

Методика экспресс-оценки экономического ущерба от лесных пожаров по данным спутниковой съёмки

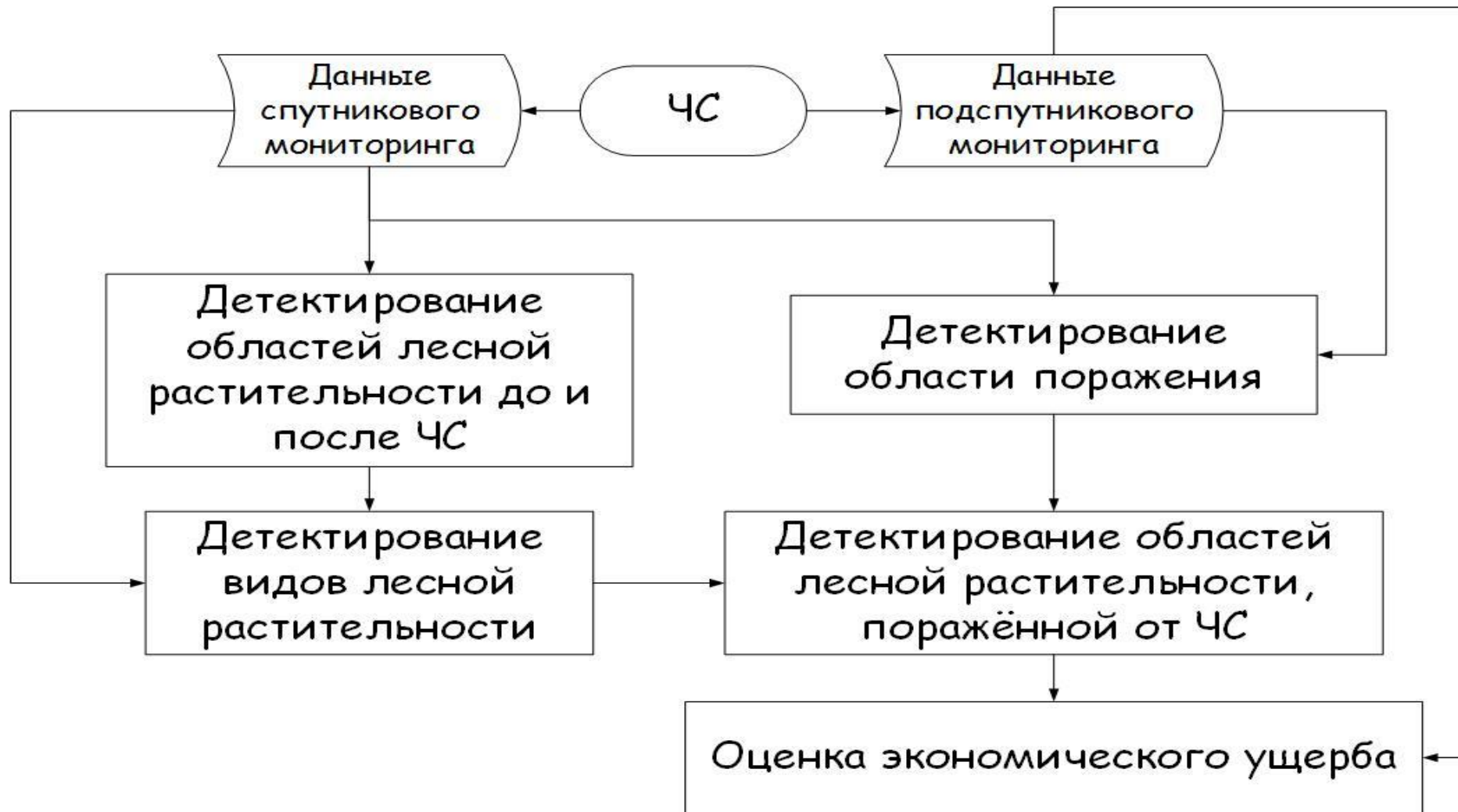
Рихтер А.А.

НИИ "АЭРОКОСМОС", Москва, Российская Федерация
urfin17@yandex.ru

Постановка задачи

- Системы дистанционного зондирования Земли из космоса наиболее эффективны при контроле обширных территорий, т.к. позволяют в течение относительно небольшого времени (не превышающего десятков минут) получать информацию о состоянии территорий площадью до несколько миллионов квадратных километров. Именно данное обстоятельство делает системы космического мониторинга незаменимым инструментом в условиях острого дефицита времени для принятия эффективных управленческих решений при обосновании выделения бюджетных ассигнований для решения задач предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) в случае возникновения крупномасштабных ЧС, в частности, лесных пожаров.
- Рассмотрен подход к экспресс-оценке экономического ущерба потерь растительности от стихийных бедствий (лесные пожары, наводнения, засуха) по данным космического мониторинга как в течение, так и в конце чрезвычайной ситуации.

Общая схема метода



Материал метода

В качестве данных подспутникового мониторинга:

- Об источнике поражения – вид (ξ), территориальное расположение (v), время протекания (от начала τ_1 до завершения τ_2) ЧС;
- Об объекте поражения – класс растительности i (физический класс или класс состояния) и параметры растительности, характерные для данной территории $\{p\}$; цена растительности i -го класса $\{C_i\}$.

В качестве данных космического мониторинга:

- Снимки до (I_1), во время (I) и после (I_2) ЧС для оперативной обработки (в моменты времени t_1 , t и t_2 соответственно);
- Снимок J ЧС для классификации растительности (в момент времени t).

