

Разработка информационной модели прогноза появления пожаров растительности по данным спутникового наблюдения MODIS

Халиманенков Андрей Сергеевич

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
Студент*

Глаголев Владимир Александрович

*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема
к.г.н., доцент кафедры информационных систем, математики и правовой информатики*

Аннотация

Проведено исследование погодных условий, полученных с помощью спутников MODIS, а также научных работ и методик по определению пожарной опасности. Разработана модель информационной системы по прогнозированию пожаров растительности.

Ключевые слова: создание информационных систем, база данных, прогнозирование, обработка данных, MODIS, природные пожары.

Development of an information model for predicting the occurrence of vegetation fires based on MODIS satellite observation data

Khalimanenkov Andrey Sergeevich

*Sholom-Aleichem Priamursky State University
Student*

Glagolev Vladimir Alexandrovich

*Sholom-Aleichem Priamursky State University
the candidate of geographical Sciences, associate professor of the Department of information systems, mathematics and legal informatics*

Abstract

A study of weather conditions data obtained with the help of MODIS satellites, and scientific papers and methods for determining fire danger, was conducted. A model of an information system for forecasting vegetation fires was developed.

Keywords: information systems development, database, forecasting, data processing, MODIS, wildfires.

Введение

Жизнь и планы людей сильно ограничиваются погодными условиями. От них зависит не только самочувствие каждого конкретного человека, но также и условия, которые могут как мешать, так и благоприятствовать

ведению хозяйства, строительства, бизнеса и других работ, а также отдыха. Зависимость от погодных условий росла с каждым годом истории становления и развития всего человеческого рода. Ведь в родном краю люди примерно представляли, что их может ждать, но при походах в новые земли они даже представить не могли с чем могут столкнуться и к чему готовиться. Зима и холод мешали осваивать новые земли, а дождь помогал расти хозяйственным культурам. При этом отсутствие дождя вызывало засуху, пожары и, как следствие, голод.

Целью исследования является разработка информационной модели, реализующей анализ метеоданных полученных с метеостанций и со спутника MODIS, а также изучения их отличие при прогнозе пожарной опасности на территории Дальневосточного федерального округа Российской Федерации.

В настоящее время на всей территории РФ используется ИС дистанционного мониторинга лесных пожаров Министерства природных ресурсов РФ [1]. Основной задачей системы является обнаружение лесных пожаров, предоставление информации в авиационную службу охраны лесов от пожаров (ФГУ «Авиалесоохрана»). ИС состоит из пяти блоков программ: сбор информации о горимости лесов по данным наземных и авиационных наблюдений на активно охраняемой территории лесного фонда [2]; ГИС мониторинга лесных пожаров федерального и регионального уровней [3] включает пространственную интеграцию оперативных данных, анализ текущей пожарной обстановки, обработку и подготовку отчетной картографической информации; спутниковый мониторинг пожаров растительности, позволяющий получать количественные оценки площадей, пройденных пожарами растительности в течение пожароопасного сезона и по его завершению; пеленгацию молниевых разрядов, позволяющая на основе информации о координатах молниевых разрядов, прогнозировать время и место вероятного возникновения пожаров растительности, выдавать соответствующие предупреждения службе охраны лесов; сбор и распространение информации о синоптической обстановке по данным Роскомгидромета, ежедневно поставляющим авиационной охране метеорологическую информацию с более чем 300 ГМС по всей России.

Зарубежные ИС прогноза пожарной опасности основаны на региональных эмпирических моделях. Например, Министерство природных ресурсов Канады используют ИС лесных пожаров CWFIS, моделирования и картография пожаров Fire M3, принятия решения при тушении пожаров sFMS. Первая предназначена для оценки пожарной опасности по условиям погоды и моделирования возможного распространения пожаров. Система sFMS работает с текущими метеоданными, позволяет создавать карты дневной и почасовой пожарной опасности, поведения пожаров, вероятности зажигания, предсказывать влияние климатических изменений на уровень лесной пожарной опасности, выгоревшую площадь, потребление РГМ и эмиссию парниковых газов. Системы Fire M3 предназначена для поиска активных пожаров растительности, оценки их площади и передачи данных в систему CWFIS. В США используется ИС оценки пожаров WFAS, которая

реализована на основе методики NFDRS. В ней отображается итоговая (бальная) оценка пожарной опасности по четырем индексам: возникновения пожара по вине человека MCOI; возникновения пожара в результате грозовой активности LOI; горения BI и пожарной нагрузки FLI. По данным спутниковых снимков AVHRR NDVI система выдает карты влажности РГМ и «зелености» древесной растительности [4, 5].

В Европе создана система EFFIS, функционирующая на основе региональных методик расчета метеорологических индексов: Франция – ORIEUX [6], I87 [7], NumRisk [8]; Испания – ICONA [9], IREPI [10]; Португалия – PORT [11]. Результатом работы системы являются электронные карты распределения индексов на основе данных о влажности почвенного покрова, скорости ветра, степень облачности, относительная влажность воздуха и т.д.

Анализ приведенных выше систем показывает:

- системы, разработанные в РФ, позволяют рассчитывать текущую пожарную опасность или проводить прогнозы с ограниченным набором метеоданных и методик оценки пожарной опасности; при этом единая методика расчета показателей пожарной опасности использует для всех регионов РФ; кроме того не проводится прогноз возникновения пожаров растительности по комплексу природно-антропогенных факторов; не производится оценка напряженности текущих пожароопасных сезонов и не выявляются тенденции их изменения на основе многолетних наблюдений;

- зарубежные системы ориентированы на эмпирические данные и модели оценки пожарной опасности на конкретной территории, при этом в расчетах применяются исходные данные, которые не определяются в РФ, что делает невозможным использование их на данной территории.

Поэтому разработан программный комплекс, позволяющий по данным наземного и дистанционного мониторинга проводить: оценку и пространственный прогноз показателей метеорологической пожарной опасности, прогноз возникновения пожаров растительности, расчет напряженности пожароопасных сезонов и анализ закономерности их изменения.

Примерно 80 % всех пожаров возникает по вине человека из-за нарушения мер пожарной безопасности при обращении с огнем, а также в результате использования неисправной техники. А также в результате сельскохозяйственных палов, сжигания мусора, в местах пикников, сбора грибов и ягод, во время охоты, от брошенной горячей спички, непотушенной сигареты. Во время выстрела охотника вылетевший из ружья пыж начинает тлеть, поджигая сухую траву. Часто можно видеть, насколько завален лес бутылками и осколками стекла. В солнечную погоду эти осколки фокусируют солнечные лучи как зажигательные линзы. Не полностью потушенный костер в лесу служит причиной последующих больших бедствий.

Под чрезвычайной ситуацией принято понимать обстановку на определенной территории, сложившуюся в результате аварии, стихийного

или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности населения. Ситуации возникают не сразу, как правило, они развиваются постепенно из происшествий техногенного, социального или природного характера.

Катастрофы природного характера, как правило, неожиданны. Они в короткое время разрушают территории, жилища, коммуникации, приводят вслед за собой голод, болезни. В последние годы ЧС природного происхождения имеют тенденцию к росту. Во всех случаях землетрясений, наводнений, оползней возрастает их разрушительная сила.

Во время пожаров в атмосферу выделяется большое количество углекислого газа, это оказывает значительное влияние на климатическую систему планеты. В год выбросы парниковых газов (водяной пар, углекислый газ, метан, озон) от лесных пожаров могут достигнуть 400 млн тонн. Много углекислого газа попадает в атмосферу при горении леса, но еще больше — при торфяных пожарах. Кроме того, углекислый газ образуется и после пожаров: он выделяется в процессе разложения пострадавших деревьев.

Согласно данным исследований, состав углеродных выбросов включает углекислый газ (84,6%), угарный газ (8,2%), метан (1,1%), неметановые углеводороды (1,2%), органический углерод (1,2%), элементарный углерод (0,1%) и твердые частицы (3,5%). Чем больше в атмосфере углекислого газа, тем больше «нагревается» Земля. Однако, несмотря на меньшую массу выбросов, метан воздействует на глобальное потепление в 25 раз сильнее углекислого газа.

Уничтожение лесной растительности и разрушение почв — наиболее очевидные последствия лесных пожаров. Ослабленный пожарами лес чаще подвергается воздействию болезней и вредителей. Также, если лес поврежден огнем, он меньше поглощает углекислого газа, и его способность замедлить климатические изменения снижается. Из-за пожаров в почве происходит уничтожение фауны, иссякают минеральные вещества. В среднем в лесной зоне послепожарное отмирание деревьев составляет около трети запаса древесины до пожара. А выделение вследствие разложения накопленной мертвой древесины по размерам сопоставимо с последствиями выбросов при самих пожарах.

Однако есть и благоприятные последствия пожаров. Например, некоторые деревья могут распространять семена только после воздействия огня. Так, шишки «сосны растопыренной» раскрываются и разбрасывают семена только при высокой температуре. А семена вечнозеленой секвойи могут прорасти в освобожденной от растительного покрова, хорошо прогретой и посыпанной золой почве. У секвойи негорючая древесина, при пожарах в основном сгорает крона, в редких случаях кора, древесина остается живой. После пожара дерево начинает усиленно расти.

