быстрому распространению огня и служат воспламенителями для медленновоспламеняющихся материалов; *медленновоспламеняющиеся и медленногорящие лесные горючие материалы* (валежник, пни, сухостой, нижние слои лесной подстилки, кустарники и деревья), способствующие усилению и развитию горения; *травянистые растения и мхи*, которые вследствие высокого содержания влаги сдерживают распространение горения.

Курбатский (1962, 1970) предложил выделять в лесах проводники горения и материалы, поддерживающие и задерживающие распространение горения (табл. 4.1). Горимость лесов определяется по скорости высыхания основных проводников горения, объектов первоначального загорания в лесу – лесная подстилка, сухая отмершая трава, определенные виды живого почвенного покрова, валежник. Скорость пожарного созревания напочвенных покровов определяет пожароопасность лесных участков по быстроте возможности наступления пожаров в них с установлением бездождевого периода.

Проводники горения – гигроскопические горючие материалы, выделяющие при горении такое количество тепла, которое обеспечивает поддержание и распространение горения.

Поддерживающие горение – живые растения, регулирующие испарение воды, имеющие постоянное высокое влагосодержание и небольшой объемный вес слоя. Вследствие этого горение по ним не распространяется. Они могут сгорать лишь вместе с проводниками горения, повышая общую интенсивность пожара.

Задерживающими распространение горения являются горючие материалы, которые в естественном состоянии гореть не могут вследствие высокой влажности, особенностей структуры или химического состава. Для подготовки их к воспламенению требуется большое количество тепла, поэтому они могут сгорать только совместно с другими материалами, при этом значительно снижают интенсивность горения.

Условия местопроизрастания определяют сходство объединяемых типов лесов по составу и состоянию древостоев, напочвенному покрову, характеру микрорельефа и т.д. Это обуславливает сходные типы горючих материалов и сходные условия их высыхания, что дает основание объединять типы лесов в аналогичные группы и в пирологическом отношении.

Растительная масса лесного биогеоценоза образует структурный слой из горючих материалов, по которому и распространяется горение при пожарах. Однако вся органическая масса лесного биогеоценоза при пожарах сгорает очень редко. Полнота сгорания ее, скорость распространения, интенсивность и другие характеристики горения в сильной степени зависят

от свойств горючих материалов, от их количества, структуры, влажности и химического состава.

Общим условием процесса горения является наличие в лесных материалах углерода, водорода, азота и кислорода в воздухе (прил. 4, табл. 1).

Загорание и горение лесных горючих материалов, вызывающие лесной пожар, представляют собой экзотермический процесс (реакция, происходящая с выделением тепла); он сопровождает окислительную реакцию горючих материалов, происходящую под воздействием высокой температуры и кислорода воздуха. Источник высокой температуры (огонь) попадает на лесные горючие материалы извне. Процесс загорания и горения лесных горючих материалов последовательно проходит следующие фазы: предварительный нагрев и подсушивание с выделением водяных паров (120 °С); высыхание, загорание и горение с выделением из горючих материалов водяных паров, горючих газов, кислот, смол (260 °С); воспламенение газов (315–425 °С) и пламенное горение с выделением дыма, углекислого газа, водяных паров и несгоревших газов (650–1095 °С); обугливание и горение углей до полного сгорания лесных горючих материалов.

Таблица 4.1

Классификация лесных горючих материалов (по Н.П. Курбатскому)

Группа	Вид	Тип горения
I	Кустистые лишайники, блестящие и зеленые мхи, мелкие растительные остатки (опад, травяная ветошь)	Основные проводники горения; имеют рыхлую структуру, быстро высыхают и увлажняются, горение преимущественно пламенное
II	Лесная подстилка, перегнойный и торфяной горизонты	Проводники беспламенного горения; отличаются, преимущественно плотной структурой с большой долей порошкообразных частиц, горение беспламенное (тление)
III	Крупные древесные остатки (валежник, сухостой, пни, сухие сучья, порубочные остатки)	Отличаются большой плотностью и медленными изменениями влажности; различная степень разложения древесины обуславливает смешанный характер их горения: здоровая древесина горит преимущественно пламенем, гнилая – беспламенно
IV	Травы, кустарнички, папоротники и плауны, и самосев древесных пород	Имеют достаточно высокую постоянную влажность, горят совместно с горючими материалами первой группы, заметно усиливая общую интенсивность горения при низовых пожарах
V	Подрост и подлесок	Могут гореть и усиливать горение при интенсивном горении под ними напочвенных горючих материалов; хвойные породы более интенсивно поддерживают горение, чем лиственные
VI	Хвоя, листва, несущие их веточки (до 7 мм) и мелкие сучья полога древостоя	Могут гореть при интенсивном горении напочвенных горючих материалов и подроста с подлеском; хвойные породы более интенсивно поддерживают горение, чем лиственные
VII	Стволы и толстые ветви деревьев (более 7 мм)	Не горят и не могут служить в качестве основных проводников горения, за исключением поврежденных и больных стволов (сухобочины, засмоленные раны, гнилая сердцевина и др.)

Наблюдается два типа горения: *пламенное* и *беспламенное*. Пламенное – это горение продуктов пиролиза древесины и твердой фазы (угля). Беспламенное горение, развивающееся в толще горючего материала, протекает при недостатке кислорода. Скорость распространения огня здесь обычно незначительна (от нескольких миллиметров до нескольких дециметров в час), тогда как при пламенном горении она может составлять сотни метров и даже несколько километров в час. Типы горения взаимосвязаны друг с другом и при определенных условиях один тип переходит в другой. Для практического разделения горения на пламенное и беспламенное можно принять следующую концепцию Г.А. Амосова: если высота пламени не менее двукратного диаметра (толщины) горящей частицы – горение пламенное, если меньше – беспламенное. Напочвенный покров с мелким опадом, хвоя и мелкие сучья горят преимущественно пламенем. При возрастании толщины сгорающего слоя в глубине его наблюдается беспламенное горение, характерное при горении торфа, лесной подстилки, валежника.

Устойчивость процесса горения определяется балансом тепла между его выделением от химических реакций горючего с кислородом (A_{np}) и рассеиванием тепла в окружающее пространство (A_p). При $A_{np} > A_p$ – горение устойчивое, процесс горения поддерживает сам себя. Это характерно для горения сухих материалов. При $A_{np} = A_p$ – горение неустойчивое и характерно для влажных материалов. При $A_{np} < A_p$ – горение прекращается самопроизвольно.

Распространение пламени происходит за счет передачи теплоты от слоя к слою. Теплота передается в результате следующих физических процессов: теплопроводности (перенос тепловой энергии); излучения; диффузии (перенос массы горючих компонентов).

Время пребывания веществ во фронте пламени – зоне, в которой происходит химическая реакция окисления, т.е. горение – колеблется в пределах 10^{-3} – 10^{-7} с. Теплота химической реакции, которая протекает во фронте пламени, распространяется радиально, поэтому прогреваются все расположенные рядом слои горючего вещества и воздуха. На скорость распространения горения оказывают следующие факторы ЛГМ: химический состав, зольность, теплотворная способность, температура горения, влагосодержание, структура и запас.

Исходная смесь имеет температуру T_0 , ближе к фронту пламени температура становится выше и, достигая температуры самовоспламенения T_c , резко повышается в зоне реакции, до *температуры горения* T_g . Ширина зоны прогрева зависит от теплопроводности горючей смеси и скорости распространения пламени. Увеличение теплопроводности расширяет зону прогрева, увеличение скорости реакций – сужает.

В зоне реакции кроме процесса теплопроводности протекают процессы диффузии. Диффузия вызвана различием парциальных давлений отдельных компонентов смеси в зоне реакции и в исходной смеси из-за сгорания компонентов горючей смеси. Это приводит к диффузии горючих компонентов и кислорода в зону горения.

Распространение горения по территории происходит при условии взаимного соприкосновения горючих материалов или при минимальном расстоянии между ними, т.е. при наличии сплошного ковра из горючих материалов с достаточно рыхлым их взаиморасположением. Горение распространяется вглубь вследствие нагревания

внутренних слоев, а по территории – в результате нагревания соседних горючих материалов. Пожар может развиваться лишь в том случае, если влажность горючих материалов настолько низка, что выделяющегося при горении тепла достаточно для испарения находящейся в горючих материалах воды, дальнейшего повышения температуры до состояния горения. Состояние горючих материалов в лесном напочвенном покрове после высыхания позволяет огню распространяться по ним за счет своего пламени, т.е. напочвенный покров приобретает загораемость. Таким образом, загораемость напочвенного покрова – это его способность гореть самостоятельно.

Расчет объема и процентного состава продуктов горения вещества сложного элементного состава. Практически всегда органические вещества горят с образованием продуктов полного и неполного горения. К продуктам *полного сгорания* относятся: углекислый газ, образующийся при горении углерода, разложении карбонатов; водяной пар, образующийся при горении водорода и испарении влаги в исходном веществе; оксид серы (SO_2) и азот – продукты горения соединений, содержащих серу и азот. Продукты *неполного сгорания* – угарный газ (CO), сажа (C), продукты термоокислительного разложения – смолы. Неорганические вещества сгорают, как правило, до соответствующих оксидов.

