

Государственное бюджетное учреждение дополнительного образования
«Эколого-биологический центр» Министерства просвещения, науки и по
делам молодежи Кабардино-Балкарской республики

Кабардино-Балкарская республика, городской округ Нальчик

Детское объединение «Биология в проектах»

Номинация «Ресурсосберегающее земледелие»

Тема работы:

**РАЗРАБОТКА ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ РИСКА
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНОГО ПОЖАРА ПО ПРИЧИНЕ ДЕЙСТВИЯ
ГРОЗ**

Выполнила: Кулиева Танзиля, 10 класс

Руководители: Берданова Елена Ивановна – педагог дополнительного образования Государственного казенного учреждения дополнительного образования «Эколого-биологический центр» Министерства просвещения, науки и по делам молодежи Кабардино-Балкарской республики

г.Нальчик, 2020г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Обзор литературы	4
1.1 Краткая характеристика проблемы	4
1.2 Условия возникновения лесных пожаров от гроз	4
1.3 Классификация молний	5
1.4 Методы оценки грозовой пожароопасности лесных участков	6
2. Материалы и методы исследования	7
2.1 Метод исследования	7
2.2 Грозопеленгационные системы	9
2.3 Предмет исследования – леса КБР	12
2.4 Степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды	13
2.5 Характеристика места исследования Ячейки «Ирик» (А _{5,4})	14
2.4.1 Рельеф и климатические условия А _{5,4}	15
2.4.2 Лесотипологическая характеристика насаждений и его способность к загоранию в исследуемой ячейке	16
3. Результаты исследований и их обсуждение	18
3.1 Анализ исторических данных (2009-2019 гг.)	18
3.2 Анализ показателей МР в Ячейке А _{5,4} за 2018 г	19
3.3 Параметры для расчета вероятности грозового пожара растительности в ячейке	19
3.4 Алгоритм реагирования	20
Выводы	22
Список литературы	23

Введение

Лесные пожары – горение растительности, стихийно распространяющееся по лесной территории. Лесные пожары уничтожают деревья и кустарники, заготовленную в лесу древесину. В результате пожаров снижаются защитные, водоохранные и другие полезные свойства леса, уничтожается фауна, сооружения, а в отдельных случаях и населенные пункты. Актуальность темы определяется тем, что во многих регионах России молния является одной из главных причин лесных пожаров [5,7,10,17,18,23,32].

Лесистость Кабардино-Балкарской республики составляет 15,3% [37]. Леса Кабардино-Балкарской Республики в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации и другими нормативными актами подлежат охране от пожаров.

На территории Российской Федерации до настоящего времени не существует надежно отработанной системы прогноза возникновения пожаров от гроз. Создание такой системы весьма актуально для отдельных регионов Сибири и Дальнего Востока, где расположены огромные лесные массивы [10].

По существующим инструкциям, МЧС-реагирование в основном ориентировано на «тушение пожаров», а изучение больших, труднодоступных территорий и их картирование по степени риска грозового происхождения пожаров значительно отстает от «развития средств пожаротушения».

Цель работы: разработка математической модели расчета пожароопасности на особо охраняемой территории (ООПТ) с помощью системы грозопеленгации.

Задачи:

1) Составление индексов пожароопасности для всех участков по карте лесов. Индексы будут представлять собой набор вероятностей (распределение вероятности) возникновения пожара в этой ячейке леса при различных типах молниевых разрядов и при различных значениях силы тока в канале молнии;

2) Обработка данных грозопеленгационной сети в режиме реального времени с фиксацией координат, типа и силы тока молниевых каналов;

3) Определение вероятности возникновения пожара в определенной ячейке.

Сроки проведения исследования – 8 месяцев.

Глава I Обзор литературы

1.1. Краткая характеристика проблемы

Ежегодно на земном шаре от грозы возникает около 50 000 пожаров [39]. Лесные пожары от гроз являются серьезной проблемой для стран Западной Европы, Австралии, США, Канады, Финляндии [6-8,13,25,28]. Число пожаров от гроз в мире варьирует для различных стран и их регионов от 1 до 67% [13]. В США, например, молния вызывает от 6 000 до 10 000 [6,25] пожаров. В связи с этим проблема предупреждения природных лесных пожаров на территории США отнесена к числу наиболее важных [28]. На долю лесных пожаров от гроз на территории России в среднем приходится 10-15% случаев от общего числа пожаров [5,32]. При этом отмечается, что для некоторых регионов Российской Федерации грозовая активность является почти основным виновником возникновения пожаров растительности. Особенно опасны для леса так называемые «сухие грозы», когда разряды атмосферного электричества между облаками и землей не сопровождаются выпадением дождя. Очень часто эти явления наблюдаются в Сибири, становясь виновниками возникновения лесных пожаров. Лесники Хабаровского края утверждают, что почти 50 % всех очагов пожара в крае возникает из-за «сухих» гроз. Ежегодно в районах Прииртышья доля грозных лесных пожаров составляет 71%, в Красноярском крае - до 35-40% [18]. В Якутии на малонаселенных территориях среднее число грозных пожаров составляет 49% от общего числа природных пожаров [17]. При этом площади грозных пожаров практически в два раза превышают общие площади антропогенных пожаров, что связано с несвоевременным обнаружением пожаров.

1.2 Условия возникновения лесных пожаров от гроз

Возникновение горения в результате действия молниевых разрядов складывается из двух процессов: удара молнии и воспламенения растительности [10].

В возникновении лесного пожара от действия молниевых разрядов важную роль играет способность к горению лесных горючих материалов, которая зависит от типов растительности и их влагосодержания.

Показатель горимости определяется количеством лесных пожаров по различным причинам к 100 тыс. га лесной площади территориальной единицы. Однако, нет однозначных сведений о преобладающем тяготении молниевых разрядов к конкретным породам деревьев [38].

Для европейской части Евразии молния «предпочитает» широколиственные породы деревьев (дуб, тополь, вербу, ясень и др.), чем хвойные (ель, пихта, и т.д.) [6], так как у первых большое количество крахмала способствует лучшей электропроводности. Наличие смолы у хвойных пород деревьев способствует большему сопротивлению их коры и ствола.

В Сибири и на Дальнем Востоке наиболее подвержены попаданию молниевых разрядов именно хвойные деревья [7,11,12].

Чаще всего пожары от гроз возникают и распространяются в сухих типах леса [12, 20].

Наиболее существенной причиной вспышки природных пожаров являются интенсивные сухие грозы, которые формируются и развиваются чаще всего в условиях засухи [12,23,28,29]. Именно во время таких экстремальных засушливых погодных условий лесные пожары чаще всего приводят к катастрофическим последствиям, в качестве примера можно привести анализ пожароопасной обстановки летом 1997 года в Алтайском крае [23]: в течение часа после прохождения сухой грозы регистрировалось до 10 (всего за сутки до 48) лесных пожаров на территории только одного лесхоза.

Однако случаи прохождения абсолютно сухих гроз довольно редки, и чаще всего грозовые процессы сопровождаются осадками, которые при прохождении грозовых фронтов распределяются неравномерно – от полного их отсутствия до сильного ливня (60 мм) [22]. Следует отметить, что пожары от гроз чаще всего возникают при внутримассовых грозах (или тепловых), которые характеризуются выпадением небольшого количества осадков [7,11,14,29]. Однако, и при выпадении большого количества осадков возможно загорание от молнии [20].