Бизнес процесс реагирования и ликвидации ЧС

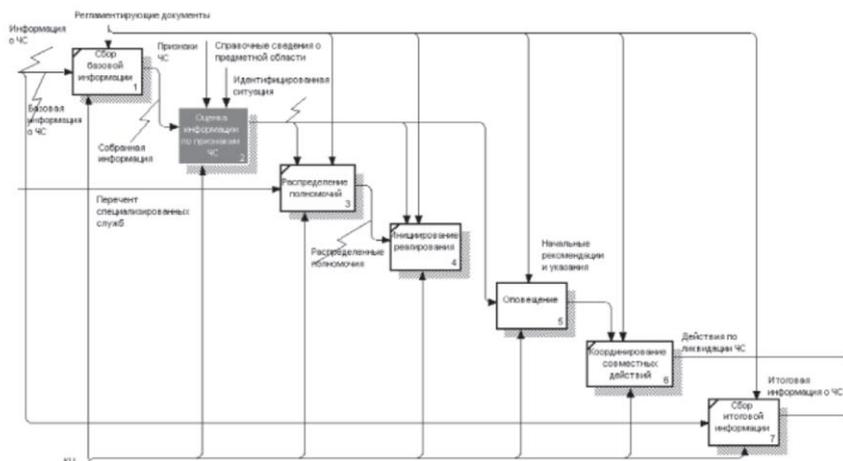


Рисунок 1. Декомпозиция контекстной диаграммы модели бизнес-процессов реагирования на ЧС

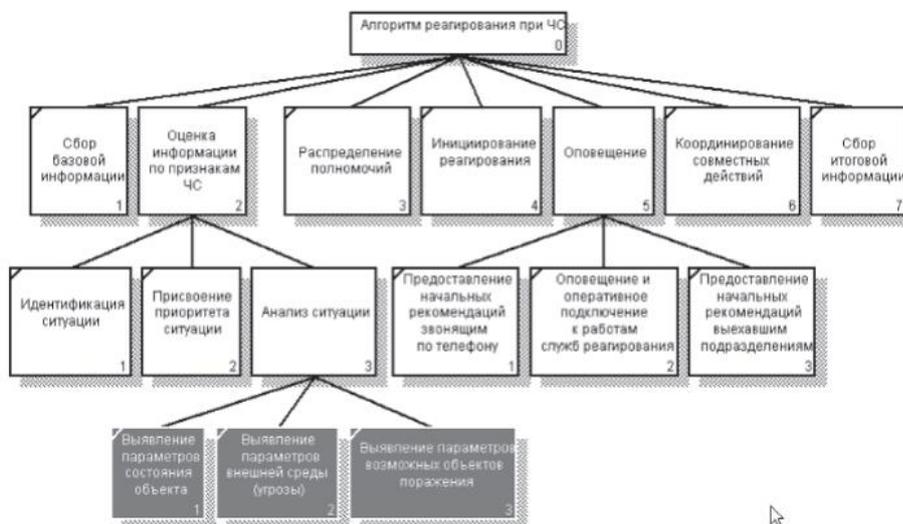


Рисунок 2. Диаграмма дерева узлов модели бизнес-процессов реагирования на ЧС

Основные требования к ИС:

1. Сбор, управление, анализ и представление данных;
2. Интегрированность ИС с различными формами данных (гибридоориентированность), то есть в системе возможно хранения различных данных;
3. Наличие математических методов моделирования и системы принятия решения;
4. Большое количество атрибутивных и динамических данных;
5. Возможность расширения функционального наполнения, подключения новых подсистем, прикладных БД, веб-порталов, ГИС;
6. Разработка и развитие предметной части ИС в соответствии с реализацией системы и развитием запросов ее потенциальных пользователей.

Методики оценки пожарной опасности по условиям погоды

Для оценки степени пожароопасности леса в зависимости от метеорологических условий используется индекс горимости леса, который является комплексным показателем пожарной опасности в лесу.

В России для оценки горимости леса применяют индекс Нестерова [12], а за рубежом для тех же целей используют индекс засушливости KBDI (Keetch—Byram Drought Index). В некоторых публикациях при оценке горимости леса предлагали учитывать влажность напочвенного покрова или лесной подстилки.

Вычисление комплексного показателя пожарной опасности в лесу по условиям погоды — индекса Нестерова

Для вычисления комплексного показателя G пожарной опасности в лесу по условиям погоды необходимы следующие данные:

- температура воздуха и точки росы ($^{\circ}\text{C}$) на 12 ч по местному времени;
- количество выпавших осадков (мм) за предшествующие сутки, т. е. за период с 12 ч предыдущего дня по местному времени (осадки до 2,5 мм в сутки в расчет не принимаются).

Температура воздуха определяется по сухому термометру психрометра, температура точки росы — по психрометрическим таблицам на основании отсчетов по сухому и смоченному термометрам. Количество выпавших осадков определяется по осадкомеру. Температура воздуха и точки росы измеряется с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$, количество осадков — с точностью до 0,5 мм. Комплексный показатель для текущего дня рассчитывают по формуле В. Г. Нестерова [13, 14] следующим образом:

$$G = \sum_{i=1}^n T_i d_i,$$
$$d_i = T_i - r_i,$$

Здесь T — температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$) на 12 ч дня по местному времени; r — точка росы на 12 ч дня по местному времени ($^{\circ}\text{C}$); d — дефицит точки росы; n — число дней после последнего дождя. Размерность G есть $(^{\circ}\text{C})^2 \cdot$ сутки.

Суммирование производится по последовательным дням без осадков (осадки менее 2,5 мм за сутки не учитываются) теплой половины года по суткам с положительной температурой. Суммирование начинается в первый сухой день после дождя и производится по n дням до выпадения осадков 2,5 мм за сутки или более. С каждым днем без дождя значение G увеличивается. Если выпадут осадки более 2,5 мм за сутки, то накопленная сумма обнуляется (становится равной нулю) и со следующего дня без дождя начинается новое накопление суммы произведения Td . В Методических указаниях 1975 г. [14] в формуле Нестерова предлагается суммирование проводить за каждый сухой день до тех пор, пока не выпадут осадки за сутки более 3 мм. С учетом местных особенностей в некоторых регионах при

расчетах по формуле Нестерова критическими осадками продолжают считать 3 мм.

Модифицированный индекс Нестерова

Несмотря на широкое использование индекса Нестерова для оценки потенциальной опасности возгорания леса, не прекращаются попытки усовершенствовать комплексный показатель опасности возгорания. Недостатком описанного выше классического индекса Нестерова является его резкое падение до нуля в сутки с суммой жидких осадков 2,5 или 3 мм (по разным источникам) и более независимо от имевшей место дождя сухости погоды и наличия горючих материалов в лесу. Эти попытки предпринимаются давно. В работе Жданко [15] предлагалось при вычислении модифицированного индекса Нестерова g не проводить обнуление после каждого дня с суммарными осадками больше 2,5 или 3 мм, а гибко учитывать осадки с помощью безразмерного понижающего коэффициента K , зависящего от суммы осадков R_i в текущий день i :

$$g_i = K(R_i)g_{i-1} + T_i d_i$$

При этом значение коэффициента $K(R)$ задается в зависимости от суточной суммы осадков (таблица 1). Размерность G есть $(^\circ\text{C})^2 \cdot \text{сутки}$.

Вычисление индекса g проводится в теплую половину года по суткам с положительной температурой.

Таблица 1. Коэффициент $K(R)$ для расчета модифицированного индекса Нестерова

Осадки R , мм	0	0.1–0.9	1–2	3–5	6–14	15–19	20 и более
$K(R)$	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0

Классы пожарной опасности

В зависимости от значения индекса Нестерова опасность возгорания оценивается по пяти классам общероссийской шкалы (таблица 2). Для отдельных регионов разработаны региональные шкалы пожарной опасности в лесу по условиям погоды, учитывающие местные особенности, и в которых значения комплексного показателя по классам отличаются от значений общероссийской шкалы.

Классификация пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды определяет степень вероятности (возможности) возникновения и распространения лесных пожаров на соответствующей территории в зависимости от метеорологических условий, влияющих на пожарную опасность лесов.

Также это определяет мероприятия наземного и воздушного патрулирования, и тушения пожаров.

Таблица 2. Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды

Класс пожарной опасности	Диапазон значений индекса горимости, $(^\circ\text{C})^2 \cdot \text{сутки}$ *	Пожарная опасность	Мероприятия авиалесоохраны
I	0 — 300	Отсутствует	Нет патрулирования, авиация используется при

			тушении возникших пожаров
II	301 — 1000	Малая	Вылеты через день, при наличии пожаров – однократное патрулирование
III	1001 — 4000	Средняя	Однократное патрулирование, при наличии пожаров – двукратное
IV	4001 — 10000	Высокая	Двукратное патрулирование, при наличии пожаров – трехкратное
V	> 10000	Чрезвычайная	Трехкратное патрулирование

За мероприятия авиалесоохраны в каждом районе отвечают разные звенья охраны. Данные о местоположении и подконтрольных территориях показаны в таблице 3.

