



X Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов» памяти академика Ю.И. Шокина

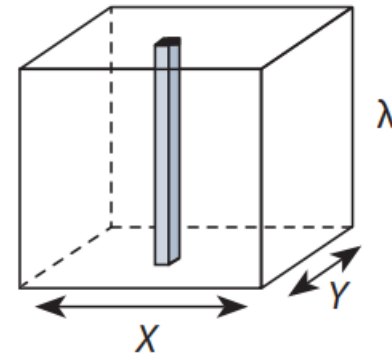
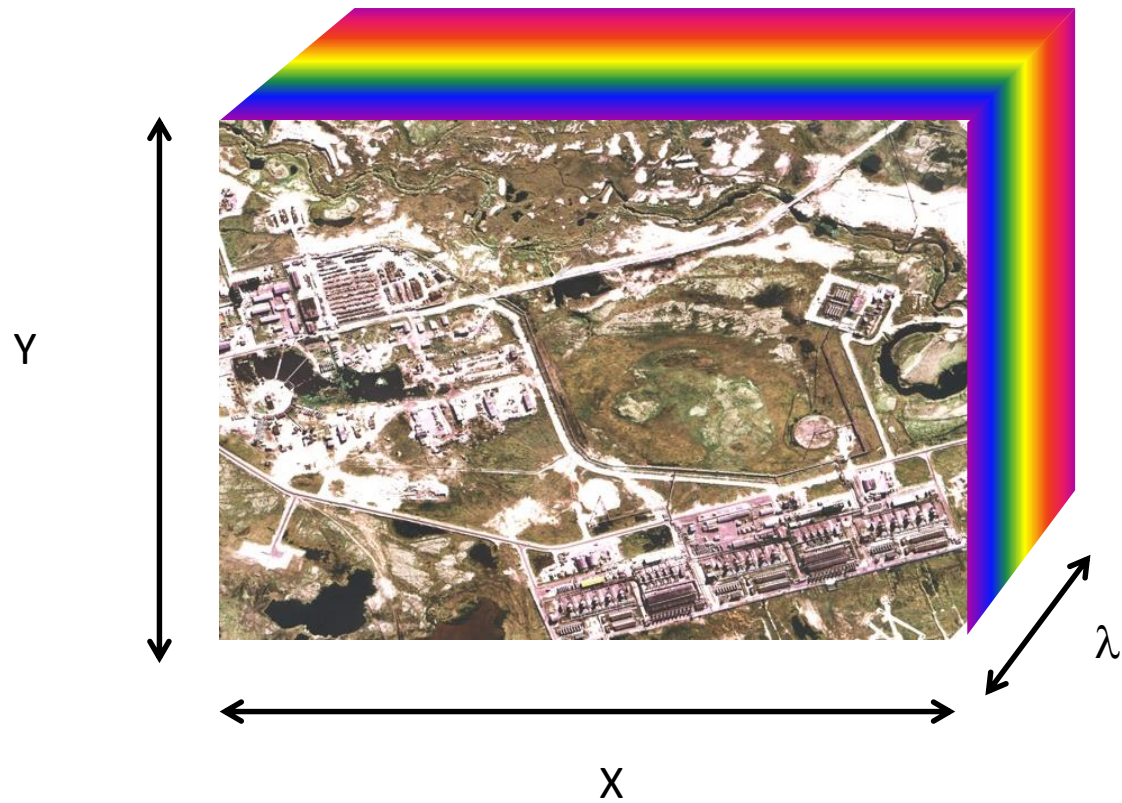


**КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И ИСКУССТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ
ПО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ РЕАЛЬНЫХ СЦЕН**

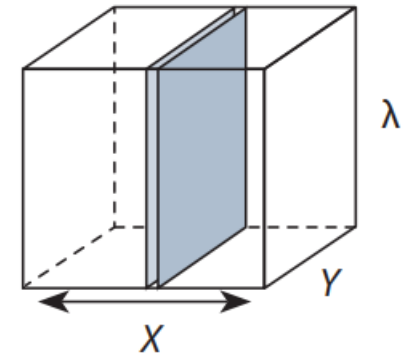
С.М. Борзов, Е.С. Нежевенко, С.И. Орлов, О.И. Потатуркин, С.Б. Узилов



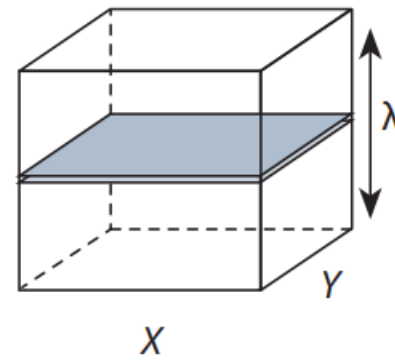
Способы регистрации гиперспектральных изображений