Исходные данные для расчётов (для лесных пожаров):

- Космические изображения с пространственным разрешением до 250 м, которые обеспечивают выявление площади (га) и местоположения лесных гарей (географические координаты);
- Топографические карты М 1: 200 000, по которым определяется тип и порода сгоревшего леса, высота, толщина и густота сгоревшей лесной растительности;
- Стоимость 1 куб. м древесины на корню, которая зависит от региона, удалённости лесного массива от дорог и т.д. и в меньшей степени от типа и породного состава леса.

Требования к изображениям

Общие требования:

- Пространственное разрешение до 250 м;
- Радиометрическое разрешение не хуже 8 бит;
- Полная или частичная видимость области растительности и поражённой области; Геореферентность космических изображений;
- Съёмка в тёплое и бесснежное время года (для видимости области растительности);
- Оперативность цифровой обработки;
- Набор спектральных каналов: минимальный набор – 3-4, оптимальный набор – 2-4, 6, для дешифрирования классов растительности могут потребоваться 1-7 и другие каналы;
- Требования к моментам времени съёмки (см. ниже).

Для оперативного мониторинга (I1, I2, I) требованиям отвечают такие спутниковые системы, как (преимущественно низкого и сверхнизкого разрешения): Ресурс-0 (МСУ-Э, МСУ-СК), Terra, Aqua (Modis), NOAA-12, 14 (AVHRR), SPOT (HVR), IRS (LISS III). Для классификационной обработки (J) – более высокого разрешения, в частности, Landsat 4-8 (TM, ETM, OLI, TIR).

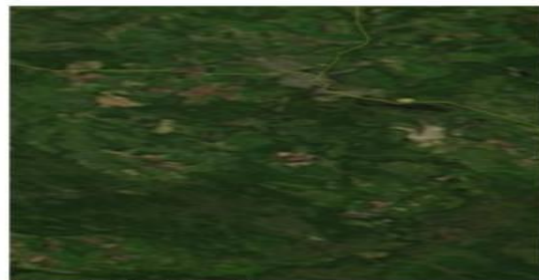


№	Канал	Длина волны, мкм
1	Blue	0.45-0.52
2	Green	0.52-0.6
3	Red	0.6-0.7
4	NIR	0.84-0.9
5	SWIR2	1.56-1.66
6	SWIR3	2.1-2.3
7	TIR	10.3-12.5

Изображение последствий ЧС (наводнение)



(a)



I1 (19 Июня, $\sim t_1$)



I (29 Июня, $\sim t$)



I2 (23 Августа, $\sim t_2$)

(б)

Наводнение в Иркутской области (г. Тулун, 2019 г., τ_1 – 27 Июня, τ_2 ~ 20 Августа):
а) интерфейс онлайн-ресурса Worldview; б) временные отчёты ЧС (Terra Modis)

Детектирование области поражения

- Детектирование затопленных территорий основано на определении границы раздела «вода – суша», для чего используются правила: 1) В видимом диапазоне спектра (VIS) вода имеет более высокий коэффициент поглощения, на дневных снимках водные поверхности темнее, чем земля; 2) В ближнем инфракрасном диапазоне (NIR) отражательная способность воды ниже, чем в VIS, поэтому NDVI для воды имеет отрицательные значения, а для мокрой земли – близкие к нулю; 3) Вода обладает более высокой тепловой инерцией, поэтому водные поверхности ночью теплей, а днем холодней, чем почва.
- Детектирование пожаров основано на значительной разнице температур земной поверхности (обычно не выше 10–25 С°) и очага пожара (300–900 С°). Почти 100-кратное различие в тепловом излучении объектов фиксируется на снимке, а информация, поступающая с других спектральных каналов, помогает отделить облака.
- Детектирование засухи основано на двух индексах засухи: 1) $K = \frac{dT}{s_T} - \frac{dQ}{s_Q}$, где dT и dQ – аномалии температуры и осадков в среднем за месяц, s_T и s_Q – их среднеквадратическое отклонение (критерий засухи – $S \geq 2$); 2) $L = \frac{T_{4д} + T_{4н}}{NDVI}$, где $T_{4д}$ и $T_{4н}$ – наиболее характерные значения яркостной температуры на тепловом канале (TIR) дневного и ночного снимков соответственно.