Выход продуктов горения количественно установить невозможно из-за чрезвычайной сложности их состава, поэтому материальный баланс процесса горения рассчитывается из предположения, что вещество сгорает полностью до конечных продуктов. При этом в состав продуктов горения включают также азот воздуха, израсходованного на горение, и избыток воздуха при $\alpha_g > 1$.

Порядок расчета количества продуктов сгорания определяется типом (составом) горючего вещества. В том случае, когда горючее – природное многокомпонентное сырье органического происхождения (древесина, торф, уголь и др.), теоретический выход продуктов горения определяется как сумма продуктов горения каждого элемента, входящего в состав вещества, с помощью уравнений реакций горения основных, подверженных реакциям окисления атомов – водорода, углерода, серы. В горючих веществах природного происхождения содержатся также азот (N_2), влага (W), и зола (A), которые не участвуют в процессе горения, но переходят в газообразное состояние и смешиваются с продуктами сгорания.

Объемы отдельных компонентов продуктов горения $V(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{N}_2)$:

$$V_{\text{CO}_2} = m \cdot \frac{V_{\text{CO}_2}^m \cdot \omega_C}{100}, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = m \cdot \left(\frac{V_{\text{H}_2\text{O}}^m \cdot \omega_H}{100} + \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}^m \cdot \omega_W}{100} \right), \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

$$V_{\text{N}_2} = m \cdot \left(\frac{V_{\text{N}_2}^m \cdot \omega_C}{100} + \frac{V_{\text{N}_2}^m \cdot \omega_H}{100} + \frac{V_{\text{N}_2}^m \cdot \omega_N}{100} + \frac{V_{\text{N}_2}^m \cdot \omega_O}{100} \right), \text{ м}^3 \quad (4.3)$$

где: m – масса горючего материала, кг;

$V_{\text{CO}_2}^m, V_{\text{H}_2\text{O}}^m, V_{\text{N}_2}^m$ – теоретический объем продуктов сгорания элементов сложных веществ при нормальных условиях, м^3 (прил. 4, табл. 2);

$\omega_C, \omega_H, \omega_N, \omega_O$ – массовые доли элементов в горючем материале, %;

ω_W – содержание влаги в горючем материале, %;

Теоретический объем воздуха, необходимый для горения вещества $V_6^{теор}$:

$$V_6^{теор} = m \cdot 0,267 \cdot \left(\frac{\omega_C}{3} + \omega_H + \frac{\omega_S - \omega_O}{8} \right), \text{ м}^3 \quad (4.4)$$

Избыток воздуха ΔV_6 :

$$\Delta V_6 = V_6^{теор} \cdot (\alpha_6 - 1), \text{ м}^3 \quad (4.5)$$

где: α_6 – коэффициент избытка воздуха.

Суммарный объем продуктов горения V_{n2} (н.у.):

$$V_{n2} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{SO_2} + \Delta V_6, \text{ м}^3 \quad (4.6)$$

Объемная концентрация продуктов горения $\varphi_{CO_2}^{об}$:

$$\varphi_{CO_2}^{об} = \frac{V_{CO_2} \cdot 100}{V_{n2}} \quad (4.7)$$

Суммарный объем продуктов горения при заданных условиях $V_{n2}^t (P_z, T_z)$:

$$V_{n2}^t = V_{n2} \cdot \frac{T_z \cdot P_0}{T_0 \cdot P_z}, \text{ м}^3 \quad (4.8)$$

где: P_0 – давление при нормальных условиях (1013,3 гПа);

P_z – давление при заданных условиях, гПа;

T_0 – температура при нормальных условиях (273,15 К);

T_z – температура при заданных условиях.

Определение теплового эффекта реакции горения вещества. В лесу процесс горения отличается более сложной физико-химической природой, чем в лабораторных условиях. Горение лесных материалов начинается с нижних наземных ярусов и происходит в открытой атмосфере, а не в замкнутом объеме.

Тепловой баланс процесса горения складывается из следующих составляющих:

приход: основная статья приходной части теплового баланса – это теплота горения вещества $Q_{гор}$; вторая составляющая $Q_{исх}$ – теплота исходных веществ, т.е. теплосодержание горючего и окислителя, зависящая от агрегатного состояния и химической природы горючего.

расход: Q_{n2} – теплота, уходящая с продуктами горения (35–95% от $Q_{гор}$), также называемая также теплотой конвекции или конвективной теплотой, так как продукты горения создают конвективный поток над пламенем;

$Q_{нд}$ – это часть химической энергии исходного горючего вещества, заключенная в продуктах неполного горения, уходящих из пламени (в зависимости от условий газообмена и вида горючего. $Q_{нд}$ составляет 5–25% от $Q_{гор}$);

$Q_{изл}$ – теплота излучения пламени (до 40% от $Q_{гор}$), небольшая часть которой уходит с конвективным потоком, а также падает на горящую поверхность, основная часть – излучается в окружающую среду.

С учетом перечисленных составляющих уравнение теплового баланса процесса горения будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{Q_{исх} + Q_2}{\text{приход}} = \frac{Q_{не} + Q_{нд} + Q_{изл}}{\text{расход}} \quad (4.9)$$

Анализ этого уравнения показывает, что практически единственным источником тепловой энергии любого процесса горения, а значит, и любого пожара, является тепловой эффект химических реакций окисления в пламени, т.е. теплота горения, которая относится к важнейшим характеристикам пожарной опасности веществ и материалов.

Схема рассеивания тепла фронтальной кромкой интенсивного низового пожара протяженностью глубины кромки $l_{кр}$ 1 м и высотой пламени $h_{пл}$ 1 м приведена на рис. 4.1. Наклон пламенной завесы ветром приводит к тому, что большая часть радиации правой стороны пламени, имеющей более высокую температуру, падает на подстилку и напочвенный покров. Последние на 80–90% поглощают падающую радиацию, которая сразу же превращается в тепло, идущее на прогрев и высушивание очередных порций горючего, в связи с чем интенсивность горения материалов по ветру будет большей. Излучение тыльной стороны пламени меньше, и оно направлено в основном вверх, в атмосферу. Основная доля тепла уносится нагретыми газами вверх, вследствие возникновения над очагом пожара конвекционных токов, уносящих 70–77% энергии, частично переходя в кинетическую энергию газового потока. Скорость газов над низовыми пожарами обычно не превышает 2–5 м/с, и в кинетическую энергию переходит только 0,1–0,2% от выделяющегося тепла.

Рассеивание энергии теплопроводностью (кондуктивностью) составляет небольшую долю от всего расхода: в почву уходит 3–4%, передается воздуху – 2–3% (Амосов, 1958). Причем тепло, передаваемое воздуху, быстро вовлекается в конвекционный поток за счет подтока воздуха.

Общий итог рассеивания тепла низовых пожаров в среднем составляет:

- излучение в стороны 18–20%;
- конвекцией плюс излучением вверх 70–80%;
- теплопроводностью в почву 3–4%.

В пожарно-технических расчетах часто пользуются понятием *удельной теплоты горения*, т.е. количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы или объема горючего вещества. Размерность удельной теплоты горения – кДж/кг или кДж/м³.

В зависимости от агрегатного состояния воды в продуктах горения различают низшую и высшую теплоту горения. Если вода находится в парообразном состоянии, то теплоту горения называют *низшей теплотой горения* Q_n . Если пары воды конденсируются в жидкость, то теплота горения – *высшая* Q_v .