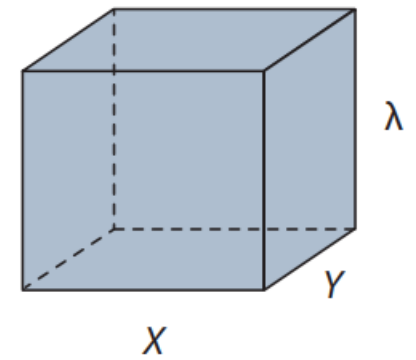
Точечное сканирование



Линейное сканирование



Спектральное сканирование

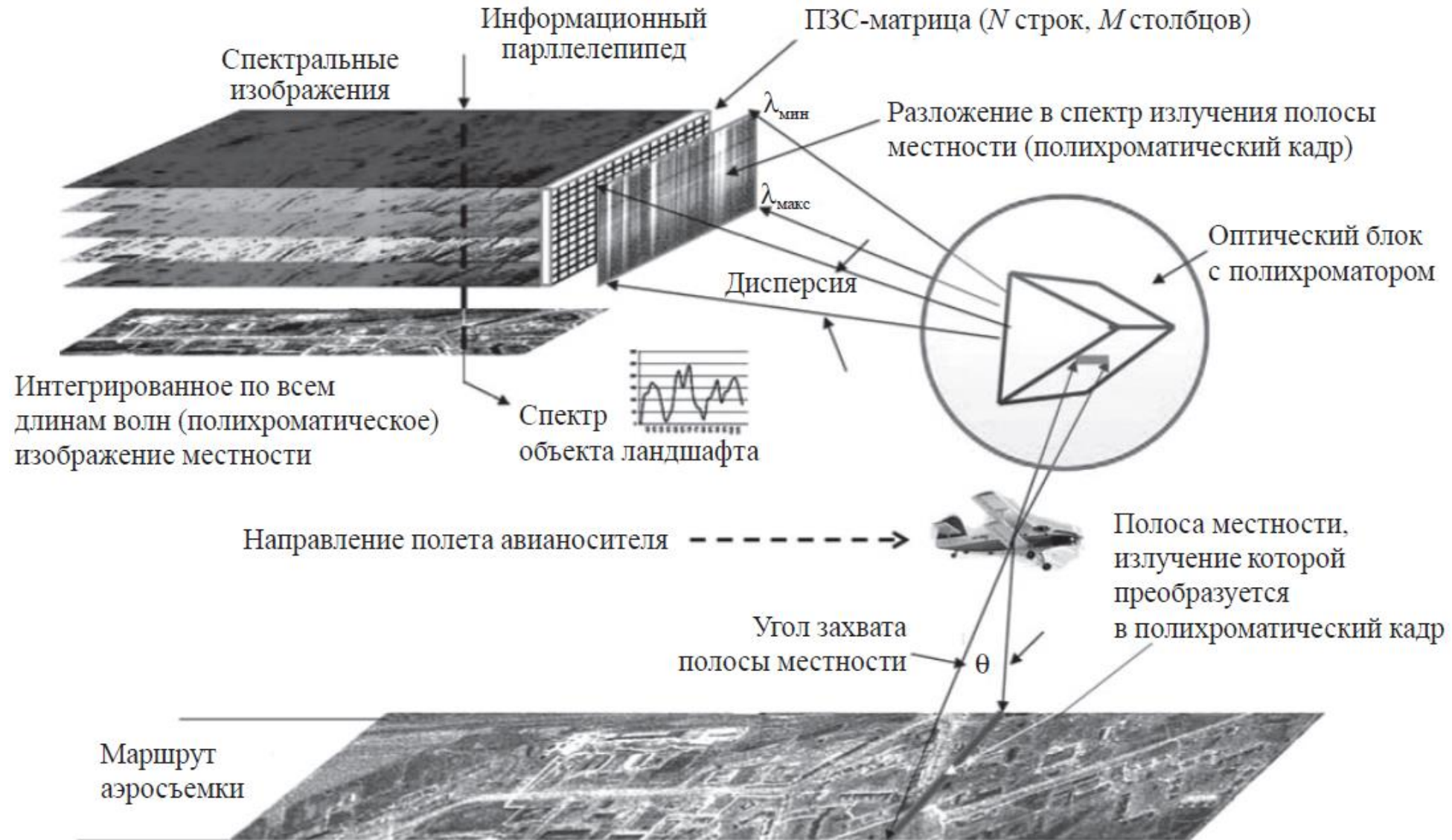


Без сканирования



Формирование гиперспектральных данных

Линейное сканирование

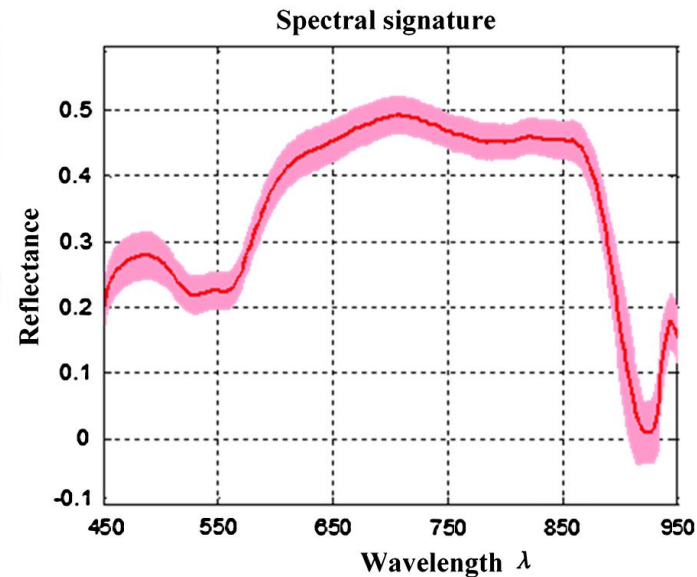
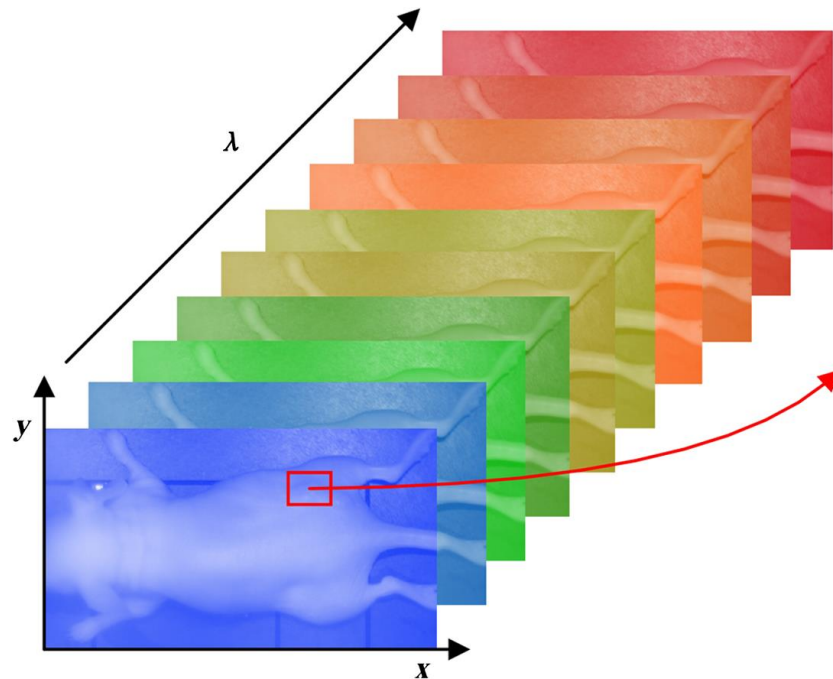




Спектральное сканирование

При спектральном сканировании выход каждого двухмерного датчика представляет собой монохроматическую («одноцветную») пространственную (x, y) карту сцены.

Устройства для спектрального сканирования обычно основаны на оптических полосовых фильтрах (настраиваемых или фиксированных). Сцена спектрально сканируется путем замены одного фильтра на другой, пока платформа остается неподвижной.