Общий механизм возникновения лесных пожаров от гроз сформулирован и обстоятельно рассмотрен в монографии «Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья» [11]. Установлено, что преимущественно происходит загорание либо частей поврежденного молниевым разрядом дерева, либо загорание напочвенного материала у основания пораженного дерева.

Экспериментально доказано, что только энергоемкие, длительные по времени молниевые разряды способны воспламенить горючие материалы. Кроме того, лесной пожар может возникнуть не только по причине удара молниевым разрядом в дерево. В редколесье и на старых гарях пожары от гроз возникают от молний, ударяющих непосредственно в почву [26].

1.3 Классификация молний

В общем случае молниевые разряды разделяются на два вида: наземные, т.е. между облаком и землёй, и облачные, т.е. разряды внутри облаков и между облаками.

Для рассматриваемых вопросов представляют интерес наземные молниевые разряды, т. к. облачные разряды не взаимодействуют с земной поверхностью. Наземные молнии бывают разной полярности – положительные и отрицательные. Полярность молниевым разрядом определяется знаком переносимого заряда от облака к поверхности Земли.

Одна вспышка наземной молнии чаще всего состоит из целого ряда последовательных разрядов и может содержать от 1 до 42 разрядов [30], которые называют компонентами молнии. В монографии Базеляна и Райзера (2001), со ссылкой на результаты зарубежных исследователей, для положительных и отрицательных разрядов приводятся вероятностные оценки

амплитудных значений импульсов тока главной стадии, длительности импульсов, а также величины приведенной энергии молниевой вспышки [4] (табл. 1).

Таблица 1

Параметры отрицательных и положительных разрядов по (Базелян, Райзер, 2001) [4]

Вид молниевых разрядов	Параметры тока главного разряда						Приведенная энергия молниевой вспышки (А ²)		
	Амплитуда (кА)			Длительность импульса (мкс)					
	95%	50%	5%	95%	50%	5%	95%	50%	5%
Отрицательные	>4	30	80	30	75	200	6,0-10 ³	5,5-10 ⁴	5,5 -10 ⁵
Положительные	сопоставимо	35	250	сопоставимо	>230	до 2000	2,5 -10 ⁴	6,5 -10 ⁵	1,5 -10 ⁷

Перенос заряда сопровождается выделением энергии (К): например, для средних по силе отрицательных молний с зарядом порядка $Q \approx 10$ Кл при напряжении $U \approx 50$ МВ рассеивается энергия $QU \approx 5 \cdot 10^8$ Дж, столько же, сколько при взрыве 100 кг тротила [4]. Энергия пропорциональна сопротивлению проводника R. Для удобства практических расчетов публикуются сведения о «приведенных» энергиях K/R, которые являются характеристиками только молний [4].

Согласно приведенным справочным данным о характеристиках молниевых разрядов (табл. 1), положительные молнии отличаются значительно большей энергоемкостью, нежели отрицательные. Следовательно, положительные молнии с точки зрения физических параметров разрядов характеризуются большей степенью пожароопасности.

Положительные и отрицательные молнии имеют принципиальное различие по поражению наземных объектов. Х. Нориндер (1956) экспериментально показал, что отрицательный разряд может поражать любую точку земной поверхности [22], тогда как положительный разряд «выбирает» те участки, на которых требуется меньшее напряжение для пробоя, то есть с лучшей проводимостью [27] (участки концентрации железных руд, обводненные участки и т.п.).

Эта особенность «выхода» молний за зону осадков при прохождении интенсивных гроз является феноменом - «сухие грозы» [15,24].

1.4 Методы оценки грозовой пожароопасности лесных участков

Основным параметром прогноза в известных на данный момент зарубежных и российских системах оценки грозовой пожароопасности является степень грозовой активности отдельных участков территории.

Для выявления наиболее грозопоражаемых участков территории используют статистические параметры грозовой активности:

- 1) среднее число дней с грозой,
- 2) среднюю многолетнюю продолжительность гроз,
- 3) плотность наземных разрядов молнии.

Среднегодовые величины числа дней с грозой и суммарной продолжительности гроз, в зависимости от количества пунктов наблюдения и физико-географических условий, интерполируют на изучаемые регионы [3,9]. Однако, построенные по этим параметрам карты-схемы представляют лишь самые общие закономерности пространственного распределения грозовой активности на исследуемой территории [10].

Более детальную оценку потенциально грозоопасных участков проводят с учетом плотности молниевых разрядов. Величину плотности наземных молниевых разрядов можно рассчитать с помощью построения карт плотности грозовых разрядов, полученных по данным грозопеленгационной сети [16]. С 1997 года на территории Сибири и северо-запада европейской части России в интересах охраны лесов от пожаров функционирует (в экспериментальном и рабочем режимах) Система регистрации молниевых разрядов (СРМР), базирующаяся на сети грозопеленгаторов «Верея-МР» [1,2,31]. В задачи СРМР входит сбор измерительных данных грозопеленгации, их обработка и обеспечение региональных баз авиалесоохраны мониторинговой информацией о грозовой деятельности. На основе этих данных проводится корректировка патрульных вылетов и маршрутов с целью обнаружения пожаров от гроз. не позднее трех суток после прохождения грозовых фронтов [2]. В целом данные грозопеленгации СРМР дают удовлетворительные сведения об интенсивности и пространственном распределении текущей грозовой активности на территории России. В настоящее время СРМР является одним из блоков Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров (ИСДМ) МПР РФ [10]. Основной задачей ИСДМ является обнаружение лесных пожаров на основе спутниковых данных, получаемых с приборов AVHRR и MODIS, установленных на спутниках серии NOAA и TERRA/AQUA соответственно.

Глава II Материалы и методы исследования

2.1 Метод исследования

В основе нашей модели лежит методика сравнительной оценки опасности возникновения лесного пожара от действия молнии [11], разработанная В.А. Ивановым с соавторами (2004) в Институте леса им. В.Н. Сукачева.

Интересующую нас территорию разделяем на прямоугольные ячейки с шагом в $0,1^\circ$.

Для Кабардино-Балкарской республики, которую предлагаем рассматривать в качестве тестовой, исследуемая зона ограничена значениями широты от $42,8^\circ$ до $44,1^\circ$, долготы от $42,3^\circ$ до $44,5^\circ$ и разделена на ячейки (рис.1). Кабардино-Балкарская Республика (КБР) занимает площадь 12,47 тыс. кв. км.

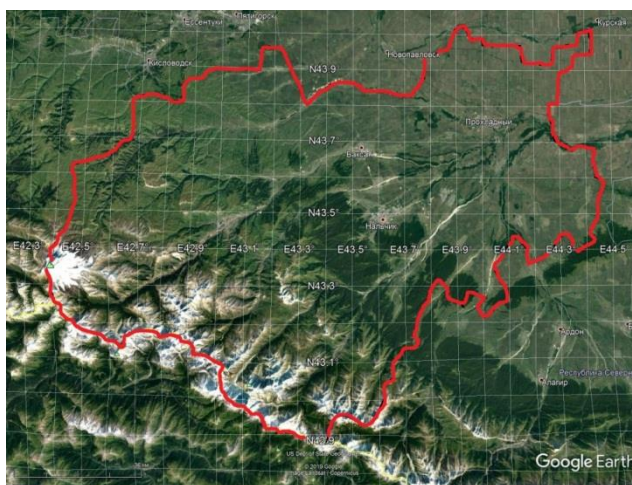


Рис.1 Исследуемая зона, разбитая на ячейки с шагом в $0,1^\circ$

Введем обозначения для ячеек:

i – номер ячейки по широте. С учетом, что широта меняется в пределах $[42,8^\circ-44,1^\circ]$, i будет принимать значения от 1 до 12.

j – номер ячейки по долготе. С учетом, что долгота меняется в пределах от $[42,3^\circ-44,5^\circ]$, j будет принимать значения от 1 до 21.