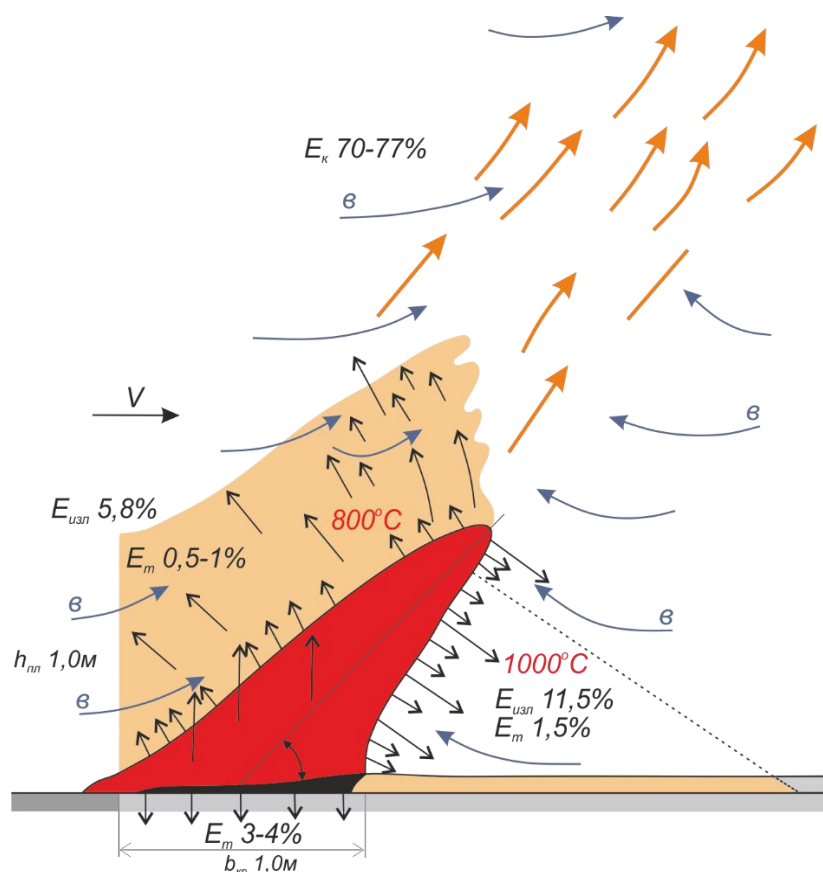


Рис. 4.1. Схема рассеивания тепла горящей кромкой низового пожара:
 E_k , $E_{узн}$, E_m – потери тепла конвекцией, излучением, теплопроводностью.

На лесных пожарах имеют дело с низшей теплотворной способностью, меньшее значение которой объясняется тем, что в процессе горения участвуют влажные горючие материалы. В результате этого часть тепла затрачивается на испарения влаги из горючего. Таким образом, теряется часть образующегося тепла.

Значения низшей теплоты сгорания веществ и материалов могут быть рассчитаны по формуле Д.И. Менделеева. Данная формула может быть использована для расчетов Q_n веществ сложного элементного состава, а также для любых индивидуальных веществ, если предварительно рассчитать массовую долю каждого элемента в соединении:

$$Q_n = 339,4 \cdot \omega_C + 1257 \cdot \omega_H - 108,9 \cdot [(\omega_O + \omega_N) - \omega_S] - 25,1 \cdot [9 \cdot \omega_H + \omega_W], \text{ кДж/кг} \quad (4.10)$$

где: ω_C , ω_H , ω_N , ω_O – массовые доли элементов в горючем материале, %;
 ω_W – содержание влаги в горючем материале, %;

И.А. Каблуковым предложена более простая формула для расчета практической теплотворной способности:

$$Q_n = 13620 \cdot K, \text{ кДж/кг} \quad (4.11)$$

$$Q_n = 3250 \cdot K, \text{ ккал/кг} \quad (4.12)$$

где: K – кислородный коэффициент ($K=1,3-1,5$), определяемый по формуле:

$$K = \frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H - O \quad (4.13)$$

C, H, O – процентное содержание химических элементов в лесном материале, выраженное в долях килограмма.

Низшая и высшая теплоты сгорания связаны соотношением:

$$Q_B = Q_H + k \cdot (W + 9 \cdot H) \quad (4.14)$$

где: k – коэффициент, равный 25 кДж/кг (6 ккал/кг);

W – количество воды в горючем веществе, % (масс.);

H – количество водорода в горючем веществе, % (масс.).

В России тепловые расчеты (например, расчет тепловой нагрузки для определения степени взрывопожарной и пожарной опасности) обычно производят по низшей теплоте сгорания. В США, Великобритании, Франции – по высшей теплоте сгорания.

Низшая теплотворная способность ЛГМ колеблется в пределах от 16,83 МДж/кг у лишайника до 22,65 МДж/кг у торфа высокой степени разложения. На практике теплотворная способность горючего оказывается меньше низшего ее значения. Это связано, во-первых, с химическим недожогом (10–20%), который означает неполное сгорание углерода, так как часть его улетает в виде мелких твердых частичек дыма (сажи). Во-вторых, древесина содержит свыше 40% собственного кислорода (сравнительно окисленный материал) и потому не может выделять большого количества тепла при своем окончательном окислении в процессе горения как, например, каменный уголь или нефть.

Определение температуры горения. Выделяющееся в зоне горения тепло расходуется на нагревание продуктов горения, на нагрев горючего вещества и окружающей среды. Та температура, до которой в процессе горения нагреваются продукты горения, называется температурой горения. В технике и пожарном деле различают *теоретическую, калориметрическую, адиабатическую и действительную* температуру горения.

Теоретическая температура горения – это температура, при которой выделившаяся теплота горения смеси стехиометрического состава (смесь окислителя и горючего, в которой окислителя ровно столько, сколько необходимо для полного окисления горючего) расходуется на нагрев и диссоциацию продуктов горения. Практически диссоциация продуктов горения начинается при температурах выше 2000 К.

Калориметрическая температура горения – это температура, которая достигается при горении стехиометрической горючей смеси с начальной температурой 273 К и при отсутствии потерь в окружающую среду.

Теоретическая и калориметрическая температура горения парогазовых смесей широко используется при оценке пожарной опасности веществ. Кроме того, ее можно применять для расчета максимального давления взрыва при горении парогазовой смеси в замкнутом объеме.

Адиабатическая температура горения – это температура полного сгорания смесей любого состава (коэффициент избытка воздуха $\alpha_g > 1$) при отсутствии потерь в окружающую среду.

Действительная температура горения – это температура горения, достигаемая в условиях реального пожара. Она намного ниже теоретической, калориметрической и адиабатической, так как в реальных условиях до 40% теплоты горения обычно теряется на излучение, недожог и т.п.

Установлено, что при горении максимальные значения температуры достигают на поверхности напочвенного покрова более 1000 °С. По мере поднятия продуктов сгорания над низовым пожаром их температура быстро падает до 50 °С на высоте 10 м и до 24–26 °С – на высоте 20 м, что объясняется вовлечением в конвекционную колонку больших масс воздуха со стороны, особенно при ветре. При толстом слое подстилки и мохового покрова, засушливой погоде, при наличии куртин высокого подроста интенсивность горения возрастает, высота пламени увеличивается до 5–6 м. Газы, не успевающие охладиться до крон I яруса, подогревают и подсушивают хвою и ветви верхнего полога, что приводит к воспламенению последних. Низовой пожар переходит в верховой, это особенно характерно для хвойных молодняков, имеющих низкоопущенные кроны.

Экспериментальное определение температуры горения для большинства горючих веществ представляет значительные трудности, особенно для жидкостей и твердых материалов. Однако в ряде случаев теория позволяет с достаточной для практики точностью вычислить температуру горения веществ, основываясь на знании их химической формулы, состава исходной смеси и продуктов горения. При расчетах исходят из того, что при быстром сгорании газо- и паровоздушных смесей развивается высокая температура. В этих условиях из-за большой скорости химических реакций к моменту окончания горения система приходит в состояние химического равновесия, и по этой причине при расчете можно применить законы термодинамики.

В общем случае для вычислений теплоты (теплосодержания) продуктов горения Q_{ng} используется следующая зависимость:

$$Q_{ng} = V_{ng} \cdot \bar{C}_p \cdot T_z, \text{ кДж/кг} \quad (4.15)$$

где: V_{ng} – объем продуктов горения, м³/кг;

$\bar{C}_p$ – средняя объемная теплоемкость смеси продуктов горения в интервале температур от T_0 до T_z , кДж/м³·К;

T_z – температура горения, К.

При расчете калориметрической температуры горения исходят из того, что теплотери в окружающую среду отсутствуют, и в этом случае низшая теплота сгорания горючего вещества Q_n равна теплосодержанию продуктов горения Q_{ng} , т.е. энергии, необходимой для нагревания продуктов горения от 0 °С до теоретической температуры горения.

В реальных условиях температура горения зависит не только от состава горючего материала, но и от условий горения: разбавления продуктов горения избыточным воздухом (что учитывается коэффициентом избытка воздуха α_g), начальной температуры воздуха, полноты сгорания исходного горючего материала и наличия теплотерь (коэффициент теплотерь η):

$$Q_n = Q_{изл} + Q_{нд} + Q_{ос} \quad (4.16)$$

В зависимости от рода учитываемых потерь теплоты из зоны горения вычисляется та или иная температура горения.

Расчет температуры горения проводят по уравнению энергетического баланса:

$$Q_n \cdot (1 - \eta) = V_{n2} \cdot \bar{C}_p \cdot [T_z - T_0] \quad (4.17)$$

где: Q_n – тепло, выделяемое в реакции горения, кДж;

η – коэффициент теплопотерь;

V_{n2} – объем продуктов полного горения с учетом избытка воздуха, м³;

$\bar{C}_p$ – средняя объемная теплоемкость смеси продуктов горения в интервале температур от T_0 до T_z , кДж/м³·К;

T_z – температура горения, К;

T_0 – начальная температура, К.

Из (4.17) следует, что для расчета температуры горения необходимо знать теплоту горения, объем и теплоемкость продуктов горения.