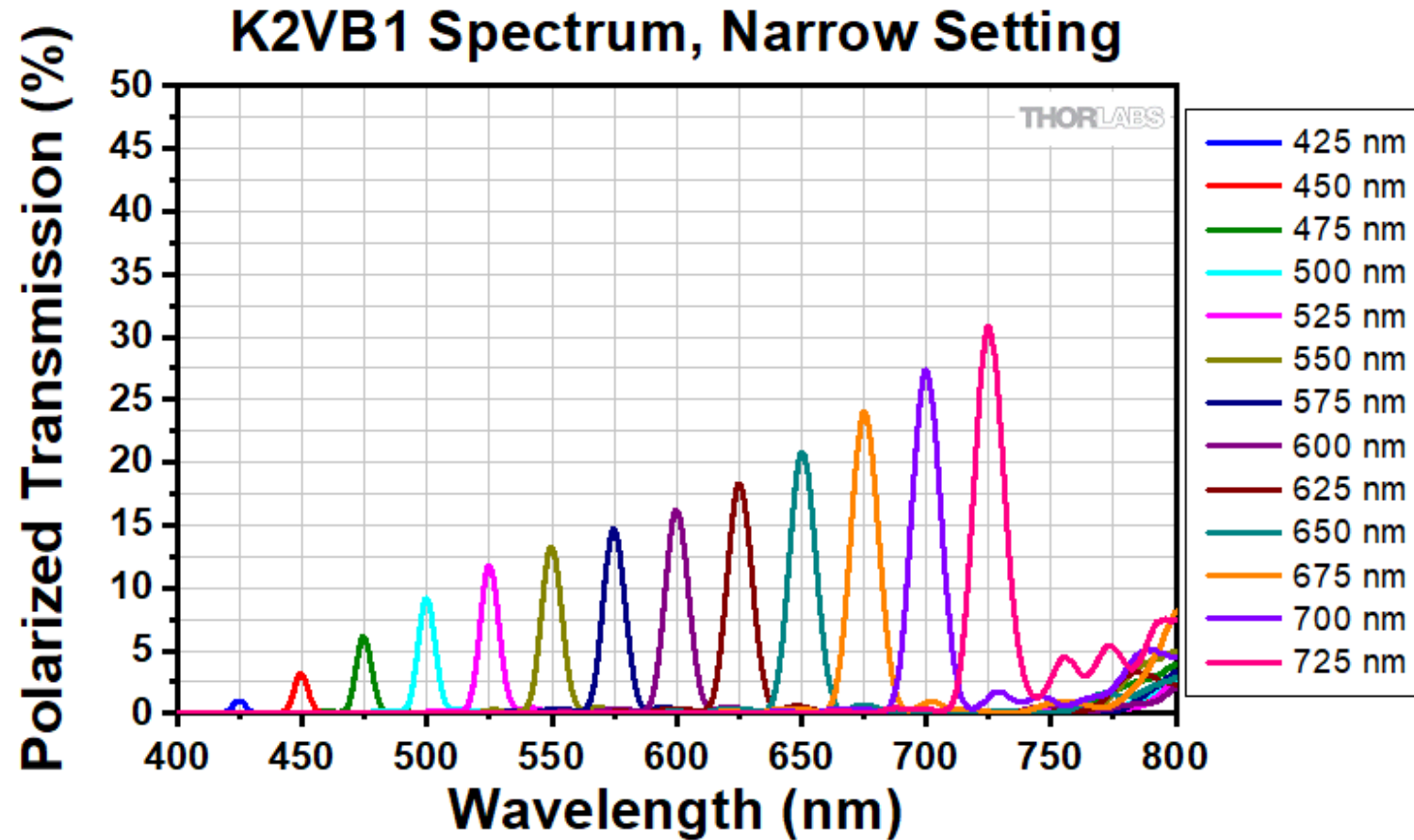


Спектральный электроуправляемый жидкокристаллический (ЖК) фильтр Thorlabs KURIOS



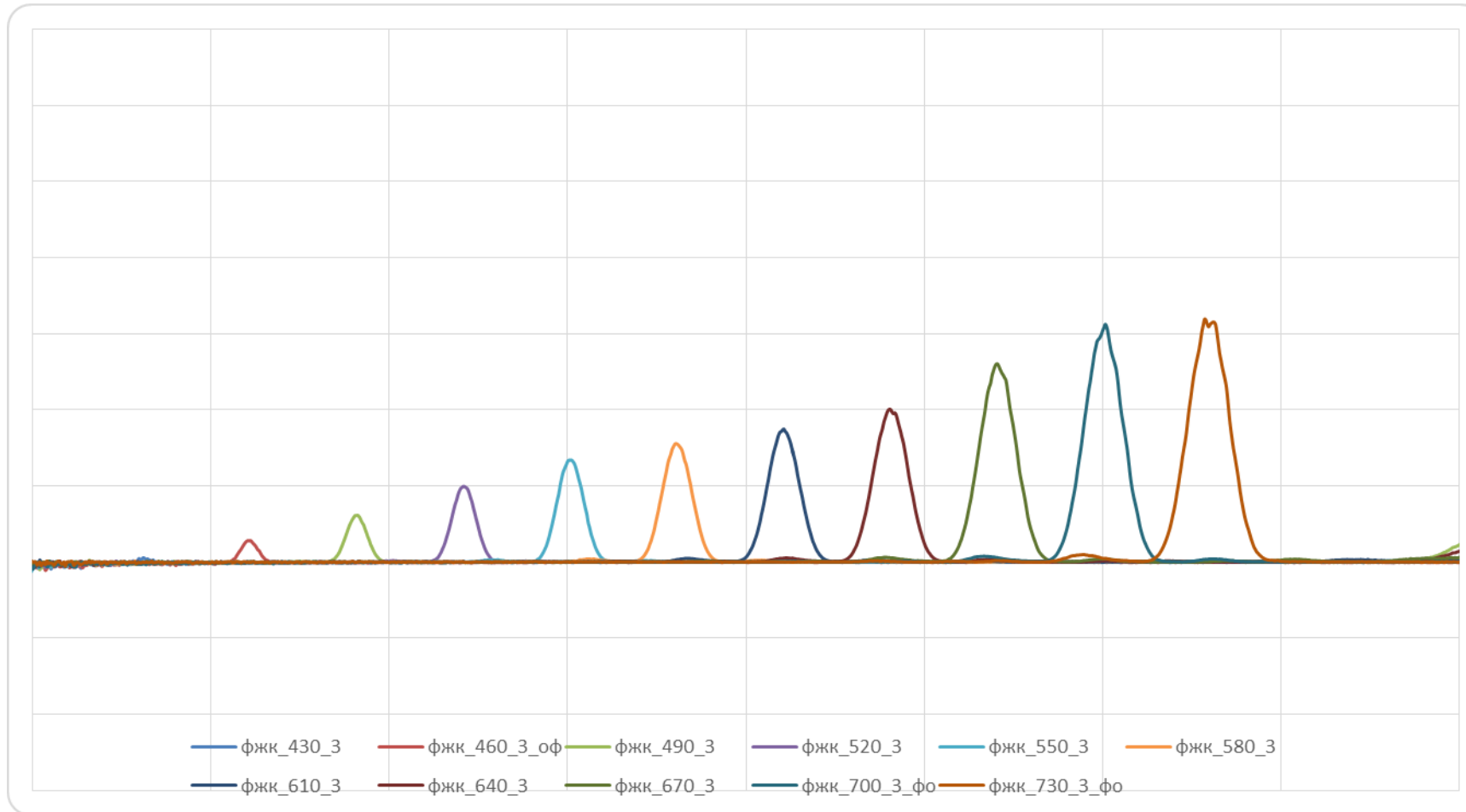


Спектры пропускания фильтра KURIOS VB1 по данным производителя



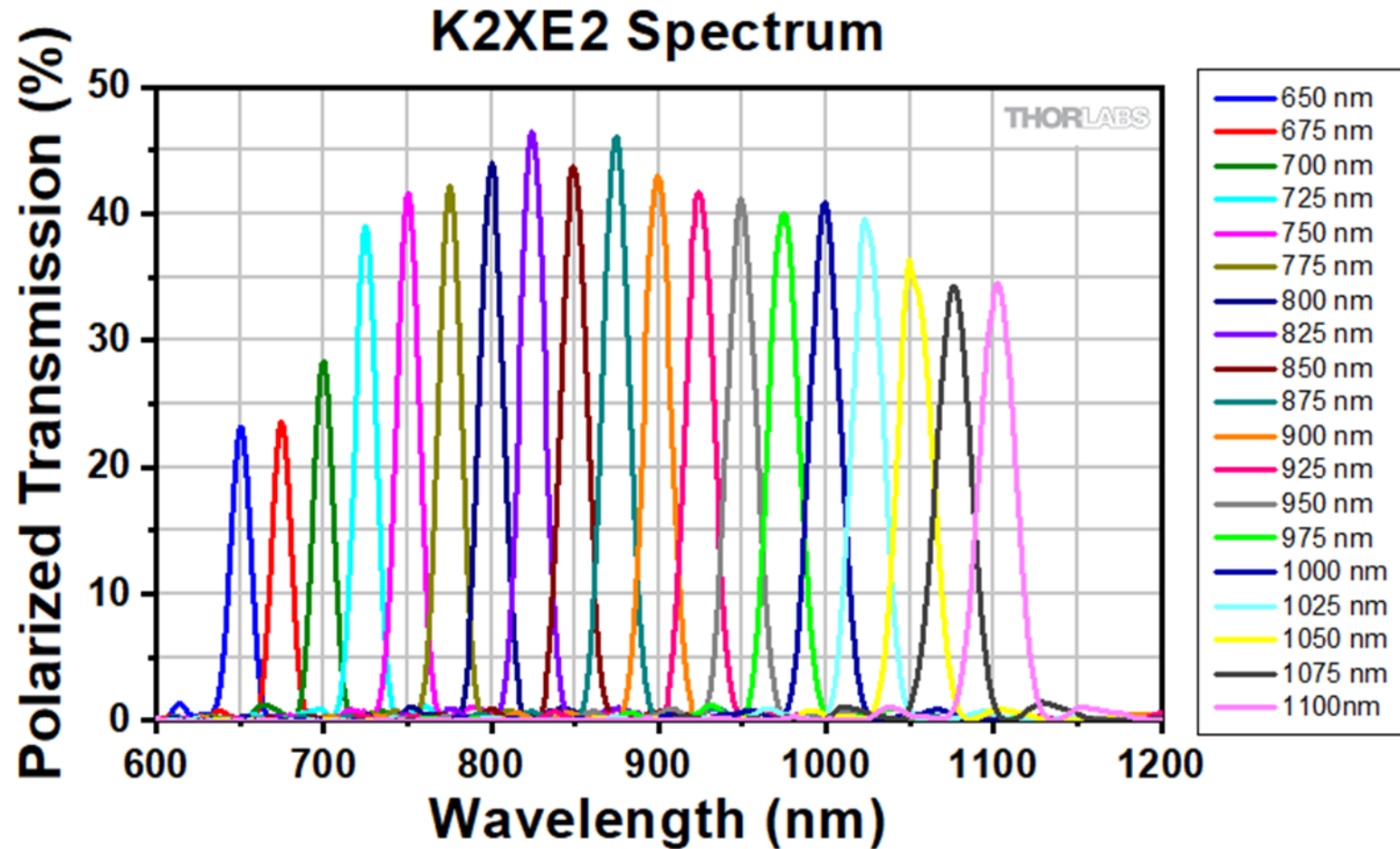


Измеренные спектры пропускания фильтра KURIOS VB1



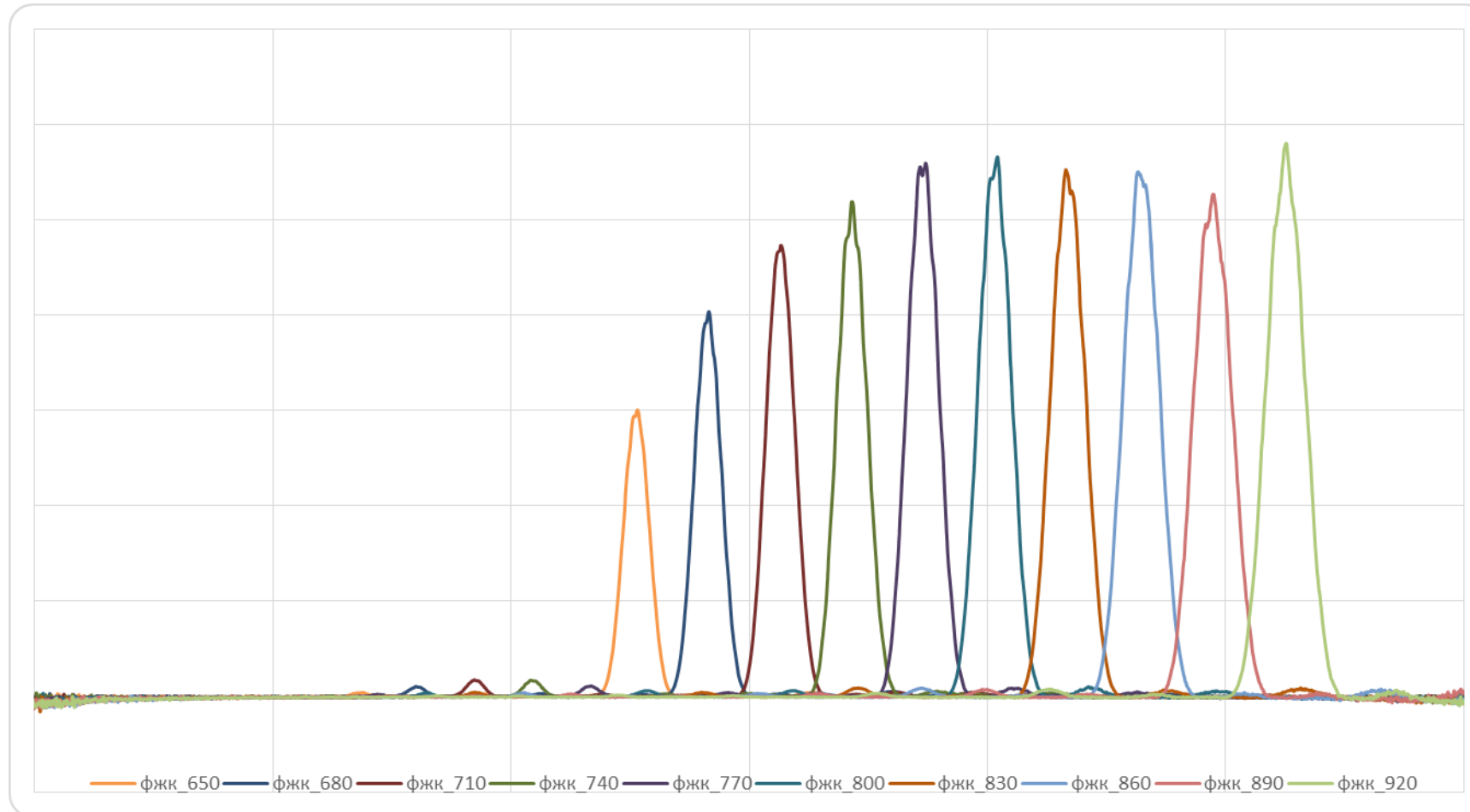


Спектры пропускания фильтра KURIOS XE2 по данным производителя