Таблица 3. Список гидрометеостанций и отделений Дальневосточной авиабазы

№	Индекс ВМО	Метеостанция	Высота над уровнем моря (м)	Координаты		Регион	Авиаотделение	Авиазвено
				Долгота	широта			
1	31713	Биробиджан	80	48°42'N	132°53'E	ЕАО	Биробиджанское	Южное
2	31710	Ленинское	56	47°57'N	132°37'E			
3	31725	Смидович	52	48°6'N	133°8'E			
4	31707	Екатерино-Никольское	73	47°44'N	130°58'E			
5	31702	Облучье	257	49°N	131°05'E			
6	31735	Хабаровск	76	48°31'N	135°1'E	Хабаровский край	Хабаровское	
7	31792	Бичевая	105	47°46'N	135°38'E		Хорское	
8	31624	Урми	15	49°24'N	133°14'E		Куканское	
9	31632	Кур	283	49°56'N	134°36'E		Побединское	
10	31655	Троицкое	33	49°27'N	136°34'E		Троицкое	
11	31469	Чегдомын	374	51°38'N	133°19'E		Ургальское	
12	31538	Сутур	347	50°49'N	132°1'E		Тырминское	
13	31416	им. Полины Осипенко	73	52°25'N	136°3'E		Осипенковское	Центральное
14	31770	Советская гавань	24	48°58'N	140°2'E		Советское	
15	31647	Литовко	71	49°08'N	135°07'E		Амурское	
16	31561	Комсомольск-на-Амуре	22	50°36'N	138°08'E		Комсомольское	
17	31484	Хуларин	269	51°25'N	135°05'E		Дукинское	
18	31562	Нижне-Тамбовское	18	50°56'N	138°11'E	Нижне-Тамбовское		
19	31683	Тумнин	58	49°38'N	140°05'E	Тумнинское	Северное	
20	24988	Арка	198	60°1'N	142°13'E	Охотское		
21	31286	Чумикан	9	54°43'N	135°18'E	Чумиканское		
22	31285	Удское	62	54°3'N	134°25'E	Удское		
23	31423	Удинское	15	52°42'N	137°32'E	Херпучинское		
24	31439	Богородское	35	52°23'N	140°28'E	Богородское		
25	31502	Марейнск	21	51°26'N	140°07'E	Марейнское		
26	31152	Нелькан	318	57°39'N	136°08'E	Нельканское		
27	31369	Николаевск-на-Амуре	68	53°09'N	140°42'E	Николаевское		

Но для разных территорий РФ желательно составлять шкалу пожарной опасности с учётом всех особенностей местности, видов растительности и других факторов, меняющих возможность появления возгораний.

Например, для территории ЕАО, Хабаровского края, Приморья и Амурской области выделены 3 лесопожарных района, различающихся по характеру горимости [16 - 18], и для них составлена региональная шкала определения КПО (табл. 4), усовершенствованный вариант которой в настоящее время используется Дальневосточной авиабазой, филиалами лесничеств и другими лесоохранными службами ДВР.

Таблица 4. Региональная шкала определения классов пожарной опасности в лесах Дальнего Востока

Класс пожарной опасности		I	II	III	IV	V
Комплексный показатель для северной части Дальнего Востока без подразделения на весну и осень		до 200	201-650	651-1600	1601-3200	более 3200
Комплексный показатель для центральной и южной части Дальнего Востока	весна и осень	до 180	181-400	401-1200	1201-3200	более 3200
	лето	до 400	401-800	801-2400	2401-5000	более 5000

Методики оценки пожарной опасности по данным дистанционного мониторинга

Исходную информацию для создания карт распределения показателя пожарной опасности получаем со спутников NOAA. Технология создания карты пожарной опасности представляет собой три взаимосвязанных этапа (рис. 3).

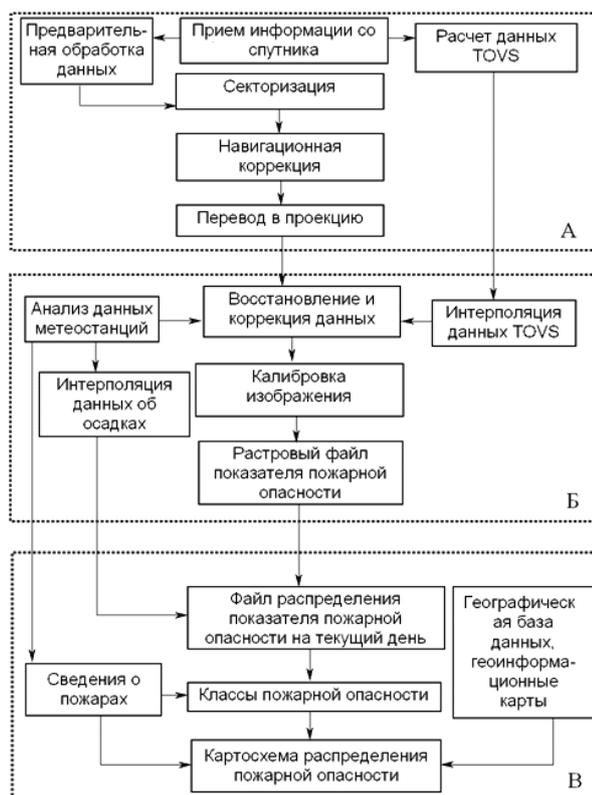


Рисунок 3. Этапы создания карты пожарной опасности

Первый этап — предварительная обработка — выполняется на основе программного обеспечения станции приема информации со спутников NOAA (Рис.3а). Он включает в себя прием и запись сигнала со спутника, калибровку данных, навигационную привязку и секторизацию (выбор кадра и комбинации каналов радиометра AVHRR).

Второй этап — программные вычисления (Рис. 3б). Для реализации метода разработан программный модуль, позволяющей совмещать серию изображений и вычислять показатель пожарной опасности в каждой точке изображения (Рис. 4).



Рисунок 4. Модуль коррекции информации с серии снимков

Расчет радиометрического показателя пожарной опасности осуществляется по методике, предложенной В.Г. Нестеровым, причем вместо температуры воздуха и точки росы, поставляемых метеостанциями, используются данные дистанционного зондирования со спутников NOAA.

$$\Gamma_{ij} = \sum_i \sum_j t_{ij} (t_{ij} - \tau_{ij}), \quad (1)$$

где Γ_{ij} - показатель пожарной опасности; t — температура точки росы, °С; t - радиометрическая температура поверхности, °С. Суммирование ведется по всем точкам изображения (i) и по всем дням пожароопасного сезона (j). Температура точки росы интерполируется по данным TOVS, радиометрическая температура — по пятому каналу AVHRR.

На этом этапе вычислений значение показателя пожарной опасности в каждой точке изображения корректируется с учетом величины выпавших жидких осадков (по данным метеостанций). Таким образом, рабочее соотношение принимает вид

$$\Gamma_{ij} = \xi \sum_i \sum_j t_{ij} (t_{ij} - \tau_{ij}), \quad (2)$$

где ξ — табулированный коэффициент учета осадков. Радиометрический индекс пожарной опасности хорошо согласуется с российскими и зарубежными аналогами (в том числе с канадскими индексами Duff Moisture Code (DMC) и Drought Code (DC) ($r = 0,76$) и с российским показателем влажности Нестерова ($r = 0,87$)). В случае присутствия на изображении AVHRR районов, закрытых облачностью, используются интерполированные значения температуры приземного слоя атмосферы по сведениям радиометра TOVS. Так как эти данные представлены нерегулярной сетью точек, для интерполяции значений в любой точке изображения использовался метод, основанный на кусочно-линейной аппроксимации, при которой поверхность, определяемая функцией, приближается кусочно-линейной поверхностью, состоящей из треугольников. Для этого на плоскости (x, y) создается сеть из непересекающихся треугольников. Проекция каждой точки пространства на плоскость (x, y) принадлежит лишь одной из треугольных граней, и значение функции $f(x, y)$ аппроксимируется кусочно-линейной функцией, принимающей заданные значения в точках опорного множества. Таким образом, программными средствами строится триангуляция Делоне. Она определяется однозначно и соединяет исходные точки в сеть наиболее правильных треугольников. Триангуляции исходных данных Делоне соответствует непрерывная кусочно-линейная поверхность в пространстве, состоящая из треугольников вершинами которых являются точки содержащие информацию радиометра TOVS. Таким образом, сечение полученной непрерывной кусочно-линейной поверхности дает изолинию того или иного параметра. Линейная экстраполяция по трем ближайшим точкам — вершинам треугольника, содержащего данную точку, — позволяет восстановить значение параметра в

любой заданной точке. В отечественных и зарубежных исследованиях установлено, что индексы растительности (вегетационные индексы), получаемые при помощи данных радиометра AVHRR, позволяют отслеживать крупномасштабное распределение и фенологические изменения растительности. Такого рода информация дает представление об аномальных значениях вегетационного индекса на территориях, пораженных засухой, огнем, лесными вредителями.