В первом приближении температуру горения можно рассчитать непосредственно из (4.15), имея в виду, что средняя теплоемкость газообразных продуктов горения в интервале температур 1500–2500 К может быть принята равной $\bar{C}_p = 1,75$ кДж/м³·К. Однако теплоемкость зависит от температуры, и поэтому для более точных расчетов значения теплоемкостей берут из таблиц (прил. 4, табл. 10), а подсчет производят методом последовательных приближений, каждый раз определяя теплосодержание продуктов горения при выбранной температуре.

Если по условию задачи есть теплопотери (η), то рассчитывается количество тепла Q_{n2} , пошедшего на нагрев продуктов горения

$$Q_{n2} = Q_n \cdot (1 - \eta) \text{ , кДж/кг или кДж/м}^3 \quad (4.18)$$

где: η – коэффициент теплопотерь.

Среднее теплосодержание продуктов горения Q_{cp} :

при отсутствии теплопотерь η

$$Q_{cp} = \frac{Q_n}{V_{n2}} \quad (4.19)$$

при наличии теплопотерь η

$$Q_{cp} = \frac{Q_{n2}}{V_{n2}} \quad (4.20)$$

По значению Q_{cp} с помощью табл. 10 прил. 4, **ориентируясь на азот**, приближенно определяем температуру горения T_1 .

При подборе температуры горения ориентируются на азот, так как в большей степени продукты горения состоят именно из азота. Однако, поскольку теплосодержание углекислого газа и паров воды выше, чем у азота, то их присутствие в продуктах горения

несколько понижает температуру горения, поэтому ее нужно принимать несколько ниже (на 100–200 °С), чем по азоту.

Теплосодержание продуктов горения при выбранной температуре T_1 :

$$Q_{n2}^1 = Q_{CO_2}^1 \cdot V_{CO_2} + Q_{H_2O}^1 \cdot V_{H_2O} + Q_{N_2}^1 \cdot V_{N_2} + Q_{SO_2}^1 \cdot V_{SO_2} + Q_g^1 \cdot \Delta V_g \quad (4.21)$$

где: $Q_{CO_2}^1 \dots Q_g^1$ – табличные значения теплосодержания газов при выбранной температуре T_1 (прил. 4, табл. 10).

Сравниваем Q_{n2}^1 с Q_n или Q_{n2} :

если $Q_{n2}^1 < Q_n$ (Q_{n2}), то выбираем температуру $T_1 > T_2$ на 100 °С;

если $Q_{n2}^1 > Q_n$ (Q_{n2}), то выбираем температуру $T_1 < T_2$ на 100 °С.

Повторяем расчет теплосодержания продуктов горения при новой температуре T_2 :

$$Q_{n2}^2 = Q_{CO_2}^2 \cdot V_{CO_2} + Q_{H_2O}^2 \cdot V_{H_2O} + Q_{N_2}^2 \cdot V_{N_2} + Q_{SO_2}^2 \cdot V_{SO_2} + Q_g^2 \cdot \Delta V_g \quad (4.22)$$

Расчет проводим до получения неравенства:

$$Q_{n2}^1 < Q_n \text{ (} Q_{n2} \text{)} < Q_{n2}^2 \quad (4.23)$$

где: Q_{n2}^1 и Q_{n2}^2 – теплосодержание продуктов горения при температурах T_1 и T_2 , отличающихся на 100 °С.

Интерполяцией определяем температуру горения T_c :

$$T_c = T_1 + \frac{Q_{n2} - Q_{n2}^1}{Q_{n2}^2 - Q_{n2}^1} \cdot (T_2 - T_1), \text{ если } T_1 < T_2 \quad (4.24)$$

$$T_c = T_2 + \frac{Q_{n2} - Q_{n2}^2}{Q_{n2}^1 - Q_{n2}^2} \cdot (T_1 - T_2), \text{ если } T_1 > T_2 \quad (4.25)$$

Определение максимальной концентрации вредных веществ, образующихся при сгорании лесных горючих материалов. В процессе горения лесных материалов не все количество углерода окисляется до углекислого газа CO_2 , что приводит к образованию некоторого количества окиси углерода – угарного газа (СО). По экспериментальным и расчетным данным Г.П. Ануфриевой и др., максимальная концентрация наблюдается в подветренной зоне, ограниченной пространством по длине в $2 \cdot h_{nл}$ и высоте $1 \cdot h$ пламени, и достигает 0,6–1,16 мг/л или 0,05–0,1%; средние концентрации в зоне $7 \cdot h_{nл}$ равны 0,34–0,96 мг/л или 0,03–0,08%. Наибольшая их концентрация создаётся при «опасной» скорости ветра и неустойчивом состоянии атмосферы при $V_g = 0,5–2$ м/с. По санитарным нормам, допустимая разовая концентрация СО в воздухе составляет 0,006 мг/л, или 0,0006%. Таким образом, концентрация СО перед фронтом пожара ниже уровня пламени – повышенная.

Максимальная концентрация отравляющих веществ создаётся у поверхности земли вблизи кромки пожара по направлению ветра. Это происходит тогда, когда конвекционный поток от кромки пожара прижимается к земле, и с подветренной стороны образуется максимальная концентрация вредных веществ C_{CO} , которую можно определить по формуле:

$$C_{CO} = \frac{M_{CO}}{4 \cdot \pi \cdot A} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{(Z - h_{nl})^2 + r^2}} + \frac{1}{\sqrt{(Z + h_{nl})^2 + r^2}} \right], \text{ мг/л} \quad (4.26)$$

где: h_{nl} – высота пламени от поверхности земли, м;

Z – высота измерения концентрации вредных веществ от земли, м (принимается равным 1,5 м);

r – расстояние от источника вредных веществ по горизонтали (кромки пожара), м (принимается равным 2 м);

A – коэффициент турбулентного обмена (принимается равным 0,1–0,2 м²/с);

M_{CO} – количество выделяющихся вредных веществ (мг/с), которое определяется по формуле:

$$M_{CO} = \frac{Q_{nz} \cdot O_{CO} \cdot \alpha \cdot V_g \cdot b_n}{3,6 \cdot Q_n}, \text{ мг/с} \quad (4.27)$$

где: C_{CO} – концентрация окиси углерода в очаге горения, мг/л;

b_n – ширина кромки пожара, м:

$$b_n = 3,5 \cdot h_{nl} - 1,5 \text{ (при } h_{nl} \geq 0,5 \text{ м)} \quad (4.28)$$

α – коэффициент избытка воздуха;

V_g – объём воздуха, необходимого для сгорания 1 кг горючего материала (ЛГМ); м³/кг;

Q_n – низшая теплота сгорания горючего материала, кДж/кг;

Q_{nz} – теплосодержание продуктов горения, выделяющихся с единицы площади пожара в единицу времени:

$$Q_{nz} = Q'_{nz} \cdot v_m, \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{с} \quad (4.29)$$

где: Q'_{nz} – табличные значения теплосодержания газов при выбранной температуре T_i (прил. 4, табл. 10)

v_m – удельная массовая скорость выгорания лесного материала, кг/м²·с (рассчитывается пропорционально времени пребывания ЛГМ и их остатков на 1 м кромки пожара):

$$v_m = \frac{b_n \cdot M_{ЛГМ_{cp}}}{l_{кр} \cdot \tau} \quad (4.30)$$

где: $M_{ЛГМ_{cp}}$ – средний суммарный запас всех типов ЛГМ, кг/м² (табл. 4.2);

$l_{кр}$ – участок кромки пожара протяженностью 1 м;

τ – время пребывания ЛГМ и их остатков на кромке пожара τ , мин:

$$\tau = \frac{b_n}{v_{кр}} \quad (4.31)$$

где: $v_{кр}$ – скорость продвижения фронтальной кромки пожара, м/мин (ПР№ 3, табл. 3.2).

Практика тушения лесных пожаров показывает, что бывают случаи смертельного отравления тушителей в процессе тушения пожара. Поэтому руководителю тушения пожара необходимо обеспечить людей – участников тушения, средствами защиты органов дыхания. Отдых тушителей проводить в незадымлённой зоне не ближе 50 м от кромки пожара с наветренной стороны.

Порядок выполнения работы

Используя сведения об условиях погоды (ПР№3, табл. 3.1) на момент начала локализации лесного пожара, категории леса и лесорастительных условиях (ПР № 2, табл. 2.1), виде и параметрах лесного пожара (ПР №3, табл. 3.2) определить:

- 1) средний элементарный состав ЛГМ по преобладающему типу леса с учетом среднего запаса видов ЛГМ (прил. 4, табл. 1, 3–9);
- 2) суммарный объем продуктов горения и отдельно объем каждого компонента продуктов горения ЛГМ для нормальных и заданных условий;
- 3) низшую теплоту сгорания ЛГМ (по формуле Д.И. Менделеева или И.А. Каблукова);
- 4) температуру горения ЛГМ;
- 5) Определить максимальную концентрацию вредных веществ, образующихся при горении ЛГМ.