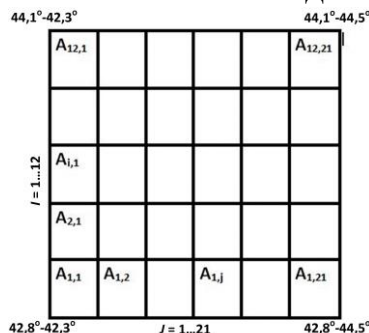


Рис.2 Матрица, где i – переменная по широте, j – переменная по долготе

Из рис.2 рассчитаем размер (площадь S) ячеек: по i – 11,2 км, по j – 8 км, $S \approx 90 \text{ км}^2$.

По желанию размер ячейки можно уменьшить, выбрав шаг $0,05^\circ$ или любой другой, в соответствии с поставленной задачей.

Далее вводится P_{ij} – вероятность возникновения пожара в определенной ячейке. Для этого необходимо учитывать следующие факторы

избирательной грозопоражаемости отдельных участков исследуемой территории:

- 1) лесотипологическая характеристика насаждений и его способность к загоранию;
- 2) среднее число осадков за пожароопасный сезон;
- 3) наличие наземных молниевых разрядов при прохождении грозы;
- 4) рельеф местности (высота над уровнем моря);
- 5) среднее число дней с грозой;
- 6) пересеченность местности (заболоченность) и наличие антропогенно измененных участков (места рубок);
- 7) удаленность от населенных пунктов и мест хозяйственной деятельности человека, исключающая оперативную ликвидацию очага загорания.

Кроме того, как любая статистическая модель, наша модель подразумевает наличие продолжительных наблюдательных данных грозовой активности. Например, для вычисления вероятности возникновения пожара от грозы в США используются временные ряды наблюдений за 30 лет [33].

Для каждой ячейки, площадью 90км², рассчитывается в баллах влияние данных факторов на вероятность возникновения грозового пожара.

В данной работе мы попробовали рассчитать вероятность грозовых пожаров для ячейки «Ирик» (А₅₄), где достоверно были обнаружены удары молний и возгорания растительности [19] (рис.3).



Рис.3 Координаты ударов молний (2018г.) в ячейке «Ирик»

2.2 Грозопеленгационные системы ГПС «Росгидромета»

Грозопеленгационная система Росгидромета (ГПС) разработана и построена ФГБУ «Главная Географическая Обсерватория» совместно с ООО «Алвес» в рамках Федеральной Целевой программы (ФЦП) «Геофизика» в 2008-2015 гг.

В состав ГПС входят аппаратно-программный комплекс (АПК) с программным обеспечением (ПО) версии «Алвес 9.07.14», 57 пунктов регистрации ЭМИ грозовых разрядов на Европейской территории России и Урале (рис. 4), оснащенных сертифицированными Индикаторами грозовой опасности версии «Alwes 7.04» отечественного производства, а также 8 датчиков регистрации гроз LS8000 («Vaisala») американского производства.

По четыре комплекта датчиков расположены в Московском (ФГБУ «НИЦ «Планета») и Северо-Кавказском регионах (ФГБУ «ВГИ») (Табл. 2).



Рис. 4 Схема расположения индикаторов грозовой опасности

Таблица 2

Координаты установки датчиков регистрации гроз LS8000 («Vaisala») в Северо-Кавказском регионе (ФГБУ «ВГИ»)

	Широта	Долгота	Высота, м
п. Кавказский (КЧР)	44,2874 °	42,2404 °	901
г. Зеленокумск (Став. кр.)	44,4337 °	43,9036 °	172
Ставрополь	45,1136 °	42,1012 °	483
п. Исламей (КБР)	43,6787 °	43,4048 °	747
Центральный пункт (ВГИ)	43,4694 °	43,5861 °	540

В таблице 3 приведены сравнительные техно-экономические характеристики средств наблюдений гронопеленгационных систем (ГПС).

Таблица 3

Сравнение техно-экономических характеристик средств наблюдений с отечественными и зарубежными средств ГПС.

Характеристики систем пеленгации гроз	ГПС «Росгидромета» (Россия) (База до 400 км)	ГПС «Верея-МР» (Россия) (Большебазовая)	ГПС TOA(GLN) (США)	ГПС Vaisala (в т.ч. GLD360) (Финляндия-США)	WWLLN (США) (Большебазовая)
Частотный диапазон	1-100 кГц	1-50 кГц	10-500 кГц	1-350 кГц, 110-118 мГц	3-30 кГц
Минимальное число пунктов	4	4	4	4	4
Погрешность измерения координат грозовых разрядов внутри системы (сети)	≤2км	≤3км*	≤1км*	≤1,5км* или 2,5-5 км	2-3км 7-8 км и более при магнитных бурях
Вероятность обнаружения грозовых разрядов	≥90%	≥90%*	≥90%*	≥90%*	15-30%
Автоматическая обработка и передача данных измерений потребителю	в реальном времени	интервал 30 минут	в реальном времени	в реальном времени	есть
Стоимость 1 датчика (млн руб.)	0,8	2,7	4,35	8,0	нет данных

* - непроверенная информация рекламного характера

Действующая в настоящее время отечественная система регистрации молниевых разрядов «Верёя-МР», используемая Рослесхозом, состоит из тридцати четырех датчиков регистрации атмосфериков и обрабатывающего центра. Обмен данными в системе осуществляется с помощью Интернет и электронной почты. Оперативность обновления данных в системе 30 минут. На рис.5 представлена карта размещения датчиков.



Рис. 5 Карта размещения датчиков «Верёя-МР»

Сравнение данных наблюдения за грозами системами «Vaisala» и «Верёя», полученных Центром инфраструктурных проектов (ЦИП), показало, что число разрядов, зарегистрированных системой «Верёя», составляет 8% от количества разрядов, отмеченных системой «Vaisala» [34].

«VAISALA»

В конце 80-х годов прошлого века финская компания «Vaisala» (разработчик и производитель метеорологического оборудования) приобрела права американских и французской компаний на использование их исследований и разработок для создания грозопеленгационного оборудования и приборов для измерения электрического поля атмосферы. Направление по созданию оборудования для определения местоположения гроз получило широкое распространение. Была создана серия датчиков (сенсоров) для построения грозопеленгационных систем. Они впитали в себя опыт разработки низкочастотных пеленгаторов системы LLP (США), датчиков ТОА (США) и высокочастотной системы «Сафир» (Франция).

На территории КБР используется высокочастотный датчик LS8000 («Vaisala»), который работает на частотах 1-350 кГц и 110-118 мГц. Датчик обеспечивает регистрацию молний типа облако-земля (О-З) и облако-облако (О-О). Максимальное допустимое расстояние между пунктами не превышает 180 км (зона прямой видимости). Расчетная эффективность обнаружения электро-магнитного излучения (ЭМИ) молниевых разрядов более 90%. Расчетная погрешность измерения координат разрядов О-О оценивается в 1-2 км (рис.6).



Рис. 6 Внешний вид датчиков LS8000 (высота мачты в зависимости от места установки может изменяться от 2 до 15 метров).