Оценка экономического ущерба

$$U = \sum_{i=1}^n C_i g_i S_i \text{ [руб]}$$

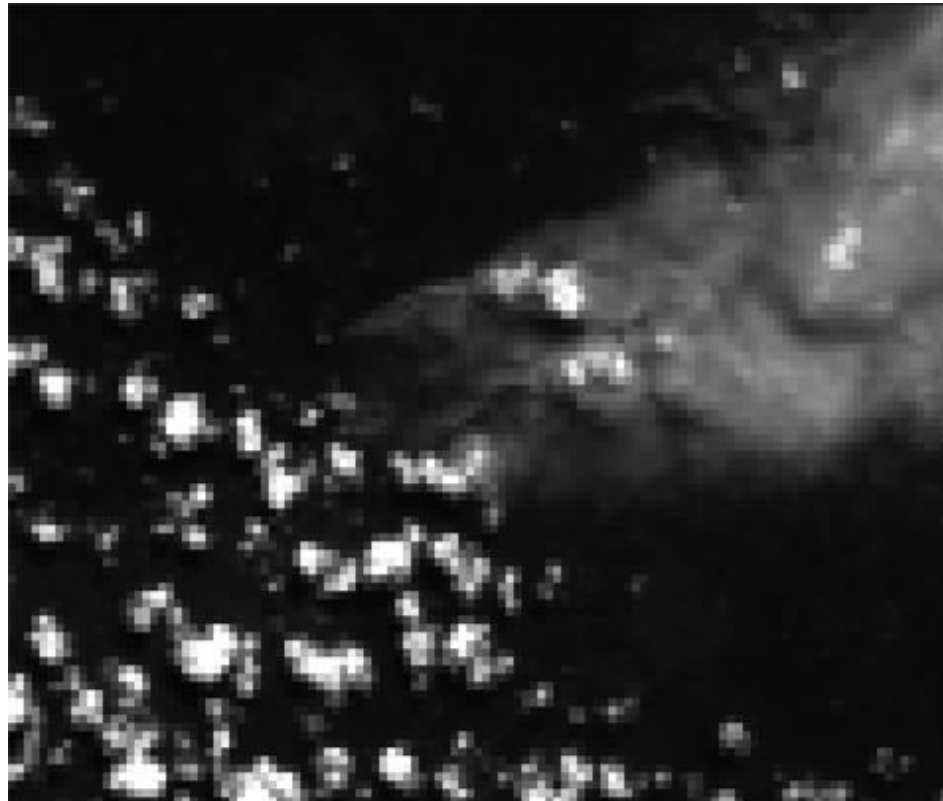
Для сельхозкультур: C_i – стоимость 1 центнера i -й культуры [руб/ц], g_i – среднестатистический (или прогнозируемый) многолетний урожай культуры [ц/га], $S=S_i$ – площадь погибшей культуры [га]

Для лесной растительности: C_i – стоимость 1 м³ i -го сорта древесины [руб/м³], g_i – объём древесины на 1 га [м³/га], $S=S_i$ – площадь гарей [га]. $g = \frac{\pi d^2 h}{12} \left(\frac{100}{N}\right)^2$
 h_i – высота, d_i – толщина, $N=N_i$ – густота древостоя (число деревьев на 1 га)

Основные дешифровочные признаки ЧС

ЧС	Визуальные признаки	Признаки ЧС при цифровой обработке
Наводнение	Превышения уровня воды от межевого	Проективное покрытие растительности до наводнения и открытая почва – после (мокрая, частично или полностью затопленная или подтопленная). Днём водные поверхности ночью теплей, а днём холодней, чем почва (тепловая инерция воды выше, чем почвы)
Пожар	Наличие направленных и клиновидных дымовых шлейфов	Аномально высокие температуры, обусловленные верховыми пожарами. Свежие гари после сильных низовых и повальных верховых пожаров имеют темно-серый и тёмный тон в панхроматическом канале. Растительность – до пожара, горельник – после, имеет чёрный цвет, обусловленный полным выгоранием напочвенного (мохового) покрова, подроста и подлеска, а также обугливания валежника.
Засуха	Сильная разрежённость растительности на угодьях	Продолжительные высокие температуры и отсутствие осадков. Чем выше сумма дневных и ночных температур и ниже вегетационный индекс, тем выше вероятность засухи

Изображение ЧС (лесные пожары)



(а)



(б)

Дымовые шлейфы от лесного пожара: а) канал 1; б) композит каналов 1-3 (Aqua Modis, ID – MYD02HKM.A2019184.0615.061.2019184190824, Красноярский край)

Лесотаксационные параметры

1. Ставка платы за единицу объёма древесины лесных насаждений:

N_u – номер лесотаксового района, N_p – номер породы лесных насаждений, t – таксонометрический разряд (принимает натуральные значения от 1 до 7), L – расстояние вывозки [км], N_q и q – качество древесины, C – ставка платы [рублей за 1 плотный m^3 древесины]

2. Сорта древесины и классификация лесной растительности:

N_p и p – номер и порода лесных насаждений, k – принадлежность к лиственным ($k=1$) или хвойным ($k=2$), d – диаметр ствола дерева в основании [м], D – диаметр кроны [м], l – расстояние между деревьями [м], H – высота дерева [м]. Имеют место минимальные ($L_{min}, d_{min}, D_{min}, l_{min}, H_{min}$), средние (L_m, d_m, D_m, l_m, H_m) и максимальные ($L_{max}, d_{max}, D_{max}, l_{max}, H_{max}$) величины в зависимости от p и других лесотаксационных параметров

3. Лесотаксовые районы и субъекты государства:

N_u и u – номер и лесотаксовый район, $N_{u'}$ и u' – лесхоз, N_U и U – субъект РФ, $N_{U'}$ и U' – муниципальный район, N_{uU} – связи между областями u и U

4. Географические координаты районов и субъектов и их координаты на регулярной сетке:

X_u и X_U – векторы географических координат лесотаксовых районов и субъектов РФ (долготы λ и широты ϕ поворотных точек полигонов областей); X_{minu} и X_{maxu} – минимальные и максимальные значения координат областей u , X_{minU} и X_{maxU} – областей U ; N_W – номера ячеек (строк h и столбцов v) синусоидальной разграфки W , которым соответствуют векторы координат X_W , в также X_{minW} , X_{maxW} ; N_{Wu} и N_{WU} – связи между номерами ячеек и номерами областей u и U