Принцип, используемый при определении вегетационных индексов, основан на особенностях спектральной кривой зеленой растительности в области 0.7 мкм. Контраст между альбедо во втором (ближний ИК диапазон) и первом (видимый диапазон) каналах радиометра AVHRR является показателем состояния растительного покрова.

$$NDVI = (R2 - R1)/(R2 + R1), (3)$$

где *NDVI* - нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index); *R1* и *R2* соответствуют альбедо в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра. Значение *NDVI* нормировано на математическое ожидание альбедо первого и второго каналов.



Рисунок 5. Корректирование показателя пожарной опасности

Предложено использовать соотношение (3) для корректирования показателя пожарной опасности, определяемого дистанционными спутниковыми методами (рис. 5). Значение *NDVI* записывается в уравнение (2) как множитель.

В результате расчетов формируется цифровое изображение размером 1024x1024 пикселя, с пространственным разрешением 1.1x1.1 км², содержащее в каждом пикселе значение показателя текущей пожарной опасности. На основе данных изображений создаются картосхемы пожарной опасности на заданные районы.

Третий этап - обработка результата с применением геоинформационной технологии (Рис. 3в). Данный этап осуществляется с привлечением программных пакетов ARC/INFO 3.4.2 и ArcView 3.1. По заданным диапазонам значений показателя пожарной опасности, выделяются классы пожарной опасности. Общепринято использование пяти классов,

характеризующих степень пожарной опасности по условиям погоды. Первый класс соответствует низкой пожарной опасности, в то время как пятый класс выделяет районы, в которых пожарная опасность достигла критических значений.

Структура информационной системы

Предлагаемая структура информационной системы содержит следующие основные компоненты:

- Сотрудники (поддержка и использование системы);
- База метеорологических данных (БД);
- Система управления базой данных (СУБД);
- Модули информационной системой для взаимодействия с данными;
- Словарь данных;
- Программно-вычислительный комплекс.

Основной задачей базы данных является хранение информации в разбитом виде, который определяется исходя из планов по взаимодействиям с базой данных.

Для приложений, использующих модель взаимодействия «клиент-сервер» существует несколько архитектурных подходов по разработке модулей – MVC, MVP, MVVM. В этом случае подойдёт классический MVC подход (рис. 6). MVC означает связь трёх логических модулей (каждый из них может быть реализован множество раз для отдельных частей приложения) model-view-controller.

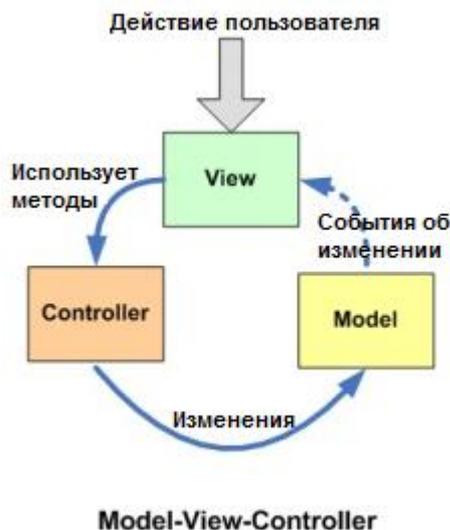


Рисунок 6. Работа MVC подхода проектирования

Каждый из них отвечает за свой набор логики:

- Model – модель. Модель предоставляет данные и методы работы с ними: запросы в базу данных, проверка на корректность.
- View – представление. Интерфейс, который использует человек. Содержит формы для изменения и внесения данных, кнопки и визуализированные, в приемлемых для человека видах, данные.

- **Controller** – контроллер. Контроллер перехватывает событие извне и в соответствии с заложенной в него логикой, реагирует на это событие изменяя модель, посредством вызова соответствующего метода.

Структура приложения выглядит следующим образом.

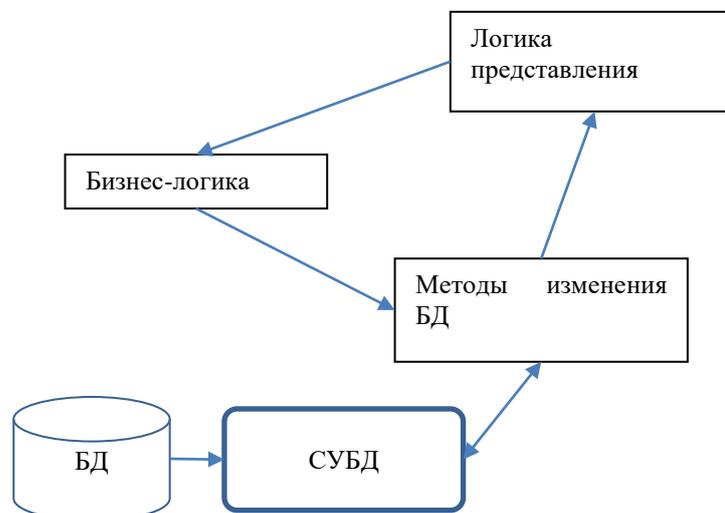


Рисунок 7. Структура взаимодействия модулей приложения

Словарь данных используется для систематизации хранения и использования информации в БД.

Вычислительная система представляет собой совокупность аппаратно-программных средств, образующих единую среду, предназначенную для решения задач обработки информации (вычислений).

Персонал информационной системы состоит из следующих групп пользователей:

1. оператор - производит регистрации метеорологических данных и их вывод с помощью функциональных модулей системы управления баз данных;
2. администратор – лицо, ответственное за бесперебойную работу базу данных и контроль доступа к ней;
3. инженер – занимается разработкой новых алгоритмов обработки информации, а также производит контроль за наполняемостью базы данных.

Логическое проектирование базы данных

Логическая модель базы данных (рис. 8) визуализирует суть взаимодействия таблиц и данных, опуская методы, среду исполнения и движок базы данных.

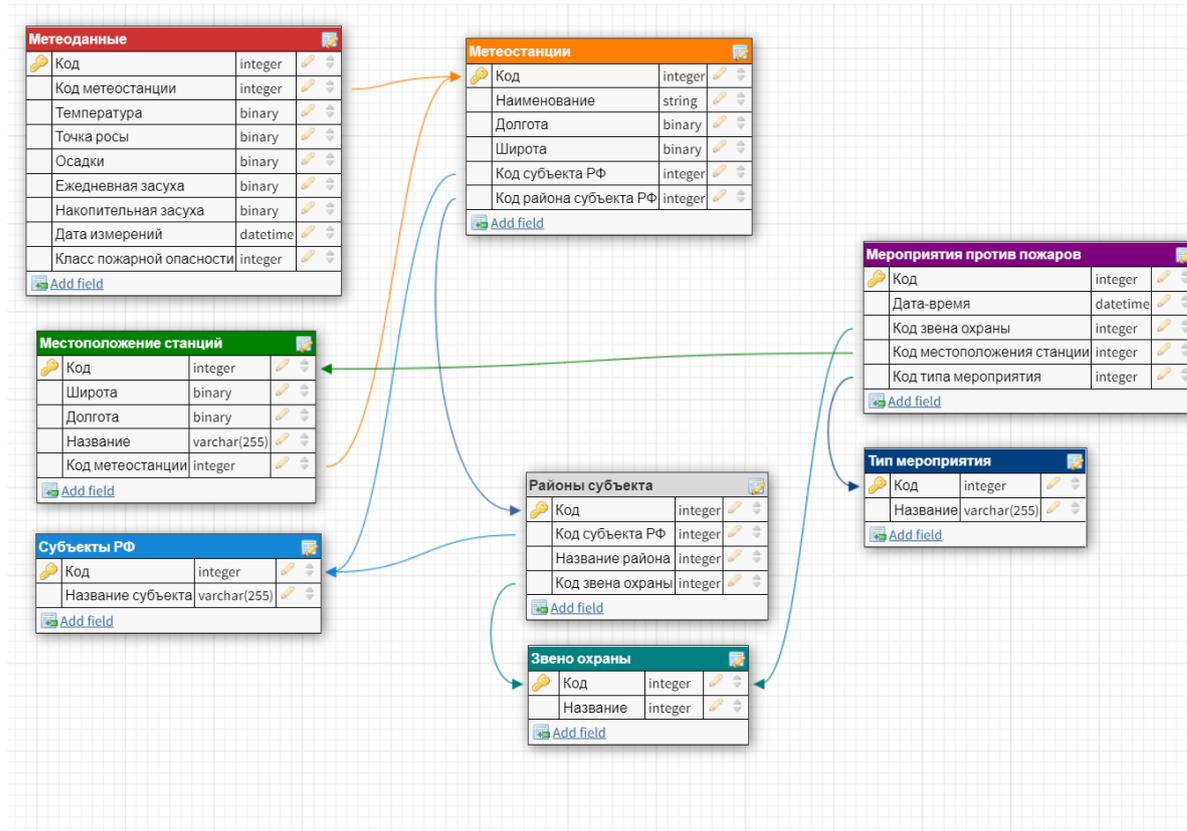


Рисунок 8. Логическое представление базы данных

Алгоритмы сбора и обработки метеоданных

Набор данных за более чем столетний период предоставляет National Centers for Environmental Information of National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEI NOAA).