Задача 4. Определить: низшую теплотворную способность, объем и состав продуктов горения, температуру горения, объем воздуха, необходимого для сгорания 1 кг лесных горючих материалов следующего состава (табл. 4.2), если горение протекало при следующих условиях (табл. 4.3):

Таблица 4.2

Элементарный состав ЛГМ (в пересчете на сухую обеззоленную массу), %

Вид ЛГМ	Средний запас ЛГМ, т/га (кг/м ²)	Элементарный состав, %					
		C	H	N	O	A	W
Опад	3,92 (0,39)	49,2	6,2	1,2	40,2	3,2	15
Лесная подстилка	29,7 (2,97)	46,7	6,4	1,3	38,6	7,0	23
Мхи и лишайники	2,43 (0,24)	50,1	5,8	1,4	39,7	5	14
Усредненный с учетом среднего запаса*	25,06 (2,51)	47,2	6,3	1,3	38,8	6,5	22

Примечание: * средневзвешенное значение.

Таблица. 4.3

Начальные условия расчета

Преобладающая категория леса (кв. 10)	лиственничник мшистый	ПРН ^о 2, табл. 2.1
Вид пожара	низовой слабой интенсивности	(ПРН ^о 3)
Коэффициент избытка воздуха, α_s	1,5	
Температура воздуха, T (на 16.00)	23,9 °С (297,05 К)	ПРН ^о 3, табл. 3.1
Атмосферное давление, P (на 16.00)	997,3 гПа	
Потери тепла η : недожог излучение	5% Q_n 10% Q_n	
Начальные условия: теплота исходных веществ $Q_{исх}$ температура, T_0 давление, P_0	нормальные 0 273,15 К 1013,3 гПа	
Концентрация окиси углерода в очаге горения, C_{CO}	0,6 мг/л	
Высота пламени от поверхности земли, $h_{пл}$	0,4 м (при $h_{пл} < 0,5$ м принимается равным 0,5 м)	ПРН ^о 3, табл. 3.2
Скорость продвижения фронтальной кромки, $v_{кр}$	1,47 м/мин	ПРН ^о 3, табл. 3.2
Высота измерения концентрации вредных веществ от земли, Z	1,5 м	
Расстояние от источника вредных веществ по горизонтали (кромки пожара), r	2 м	
Коэффициент турбулентного обмена, A	0,2 м ² /с	

1) Объем и состав продуктов горения 1 кг ЛГМ (прил. 4, табл. 2):

$$V_{CO_2} = m \cdot \frac{1,86 \cdot \omega_C}{100} = 1 \cdot \frac{1,86 \cdot 47,2}{100} = 0,88 \text{ м}^3$$

$$V_{H_2O} = m \cdot \left(\frac{11,2 \cdot \omega_H}{100} + \frac{1,24 \cdot \omega_W}{100} \right) = 1 \cdot \left(\frac{11,2 \cdot 6,3}{100} + \frac{1,24 \cdot 22}{100} \right) = 0,98 \text{ м}^3$$

$$V_{N_2} = m \cdot \left(\frac{7 \cdot \omega_C}{100} + \frac{21 \cdot \omega_H}{100} + \frac{0,8 \cdot \omega_N}{100} + \frac{2,63 \cdot \omega_O}{100} \right) =$$

$$= 1 \cdot \left(\frac{7 \cdot 47,2}{100} + \frac{21 \cdot 6,3}{100} + \frac{0,8 \cdot 1,3}{100} + \frac{2,63 \cdot 38,8}{100} \right) = 3,62 \text{ м}^3$$

Теоретический объем воздуха, необходимый для горения 1 кг ЛГМ:

$$V_{\epsilon}^{теор} = m \cdot 0,267 \cdot \left(\frac{\omega_C}{3} + \omega_H + \frac{\omega_S - \omega_O}{8} \right) = 1 \cdot 0,267 \cdot \left(\frac{47,2}{3} + 6,3 - \frac{38,8}{8} \right) = 4,59 \text{ м}^3$$

Избыток воздуха ΔV_{ϵ} :

$$\Delta V_{\epsilon} = V_{\epsilon}^{теор} \cdot (\alpha_{\epsilon} - 1) = 4,59 \cdot (1,5 - 1) = 2,29 \text{ м}^3$$

Общий объем продуктов горения V_{n2} :

$$V_{n2} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + \Delta V_{\epsilon} = 0,88 + 0,98 + 3,62 + 2,29 = 7,77 \text{ м}^3$$

Объемная концентрация продуктов горения:

$$\varphi_{CO_2}^{об} = \frac{V_{CO_2} \cdot 100}{V_{n2}} = \frac{0,88 \cdot 100}{7,77} = 11,3\%$$

$$\varphi_{H_2O}^{об} = \frac{V_{H_2O} \cdot 100}{V_{n2}} = \frac{0,98 \cdot 100}{7,77} = 12,6\%$$

$$\varphi_{N_2}^{об} = \frac{V_{N_2} \cdot 100}{V_{n2}} = \frac{3,62 \cdot 100}{7,77} = 46,6\%$$

$$\varphi_{\Delta V_{\epsilon}}^{об} = \frac{V_{\Delta V_{\epsilon}} \cdot 100}{V_{n2}} = \frac{2,29 \cdot 100}{7,77} = 29,5\%$$

Объем продуктов горения при заданных условиях: $T = 297,05 \text{ К}$, $P = 997,3 \text{ гПа}$:

$$V_{n2}^t = V_{n2} \cdot \frac{T_z \cdot P_0}{T_0 \cdot P_z} = 7,77 \cdot \frac{297,05 \cdot 1013,3}{273,15 \cdot 997,3} = 8,58 \text{ м}^3$$

2) Низшая теплотворная способность Q_H :

$$Q_H = 339,4 \cdot \omega_C + 1257 \cdot \omega_H - 108,9 \cdot [(\omega_O + \omega_N) - \omega_S] - 25,1 \cdot [9 \cdot \omega_H + \omega_W] =$$

$$= 339,4 \cdot 47,2 + 1257 \cdot 6,3 - 108,9 \cdot [(38,8 + 1,3)] - 25,1 \cdot [9 \cdot 6,3 + 22] = 17596,5 \text{ кДж/кг}$$

Количество теплоты Q_{n2} , затраченное на нагрев продуктов горения 1 кг ЛГМ:

$$Q_{n2} = Q_H \cdot (1 - \eta) = 17596,5 \cdot (1 - 0,1 - 0,05) = 14957 \text{ кДж/кг}$$

3) Температура горения:

Среднее теплосодержание единицы объема продуктов горения Q_{cp} :

$$Q_{cp} = \frac{Q_{n2}}{V_{n2}} = \frac{14957}{8,58} = 1743 \text{ кДж/м}^3$$

что, ориентируясь на теплосодержание азота, приблизительно соответствует температуре горения 1200°C (прил. 4, табл. 10).

Суммарное теплосодержание продуктов горения ($T_1 = 1200^\circ\text{C}$)

$$Q_{n2}^1 = Q_{CO_2}^1 \cdot V_{CO_2} + Q_{H_2O}^1 \cdot V_{H_2O} + Q_{N_2}^1 \cdot V_{N_2} + Q_g^1 \cdot \Delta V_g =$$

$$= 2718,5 \cdot 0,88 + 2133,9 \cdot 0,98 + 1705,3 \cdot 3,62 + 1720,4 \cdot 2,29 = 14596,4 \text{ кДж}$$

$Q_{n2}^1 = 14596,4 < Q_{n2} = 14957 \text{ кДж}$, следовательно, выбираем $T_2 = 1300^\circ\text{C}$:

Суммарное теплосодержание продуктов горения ($T_2 = 1300^\circ\text{C}$):

$$Q_{n2}^2 = Q_{CO_2}^2 \cdot V_{CO_2} + Q_{H_2O}^2 \cdot V_{H_2O} + Q_{N_2}^2 \cdot V_{N_2} + Q_g^2 \cdot \Delta V_g =$$

$$= 2979,1 \cdot 0,88 + 2345,5 \cdot 0,98 + 1861,2 \cdot 3,62 + 1887,5 \cdot 2,29 = 15980,1 \text{ кДж}$$

$Q_{n2}^2 = 15980,1 > Q_{n2} = 14957 \text{ кДж}$, следовательно, температура горения вещества находится в интервале от 1200 до 1300°C :

$$T_z = T_1 + \frac{Q_{n2} - Q_{n2}^2}{Q_{n2}^1 - Q_{n2}^2} \cdot (T_2 - T_1) = 1200 + \frac{14957 - 14596,4}{15980,1 - 14596,4} \cdot (1300 - 1200) = 1226,1^\circ\text{C}$$