Значения и связь лесотаксационных параметров

Параметры пород деревьев

N_p	H, м	d, м	D, м	l, м	τ, лет	k
1	20-30	1-1.5	7-12	6-30	150-300	1
2	25-30	1.2-1.7	10-15	6-30	400-500	1
3	7-12	0.5-0.6	5-10	6-30	100-200	1
4	30-40	1-1.5	15-25	6-30	500-1000	1
5	30-35	1-1.8	6-10	6-30	300-400	2
6	25-30	1.3-1.8	15-25	6-30	300-400	1
7	30-40	1.4-2	4-5	6-30	400-500	2
8	20-30	0.8-1.2	10-14	6-30	200-300	1
9	20-30	0.8-1.2	12-15	6-30	300-400	1
10	30-40	0.8-1	10-15	6-30	400-900	2
11	15-20	0.5-0.8	7-10	6-30	50-100	1
12	20-30	0.3-0.9	10-14	6-30	100-150	1
13	25-35	0.5-1	10-12	6-30	80-100	1
14	20-40	1-1.5	7-10	6-30	150-200	2
15	20-40	0.6-1.2	8-15	6-30	300-500	2
16	40-45	1-1.2	3-5	10-30	80-100	1
17	25-35	1-1.2	20-30	10-30	150-200	1

Соответствие типов леса и произрастающих пород деревьев

Тип леса (N_k)	Доминантные породы деревьев (N_p)
Вечнозелёные хвойные леса (1)	Ель (5), кедр (7), лиственница (10), пихта (14), сосна (15) и др. Класс I
Вечнозелёные лиственные леса (2)	(в странах с тропическим и субтропическим климатом)
Мелколиственные леса (3)	Берёза (1), осина (13), ольха (11, 12) и др. Классы II-III
Широколиственные леса (4)	Бук (2), дуб (4), ясень (17), вяз (6), клён (8), граб (3), липа (9) и др. Класс I
Смешанные леса (5)	Берёза (1), осина (13), сосна (15), ель (5). Классы I-II
Лесостепи (8)	Дуб (4), липа (9), ясень (17) и др. Классы I-II

Соответствие классов высоты, диаметра кроны и высоты дерева

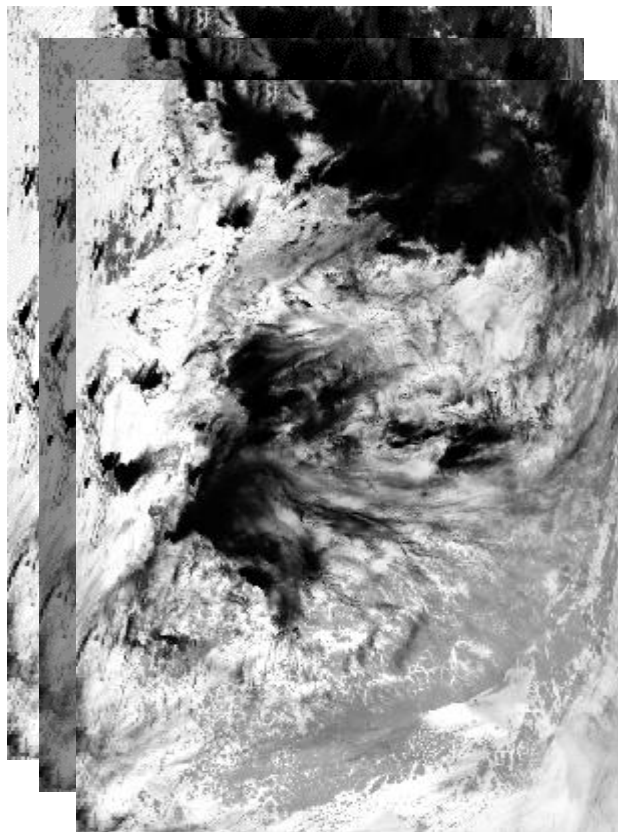
Класс высоты	Диаметр кроны, м (D)	Высота дерева, м (H)
I	$D \geq 10$ м	$H \geq 20$
II	$5 \text{ м} \leq D \leq 10 \text{ м}$	$10 \text{ м} \leq H \leq 20 \text{ м}$
III	$D \leq 5$ м	$H \leq 10$ м

.....

Информационные продукты, связанные с мониторингом лесных пожаров

Объекты мониторинга	Terra	Aqua
Калиброванные спутниковые снимки	MOD021KM, MOD02HKM, MOD02QKM	MYD021KM, MYD02HKM, MYD02QKM
Лесные пожары, гари, горельники	MOD14, MOD14A1, MOD14A2, MOD14CRS, MOD14CMQ, MOD14C8Q	MYD14A1, MYD14A2, MYD14CRS, MYD14CMQ, MYD14C8Q
Температура земной поверхности	MOD11_L2, MOD11A1, MOD11A2, MOD11B1, MOD11B2, MOD11B3, MOD11C1, MOD11C2, MOD11C3, MOD21, MOD21A1D, MOD21A1N, MOD21A2	MYD11_L2, MYD11A1, MYD11A2, MYD11B1, MYD11B2, MYD11B3, MYD11C1, MYD11C2, MYD11C3, MYD21, MYD21A1D, MYD21A1N, MYD21A2
Вегетационные индексы	MOD13A1, MOD13A2, MOD13A3, MOD13C1, MOD13C2, MOD13Q1, MOD44B (MOD15*, MOD16*, MOD17*, MOD43*, MOD44*)	MYD13A1, MYD13A2, MYD13A3, MYD13C1, MYD13C2, MYD13Q1 (MYD15*, MYD16*, MYD17*, MYD44*)
Облачность, задымлённость	MOD35_L2, MOD06_L2, MODATML2,	MYD35_L2, MYD06_L2, CLDMSK_L2_VIIRS_SNPP, CLDPROP_D3_VIIRS_SNPP, CLDPROP_L2_MODIS_Aqua, CLDPROP_L2_VIIRS_SNPP, CLDPROP_M3_VIIRS_SNPP