Для получения доступа к метеоданным по всему миру требуется перейти на сайт-архив [19] и загрузить любой интересующий год. В их названии указан год показаний и их размер растёт с каждым годом. CSV – это текстовый формат, предназначенный для представления табличных данных. Строка таблицы соответствует строке текста, которая содержит одно или несколько полей, разделенных запятыми.

Алгоритмы обработки метеоданных

База данных заполняется с помощью SQL-запросов. Файл считывается с хранилища сервера и по нему заполняется таблица:

```
LOAD DATA INFILE "C:/ProgramData/MySQL/MySQL Server
8.0/Uploads/31713099999.csv" INTO TABLE `meteo2016`
FIELDS TERMINATED BY ',' ENCLOSED BY '"' ESCAPED BY '\\'
LINES STARTING BY " TERMINATED BY '\r\n';
```

Листинг 1. Считывание данных из CSV-файла

Следующий шаг – изменить вид хранения осадков. Они хранятся в поле «AA1» и являются строкой, в которой содержатся 4 показателя. Нам нужен второй из них, хранящий количество осадков в миллиметрах за

последние 3 часа. Этот показатель всегда является числом длиной в 4 символа и всегда находится на 4 позиции строки. Поэтому вычисление значения является простым и легко выполняется обычным SQL-запросом, без использования сложных алгоритмов считывания строк. Для этого нужно использовать функцию `substring(field, start, end)`, где первый аргумент – поле из таблицы, второй аргумент – индекс начала для извлечения строки, а третий аргумент – индекс конечного символа для извлечения.

Также нужно создать новое поле типа `INTEGER`, для сохранения изначальных данных и иммутабельности, и записать в него извлечённое из строки значение, при этом сразу преобразовав его в число, с помощью задокументированного способа – добавления ноля. Это неявно преобразует тип значения в `INTEGER`:

```
ALTER TABLE meteo2016 ADD PRECIPATION INT NULLA;  
UPDATE meteo2016 SET PRECIPATION = substring(AA1,4,4)+0;
```

Листинг 2. Получение данных о количестве осадков

Следующий шаг – создание представления в БД, где будут храниться нужные данные для прогнозирования пожарной опасности. Это происходит с помощью SQL-запроса, в котором нужно обратиться к таблице и создать столбцы `STATION`, `DATE`, `DEW`, `TMP`, `PRECIPATION`, в которые поочерёдно сложить переведённые в `DATE` и `DOUBLE` типы значения даты, температуры и точки росы соответственно. Изменение типа происходит как в запросе выше, но с добавлением одного знака в дробной части:

```
SET time_zone = '+10:00';  
CREATE VIEW fire_forecast (STATION, DATE, DEW, TMP, PRECIPATION) AS  
SELECT meteo2016.STATION, date(meteo2016.`DATE`, TIME`), max(meteo2016.DEW)+0.0,  
max(meteo2016.TMP)+0.0, sum(meteo2016.PRECIPATION) from meteo2016 WHERE  
meteo2016.DEW < 9999 AND meteo2016.TMP < 9999 group BY meteo2016.STATION,  
date(meteo2016.`DATE`, TIME`)
```

Листинг 3. Создание представления

Представление используется для создания новой таблицы и является промежуточным этапом для получения обработанных данных, на основе которых будут приниматься решения по снижению пожарной опасности на территориях Дальнего Востока Российской Федерации. Для дальнейшей работы необходимо экспортировать представление в csv-файл и использовать его для создания новой таблицы. Алгоритмов решения данной проблемы может быть большое множество, используя различные языки программирования и среды исполнения – Python, C#, PHP, Java, JavaScript в качестве Node.JS решений и т.д.

SQL-запрос, создающий новую таблицу по csv-файлу представления, созданного выше, содержит следующие операторы:

```
CREATE TABLE `fireforecast` (
  `STATION` VARCHAR(200),
  `DATE` DATE,
  `DEW` DOUBLE,
  `TMP` DOUBLE,
  `PRECIPATION` DOUBLE
)
COLLATE='utf8_unicode_ci'
ENGINE=MyISAM
ROW_FORMAT=DEFAULT
```

Листинг 4. Создание таблицы по подобию представления

Следующим шагом является заполнение таблицы данными из csv-файла с данными представления, описанного выше:

```
load data infile "C:/ProgramData/MySQL/MySQL Server 8.0/Uploads/firecast view.csv"
into table `fireforecast`
FIELDS TERMINATED BY ',' ENCLOSED BY '"' ESCAPED BY '\\'
LINES STARTING BY " TERMINATED BY '\r\n';
```

Листинг 5. Заполнения таблицы

Данные о температуре и точке росы хранятся с множителем 10, что указывается в пояснительных документах поставщика csv-файлов по метеостанциям. Исходя из этого требуется поделить каждое значение температуры и точки росы следующий SQL-запросом:

```
UPDATE fireforecast SET fireforecast.DEW = fireforecast.DEW / 10;
UPDATE fireforecast SET fireforecast.TMP = (fireforecast.TMP / 10;
```

Листинг 6. Приведение температур в нормализованный вид

После чего создаются и заполняются поля для хранения ежедневной и накопительной засухи:

```
alter table fireforecast ADD DDI DOUBLE, CDI DOUBLE;
UPDATE fireforecast SET fireforecast.DDI = fireforecast.TMP * (fireforecast.TMP -
fireforecast.DEW);
```

Листинг 7. Вычисление ежедневной засухи

Для расчёта накопительного показателя засухи используется SQL-цикл:

```
SET @a=0;
UPDATE `fireforecast` SET `CDI` = CASE
  WHEN `PRECIPATION` > 3 THEN (@a := `DDI`)
  ELSE (@a:=@a + `DDI`)
END
```

Листинг 8. Вычисление накопительной засухи

С его помощью рассчитываются классы пожарной опасности. Это целочисленное значение и поле для хранения нужно добавить в таблицу fireforecast, после чего заполнить данными, согласно алгоритма:

```
ALTER TABLE fireforecast ADD COLUMN FIRE_HAZARD_CLASS INT(1);
```

Листинг 9. Создание поля для класса пожарной опасности

Класс пожарной опасности рассчитывается исходя из условий территорий, для которых производятся расчёты, поэтому в качестве примера используется универсальный метод, который подходит для большей части территорий:

```
UPDATE fireforecast SET FIRE_HAZARD_CLASS = 0 WHERE CDI <= 0;
UPDATE fireforecast SET FIRE_HAZARD_CLASS = 1 WHERE CDI > 0 AND kp
<= 300;
UPDATE fireforecast SET FIRE_HAZARD_CLASS = 2 WHERE CDI > 300 AND kp
<= 1000;
UPDATE fireforecast SET FIRE_HAZARD_CLASS = 3 WHERE CDI > 1000 AND kp
<= 4000;
UPDATE fireforecast SET FIRE_HAZARD_CLASS = 4 WHERE CDI > 4000 AND kp
<= 10000;
UPDATE meteodata SET FIRE_HAZARD_CLASS = 5 WHERE CDI > 10000;
```

Листинг 10. Расчёт класса пожарной опасности

Анализ данных

После создания базы данных, загрузки и расчётов всех показателей были проведены анализ и сравнение данных с Росгидрометом, которые являются наиболее достоверными для территории Дальнего Востока, т.к. собираются и анализируются опытным путём, а не алгоритмами восстановления из данных спутников MODIS. Для сравнения использовались основные 5 величин, по которым ведутся расчёты, определяется пожароопасный период и инициируются мероприятия по тушению и уменьшению вреда для человека и природы:

1. Показатели температуры воздуха;
2. Показатели точки росы;
3. Показатели объёма осадков;
4. Ежедневный показатель засухи;
5. Накопительный показатель засухи.

Показатели температуры воздуха:

С января по март показатели расходятся, что может говорить о неверных алгоритмах и расчётах температуры воздуха в зимний период времени силами NOAA и спутников MODIS. Похожая ситуация наблюдается в период с конца сентября и до конца декабря (рис. 9).

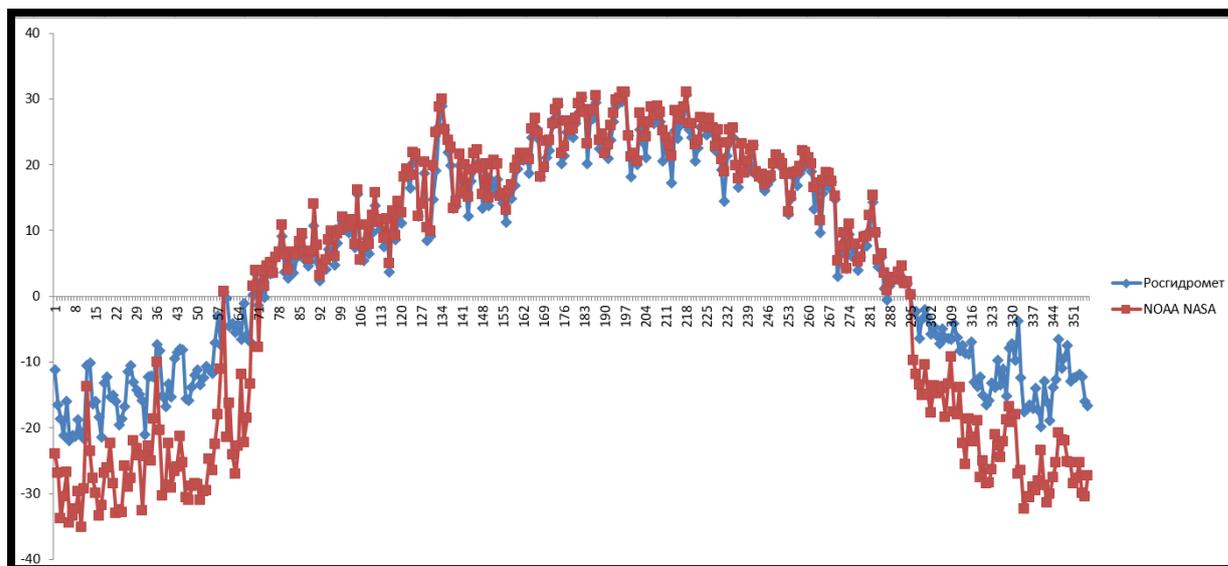


Рисунок 9. График сравнения температуры воздуха

Корреляция показателей из двух источников составила 0,9613, что видно на рисунке 10.