Программное обеспечение поддерживает автоматическую калибровку датчика, его самотестирование и возможность выполнения операций вручную. Эксплуатационные параметры доступны для настройки в удаленном доступе. Датчик регистрирует электромагнитное излучение (ЭМИ) молниевых разрядов (МР) (атмосфериков) в указанном выше диапазоне с расстояний более 1500 км. Датчик LS8000 позволяет на месте формировать первичные данные для автономной обработки и архивации, обеспечивает хранение данных, в том числе о формах атмосфериков в своей памяти при потере связи с сервером [34].

2.3 Предмет исследования – леса КБР

Леса республики являются преобладающим элементом окружающей природной среды. Своими размерами и разнообразием экологических и социально-экономических функций леса образуют основу всех природных комплексов. Воздействуя на баланс воды, плодородие почв, биологическое разнообразие, леса являются также источником лесной продукции, основной из которой является древесина.

По данным государственного лесного реестра площадь лесов в Кабардино-Балкарии составляет 323,1 тыс. га (2016 г.). Лесистость республики - отношение земель, покрытых лесной растительностью, к общей площади земель - составляет 15,3%, Согласно Лесному кодексу Российской Федерации (ЛК РФ, 2006 года статья 8) лесные участки в составе земель лесного фонда республики находятся в федеральной собственности.

Инвентаризация лесного фонда КБР проводилась с 1999 по 2012 годы Государственным специализированным лесоустроительным предприятием «Воронежлеспроект» на всей площади методом наземной глазомерной и глазомерно-измерительной таксации в соответствии с требованиями Инструкции по проведению лесоустройства в лесном фонде России (части 1 и 2, 1995 год) и решениями лесоустроительных совещаний.

Основные лесообразующие породы Кабардино-Балкарии - это бук, дуб, ясень, сосна, береза, осина, тополь и другие, они занимают более 69 % земель, покрытых лесной растительностью. Прочие древесные породы (граб восточный, груша, каштан, орех грецкий, орех маньчжурский, яблоня и др.) занимают 29,2% земель, остальная площадь кустарники (бересклет, лещина, облепиха, боярышник, мушмула и др.) – 1,8 % (2015г.).

Твердолиственные породы занимают 60,8% покрытых лесом площадей, мягколиственные - 34,6% и хвойные - 4,6%.

Для оценки лесопожарной ситуации принята пятибалльная шкала классов природной пожарной опасности, разработанная академиком Мелеховым И.С. [21]. В соответствии с этой шкалой для Кабардино-Балкарской Республики разработано распределение лесных участков по классам природной пожарной опасности. Земли лесного фонда республики дифференцированы по классам пожарной опасности (табл. 4).

Таблица 4

Распределение лесов КБР по классам природной опасности

Классы пожарной опасности	Площади лесов, тыс. га	Проценты
---------------------------	------------------------	----------

лесных участков		
I	11,4	3,53
II	0,69	0,21
III	85,9	26,59
IV	98,39	30,45
V	126,72	39,22

Средний класс природной пожарной опасности равен 3,9, что свидетельствует о невысокой степени пожарной опасности в лесах республики. Наиболее опасные в пожарном отношении участки леса (I - III классы) занимают 31,5% площади, где возможны низовые пожары в течение всего пожароопасного сезона.

Таблица 5

Распределение территории (тыс. га) по классам пожарной опасности в разрезе лесничеств Госкомлеса КБР

Лесничество	Классы пожарной опасности						Средний класс
	1	2	3	4	5	итого	
Зольское	-	-	1,5	12,68	1,8	15,98	4,0
Баксанское	-	-	6,9	2,96	0,1	9,96	3,2
Майское	-	-	3,8	10,47	1,3	15,57	3,8
Эльбрусское	1,0	0,5	9,5	9,58	0,2	20,78	3,5
Чегемское	0,5	0,09	4,3	9,2	1,1	15,19	3,8
Лескенское	-	-	17,2	15,09	0,6	32,89	3,4
Терское	-	-	1,9	2,47	1,72	6,09	4,3
Черекское	-	-	17,6	20,36	1,0	38,96	3,5
Нальчикское	-	0,01	23,2	15,29	0,8	39,30	3,4
Всего:	1,5	0,6	85,9	98,1	8,62	194,72	3,7

В разрезе лесничеств наиболее высокий средний класс пожарной опасности отмечается в Баксанском, Лескенском, Нальчикском лесничествах, в которых наряду с лиственными породами произрастают хвойные насаждения. Вместе с тем 94,5% площади составляют участки третьего и четвертого классов природной пожарной опасности, где пожары возможны только в периоды пожарных максимумов или после длительных засух (табл.5).

Пожароопасный сезон (по фактической горимости) наступает по мере просыхания поверхности почвы и напочвенного покрова.

Предпосылкам к чрезвычайной лесопожарной ситуации являются:

- малоснежная зима, длительный бездождевой период (15 - 20 дней) с высокой (выше средней многолетней) среднесуточной температурой воздуха и малой относительной влажностью в начале пожароопасного сезона, когда степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды характеризуется IV, V классами пожарной опасности; атмосферная засуха в любое время пожароопасного сезона [21].

Среднегодовая фактическая продолжительность горимости лесов в республике составляет 180 - 200 дней и длится с апреля до октября.

2.4 Степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды

В лесной пирологии принято классическое определение пожарной опасности - угроза возникновения пожара выражаемая его вероятностью, а

также современное определение - угроза нанесения ущерба в результате деятельности неуправляемых лесных пожаров.

Для вычисления комплексного показателя пожарной опасности (КППО) в лесу по условиям погоды использует данные о температуре воздуха, температуре точки росы, а также о количестве выпавших жидких осадков. В пожароопасный сезон ежедневно, на основе оперативных данных метеорологических наблюдений, поступающих в Гидрометцентр России с более чем 1200 станций России, проводится расчет фактического и прогностического (на 3-5 дней) метеорологического КППО в лесах. Рассчитанные значения КППО формируются в специальные таблицы по административному и территориальному признаку, наносятся на карты и передаются в Центральную базу авиационной охраны лесов «Авиалесоохраны», а также в МЧС России.

Общероссийская шкала имеет пять классов пожарной опасности в лесу по условиям погоды (табл. 6).

Таблица 6

Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды

Класс пожарной опасности по условиям погоды	Значение комплексного показателя	Степень пожарной опасности
I	До 300	—
II	От 301 до 1000	Малая
III	От 1001 до 4000	Средняя
IV	От 4001 до 10000	Высокая
V	Более 10000	Чрезвычайная

Опасность появления верховых, сильных низовых и почвенных пожаров особенно усиливается при комплексных показателях более 5000. При этом резко возрастает опасность появления массовых вспышек пожаров [42].

2.5 Характеристика места исследования Ячейки «Ирик» (А5,4)

Согласно лесному районированию исследуемый район Кабардино-Балкарской Республики в соответствии с Приказом Министерства природных ресурсов России от 09.03.2007 N 68 «Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации» [35] расположен в горной часть республики (рис. 7, 8).



Рис. 7 ООПТ КБР: Кабардино-Балкарский Высокогорный государственный заповедник и Национальный парк «Приэльбрусье»



Рисунок 8 Административное деление

Долина реки Ирик (левого притока Баксана) (рис.9) находится на территории Кабардино-Балкарского национального парка «Приэльбрусье» (рис.10), самого высокогорного парка из семи самых примечательных особо охраняемых природных территорий (ООПТ), выбранных Всемирным фондом дикой природы (WWF) [40].