4) Ширина кромки пожара b_n :

$$b_n = 3,5 \cdot h_{nl} - 1,5 = 3,5 \cdot 0,5 - 1,5 = 0,25 \text{ м}$$

Время пребывания ЛГМ и их остатков на кромке пожара τ :

$$\tau = \frac{b_n}{v_{кр}} = \frac{0,25}{1,47} = 0,17 \text{ мин (10,2 с)}$$

С учетом среднего состава всех видов ЛГМ ($2,51 \text{ кг/м}^2$) удельная массовая скорость выгорания ЛГМ на участке кромки протяженностью 1 м составит:

$$v_m = \frac{b_n \cdot M_{ЛГМ_{кр}}}{l_{кр} \cdot \tau} = \frac{0,25 \cdot 2,51}{1 \cdot 10,2} = 0,06 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$$

Теплосодержание продуктов сгорания, выделяющихся с единицы площади пожара в единицу времени ($T_1 = 1200^\circ\text{C}$):

$$Q_{n2} = Q_{n2}^1 \cdot v_m = 14596,4 \cdot 0,06 = 875,8 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{с}$$

Количество выделяющихся вредных веществ M_{CO} :

$$M_{CO} = \frac{Q_{nc} \cdot C_{CO} \cdot \alpha \cdot V_g \cdot b_n}{3,6 \cdot Q_n} = \frac{875,8 \cdot 0,6 \cdot 1,5 \cdot 4,59 \cdot 0,25}{3,6 \cdot 14957} = 0,02 \text{ мг/с}$$

Максимальная концентрация вредных веществ C_{CO} на расстоянии 2 м от фронтальной кромки пожара шириной 1 м :

$$C_{CO} = \frac{M_{CO}}{4 \cdot \pi \cdot A} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{(Z - h_{nl})^2 + r^2}} + \frac{1}{\sqrt{(Z + h_{nl})^2 + r^2}} \right] =$$

$$= \frac{0,02}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,2} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{(1,5 - 0,5)^2 + 2^2}} + \frac{1}{\sqrt{(1,5 + 0,5)^2 + 2^2}} \right] = 0,005 \text{ мг/л (5 мг/м}^3\text{)}$$

Таким образом, при максимальной концентрации вредных веществ 5 мг/м^3 допустимое время работы пожарного при тушении в непосредственной близости от фронтальной кромки лесного пожара согласно нормативным требованиям не ограничено (прил. 4, табл. 11).

Благодарности

Выражаем благодарность за использование в подготовке данного материала трудов авторов: Волокитина А.В., Софронова Т.М., Портола В.А., Луговцова Н.Ю., Торосян Е.С. [2–4, 13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волокитина А.В, Софронова Т.М. Картографирование растительных горючих материалов // Сибирский лесной журнал. 2014. № 6. С. 8–28.
2. Волокитина А.В. Защита населенных пунктов от чрезвычайных ситуаций, связанных с природными пожарами (Практические рекомендации). Красноярск: Изд-во СО РАН, 2002. 63 с.
3. Волокитина А.В., Софронов М.А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
4. Волокитина А.В., Климушин Б.Л., Софронов М.А. Технология составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов. Практические рекомендации. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1995. 47 с.
5. ГОСТ Р 22.1.09-99. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
5. Гундар С.В., Денисов А.Н. Интенсивность подачи воды на тушение кромки низовых лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23, № 7. С. 80-85.
6. ГН 2.2.5.686-98. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы / Минздрав России. М., 1998.
7. Инструкция по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами (утверждена приказом Рослесхоза от 3 апреля 1998 года № 53).
8. Каницкая Л.В. Лесная пирология: учеб. пособие [для бакалавриата]; Байкальский гос. ун-т экономики и права. Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2013. 205 с.
9. Коровин, Г.Н., Шешуков М.А., Душа-Гудым С.И. Таблицы предельных значений площадей и периметров лесных пожаров к началу тушения: временные нормативы по тушению лесных пожаров. М.: ЦБНТИлесхоз, 1986, 27 с.
10. Лесные горючие материалы и пожароопасность насаждений Сибири: учебный справочник / В.А. Иванов, Г.А. Иванова, С.А. Москальченко, Н.А. Коршунов; Красноярск: СибГУ, 2017. 95 с.
11. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
12. Методика тушения ландшафтных пожаров (утв. МЧС России 14 сентября 2015 г. N 2-4-87-32-ЛБ).
13. Портола В.А., Луговцова Н.Ю., Торосян Е.С. Расчет процессов горения и взрыва: учебное пособие. Юргинский технологический институт. Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2012. 108 с.
14. Терехнев В.В., Артемьев Н.С. Противопожарная защита и тушение пожаров (леса, торфа, лесосклады). Кн. 6. М., 2006.
15. Указания по обнаружению и тушению лесных пожаров. Федеральная служба лесного хозяйства России. Приказ от 30.06.95 № 100.
16. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Гринь Д.С., 2011. 470 с.
17. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров (пособие для лесных пожарных). Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
18. Щетинский Е.А. Охрана лесов от пожаров: в 2 ч. Ч. 1. Лесные пожары и охрана лесов: учеб. пособие для подготовки лётчиков-наблюдателей. Пушкино: ВИПКЛХ, 1998. 53 с.
19. Щетинский Е.А. Организация охраны лесов и тушение лесных пожаров: учеб. пособие. Пушкино: ВИПКЛХ, 2010. 117с.

Таблица 1

Классификация пожарной опасности в лесах по условиям погоды

Класс пожарной опасности в лесах	Величина комплексного показателя	Степень пожарной опасности
I	0-300	Отсутствует
II	301–1000	Малая
III	1001–4000	Средняя
IV	4001–10000	Высокая
V	более 10000	Чрезвычайная

Примечание: Классификация пожарной опасности в лесах по условиям погоды определяет степень вероятности (возможности) возникновения и распространения лесных пожаров на соответствующей территории в зависимости от метеорологических условий, влияющих на пожарную опасность лесов. Для целей классификации (оценки) применяется комплексный показатель, характеризующий метеорологические (погодные) условия.

Таблица 1

Классификация растительных горючих материалов

Группа РГМ (по Н.П. Курбатскому, 1962, 1970)	Подгруппа РГМ	Тип (и подтип) РГМ	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
	Опадная	Влажномшистый (Вл)	Пм и Тл	Н-2
		Болотно-моховой (Бм):		
		подтип Бм ₁	Пм	Н-1
		подтип Бм ₂	Негорим	
		Травяно-ветошный (Тв)	Пм	Н-1
		Рыхлоопадный (Рх)	Пм	Н-1, Н-2
		Плотноопадный (Пл)	Пм и Тл	Н-2
		Беспроводниковый (Бп):		
		подтип Бп ₁	Тл	ПТ-8, 9, 11
II. Подстилка, перегонный и торфяной горизонты	Подстилка	подтип Бп ₂	Негорим	
		Грубогумусная	Тл	Н-2, ПТ-8
	Торф и перегной	Модерная	Тл	Н-2, ПТ-8
		Муллевая	Тл	Н-2, ПТ-8
		Дернина	Тл	ПТ-9
		Перегонный горизонт Торфяной	Тл	ПТ-10,11
		Кустарничковая	Тл	ПТ-11
		Брусничный (Бр) Толокнянковый	Пм	Н
		(Тл)	Пс	Н
		Болотно-кустарничковый (Бк) и		
		другие типы	Пм и Пс	Н
III. Травяно- кустарничковые ярусы (при покрытии 0.5 и более)	Травяная	Злаковый (Зл)	Пс	Н
		Осоковый (Ос)	Пс	Н
	Сухостой и валежник	Осочковый (Осч)	Пм	Н
		Разнотравный (Рт) и другие типы		
		Сухостой	Пс	Н
		Валежник неприземленный	Об, Тл	Н
		Валежник приземленный	Об	Н
		Охвоенные	Об	Н
		Неохвоенные	Пм	Н-3
	Порубочные остатки		Пс	Н-3
IV. Крупные древесные остатки	Из хвойных пород			
	Лиственный		Пм	Н-1, 2, 4
			Пс и Пм	Н-1, 2, 4
	Из хвойных пород	Кроны в молодняках и в кедровом		
		стланике		
		Кроны в темнохвойных	Пм	В-6
		древостоях		
		Кроны в светлохвойных	Пм	В-7, 6
		древостоях		
V. Ярус из кустарников и подроста	Лиственные породы	Кроны в лиственных древостоях	Пм	В-6
		Стволы нормальные		
	Лиственные породы	Стволы засмоленные	Пс	В-6
		Стволы дуплистые и с трухлявой	Об	Н
		гнилью	Пм, Об	Н-5
			Об, Тл	Н
VI. Хвоя, листва, несущие побеги и сухие сучья в кронах деревьев	Лиственные породы			
	Лиственные породы			
VII. Стволы и сучья растущих деревьев	Лиственные породы			
	Лиственные породы			

* Характер горения: Пм – активное пламенное, Тл – тление, Об – обгорание, Пс – пассивное сгорание.

** 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), поавальный (7); ПТ – почвенно-торфяные, в том числе подстилочный (8), дерновый (9), поверхностный (10), подземный (11).