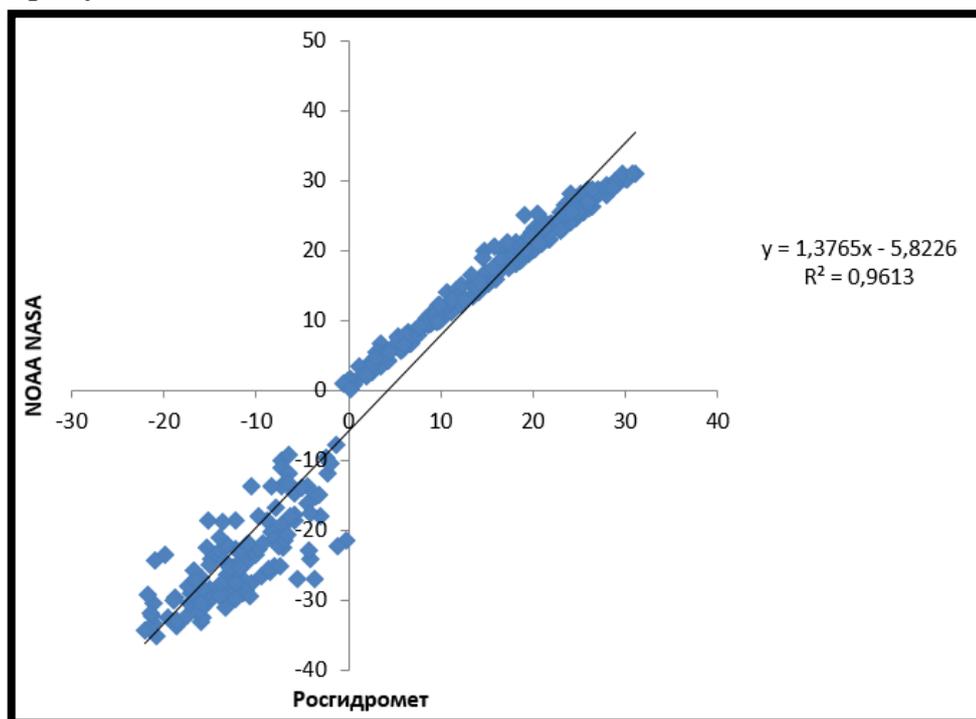


Рисунок 10. Корреляция температуры воздуха

Данные спутников MODIS о температуре воздуха могут быть использованы для расчёта пожарной опасности, т.к. расхождения с действительными величинами, измеренными Росгидрометом, наблюдаются лишь зимой, когда пожары невозможны по естественно-природным причинам.

Показатели точки росы

В данных температуры воздуха, при которой содержащийся в нём пар достигает состояния насыщения и начинает конденсироваться в росу, наблюдается схожая картина, как и с температурой воздуха (рис. 11) – данные разнятся с января по март и с сентября по декабрь. Также, в остальной период наблюдается скачкообразная разница приблизительно в 10 днях за тёплый период года. Это может несколько негативно сказаться на расчётах, но при этом данные со спутников MODIS имеют завышенные показатели, что в данном случае поможет более тщательно наблюдать за обстановкой в лесу.

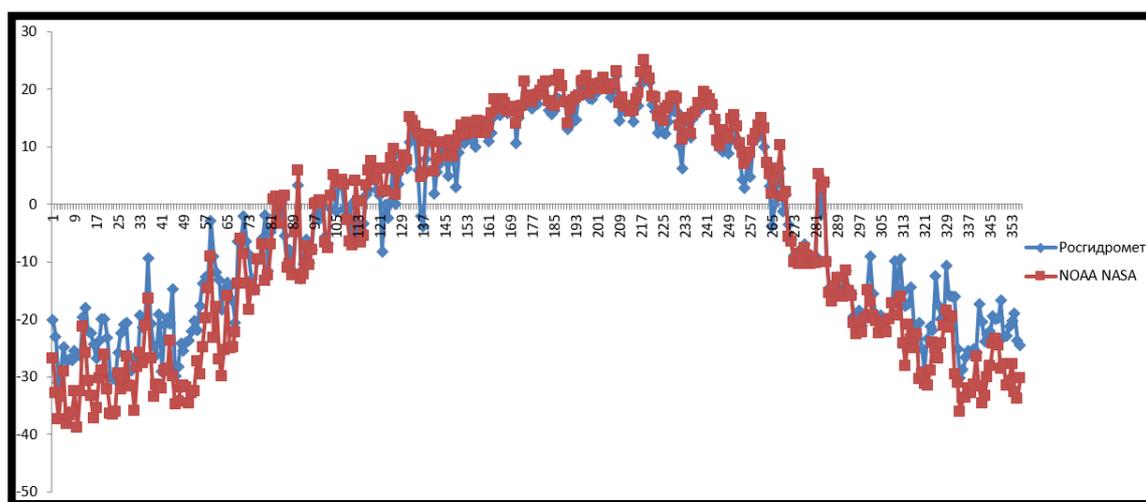


Рисунок 11. График сравнения точки росы

Корреляция показателей из двух источников составила 0,9654, что видно на рисунке 12.

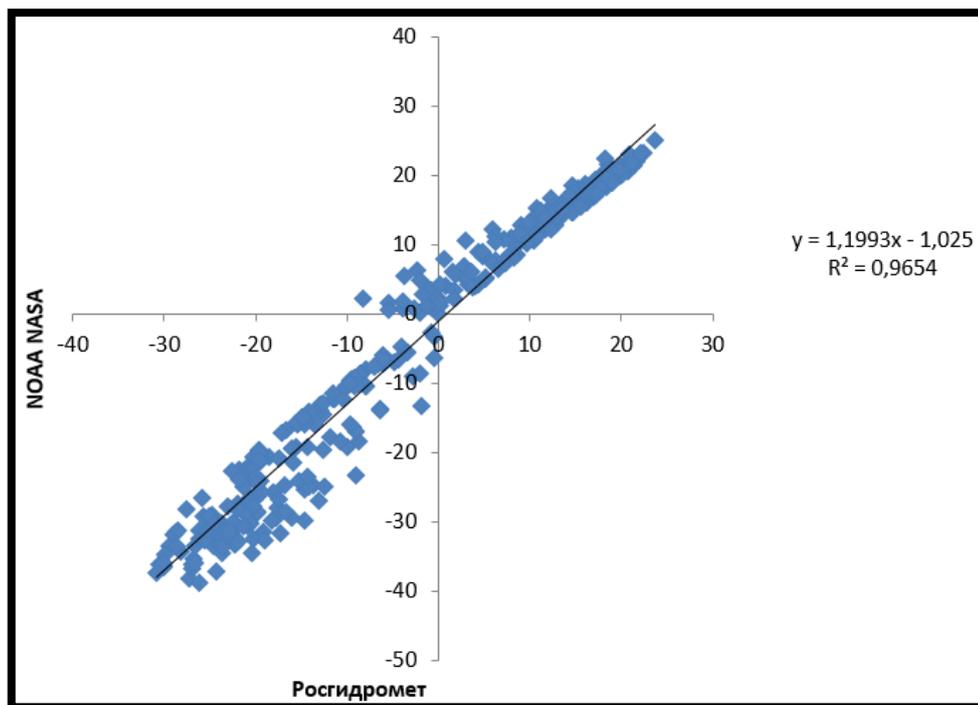


Рисунок 12. Корреляция точки росы

Данные спутников MODIS о точке росы могут быть использованы для расчёта пожарной опасности, т.к. хоть и изредка расходятся с натуральными показателями, имеют завышенные величины, что не позволит провести недостаточные мероприятия по предотвращению пожаров.

Показатели объёма осадков

Осадки кратно различаются (рис. 13). Можно полагать, что алгоритм NCEI NOAA для определения их количества ошибочен и нуждается в изменении. Также, возможной причиной может служить отсутствие нормализации показаний спутников для территории Дальнего Востока, из-за чего данные были обработаны неверно.