Спутниковые системы Terra/Aqua Modis



MOD021KM.A2019184.1
840.061.2019185071440

Красноярский край, Лесные
пожары, Июль 2019

Область растительности



Каналы 1-2 (Mod13)

$$P = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} 100\% \\ P > 0.6$$

Область поражения



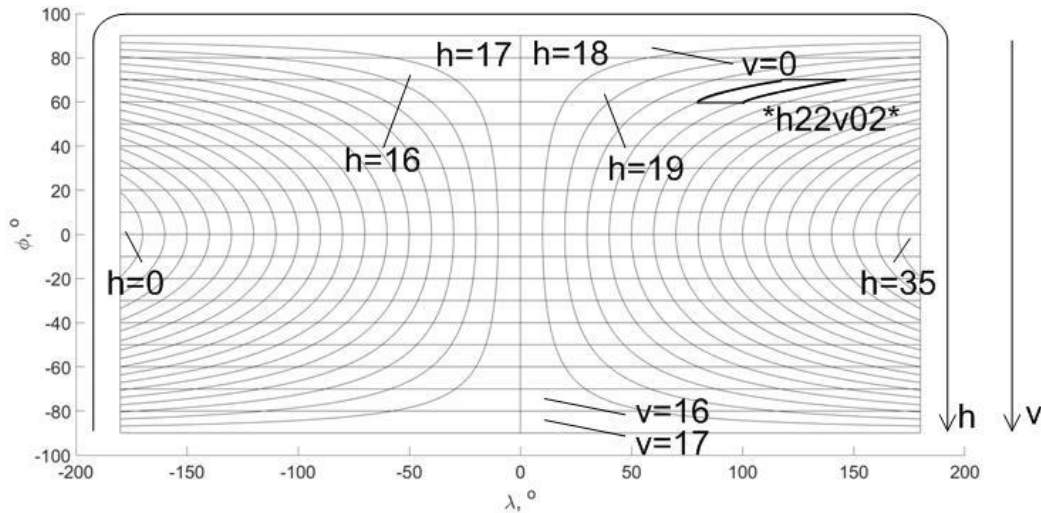
Каналы 22, 31 (Mod14)

$$\text{Key} = \{ [a > b + 4c) \text{ or } a > 320\text{K (315K)}] \text{ and } [(d > e +$$

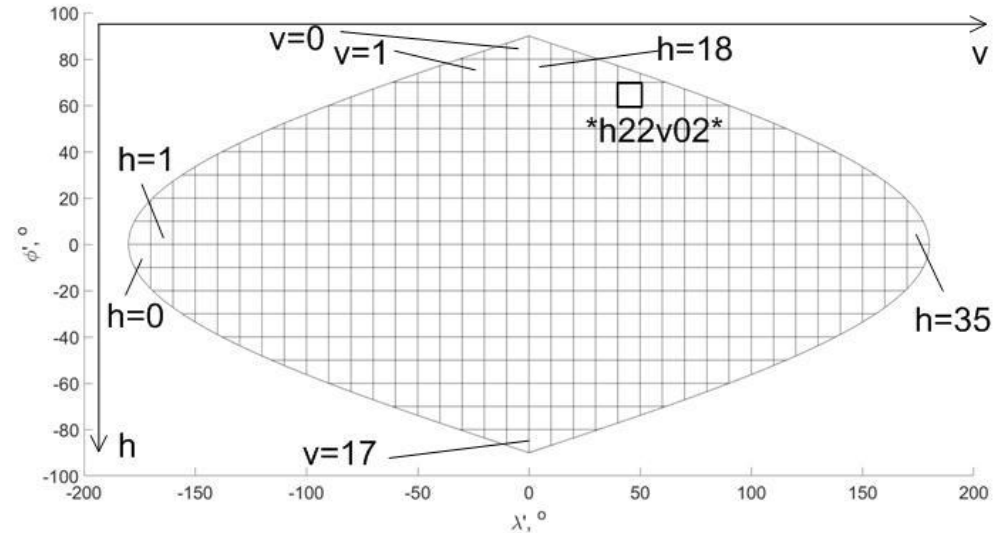
P – проективное покрытие растительности, $NDVI_{min}$ – минимальное значение, соответствующее открытой почве, $NDVI_{max}$ – максимальное значение, соответствующее зелёной растительности для данной географической местности

a – яркостная температура, b и c – средняя температура и её отклонение на канале 22, d – разность температур на каналах 22 и 31, e и f – медианная разница температур фоновых пикселей на каналах 22 и 31 и её отклонение

Схема разграфки продуктов вида *hHHvVV*



Разграфка 1



Разграфка 2

Продукты с ID=*hHHvVV* (тайлы, изображения I) формируются в виде массивов изображений на регулярной сетке W. Изображения хранятся в синусоидальной проекции с координатами точек (x,y), где $x=R*\lambda*\cos(\phi)$, $y=R*\phi$

На рисунке 4 показана сетка W в координатах (λ,φ) (разграфка 1) и (λ',φ'), где λ'=x, φ'=y при R=1 (разграфка 2). Сетка разделена на 36 ячеек по горизонтали (HH, h=0..35) и 18 ячеек по вертикали (VV, v=0..17).