Таблица 2

Описание типов основных проводников горения

Тип основного проводника горения		ККЗ	П
Мшистая группа			
1	Лш – лишайниковый: в покрове преобладают кустистые лишайники на любых почвах или присутствуют – на сухих. К данному типу относятся также очень сухие участки с покровом из соснового опада.	I	1-4
2	Сх – сухомшистый: в покрове преобладают зеленые мхи, иногда с примесью лишайников, на дренированных почвах (обычно типы леса зеленомошной группы).	II	3-9
3	Вл – влажномшистый: в покрове преобладают зеленые мхи (обычно с примесью сфагнома или политрихума), на слабодренированных почвах (типы леса: мшистые, аулакомниевые, влажные черничники и т. п.). В условиях южной тайги к этому типу ОПГ следует относить покров из зеленых мхов (слой до 3 см) на суглинистых дренированных почвах.	III	6-18
4	Бм – болотно-моховой: в покрове сфагновые мхи на заболоченных и болотных почвах или политрихумы (кукушкин лен) на любых почвах. В типе Бм выделяются два подтипа: Бм ₁ – покров из сфагновых мхов в заболоченных лесах (сфагновые типы леса) и на небольших болотах среди суходолов, а также покров из кукушкина льна (долгомошниковые типы леса). Бм ₂ – покров из сфагновых мхов в крупных массивах верховых болот. Практически негорим.	IV –	12-36 –
Опадная группа			
5	Тв – травяно-ветошный: в покрове преобладают усохшие злаки или осоки, обычно весной и осенью (вейниковые, осоковые, злаковые типы леса, осоково-сфагновые болота – весной и осенью).	I	1-4
6	Рх – рыхлоопадный: преобладание в слое на почве: 1) опада сосны или кедра; 2) рыхлого опада из листвы березы, осины и других лиственных пород – осенью и весной; 3) усохшего разнотравья – весной и осенью; 4) «войлока» из уплотненной осоковой или злаковой ветоши – летом; 5) покрова из зимне-зеленых осочек – весной и осенью.	II	3-9
7	Пл – плотноопадный: преобладание в слое на почве: 1) опада из хвой ели, пихты и лиственницы; 2) уплотненного опада из листвы березы, осины и других лиственных пород – летом; 3) «войлока» из уплотненного усохшего разнотравья – летом.	III	6-18
8	Бп – «беспроводниковый»: 1) в покрове нет слоев ОПГ, по которым могло бы распространяться пламенное горение; 2) запас ОПГ меньше критического, что исключает распространение пламенного горения по площади; 3) горение не может распространяться из-за большого запаса зеленых трав, задерживающих горение. В «беспроводниковом» типе выделяются два подтипа: Бп ₁ – участки 1) с отсутствием или слишком малым запасом ОПГ, но с наличием других, не основных, проводников горения (подстилки, дернины, перегнойного горизонта почвы); 2) с развитым травостоем летом, когда запас зеленых трав превышает запас усохших трав и опада, что исключает распространение пламенного горения (иногда возможны почвенные пожары). Бп ₂ – участки с отсутствием (или малым запасом) любых проводников горения – пески, галечники, дороги, пашни, скалы, гольцы и т. п. Такие участки негоримы.	V –	24-72 –

Примечания. Используемые обозначения: ККЗ – критический класс засухи (класс засухи, в границах которого достигается «пожарная зрелость» слоя ОПГ, т.е. возможность распространения пламенного горения по слою); П – продолжительность в днях бездождевого периода, после которого появляется пожарная зрелость ОПГ.

В карточке таксации тип ОПГ обозначается его шифром. Типы ОПГ могут претерпевать изменения в течение пожароопасного сезона и переходить друг в друга, особенно в опадной подгруппе, что определяется условиями поступления и разложения растительного опада. Типы ОПГ для опадной подгруппы устанавливаются на участках отдельно для лета и отдельно для весны и осени. В карточке таксации на первом месте отмечается тип ОПГ весной (осенью) и через косую черту – тип ОПГ летом. Например: Тв/Рх, Тв/Пл, Тв/Бп₁.

Таблица 3

Оценка критических классов засухи для участков растительности

Подгруппа ОПГ		Преобладающие древесные породы				Безлесные участки (при отсутствии густого яруса кустарников)
«мшистая»	«опадная»	С, Е, К, Лц, Б, Ос, Пх в облиственном состоянии		Лц, Б, Ос без листвы (хвой)		
Типы и подтипы основных проводников горения		Относительная полнота древостоя (включая второй ярус)				
		0,8 и более	0,5–0,7*	0,4 и менее **	любая	
Критические классы засухи						
Лш	Тв	II	I	I	I	I
Сх	Рх	III	II	I	I	I
Вл	Пл	IV	III	III	III	III
Бм ₁	Бп ₁	V	IV (Бп ₁ – V)	IV (Бп ₁ – V)	IV (Бп ₁ – V)	IV (Бп ₁ – V)
Бм ₂	Бп ₂	Негоримы				

Примечание. Относительная полнота для лиственничников зоны северных редколесий: * – 0.6 и более; ** – 0.5 и менее.

Таблица 4

Влияние крутизны и экспозиции склонов на скорость «пожарного созревания» участков растительности (для районов 50–60° с. ш.)

Период	До 30.IV и после 01.IX			С 1.V по 31.VIII
Экспозиция	С и СВ		Ю и ЮЗ	С и СВ
Крутизна, град.	20–30	более 30	более 25	более 30
Пожарное созревание	Позже на один класс засухи	Позже на два класса засухи	Раньше на один класс засухи	Позже на один класс засухи

Таблица 1

Базовая скорость распространения горения и поверхностная теплота сгорания слоя

Лесопожарный показатель засухи, <i>единиц</i>			Пирологические характеристики			
			поверхностная теплота сгорания слоя Q _{сп} МДж/м ²	интенсивность тепловыделения I, кВт/м	базовая (штилевая) скорость распространения горения V ₀ ,	
+	тип	–			м/мин	м/с
Лишайниковый тип ОПГ (Лш)						
40	100	300	4,0	68	0,20	0,003
70	200	600	5,0	80	0,25	0,004
100	300	900	6,5	105	0,32	0,005
130	400	1200	7,5	121	0,40	0,007
160	500	1500	8,5	136	0,46	0,008
200	700	2000	9,0	140	0,54	0,009
300	1000	3000	9,5	148	0,60	0,010
600	2000	6000	10,0	156	0,64	0,011
1000	3000	9000	10,0	156	0,64	0,011
1300	4000	12000	10,0	156	0,64	0,011
1600	5000	15000	10,0	156	0,64	0,011
Сухомшистый тип ОПГ (Сх)						
160	500	1500	3,5	80	0,14	0,002
200	700	2000	5,3	100	0,16	0,002
300	1000	3000	10,0	230	0,19	0,003
600	2000	6000	16,0	370	0,25	0,004
1000	3000	9000	20,0	450	0,27	0,004
1300	4000	12000	22,0	480	0,29	0,005
1600	5000	15000	24,0	510	0,30	0,005
Влажномшистый тип ОПГ (Вл)						
300	1000	3000	2,3	50	0,15	0,003
600	2000	6000	8,8	190	0,22	0,004
1000	3000	9000	12,0	260	0,27	0,004
1300	4000	12000	13,2	290	0,30	0,005
1600	5000	15000	14,4	310	0,33	0,006
Рыхлоопадный тип ОПГ (Рх)						
200	700	2000	4,0	57	0,10	0,002
300	1000	3000	7,5	100	0,20	0,003
600	2000	6000	10,0	132	0,30	0,005
1000	3000	9000	11,0	140	0,40	0,006
1300	4000	12000	11,5	146	0,44	0,007
1600	5000	15000	12,0	150	0,50	0,008
Плотноопадный тип ОПГ (Пл)						
300	1000	3000	3,0	70	0,20	0,003
600	2000	6000	9,0	210	0,23	0,004
1000	3000	9000	12,0	280	0,26	0,004
1300	4000	12000	13,5	310	0,29	0,005
1600	5000	15000	15,0	330	0,32	0,005
Травяно-ветошный тип ОПГ (Тв)						
100	300	900	(9,0) *	-	0,30	0,005
130	400	1200	(10,0)	-	0,33	0,005
160	500	1500	(10,0)	-	0,35	0,006
200	700	2000	(10,0)	-	0,38	0,006
300	1000	3000	(10,0)	-	0,40	0,007
600	2000	6000	(10,0)	-	0,40	0,007
1000	3000	9000	(11,0)	-	0,40	0,007
1300	4000	12000	(11,0)	-	0,40	0,007
1600	5000	15000	(11,0)	-	0,40	0,007

Примечание: 1. тип – условия высыхания соответствуют типовым; «+» – условия высыхания на участке лучше типовых настолько, что критический класс засухи меньше класса, типичного для данного типа ОПГ; «–» – условия высыхания настолько же хуже типовых. 2. Болотно-моховый (Бм) и – беспробудниковый (Бп) типы ОПГ практически негоримы, поэтому они не включены в таблицу. * – для травяно-ветошного типа ОПГ под пологом леса.