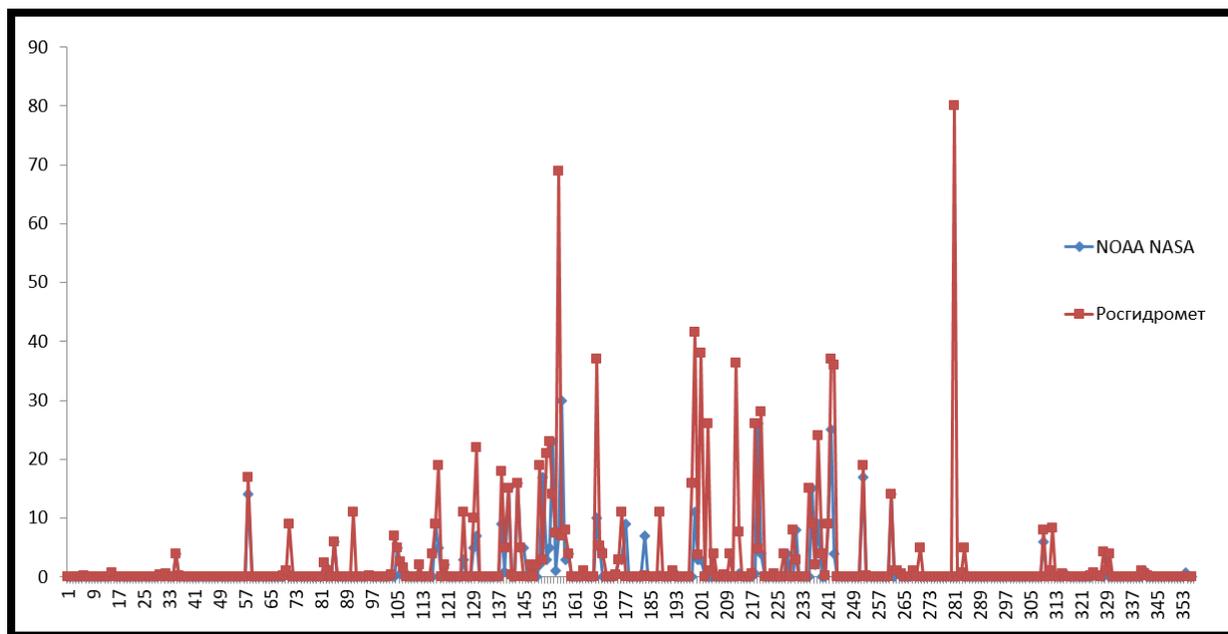


Рисунок 13. График сравнения объёма осадков

Корреляция показателей из двух источников составила 0,1811, что видно на рисунке 14.

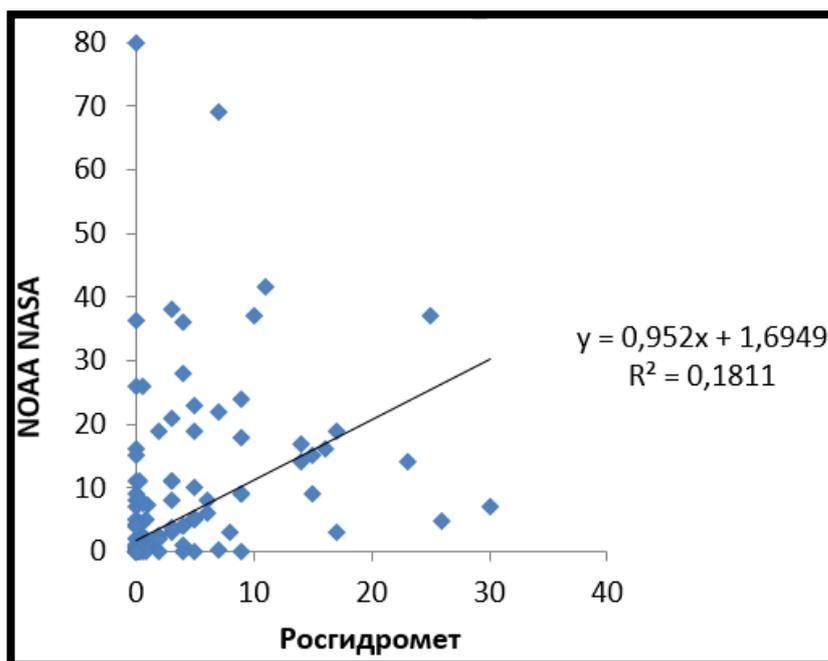


Рисунок 14. Корреляция объёма осадков

Это крайне низкий показатель, который говорит о том, что зарубежные данные кратно отличаются от отечественных и не могут быть использованы в расчётах пожарной опасности. Качество этих показателей не позволяет использовать только данные NOAA и спутников MODIS для расчёта накопительной засухи, а значит и классов пожарной опасности.

Ежедневный лесопожарный показатель засухи:

Значения ежедневного показателя засухи основываются на данных NOAA, которые имеют достаточную точность по сравнению с данными Росгидромета – показатель температуры и точки росы, поэтому замечается уже характерная разница показателей двух источников с января по март и с сентября по декабрь (рис 15).

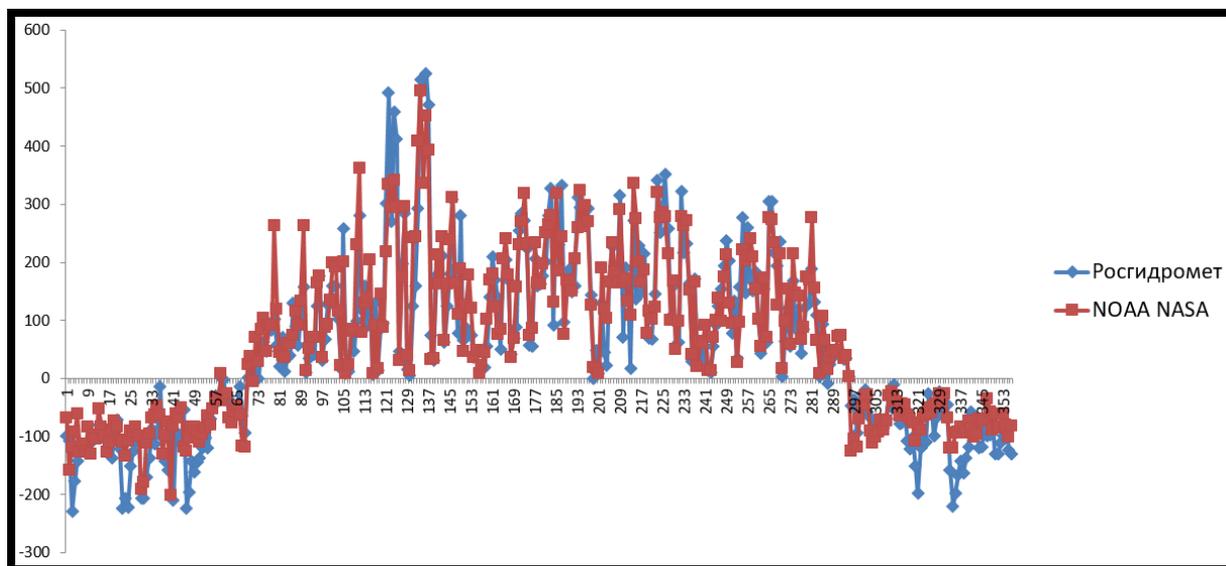


Рисунок 15. График сравнения ежедневного показателя засухи

Корреляция показателей из двух источников составила 0,9094, что видно на рисунке 16.

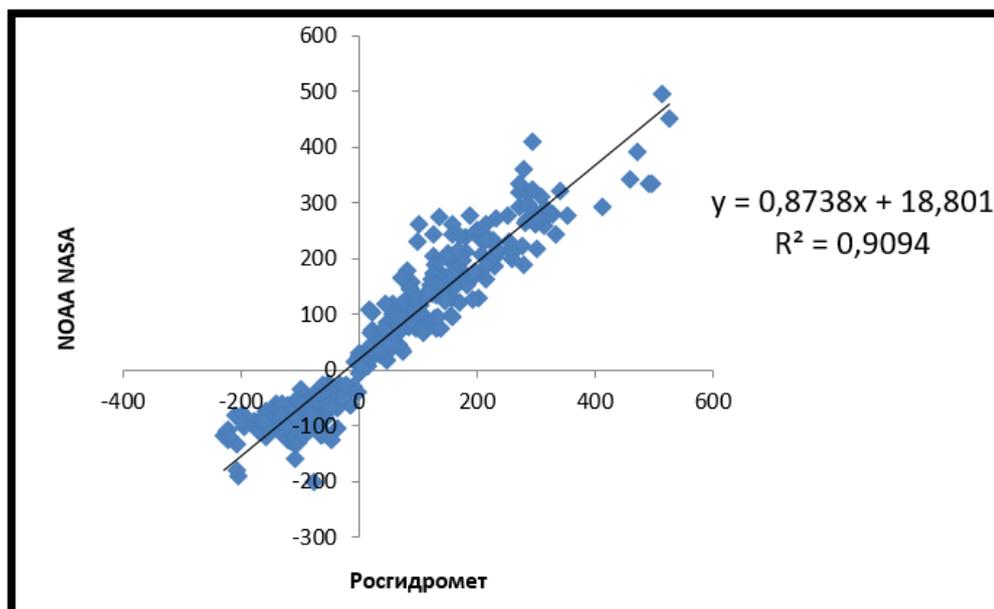


Рисунок 16. Корреляция ежедневного показателя засухи

Данные спутников MODIS о ежедневном показателе засухи могут быть использованы для расчёта пожарной опасности, т.к. расхождения с

действительными величинами, измеренными Росгидрометом, наблюдаются лишь зимой, когда пожары невозможны по естественно-природным причинам.