Программа экспресс-оценки экономического ущерба от лесных пожаров

economic_damage

Area.mat
Report
Taxation.mat
add.m
browser.m
calculate1.m
calculate2.m
data.m
data0.m
data1.m
economic_damage.fig

C:
Users
Andrey
Desktop
Новая папка (4)
Новая папка

C
D
E
G
H

Добавить Удалить

Лесотаксовый Район
-
Порода Деревьев
-
Таксонометрический Разряд
-
Качество Древесины
-
Показать

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35

Субъект РФ - ...

H 0 35

V 0 17

Учёт Параметров Деревьев

Высота Деревьев, м 10

Диаметр Ствола, дм 5

Расстояние между Деревьями, м 30

Расчёт

	Лесотаксовый ...	Субъект РФ	Порода Деревьев	Лиственные/Хв...
1	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
2	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
3	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
4	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
5	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
6	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
7	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
8	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
9	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
10	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
11	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные
17	калининградский	Калининградская...	лиственница	хвойные

Компоненты программы

- I. Проводник, включающий: выбор содержимого текущей директории, выбор папки в иерархическом пути к текущей директории, выбор диска (список внутренних и внешних жёстких дисков, флеш-накопителей); корзину для накопления входных данных для расчёта; кнопки «Добавить» и «Удалить» (добавление данных в корзину и удаление данных из корзины);
- II. Меню настройки основных параметров. Включает выбор: лесотаксового района РФ, породы деревьев (основные породы – ель, пихта, берёза, дуб и т.д.), таксонометрического разряда (с 1 по 7), уровня качества древесины (деловая древесина без коры, средняя деловая древесина без коры, мелкая деловая древесина без коры, дровяная древесина в коре, кнопку «Показать» (в информационной панели отображается набор регламентируемых параметров древесины, соответствующих выбранным опциям);
- III. Информационная панель. Отображает соответствие регламентируемых параметров древесины, включающих: лесотаксовые районы, субъекты и районы РФ, породы деревьев, категории (лиственные или хвойные), разряды, минимальное и максимальное расстояние вывозки, ставки платы за единицу объёма древесины разного качества;
- IV. Графическая панель, включающая: окно с отображением границ государств и субъектов РФ; выбор субъекта РФ по названию или координатам и его отображение в графическом окне. Границы отображаются в синусоидальной проекции в координатах тайловых продуктов Modis (H, V).
- V. Панель настройки геометрических параметров деревьев: высота, диаметр ствола, расстояние между деревьями, флаг учёта параметров деревьев при расчётах.
- VI. Панель выходных данных, включающая кнопку «Расчёт» и лист отображения: данных об информационных продуктах, лесотаксовых параметров (по которым выполнен расчёт), результатов расчёта (объём древесины одного дерева, число деревьев на 1 га, объём древесины на 1 га, объём древесины на всей площади, площадь гарей, стоимость 1 м³ древесины, общий экономический ущерб в рублях).