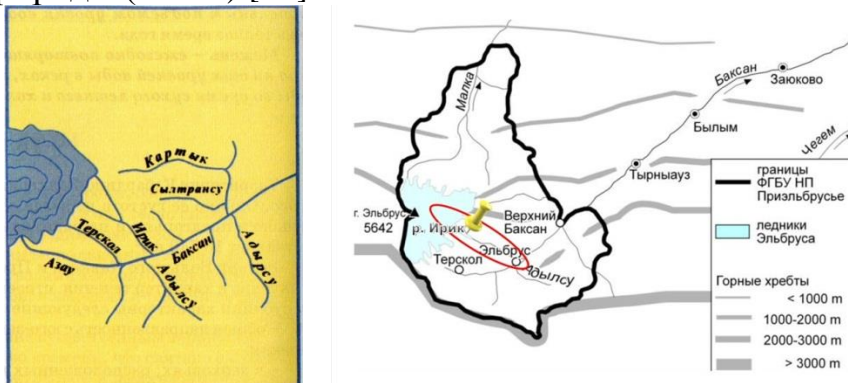


Рис 9 Река Ирик на территории Нацпарка «Приэльбрусье»



Рис.10 Расположение Ячейки «Ирик» (A_{5,4}) на территории ООПТ Нацпарка «Приэльбрусье»

2.4.1 Рельеф и климатические условия A_{5,4}

По климатическим условиям территория КБР подразделяется на 3 зоны [36,37]: степную, предгорную и горную, которые соответствуют 3-м ступеням рельефа КБР (равнина, предгорья, горная часть республики) (рис. 11, 12).



Рисунок 11. Географическая карта КБР

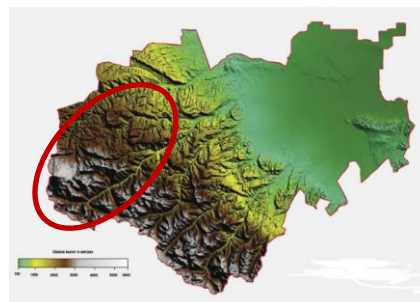


Рисунок 12. Орографическая карта КБР

На территории национального парка климат, в целом, умеренно-континентальный, с холодной зимой и жарким летом. Ячейка A_{5,4} расположена на III «ступени» рельефа КБР - в горной части республики (1

816 – 2 170 м над у.м.), которой соответствует высокогорный влажный тип климата с избыточным увлажнением, коэффициент увлажнения 1,7 [36,37]. Среднегодовое количество осадков в районе Приэльбрусья составляет 620 мм, в отдельные годы оно может возрастать до 945 мм. В начале лета довольно часты грозы.

2.4.2 Лесотипологическая характеристика насаждений и его способность к загоранию в исследуемой ячейке

Вертикальная зональность климата обуславливает вертикальную поясность растительного покрова (рис.13). Основными поясными типами растительности национального парка являются:

- нивальный,
- субнивальный,
- альпийский субальпийский,
- горно-лесной
- горно-степной

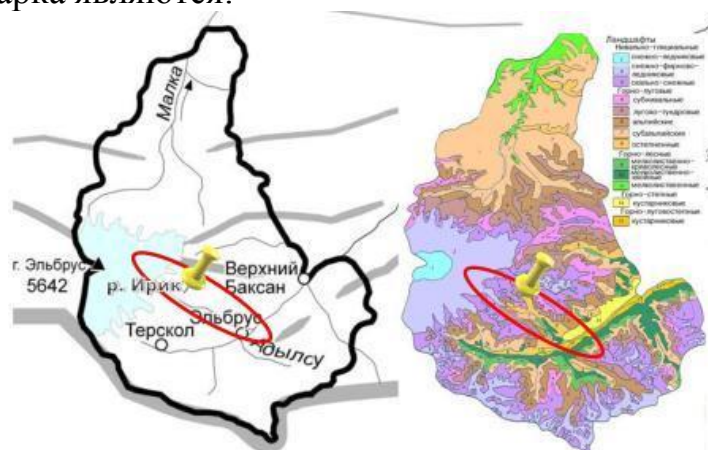


Рис. 13 Основные поясные типы растительности национального парка «Приэльбрусье»

На высоте Ячейки $A_{5,4}$ (1 816 – 2 170 м над у.м.) долины и нижние части склонов покрыты высокоствольными сосновыми лесами. Примесь других пород в них незначительна: встречаются береза, рябина, ива. В подлеске - можжевельник, барбарис, шиповник, по более влажным местообитаниям - заросли смородины [40].

Площадь лесов Национального парка «Приэльбрусье» составляет 74,7 тыс. га. Учет земель лесного фонда осуществляется национальным парком, территория которого отнесена к землям особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Площадь лесов и запас древесины, распределение площади лесного фонда по категориям земель и преобладающим древесным породам приводятся в таблице 7.

Таблица 7

Площадь лесов и запас древесины ООПТ «Национальный парк «Приэльбрусье»

Показатели	На 1 января 2012 года
Общая площадь лесов (га)	74651
Покрытые лесной растительностью	8887
В том числе с преобладанием:	
Хвойных пород	5008
из них сосна	5008
хвойных молодняков до 20 лет	43
Мягколиственных пород	3854

из них молодняков до 20 лет	70
Запас древесины общий	1313,3
В том числе спелых и перестойных лесов	670,0
Из общего запаса древостой с преобладанием: хвойных пород	1052,3
Из них спелых и перестойных	589,2
Мягколиственных пород	260,4
Общий средний прирост	12,3
Лесные культуры, переведенные в покрытые лесной растительностью земли	53
Несомкнувшиеся лесные культуры	5
Фонд лесовосстановления	22

По классу пожарной опасности Эльбрусское лесничество относится к среднему классу – 3,5 (см. табл. 5), с преобладанием растительности III (9,5 га леса) и IV (9,6 га леса). Как известно, наиболее опасными в пожарном отношении являются участки I - III классы леса. Учитывая, что на территории КБР пожароопасные лесные участки занимают всего 31,5% площади, где возможны низовые пожары в течение пожароопасного сезона (табл. 4), Ячейка А_{5,4} представляет интерес для нашего исследования. Тем более, что по свидетельству местных жителей долина реки «Ирик» притягивает «как магнит» молнии (рис.11).



Рис 11 Очаг в ущелье Ирик, июнь 2018, Фото – Елканов А.С.

Глава III Результаты исследований и их обсуждение

3.1 Анализ исторических данных (2009-2019 гг.)

Лаборатория атмосферного электричества отдела стихийных явлений ФГБУ «Высокогорного Геофизического института» Росгидромета г. Нальчика предоставила в наше распоряжение карты плотности грозовых разрядов, полученных по данным грозопеленгационной сети (ГПС) LS8000 («Vaisala») на территории Северного Кавказа (рис. 12,13).