Накопительный лесопожарный показатель засухи:

Здесь также видно полное несоответствие показателей (рис. 17), т.к. для расчётов накопительного показателя засухи используются показатели осадков.

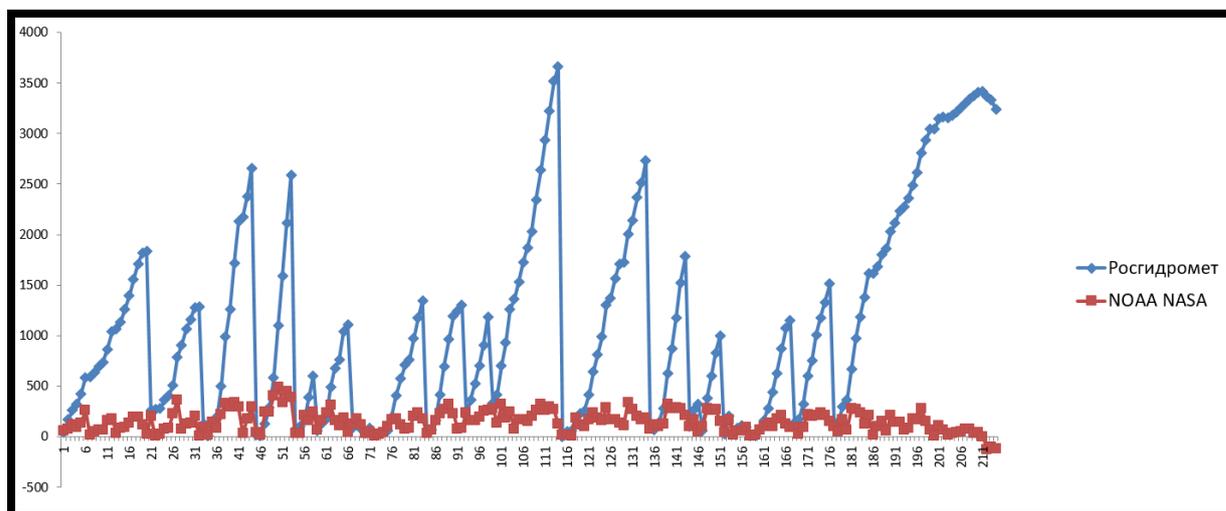


Рисунок 17. График сравнения накопительного показателя засухи

Корреляция показателей из двух источников составила 0,0028, что видно на рисунке 18.

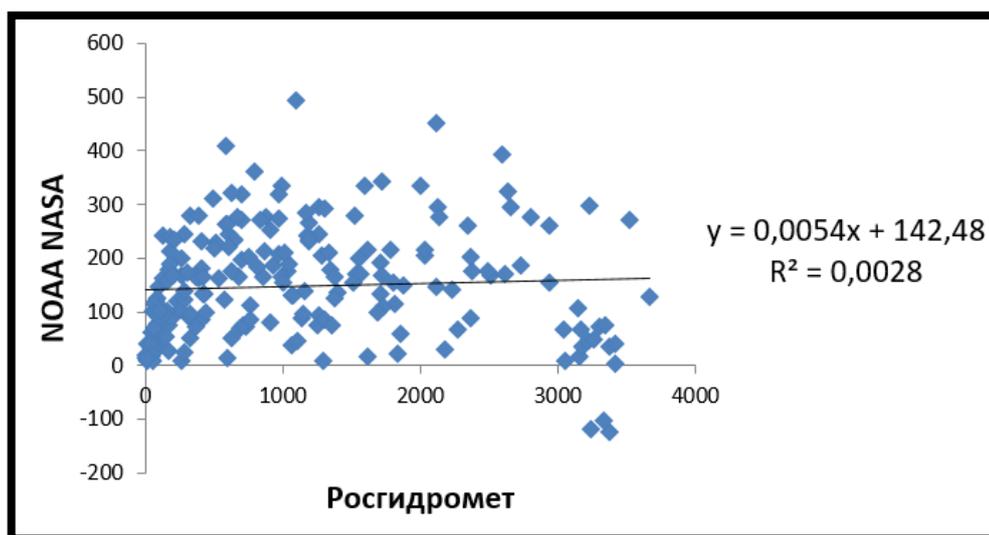


Рисунок 18. Корреляция накопительного показателя засухи

Вывод

Однако при анализе осадков получил разногласия, что может быть связано с дискретной формой их фиксации на гидрометеостанции и определения по данным спутникового мониторинга. Сильные различия

наблюдаются на второй и третий день оценки. По данным спутникового мониторинга свойственны интервальные осадки в течение 3-4 суток, требующие дальнейшего уточнения. Столь сильные расхождения в осадках влияют и на накопительный показатель засухи, по которому вычисляется класс пожарной опасности.

Также стоит отметить, что показатели температуры воздуха и точки росы являются достаточно точными по сравнению с фактическими данными Росгидромета, а значит могут использоваться в расчётах, где требуются эти показатели. Значительная разница в данных наблюдается в зимний период года. Вместе с этим сохраняется высокая корреляция между данными NOAA и Росгидромета. Это может объясняться тем, что в алгоритмы NOAA при восстановлении данных со спутников MODIS вложены верные логические схемы, но не корректные для зимнего времени на территории Дальнего Востока коэффициенты при расчётах, которые NOAA использует для восстановления показателей со спутников до близких к фактическим.

Таким образом, всё это говорит о несостоятельности данных NOAA как единственного источника для расчёта пожарной опасности растительности. Но показатели температуры воздуха и точки росы могут быть использованы за отсутствием более надёжных источников, таких как Росгидромет.

Библиографический список

1. Официальный сайт ФГУ «Авиалесоохрана» URL: <https://www.aviales.ru/>
2. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов //М.: Агропромиздат, 1988. 223 с.
3. Абушенко Н. А. и др. Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов //Исследование Земли из космоса. 1998. №. 3. С. 89-95.
4. Burgan R. E. A method to initialize the Keetch-Byram Drought Index //Western Journal of Applied Forestry. 1993. Т. 8. №. 4. С. 109-115.
5. Burgan R. E. Use of remotely sensed data for fire danger estimation //EARSel Advances in remote sensing. 1996. Т. 4. С. 1-8.
6. Orioux A. Conditions météorologiques et incendies de forêts en région méditerranéenne. - Ministère des Transports, Direction de la Météorologie, Note Technique du Service Météorologie Métropolitain, 1979. 14 с.
7. Carrega P. Risque de feu forêt et habitat dispersé dans le sud de la France // Finisterra. 1992. Т. 27. № 53-54. P. 95 - 114.
8. Sol B. Estimation du risque météorologique d'incendies de forêts dans le sud-est de la France // Revue Forestière Française. Numéro special Escapes forestiers et incendies. 1990. С.263 - 271.
9. ICONA. Manual de operaciones contra incendios forestales. - Madrid: Ministerio de Agricultura, 1993.
10. Bovio G. Individuazione di un indice di previsione per il pericolo / G. Bovio, A. Quaglino, A. Nosenzo // Monti e Boschi. 1984. Т. 4. № 35. С. 39 - 44.

11. Goncalves Z.J. Meteorological index of forest fire risk in the Portuguese mainland territory / Z.J. Goncalves, L. Lourenco // Proceedings of the international conference on forest fire research. 1990. Т. 7. Р. 1- 14.
12. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования».
13. ГОСТ Р 22.1.09-99 «Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования»
14. Методические указания по прогнозированию пожарной опасности в лесах по условиям погоды / [Сост. д-р геогр. наук А. Л. Кат, В. А. Гусев, Т. А. Шубинина]; Гидрометеорол. науч.-исслед. центр СССР. М.: Гидрометеоиздат. Моск. отд-ние, 1975.
15. Жданко В. А., 1965. Научные основы построения местных шкал и значение их при разработке противопожарных мероприятий, в кн.: Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними, под ред. И.С.Мелехова, М., Лесная промышленность, С. 53—86.
16. Стародумов А.М. Шкала пожарной опасности погоды для условий Хабаровского края, Приморья и Амурской области // Сборник трудов ДальНИИЛХ. 1964. № 6. С. 176 - 185.
17. Телицын Г.П. Лесные пожары их предупреждение и тушение в Хабаровском крае. - Хабаровск, 1988. - 96 с.
18. Шкала пожарной опасности погоды для условий Хабаровского края, Приморья и Амурской области. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1965. 2 с.
19. Архив метеоданных NCEI NOAA собранных спутниками MODIS. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/data/global-hourly/archive/csv/>