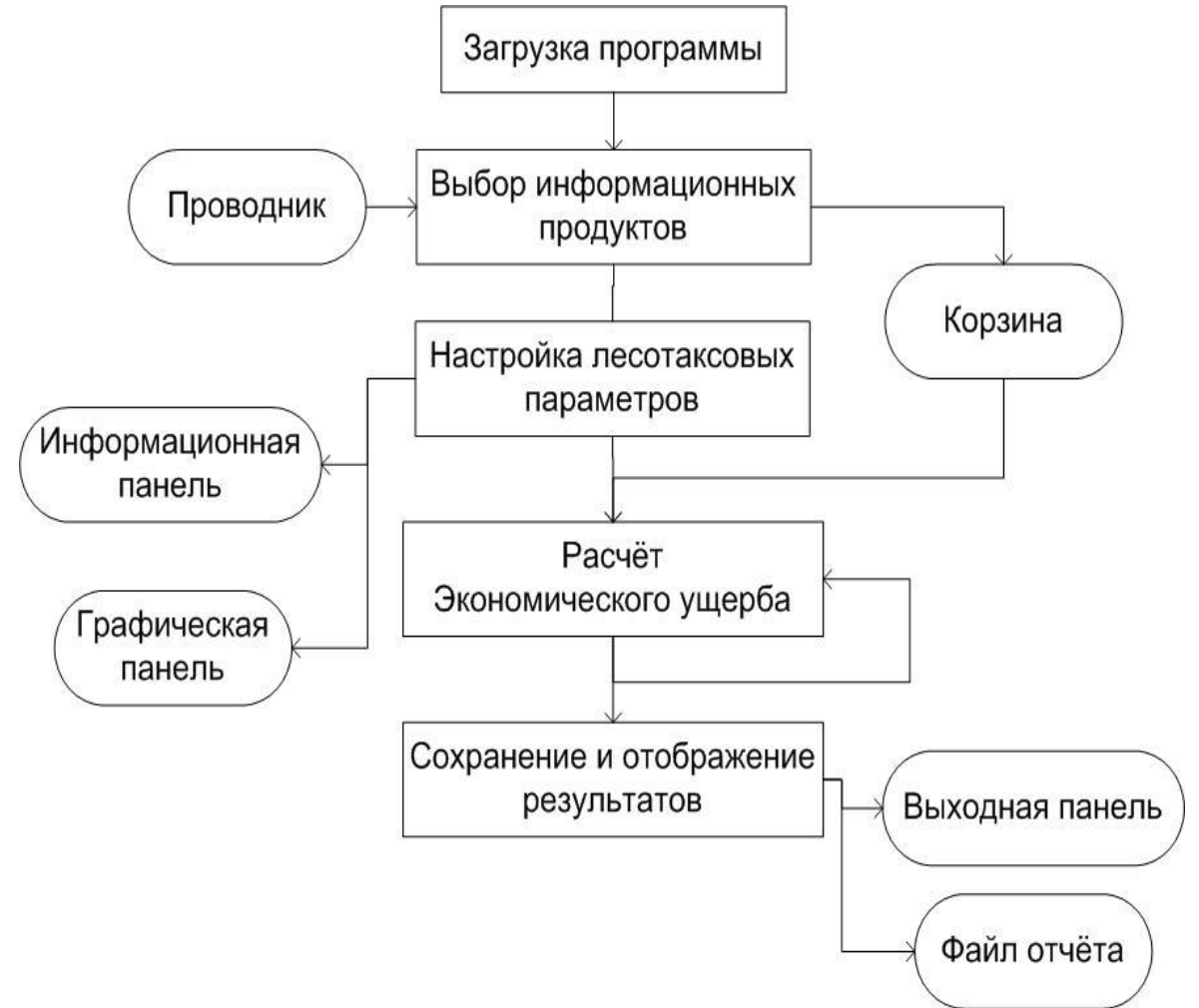
Схема работы программы

Программа работает со следующими информационными продуктами Modis (входные данные программы):

- Калиброванные спутниковые снимки (M[O,Y]D021KM);
- Лесные пожары, гари, горельники (M[O,Y]D14, MOD14A[1,2];
- Вегетационные индексы (M[O,Y]D13A[1,2,3]).

Сначала через проводник I в корзину загружается набор валидных входных данных. Далее настраиваются лесотаксовые параметры (панели II и V). При настройке в реальном времени меняется содержимое информационной и графической панели. После заполнения корзины и настройки параметров производится расчёт экономического ущерба (нажатием кнопки «Расчёт»), результат отображается в выходной панели, а также в файле текущего и общего отчёта.

В генерируемой папке Report (в директории программы) отображаются: изображения вегетационных индексов, областей с выгоранием леса, отчёт Report_ по результатам текущего сеанса работы и полный отчёт Report по результатам всех предыдущих сеансов работы.



Примеры работы программы

economic_damage

MOD13A1.A2019185.h22v02.006
 MOD13A1.A2019193.h22v02.006
 MOD13A1.A2019209.h22v02.006
 MOD13A2.A2019185.h22v02.006
 MOD13Q1.A2019177.h22v02.006
 MOD14.A2019184.0545.006.2019
 MOD14A1.A2019169.h19v08.006
 MOD14A1.A2019169.h19v08.006
 MOD14A1.A2019177.h22v02.006
 MOD14A1.A2019185.h22v02.006
 MOD14A1.A2019193.h22v02.006

Н:
Новая папка (2)

C
D
E
H
I

MOD14A1.A2019185.
MOD13A1.A2019185.

Добавить Удалить

Лесотаксовый Район
-

Порода Деревьев
дуб

Таксонометрический Разряд
3

Качество Древесины
дровяная в коре

Показать

Субъект РФ - ...

Н 21 23

V 1 3

Учёт Параметров Деревьев

Высота Деревьев, м 10

Диаметр Ствола, дм 5

Расстояние между Деревьями, м 30

Расчёт

	Лесотаксовый ...	Субъект РФ	Порода Деревьев	Лиственные/Хв...
1	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
2	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
3	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
4	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
5	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
6	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
7	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
8	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
9	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
10	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
11	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные
12	калининградский	Калининградская...	дуб	лиственные

расстояние вывозки, км 25-40
 качество древесины дровяная в коре

высота деревьев, м 10
 диаметр ствола, дм 0,5
 расстояние между деревьями, м 30

объем древесины одного дерева 0.6545
 число деревьев на 1 га 11.1111
 объем древесины на 1 га 7.2722
 объем древесины на всей площади, м3 1239183.7689
 площадь гарей, га 170400
 стоимость 1 м3 древесины, р 4.6733
 общий ущерб, р 5791118.8134

Примеры работы программы

economic_damage

Субъект РФ: Архангель...

H: 17, 21

V: 3, 0

Учёт Параметров Деревьев

Высота Деревьев, м: 10

Диаметр Ствола, дм: 5

Расстояние между Деревьями, м: 30

Расчёт

Лесотаксовый ...	Субъект РФ	Порода Деревьев	Лиственные/Хв...	Райо
1	первый восточн...	Красноярский кр...	береза	лиственные
2	первый восточн...	Красноярский кр...	береза	лиственные
3	первый восточн...	Красноярский кр...	береза	лиственные

изображения	mod13a1.a2019185.h22v02.006.2019210003902,mod14a1
продукт	terra,mod13a1,mod14a1
дата	4.7.2019
время	-
лесотаксовый район	первый восточно-сибирский
порода деревьев	береза
таксонометрический разряд	7
расстояние вывозки, км	от 100
качество древесины	деловая средняя
высота деревьев, м	10
диаметр ствола, дм	0.5
расстояние между деревьями, м	30

Примеры работы программы

economic_damage

MOD13A1.A2019209.h22v02.006
MOD13A2.A2019185.h22v02.006
MOD13Q1.A2019177.h22v02.006
MOD14.A2019184.0545.006.2019
MOD14A1.A2019169.h19v08.006
MOD14A1.A2019169.h19v08.006
MOD14A1.A2019177.h22v02.006
MOD14A1.A2019185.h22v02.006
MOD14A1.A2019193.h22v02.006
MOD14A2.A2019185.h22v02.006
MYP14A1.A2019177.h22v02.006

Н:
Новая папка (2)

C
D
E
H
I

MOD13A1.A2019177.
MOD14A1.A2019177.