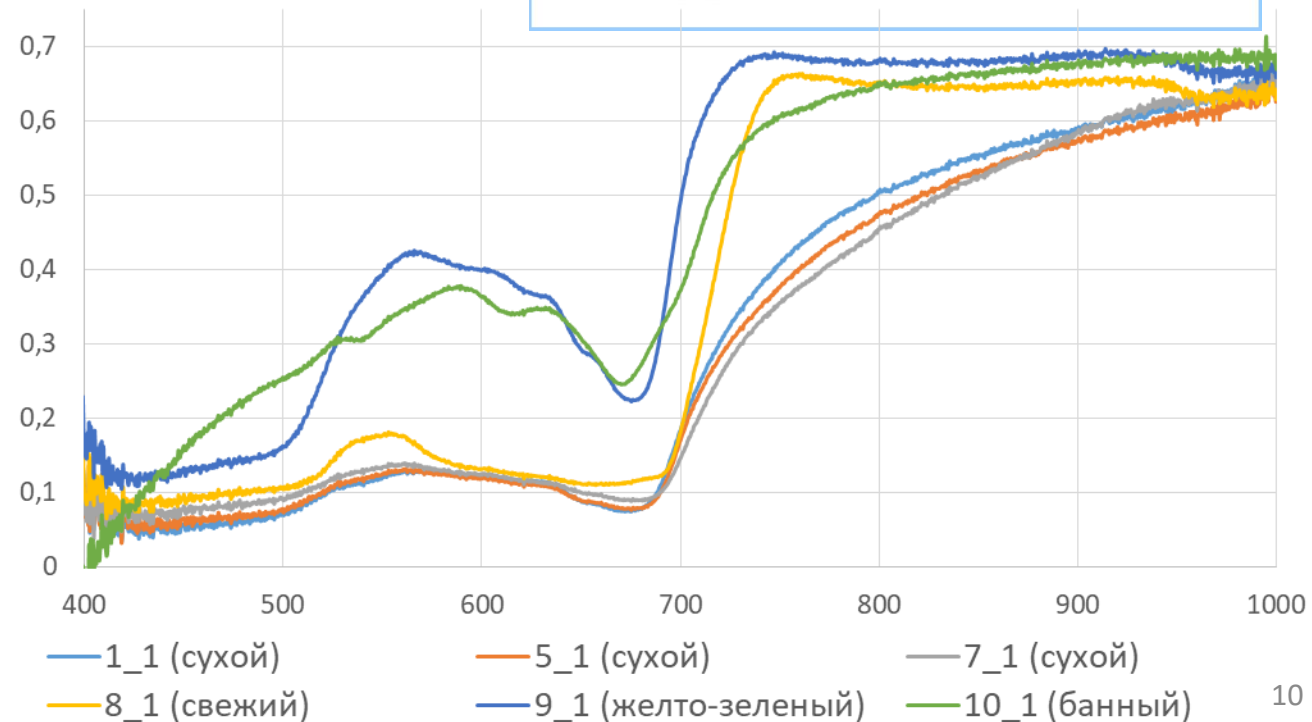
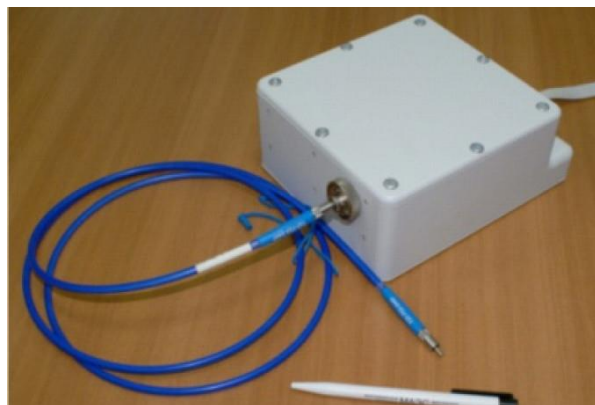




Измеренные спектры пропускания фильтра KURIOS XE2



Экспериментальные исследования эффективности классификации материалов по данным спектрометра



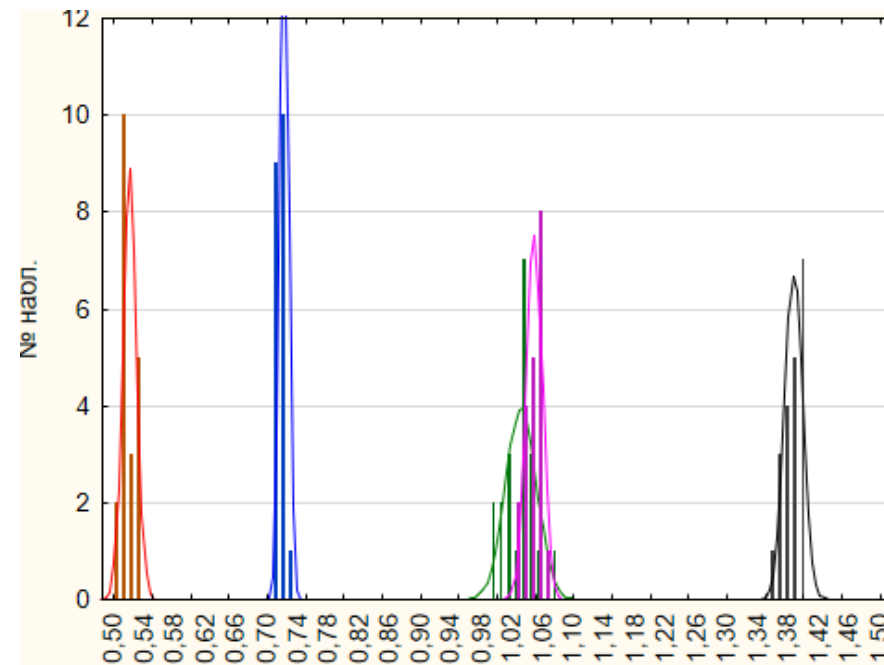
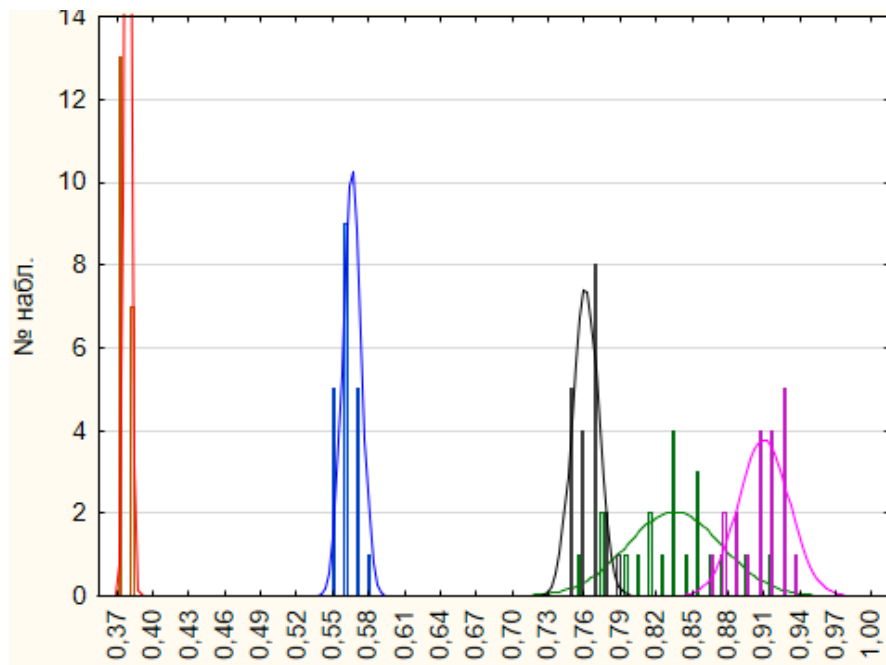
Многоканальный спектрометр Колибри-2
№ 33011-11 в Госреестре средств измерения РФ

Экспериментальные исследования эффективности классификации материалов по данным спектрометра

$$TCHVI = \frac{(r_{red}-r_{gr})-(r_{nir}-r_{red})}{abs(r_{red}-r_{gr})+abs(r_{nir}-r_{red})}$$

$$NDVI = \frac{(r_{nir}-r_{red})}{(r_{nir}+r_{red})}$$

На практике для обработки гиперспектральной информации чаще всего применяются эмпирические методы, направленные на уменьшение объема входных данных. К ним в первую очередь относится использование так называемых вегетационных индексов.