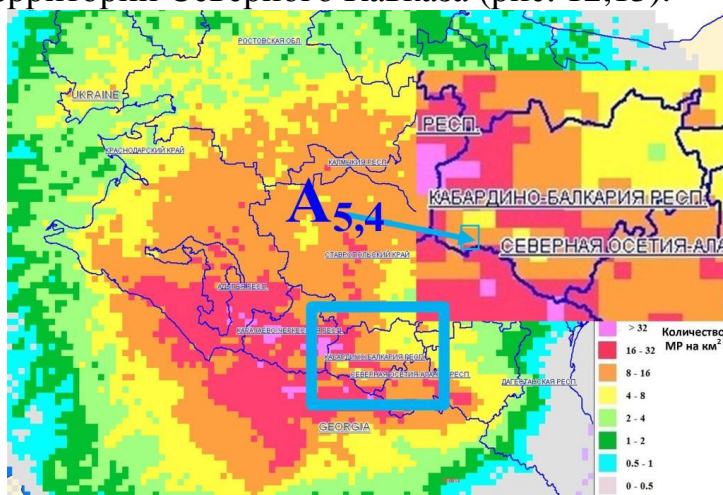


Рис. 12 Интегральная плотность грозовой активности за период 2009-2019 гг. на территории Северного Кавказа и в частности, КБР

На рисунке 12 показана плотность молниевых разрядов по всей территории ЮФО и СКФО. Размер ячейки 10x10 км. Цвет ячейки показывает количество молниевых разрядов, приходящихся на 1 км² в этой ячейке, за период с 01.01.2009 года по 31.12.2019 года. Например, в выделенной ячейке цвет соответствует диапазону 8 – 16 разрядов на 1 км². Количество молний приходящихся на эту ячейку находится в диапазоне 800 – 1600 разрядов, так как в одной ячейке 100 км² (10 000 га).

Из архивных данных о МР была сделана выборка МР, которые приходятся на Ячейку А_{5,4}. Определены максимальные, минимальные, медианные, средние значения токов отрицательной и положительной полярности, а также их интенсивность (плотность). Данные параметры можно рассчитать для каждой ячейки А_{ij}.

Следует отметить, что эффективность грозопеленгации в горной местности значительно ниже, чем это было бы на плоскогорье (например, в Сибире).

За время существования грозопеленгационной системы LS8000 («Vaisala») в указанной Ячейке А_{5,4} зафиксировано 1 700 молниевых разрядов (МР) облако-земля, что соответствует цветовой индикации ячейки (рис. 12).

Вид и диапазон молниевых разрядов за 2009-2019 гг. в Ячейке А_{5,4} представлены в таблице 8.

Таблица 8

Вид и диапазон молниевых разрядов за 2009-2019 гг. в Ячейке А_{5,4}

Вид молниевых Разрядов	Параметры тока МР
------------------------	-------------------

	КОЛ-ВО (интенсивность)	min(кА)	max (кА)	med (кА)	ср. (кА)
Положительные	446	+3,7	+84	+7,6	+9,6
Отрицательные	1 254	-3,3	-95	-8,6	-11,4

3.2 Анализ показателей МР в Ячейке А_{5,4} за 2018 г

Чтобы скорректировать вероятность удара молнии и последующего возгорания растительности, были проанализированы архивные данные по МР в Ячейке А_{5,4} за 2018г, когда достоверно было установлен феномен грозового возгорания [19] (рис.13).

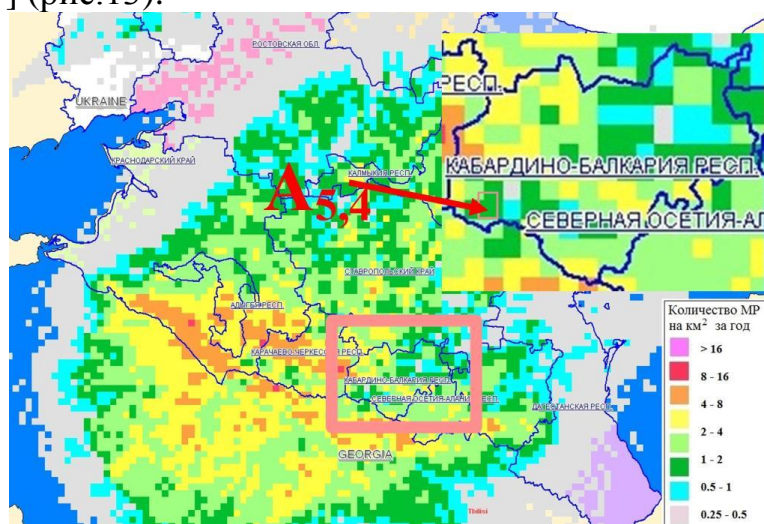


Рис. 13 Интегральная плотность грозовой активности за 201 г на территории Северного Кавказа и в частности, КБР

Интенсивность грозовой активности за 2018г составляла всего $\approx 5\%$ от интегральной активности за 10-летний период (табл.9).

Таблица 9

Вид и диапазон молниевых разрядов за 2018 г. в Ячейке А_{5,4}

Вид молниевых Разрядов	Параметры тока МР				
	КОЛ-ВО (интенсивность)	min(кА)	max (кА)	med (кА)	ср. (кА)
Положительные	22	+4,8	+14,3	+6,6	+7,7
Отрицательные	67	-4,2	-48	-7,9	-9,7

3.3 Параметры для расчета вероятности грозового пожара растительности в ячейке

Для расчета вероятности возникновения пожара растительности в каждой ячейке необходимо определить:

1) «исторический» максимум силы тока МР $I_{\max i,j}$. Для ячейки А_{5,4} $|I_{\max 5,4}| = 95\text{кА}$ (табл.8).

2) «Критическую» силу тока МР $I_{\text{кр},i,j}$ для каждой ячейки.

В 2018г в ячейке А_{5,4} установлен факт возгорания можжевельника и известна максимальная сила тока МР $|I_{\max 5,4j}|_{2018} = 48\text{кА}$ (табл.9), т.е. примерно в 2 раза меньше, чем $|I_{\max 5,4}| = 95\text{кА}$. Логично предположить, что возгорания от МР может произойти при силе тока $|I_{\text{кр},5,4}| \geq \frac{1}{2}|I_{\max 5,4}|$. Однако, для более точного

определения коэффициента ($k = 1/2$) необходимы более детальные и долгосрочные исследования.

3) Класс горимости $K_{ij} = \{1,2,3,4,5\}$ (табл.4) [21] для каждой ячейки. В возникновении лесного пожара от действия молниевых разрядов важную роль играет способность к горению лесных горючих материалов, которая зависит от типов растительности и их влагосодержания.

В соответствии с данными Инвентаризации лесного фонда КБР [35-37] для Эльбрусского района (рис.8) установлен класс пожарной опасности = 3,5 (табл.5). Следует отметить, что данный параметр необходимо уточнять для каждой ячейки, имеющей значительно меньший размер, чем вся территория лесничества, поскольку в связи с большой пересеченностью рельефа в формировании климата исключительное значение приобретают местные факторы: высота над уровнем моря, крутизна склонов, формы рельефа и т.п., при этом резко меняются все климатические показатели: радиационная напряженность, ветровые условия, температура и влажность воздуха (рис.13). Каждая высотная зона имеет свои климатические особенности. В горах климатические условия подчинены высотной поясности.

Для территории с высотной поясностью растительности определение класса пожароопасности достаточно трудоемко, так как необходим сбор слоя лесных горючих материалов и их сушка в лабораторных условиях с целью получения необходимых коэффициентов для уравнения детерминированной части модели.

Условно на данном этапе исследования можно принять $K_{5,4} = 3,5$, хотя это слишком грубое приближение.