Таблица 2

Коэффициенты (K_e) относительного влияния ветра (V_{en})

V_{en} , м/с	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	5,0
K_e	1,0	1,2	1,4	1,7	2,1	2,6	3,2	4,0	5,0	6,0	7,0	10,0
K_e'	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8
K_e''	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,5	3	3,5	4,5

Примечание. V_{en} – скорость ветра на высоте 2 м над напочвенным покровом; K_e – для фронта; K_e' – для тыла и флангов; K_e'' – для фланга при интенсивном горении.

Таблица 3

Коэффициенты ($K_{вл}$) влияния относительной влажности воздуха (f)

f , %	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$K_{вл}$	1,7	1,5	1,3	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	0,3

Таблица 4

Коэффициенты (K_ϕ) относительного влияния уклона (ϕ)

ϕ , град	–40	–30	–20	–10	0	10	15	20	25	30	35	40
K_ϕ	0,7	0,7	0,7	0,9	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	4,0	6,0	12,0

Примечание. Вверх по склону – углы положительные; вниз – отрицательные; поперек – нулевые.

Таблица 5

Коэффициент (K_n), учитывающий относительную полноту древостоя (Π)

Π	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
K_n	0,77	0,70	0,60	0,48	0,38	0,30	0,23	0,16	0,11	0,07	0,05

Таблица 6

Скорость увеличения периметра пожара (ΔP)

V_{ϕ} , м/мин	25	40	70	120	200
P , м/ч	200	300	400	700	1000

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Таблица 1

Химический состав и зольность некоторых видов ЛГМ (в пересчете на обеззоленную массу), %

Вид ЛГМ	С	Н	О	N	А
Древесина сосны	50,8	6,3	42,5	0,1	0,3
Древесина березы	50,2	6,2	43,0	0,2	0,4
Хвоя сосны	53,1	6,2	36,3	1,3	3,1
Хвоя ели	53,0	6,2	37,2	1,2	2,4
Вереск	52,4	6,1	37,2	1,0	3,3
Подлесок	50,0	6,1	39,4	1,4	3,1
Подрост сосны, ели	50,0	6,2	40,2	1,1	2,5
Лесные травы	45,0	6,5	42,0	1,5	5,0
Опад	49,2	6,2	40,2	1,2	3,2
Лесная подстилка	46,7	6,4	38,6	1,3	7,0
Живой напочвенный покров	49,8	6,2	36,9	2,6	4,5
Мхи и лишайники	50,1	5,8	39,7	1,4	5
Торф	51,4	5,4	31,0	2,2	10,0

Таблица 2

Теоретический объем продуктов сгорания элементов сложных веществ при нормальных условиях

Окисляющийся компонент	Объем газов $V, \text{ м}^3$			
	CO_2	H_2O	SO_2	N_2
Углерод	1,86			7
Водород		11,2		21
Сера			0,7	2,63
Азот в горючем				0,8
Азот за счет кислорода в горючем				-2,63
Влага в горючем		1,24		

Таблица 3

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в сосняках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса						
	лишайниковый	зеленомошный	травяной	долгомошный	сфагновый	толокнянковый сухой	другие
Опад	4,51	6,42	6,6	2,15	3,48	4,58	4,8
Мхи и лишайники	3,86	3,34	1,35	3,6	4,49	2,09	–
Живой напочвенный покров	1,74	1,57	1,21	0,5	1,51	1,12	–
Подстилка	7,19	17,02	15,35	3,75	3,75	23,68	12,65

Таблица 4

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в лиственничниках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса					
	лишайниковый	зеленомошный	кустарничково-моховый	разнотравный	долгомошный	сфагновый
Опад	2,15	2,14	4,54	2,79	3,92	2,15
Мхи и лишайники	10	4,85	7,24	1,85	2,43	6,88
Живой напочвенный покров	0,5	2,76	1,61	2,37	–	4,65
Подстилка	12,65	19,6	20,88	16,02	29,7	18,33

Таблица 5

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в кедровниках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса							
	лишайниковый	зеленомошный	крупнотравный	кустарничковый	разнотравный	кустарничково-моховый	долгомошный	сфагновый
Опад	2,15	0,91	2,15	1,71	3,74	3,21	–	2,15
Мхи и лишайники	–	3,09	0,5	1,69	0,5	3,16	10,65	1,85
Живой напочвенный покров	–	1,84	1,64	1,1	1,77	2,24	4,65	0,5
Подстилка	18,33	25,46	7,31	5,73	12,44	17,76	26,29	12,65

Таблица 6

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в пихтарниках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса		
	разнотравный	зеленомошный	кустарничковый
Опад	2,15	4,8	3,92
Мхи и лишайники	0,5	1,18	1,85
Живой напочвенный покров	0,5	1,33	1,4
Подстилка	21,75	17,34	9,68

Таблица 7

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в ельниках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса			
	разнотравный	зеленомошный	кустарничково-зеленомошный	травяно-болотный
Опад	2,15	6,52	2,15	2,81
Мхи и лишайники	1,18	1,85	1,8	2,72
Живой напочвенный покров	0,5	2,05	–	1,28
Подстилка	16,72	8,2	–	25,07

Таблица 8

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в осинниках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса				
	разнотравный	крупнотравный	высокотравный	травяной	зеленотравный
Опад	4,8	–	–	4,93	–
Мхи и лишайники	3,6	–	–	–	0,5
Живой напочвенный покров	0,5	0,77	3,6	1,18	0,5
Подстилка	3,75	–	8,2	7,56	3,75

Таблица 9

Распределение средних запасов ЛГМ по типам леса в березняках Сибири, т/га

Вид ЛГМ	Тип леса		
	разнотравный	зеленомошный	кустарничковый
Опад	3,48	1,99	2,15
Мхи и лишайники	1,04	5,91	2,05
Живой напочвенный покров	0,75	1,52	1,85
Подстилка	11,44	10,87	–

Таблица 10

Энтальпия (теплосодержание) газов при постоянном давлении

Температура, t°С	Теплосодержание, кДж/м ³					
	O ₂	N ₂	Воздух	CO ₂	H ₂ O	SO ₂
100	131,8	130,1	130,1	170,1	150,6	181,4
200	267,2	260,9	261,6	357,7	304,7	377,9
300	407,1	393,6	395,4	559,7	463,0	587,0
400	551,4	528,7	532,1	772,6	626,8	824,6
500	669,3	666,6	672,0	925,1	786,2	1034,9
600	850,6	807,8	814,5	1225,6	969,5	1269,6
700	1004,7	951,9	960,3	1463,1	1149,7	1507,5
800	1160,6	1098,2	1108,2	1706,2	1335,3	1746,4
900	1319,0	1246,9	1258,7	1953,8	1527,2	1994,8
1000	1478,6	1398,2	1410,7	2205,2	1724,2	2237,4
1100	1639,5	1551,1	1564,9	2460,4	1926,5	2488,8
1200	1802,1	1705,3	1720,4	2718,5	2133,9	2735,2
1300	1965,1	1861,2	1877,5	2979,1	2345,5	2979,5
1400	2129,8	2010,0	2035,5	3241,4	2560,9	3238,0
1500	2295,7	2176,7	2194,7	3505,7	2781,3	3488,2
1600	2462,4	2335,5	2355,2	3771,4	3004,2	3747,5
1700	2630,5	2495,9	2515,7	4039,6	3231,7	4003,1
1800	2799,7	2656,4	2678,2	4307,3	3461,3	4261,2
1900	2969,4	2818,2	2840,4	4579,7	3693,5	4529,8
2000	3140,8	2979,9	3004,2	4847,8	3928,5	4667,6
2100	3311,7	3142,9	3167,6	5118,2	4166,1	5059,4
2200	3497,8	3306,3	3332,3	5392,5	4405,8	5337,2
2300	3659,1	3469,3	3497,4	5660,7	4667,1	5608,7
2400	3834,3	3633,1	3663,3	5933,0	4890,9	5892,8
2500	4009,8	3797,4	3828,8	6209,6	5136,5	6169,8
2600	4184,9	3953,9	3988,4	6487,4	5387,1	6460,1
2700	4368,9	4135,9	4156,5	6761,8	5639,3	6753,8
2800	4546,1	4304,4	4320,7	7033,3	5897,8	7050,9
2900	4729,2	4469,0	4484,9	7311,1	6159,3	7351,3
3000	4914,9	4634,5	4652,1	7589,7	6425,8	7655,1

Таблица 11

Продолжительность работы при различных ПДК окиси углерода в воздухе рабочей зоны

Предельно допустимые концентрации СО в воздухе, мг/м ³	Продолжительность работы
до 20	Не ограничено
до 50	Не более 1 часа
до 100	Не более 30 минут

Примечание: ПДК окиси углерода в атмосферном воздухе – 5 мг/м³, воздухе рабочей зоны – 20 мг/м³