Гистограммы NDVI и TCHVI для различных объектов: красный – темная зона фуражки, синий – светлая зона фуражки, черный – зеленая ткань, зеленый – свежий лист, сиреневый – недельный лист



Экспериментальные исследования эффективности классификации материалов по данным спектрометра

Проведены эксперименты по исследованию спектральных характеристик образцов зеленой растительности различной свежести и ряда неприродных объектов, определены информативные спектральные каналы при формировании признаков на основе вегетационных индексов NDVI или TCHVI. Сравнив ошибки классификации по этим индексам, сделан вывод, что для выделения маскировочных материалов на фоне зеленой растительности предпочтительнее использовать вегетационный индекс TCHVI.

Наличие увядшей растительности в поле зрения в реальных полевых условиях является, как правило, одним из признаков применения в зоне наблюдения средств естественной маскировки антропогенных объектов (объектов техники и элементов инфраструктуры).

Поэтому в первую очередь представляет интерес, насколько вегетационный индекс TCHVI эффективен для разделения свежей и срезанной зеленой растительности.

В развитие этих исследований на этапе 2 проведена классификация свежей и срезанной растительности по вегетационному индексу TCHVI при различных параметрах спектральных интервалов. Для этого рассчитывались его значения для зеленой области спектра при центральной длине волны $\lambda_{gr} = 490 \text{ нм}, 510 \text{ нм}, 530 \text{ нм}, 550 \text{ нм}, 570 \text{ нм}$, красной области при $\lambda_{red} = 650 \text{ нм}, 670 \text{ нм}, 690 \text{ нм}, 710 \text{ нм}$, ИК области при $\lambda_{nir} = 770 \text{ нм}$ и ширинах полос $\Delta\lambda = 10 \text{ нм}, 20 \text{ нм}, 30 \text{ нм}, 40 \text{ нм}$ при всех возможных комбинациях этих параметров.

В результате определена доля верно классифицированных образцов для всех комбинаций параметров спектральных полос (таблица 1). Данные представлены в формате «xxx/ууу», где xxx – точность классификации нейросетевым методом, ууу – точность классификации методом опорных векторов. Их эффективность достаточно близка, несколько большую точность демонстрируют нейросетевые методы.



Исследование спектральных характеристик листьев зеленой растительности различной свежести

Таблица 1

λ_{red} ($\Delta 10$ нм)	λ_{gr} ($\Delta 10$ нм)					λ_{red} ($\Delta 20$ нм)	λ_{gr} ($\Delta 20$ нм)				
	490 нм	510 нм	530 нм	550 нм	570 нм		490 нм	510 нм	530 нм	550 нм	570 нм
650 нм	0,825/0,825	0,650/0,5	0,85/0,85	0,925/0,9	0,95/0,925	650 нм	0,8/0,8	0,6/0,5	0,85/0,825	0,925/0,9	0,925/0,925
670 нм	0,775/0,725	0,750/0,5	0,825/0,8	0,925/0,9	0,95/0,9	670 нм	0,725/0,725	0,625/0,5	0,825/0,825	0,925/0,875	0,925/0,925
690 нм	0,975/0,95	0,925/0,85	0,7/0,5	0,8/0,825	0,8/0,8	690 нм	0,975/0,95	1,0/0,95	0,625/0,5	0,75/0,7	0,775/0,65
710 нм	0,975/0,95	0,975/0,95	1,0/1,0	1,0/0,975	0,975/0,975	710 нм	0,975/0,95	0,975/0,95	1,0/0,975	1,0/0,975	0,975/0,975

λ_{red} ($\Delta 30$ нм)	λ_{gr} ($\Delta 30$ нм)					λ_{red} ($\Delta 40$ нм)	λ_{gr} ($\Delta 40$ нм)				
	490 нм	510 нм	530 нм	550 нм	570 нм		490 нм	510 нм	530 нм	550 нм	570 нм
650 нм	0,8/0,825	0,65/0,5	0,85/0,8	0,9/0,875	0,925/0,9	650 нм	0,775/0,775	0,65/0,5	0,825/0,775	0,925/0,875	0,925/0,9
670 нм	0,75/0,75	0,525/0,5	0,825/0,825	0,925/0,875	0,925/0,9	670 нм	0,7/0,75	0,675/0,5	0,8/0,8	0,9/0,875	0,925/0,925
690 нм	1,0/0,975	1,0/1,0	0,625/0,5	0,725/0,5	0,6/0,5	690 нм	1,0/0,975	1,0/1,0	0,775/0,7	0,6/0,5	0,6/0,5
710 нм	0,975/0,975	0,975/0,95	1,0/1,0	1,0/0,975	1,0/0,975	710 нм	0,975/0,975	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/1,0	1,0/0,975

Обосновано применение спектральных каналов с шириной полосы 30 – 40 нм. Ее уменьшение приводит лишь к уменьшению уровня регистрируемых сигналов. Показана целесообразность применения трехканального вегетационного индекса TSNVI для выделения антропогенных материалов на фоне зеленой растительности.

Отмечены значительные изменения эффективности классификации при небольших смещениях спектральных каналов. Так для центральных длин волн 510 нм и 690 нм (с шириной 30 нм) точность классификации достигает 100%, а изменение одной из полос на 20 нм (510-670 нм или 530-690 нм) приводит к ее резкому падению (до 52,5% и 62,5%, соответственно).



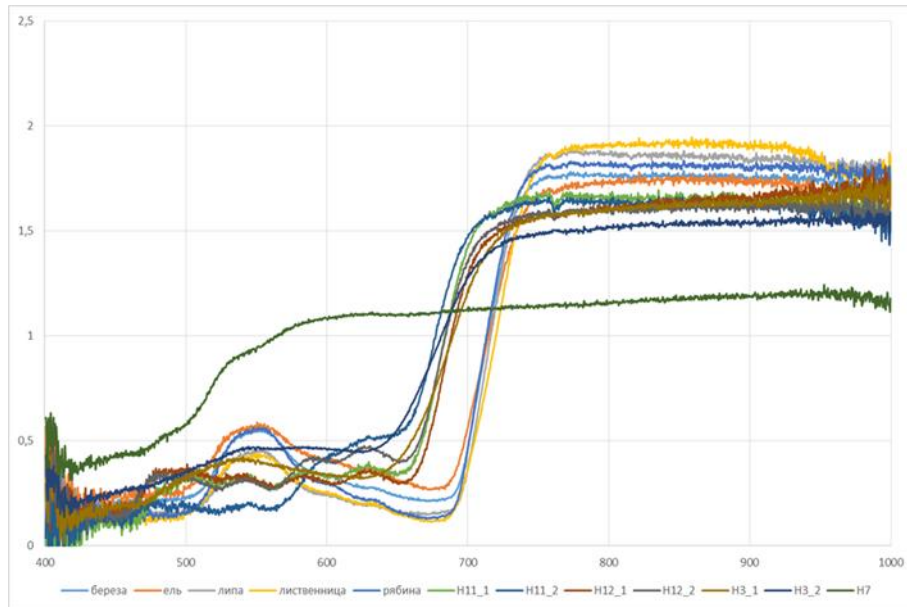
Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

Дальнейшие экспериментальные исследования проводились по классификации более сложных объектов, в качестве которых выбраны листья нескольких растений (5 классов) и камуфляжные покрытия (7 классов).