4) Комплексный показатель пожарной опасности (КППО) в лесу по условиям погоды, поскольку дополнительную возможность уточнения прогнозов пожаров в ячейках дает учет метеоусловий. Увеличение количества лесных пожаров и их площадей связаны с установлением экстремальных погодных условий, к которым, прежде всего, относят засуху и повышенную грозовую активность [8].

3.4 Алгоритм реагирования

Отличительной чертой методов своевременного прогноза грозовой пожароопасности является использование различных математических подходов к оценке зависимости возникновения очагов горения от наблюдаемой интенсивности гроз. Самый простой подход количественной оценки вероятности возникновения пожара от действия молний принят в США [33]. Теория предсказания количества лесных пожаров от гроз основана на статической и динамическо-вероятностной моделях риска. В рамках этих теорий учитываются такие параметры, как среднегодовое число дней с грозой, постоянно обновляемые данные о погоде, а также дополнительные весовые коэффициенты значимости указанных факторов и оценки случайных помех. В основу расчетных моделей риска возникновения пожаров от гроз положено следующее эмпирическое соотношение:

$$F_{ij}(\text{ЛПИМ}) = F_{ij}(\text{ЛП/М}) \cdot F_{ij}(\text{М}), \quad (1)$$

Где $F_{ij}(\text{М})$ - вероятность (риск) появления молнии, определяемая как отношение среднего

числа дней с грозой к числу дней пожароопасного сезона;

$F_{ij}(ЛП/М)$ - вероятность (риск) возникновения лесного пожара при условии, что происходит удар молнии, которая вычисляется как отношение числа дней с пожарами от гроз к числу дней с грозой за пожароопасный сезон;

$F_{ij}(ЛПМ)$ - вероятность (риск) возникновения пожара от грозы;

коэффициенты i и j , соответственно, номера разных участков территории и дней пожароопасного сезона.

Для вычисления вероятности возникновения пожара от грозы по соотношению (1) в США используются наблюдательные данные за 30 лет [33].

В отличие от американской в разработанной нами модели для определения вероятности возникновения грозового пожара используется ряд независимых друг от друга данных:

- 1) «эффективный» удар молнии в конкретной ячейке, информацию о которой дает ГПС;
- 2) комплексный показатель пожарной опасности (КППО) в лесу по условиям погоды – информация от Росгидромета;
- 3) класс горимости растительности – из Лесного плана Кабардино-Балкарской Республики.

Тогда в I приближении вероятность возникновения пожара от МР в определенной ячейке $A_{i,j}$ можно выразить следующим образом:

$$P_{ij} = \alpha \cdot P_{ij}(\text{усл.пог.}) \cdot P_{ij}(\text{гор-ти}) \cdot P_{ij}(I) \quad (2)$$

Где $P_{ij}(\text{усл.пог.})$ – вероятность возникновения пожара, связанная с погодными условиями (КППО);

$P_{ij}(\text{гор-ти})$ – вероятность возникновения пожара, связанная с горимостью растительности ($K_{i,j}$);

$P_{ij}(I)$ - вероятность возникновения пожара в зависимости от силы тока в канале МР.

На первоначальном этапе, до накопления достаточного количества экспериментальных «исторических» данных, предлагается присвоить компонентам вероятности следующие значения, которые в дальнейшем будут корректироваться по мере накопления массива данных:

$$P_{ij}(\text{усл.пог.}) = \begin{cases} P_{ij}(\text{усл.пог.}) = 1, & \text{если КППО} \geq 4000 \\ P_{ij}(\text{усл.пог.}) = 1/\text{КППО}, & \text{если КППО} \leq 4000 \end{cases}$$

$P_{ij}(\text{гор-ти}) = 1/K_{ij}$, где $K_{ij} = \{1,2,3,4,5\}$ (табл.5);

$$P_{ij}(I) = \begin{cases} P_I = 1/I, & I \geq I_{\max} \\ P_I = I_{\max}, & I \geq \frac{1}{2} I_{\max} \\ P_I = 0 & I \leq \frac{1}{2} I_{\max} \text{ (требует коррекции)} \end{cases}$$

$\alpha \approx 1$ – коэффициент пропорциональности

Выводы

В соответствии с поставленными задачами на данном этапе исследовательской работы предложена вероятностная модель риска возникновения лесного пожара по причине действия гроз.

Проанализированы «исторические» данные плотности МР за период 2009-2019 гг. на территории КБР. На основе данных ГПС за 11-летний период и данных грозовой активности за 2018г для конкретной ячейки А_{5,4} (ущелье Ирик) была предложена эмпирическая формула со следующими компонентами: вероятность возникновения пожара, связанная с погодными условиями (КППО); вероятность возникновения пожара, связанная с горимостью растительности; вероятность возникновения пожара в зависимости от силы тока в канале МР.

Вероятностная модель риска возникновения лесного пожара по причине действия гроз, подразумевает наличие продолжительных временных рядов наблюдений грозовой активности и грозовой пожароопасности.

Впервые для изучения динамики и интенсивности грозовой активности на территории Северного Кавказа в ФГБУ «ВГИ» (Высокогорный геофизический институт) осуществляется регистрация гроз системой LS8000 («Vaisala») для прогнозирования грозовых пожаров.

Данную разработку целесообразно использовать для больших труднодоступных лесных массивов с высоким процентом пожаров от гроз, расположенных в Сибири и Дальнем Востоке, где определение показателей горимости на основе ретроспективных данных о горимости лесов менее трудоемки. Большие более-менее «однородные» территории предполагают большой объем данных, с помощью которых легко корректировать влияние каждого фактора риска на возможность возникновения грозового пожара в эмпирическом соотношении (2).

В настоящее время аномально жарким в России является каждое второе лето. Прогноз на основе грозопеленгации станет основой для проектирования и оценки эффективности противопожарных мероприятий.

Выражаю глубокую признательность и благодарность

Гузиеву Хусейну Юсуповичу, к.б.н, заведующему отдела естественных наук ГБУ ДО «ЭБЦ», руководителю Молодежного клуба РГО «ЮНЭК» за организацию горного мероприятия в ущелье Ирик;

Кулиеву Далхату Дсниловичу, старшему научному сотруднику, заведующему лаборатории атмосферного электричества ФГБУ ВГИ Росгидромета РФ за оказанную помощь при изучении карт плотностей грозовой активности;

Бердановой Елене Ивановне, педагогу дополнительного образования ГКУ ДО «ЭБЦ», моему научному руководителю.