Добавить Удалить

Лесотаксовый Район
северо-уральск...

Порода Деревьев
береза

Таксонометрический Разряд
7

Качество Древесины
деловая мелкая

Показать

Субъект РФ Ямало-Нен...

Н 19 22

V 3 0

Учёт Параметров Деревьев

Высота Деревьев, м 10

Диаметр Ствола, дм 5

Расстояние между Деревьями, м 30

Расчёт

	Лесотаксовый ...	Субъект РФ	Порода Деревьев	Лиственные/Хв...	Райо
1	северо-уральский	Пермский край	береза	лиственные	
2	северо-уральский	Пермский край	береза	лиственные	
3	северо-уральский	Пермский край	береза	лиственные	

расстояние вывозки, км 01 100
качество древесины деловая мелкая

высота деревьев, м 30
диаметр ствола, дм 0.8
расстояние между деревьями, м 30

объём древесины одного дерева 5.0265
число деревьев на 1 га 11.1111
объём древесины на 1 га 55.8505
объём древесины на всей площади, м3 1975712.7133
площадь гарей, га 35375
стоимость 1 м3 древесины, р 17.76
общий ущерб, р 35088657.7875

Отчёт работы программы

```
-----  
лесотаксовый район          северо-уральский  
порода деревьев            береза  
таксонометрический разряд  7  
расстояние вывозки, км     от 100  
качество древесины         деловая мелкая  
-----  
высота деревьев, м         30  
диаметр ствола, дм         0.8  
расстояние между деревьями, м 30  
-----  
объём древесины одного дерева 5.0265  
число деревьев на 1 га      11.1111  
объём древесины на 1 га     55.8505  
объём древесины на всей площади, м3 9516931.3453  
площадь гарей, га          170400  
стоимость 1 м3 древесины, р 17.76  
общий ущерб, р             169020700.6921  
-----
```

```
-----  
изображения                  mod13a1.a2019177.h22v02.006.2019194004523,mod14a1.a2019177.h22v02.006.2019186004419  
продукт                      terra,mod13a1,mod14a1  
дата                          26.6.2019  
время                          -  
-----
```

```
-----  
лесотаксовый район          северо-уральский  
порода деревьев            береза  
таксонометрический разряд  7  
расстояние вывозки, км     от 100  
качество древесины         деловая мелкая  
-----  
высота деревьев, м         30  
диаметр ствола, дм         0.8  
расстояние между деревьями, м 30  
-----  
объём древесины одного дерева 5.0265  
число деревьев на 1 га      11.1111  
объём древесины на 1 га     55.8505  
объём древесины на всей площади, м3 1975712.7133  
площадь гарей, га          35375  
стоимость 1 м3 древесины, р 17.76  
общий ущерб, р             35088657.7875  
-----
```

```
-----  
изображения                  mod13a1.a2019177.h22v02.006.2019194004523,mod14a1.a2019177.h22v02.006.2019186004419  
продукт                      terra,mod13a1,mod14a1  
дата                          26.6.2019  
время                          -  
-----
```

```
-----  
лесотаксовый район          северо-уральский  
порода деревьев            береза  
таксонометрический разряд  7  
расстояние вывозки, км     от 100  
качество древесины         деловая мелкая  
-----  
высота деревьев, м         30  
диаметр ствола, дм         0.8  
расстояние между деревьями, м 30  
-----  
объём древесины одного дерева 5.0265  
число деревьев на 1 га      11.1111  
объём древесины на 1 га     55.8505  
объём древесины на всей площади, м3 1975712.7133  
площадь гарей, га          35375  
стоимость 1 м3 древесины, р 17.76  
общий ущерб, р             35088657.7875  
-----
```

Выводы

- Методики космической информации позволяют значительно повысить оперативность обнаружения чрезвычайных ситуаций и их предвестников, а также эффективность операторов-дешифровщиков.
- Ошибки методики, обусловленные прежде всего присутствием облачности на изображении, уменьшают полученный по расчётам ущерб, так как облака и тени от облаков не рассматриваются как объекты, пострадавшие в результате паводка. Реальную ошибку от наличия облачности на космических изображениях получить трудно, для избегания чего необходимо использовать снимки с низким процентом облачности.
- Космический мониторинг позволяет регистрировать зоны ЧС (наводнения, лесные пожары, засуха и др.), оценивать их последствия и имеет относительно низкую стоимость по сравнению с авиасъёмкой.
- Разработана методика экспресс-оценки экономического ущерба потерь растительности от стихийных бедствий по данным спутниковой съёмки. Для получения экспресс-оценки ущерба от потери растительности (лесохозяйственная и сельскохозяйственная) в результате ЧС необходимо: идентифицировать очаги ЧС на космических изображениях; определить местоположение очагов (координатная привязка); определить площади поражённых участков в заданный момент времени; оценить ущерб в натуральных показателях.