Классы растений: береза, ель, липа, лиственница, рябина.

Классы камуфляжных покрытий для изготовления маскировочных сетей: Н11_1, Н11_2, Н12_1, Н12_2, Н3_1, Н3_2, Н7.

Для каждого класса объектов определены спектры отражения, на основе которых сформированы коэффициенты спектральной яркости (КСЯ) 20 различных образцов.



КСЯ образцов измерялись в 1552 спектральных диапазонах с последующей нормировкой на среднее значение по всем спектральным отсчетам.

В результате для оценки эффективности классификации объектов применялось нормированная матрица данных размером 240×1552 элементов.

Для обучения классификатора из 20 образцов каждого типа объектов использовалось 10.

Для классификации применялись системы, состоящие из одного, двух и трех признаков в специально выбранных спектральных диапазонах.

Спектры отражения исследуемых объектов



Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

В качестве систем из одного признака использовались:

- вегетационные индексы NDVI, TCHVI.

В качестве систем из двух признаков использовались:

- интегрированные спектральные диапазоны r_{gr} , r_{red} ;

- разностные индексы $INDEX_1 = \frac{(r_{gr} - r_{red})}{(r_{gr} + r_{red})}$, $INDEX_2 = \frac{(r_{nir} - r_{red})}{(r_{nir} + r_{red})}$.

В качестве систем из трех признаков использовались:

- интегрированные спектральные диапазоны r_{gr} , r_{red} , r_{nir} .

На этапе 1 показано, что наибольшее влияние на точность классификации оказывает положение полосы измерения КСЯ в красной спектральной области, а на этапе 2 обосновано применение спектральных каналов с шириной полосы 30 – 40 нм.

Поэтому при проведении экспериментальных исследований выбраны полосы шириной 30 нм:

r_{red} – усредненное значение КСЯ в одной из красных полос спектра (660-690 нм), (675-705 нм), (695-725 нм),

r_{gr} – усредненное значение КСЯ в зеленой полосе спектра (525-555 нм),

r_{nir} – усредненное значение КСЯ в ближней ИК полосе спектра (755-785 нм).

Согласно всем приведенным выше системам признаков с помощью обученной нейронной сети выполнена классификация 240 полученных реализаций спектров (20 образцов каждого из 12 классов объектов).

Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

В качестве иллюстрации рассмотрим применение нескольких различных систем признаков. По индексу ТСНVI выполнена классификация в красной полосе спектра (675-705 нм) и для ее количественной оценки рассчитана матрица ошибок. Значения в ячейках на пересечении i строк и j столбцов определяют число объектов i класса, классифицированных как объекты j класса. На главной диагонали матрицы (зеленый цвет) приведено количество верно классифицированных объектов. Ячейки, расположенные вне ее, содержат количество ошибочно классифицированных объектов (красный цвет). Ячейки матрицы с нулевыми значениями указывают на то, что к данному классу не отнесен не один объект.

Классы установленные	Классы истинные											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 (камуфляж Н11_1)	16	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
2 (камуфляж Н11_2)	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 (камуфляж Н12_1)	0	0	18	2	0	0	0	0	0	0	0	0
4 (камуфляж Н12_2)	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (камуфляж Н3_1)	0	0	2	1	20	0	0	0	0	0	0	0
6 (камуфляж Н3_2)	4	0	0	7	0	16	0	0	0	0	0	0
7 (камуфляж Н7)	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
8 (лист березы)	0	0	0	0	0	0	0	5	1	0	2	3
9 (ель)	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0
10 (липа)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	3	0
11 (лиственница)	0	0	0	0	0	0	0	6	4	6	12	0
12 (рябина)	0	0	0	0	0	0	0	9	8	4	3	17

Таблица 2 - Итоги классификации (матрица ошибок) по ТСНVI (для полосы 675-705 нм)

Из таблицы 2 определена доля верно классифицированных образцов (таблица 3) и матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий (таблица 4).

Таблица 3 - Точность классификации всех объектов по отдельности

	Классы объектов												
	Н11_1	Н11_2	Н12_1	Н12_2	Н3_1	Н3_2	Н7	береза	ель	липа	лиственница	рябина	Все
Все	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
Правильно	16	20	18	10	20	16	20	5	6	10	12	17	170
Неправильно	4	0	2	10	0	4	0	15	14	10	8	3	70
Правильно (%)	80	100	90	50	100	80	100	25	30	50	60	85	70,83
Неправильно (%)	20	0	10	50	0	20	0	75	70	50	40	15	29,17

Таблица 4 - Матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий

Классы установленные	Классы истинные	
	1	2
1 (растения)	100	0
2 (камуфляж)	0	140



Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

По трем признакам r_{gr} (525–555 нм), r_{red} (675-705нм), r_{nir} (755–785 нм) выполнена классификация и для ее количественной оценки рассчитана матрица ошибок (таблица 5).

Классы установленные	Классы истинные											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 (камуфляж Н11_1)	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 (камуфляж Н11_2)	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 (камуфляж Н12_1)	0	0	20	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 (камуфляж Н12_2)	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (камуфляж Н3_1)	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0
6 (камуфляж Н3_2)	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0
7 (камуфляж Н7)	0	0	0	0	0	3	20	0	0	0	0	0
8 (лист березы)	0	0	0	0	0	0	0	11	2	0	0	0
9 (ель)	0	0	0	0	0	0	0	2	12	0	1	0
10 (липа)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	14	1	0
11 (лиственница)	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	16	1
12 (рябина)	0	0	0	0	0	0	0	4	1	3	2	19

Таблица 5 - Итоги классификации (матрица ошибок) по трем признакам r_{gr} , r_{red} , r_{nir} (для полосы 675-705 нм)

Из таблицы 5 определена доля верно классифицированных образцов (таблица 6) и матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий (таблица 7).

Таблица 6 - Точность классификации всех объектов по отдельности

	Классы объектов												
	Н11_1	Н11_2	Н12_1	Н12_2	Н3_1	Н3_2	Н7	береза	ель	липа	лиственница	рябина	Все
Все	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
Правильно	20	20	20	20	20	16	20	11	12	14	16	19	208
Неправильно	0	0	0	0	0	4	0	9	8	6	4	1	32
Правильно (%)	100	100	100	100	100	80	100	55	60	70	80	95	86,67
Неправильно (%)	0	0	0	0	0	20	0	45	40	30	20	5	13,33

Таблица 7 - Матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий

Классы установленные	Классы истинные	
	1	2
1 (растения)	100	0
2 (камуфляж)	0	140



Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

Выполнена классификация по двум признакам - индексам INDEX_1, INDEX_2 в красной полосе спектра (695-725 нм) и для количественной рассчитана матрица ошибок (таблица 8).

Классы установленные	Классы истинные											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 (камуфляж Н11_1)	18	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2 (камуфляж Н11_2)	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 (камуфляж Н12_1)	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 (камуфляж Н12_2)	2	0	1	18	0	0	0	0	0	0	0	0
5 (камуфляж Н3_1)	0	0	0	0	20	0	0	0	1	0	0	0
6 (камуфляж Н3_2)	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0
7 (камуфляж Н7)	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0
8 (лист березы)	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	2
9 (ель)	0	0	0	0	0	0	0	2	13	5	0	2
10 (липа)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0
11 (лиственница)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0
12 (рябина)	0	0	0	0	0	0	0	8	5	4	0	16

Таблица 8 - Итоги классификации (матрица ошибок) по трем признакам rgr, rred, rnr (для полосы 675-705 нм)

Из таблицы 8 определена доля верно классифицированных образцов (таблица 9) и матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий (таблица 10).