Список литературы

1. Азметов, Р.Р. Использование данных о грозовой активности при мониторинге лесных пожаров и перспективы развития ведомственной системы грозопеленгации / Р.Р. Азметов // Сборник трудов 7-й международной специализированной выставки «Пожарная безопасность XXI века» – М. : Эксподизайн, ПожКнига, 2008. — С. 172-176.
2. Азметов, Р.Р. Использование методов радиотехнического контроля испытаний ядерных отходов в интересах народного хозяйства / Р.Р. Азметов, А.И. Беляев, В.А. Григорьев, Б.П. Знаменщиков, В.М. Московенко // Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия. Материалы международной конференции – Томск : Изд-во Том. ун-та, 2005. — С. 9-12.
3. Алехина, Н.М., Изменения грозовой активности над Западной Сибирью // Региональный мониторинг атмосферы. Часть 4. Природно-климатические изменения: коллективная монография / Н.М. Алехина, В.П. Горбатенко; под ред. М.В. Кабанова. – Томск: МГП «РАСКО». — 2000. - С. 83-109.
4. Базелян, Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. - М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2001. - 320 с.
5. Воробьев, Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов ; под ред. Ю. Л. Воробьева. - М. : ДЭКС-ПРЕСС, 2004. - 312с.
6. Главач, А. Молния и человек / А. Главач. – Алма-Ата : Казахстан, 1989. – 169 с.
7. Грибанов, Л.Н. Грозовые явления и лесные пожары / Л.Н. Грибанов // Ботанический журнал. — 1955. — Т. 40. — № 3. - С. 429-432.
8. Григорьев, Ал.А. Природные и антропогенные лесные пожары: компонент экодинамики и стихийные бедствия / Ал.А. Григорьев, К.Я. Кондратьев // Изв. РГО. — 2005. — Т. 137. — Вып. 1. - С. 21-35.
9. Дмитриев, А.Н. Грозовая активность Горного Алтая / А.Н. Дмитриев, А.В. Шитов, Н.А. Кочеева, С.Ю. Кречетова. – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2006 – 190 с.
10. Дмитриев А.Н., Грозы и лесные пожары от гроз на территории Республики Алтай. Монография / А.Н. Дмитриев, С.Ю. Кречетова, Н.А. Кочеева. – Горно-Алтайск, ГАГУ, 2011. – 155с.
11. Иванов, В.А. Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья / В.А. Иванов, Н.А. Коршунов, П.М. Матвеев. – Красноярск : СибГТУ, 2004. – 132 с.
12. Захаров, А.И. Пожары от гроз в лесах Тюменской области / А.И. Захаров, Л.В. Столярчук //Лесное хозяйство. — 1977. - №3. — С. 74-76.
13. Иванов, В.А. Грозы и лесные пожары / В.А. Иванов // Лесные пожары и их последствия. Красноярск : ИЛ и ДСОАН СССР, 1985. — С. 38-46.

- 14.Иванов, В.А. Лесные пожары от гроз на Енисейской равнине : автореферат ... канд.с.-х.наук / В.А. Иванов. – Красноярск, 1996. — 23 с.
- 15.Качурин, Л.Г. Эволюция фронтальных грозových очагов / Л.Г. Качурин // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. — 1979. — Т. 15. — №2. — С. 187-193.
- 16.Козлов, В.И. Инструментальные наблюдения гроз в Якутии в 2003-2006 годах / В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, Р.Р. Каримов // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. - 2008. - Т. 51. - № 10. - С. 825-829.
- 17.Козлов, В.И. Лесные пожары в Якутии от гроз / В.И. Козлов, В.А. Муллаяров, В.С. Соловьев //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2009 – Т. 2. - № 6 - С. 388-393.
- 18.Коршунов, Н.А. Лесные пожары от молний на территории Красноярского Приангарья : автореферат ... кан.с.-х.н. / Н.А. Коршунов. – Красноярск, 2002. — 26 с.
- 19.Кулиева Т.Д. К вопросу использования инновационных методов гронопеленгации для выявления лесных пожароопасных районов на особо охраняемых территориях Кабардино-Балкарской республики/ Материалы XIV Региональной естественнонаучной конференции школьников "Школа юного исследователя».- Нижний Новгород, 2019
- 20.Листов, А.А. Лесные пожары от гроз в лесах Севера / А.А. Листов // Лесное хозяйство. — 1967. — №5. — С. 38-40.
- 21.Мелехов, И.С. Лесная пирология и ее задачи / И.С. Мелехов // Современные проблемы охраны лесов от пожаров и борьба с ними. - М. : Лесная промышленность, 1965. - С. 5-25.
- 22.Нориндер, Х. Исследование грозových разрядов / Х. Нориндер. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956.- 31 с.
- 23.Парамонов, Е.Г. Крупные лесные пожары в Алтайском крае / Е.Г. Парамонов, Я.Н. Ишутин. – Барнаул : Полиграфическое предприятие «Дельта», 1999. – 193 с.
- 24.Соловьев, В.С. Комплексный мониторинг грозовой активности и лесных пожаров по данным наземных и спутниковых наблюдений / В.С. Соловьев, В.И. Козлов, Р.Р. Каримов, М.С. Васильев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли и космоса. - 2010. - Т. 7. — №4. — С. 218-222.
- 25.Софронов, М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири / М.А. Софронов. - М. : Наука, 1967-- 149 с.
- 26.Софронов, М.А. Огонь в лесу / М.А. Софронов, А.Д. Вакуров. – Новосибирск : Наука, 1981 – 128 с.
- 27.Стекольников, И.С. Физика молнии и грозозащита / И.С. Стекольников. - М. -Л. : Изд-во АН СССР, 1943. - 230 с.

- 28.Столярчук, Л.В. Условия возникновения массовых лесных пожаров от гроз / Л.В. Столярчук, В.А. Камышанова // Тр. ГГО. — 1984. — Вып. 474. — С. 120-126.
- 29.Столярчук, Л.В. Повторяемость лесных пожаров и их связь с формами атмосферной циркуляции / Л.В. Столярчук, В.А. Камышанова // Тр. ГГО. — 1984. — Вып. 474. — С. 126-129.
- 30.Чалмерс, Дж. А. Атмосферное электричество / Дж. А. Чалмерс. - Л.: Гидрометеиздат, 1974. - 421 с.
- 31.Шахраманьян, М.А. Новые информационные технологии в задачах обеспечения национальной безопасности России (природно-техногенные аспекты) / М.А. Шахраманьян. – М.: ФЦ ВНИИ ГОЧС, 2003. – 398 с.
- 32.Щетинский, Е.А. Авиационная охрана лесов. Учебное пособие для летчиков наблюдателей /Е.А. Щетинский. – М.: ВНИИЛМ, 2001. - 488 с.
- 33.Smeyer, Franklin R., Model for the prediction of lightningconsed forest fires // Milwaukee. Symp. Autamat Contr. Milwaukes. Wiac. 1974. - New York, 1974. - P. 203-208.
- 34.Предложения по развитию грозопеленгационной системы Росгидромета на азиатской территории России/ФГБУ Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова//Санкт-Петербург 2018
- 35.Приказ Министерства природных ресурсов России от 09.03.2007 N 68 «Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации»
- 36.Указ Главы Кабардино-Балкарской республики о внесении изменений в указ президента Кабардино-Балкарской республики от 31 декабря 2008 года n 143-уп «Об утверждении лесного плана кабардино-балкарской республики на 2009 - 2018 год»]
- 37.УКАЗ от 31 декабря 2008 года N 143-УП Об утверждении Лесного плана Кабардино-Балкарской Республики на 2009-2018 годы/ Электронный ресурс/ <http://oopt.aari.ru/doc/>
- 38.В какие деревья чаще всего ударяет молния Электронный ресурс // <https://www.meteo Vesti.ru/news/63379615939>
- 39.«Иркутская база авиационной охраны лесов» Электронный ресурс // <http://aviales-irk.ru/node/106>
- 40.Нацпарк «Приэльбрусье» в КБР признан самым высоким в России Электронный ресурс // <http://vestikavkaza.ru/news/Natspark-Prielbruse-v-KBR-priznan-samym-vysokim-v-Rossii.html>// Вестник Кавказа
- 41.Растительный мир Приэльбрусья Электронный ресурс // <http://www.elbrustourservice.ru/flora.html>].
- 42.Теребнев в.В., Артемьев н.С., Грачев в.А., Сабинин о.Ю. Противопожарная защита и тушение пожаров. //Электронный ресурс <https://studfile.net/preview/6459546/>