Таблица 9 - Точность классификации всех объектов по отдельности

	Типы образцов												
	Н11_1	Н11_2	Н12_1	Н12_2	Н3_1	Н3_2	Н7	береза	ель	липа	лиственница	рябина	Все
Все	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	240
Правильно	18	20	19	18	20	20	20	20	10	13	11	20	205
Неправильно	2	0	1	2	0	0	0	10	7	9	0	4	35
Правильно (%)	90	100	95	90	100	100	100	50	65	55	100	80	85,42
Неправильно (%)	10	0	5	10	0	0	0	50	35	45	0	20	14,58

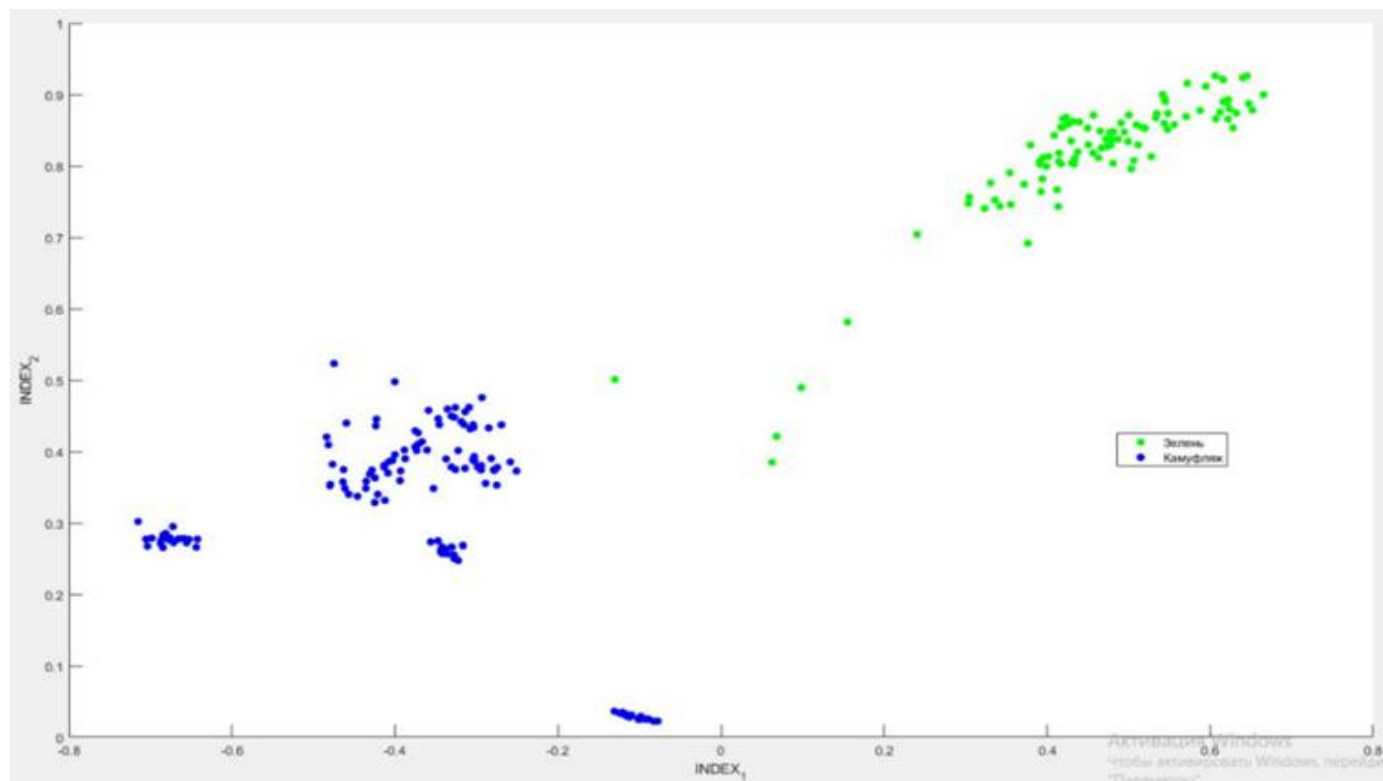
Таблица 10 - Матрица ошибок для двух классов: растений и камуфляжных покрытий

Классы установленные	Классы истинные	
	1	2
1 (растения)	99	0
2 (камуфляж)	1	140



Классификация зеленых насаждений и камуфляжных покрытий

Таким образом, точность классификации в системе признаков INDEX_1, INDEX_2 для двух классов: растений и камуфляжных покрытий равна 99,58%.



Значения признаков в системе координат INDEX_1, INDEX_2:
растительность - «Зелень», камуфляжные покрытия - «Камуфляж».

Объекты этих классов хорошо разделяются в данной системе признаков.

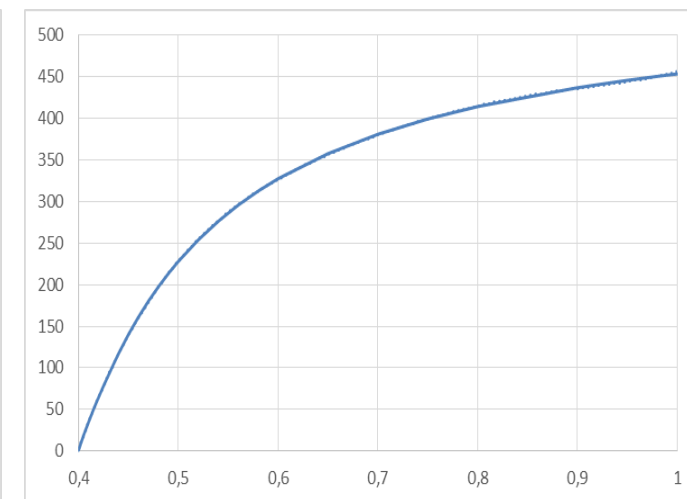
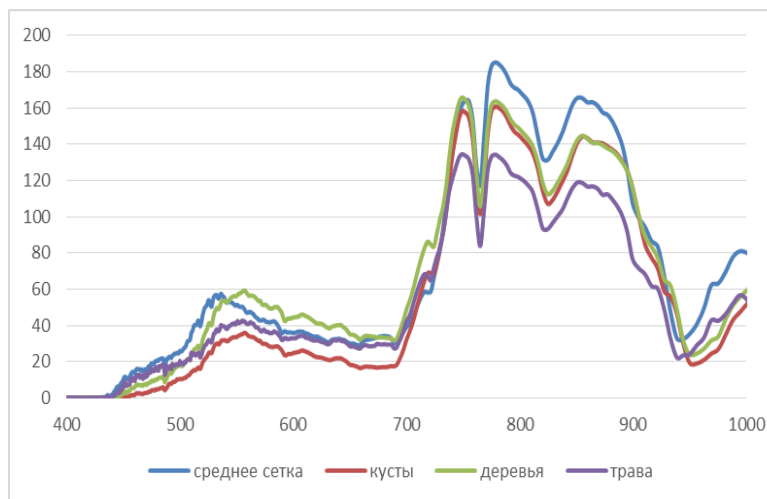
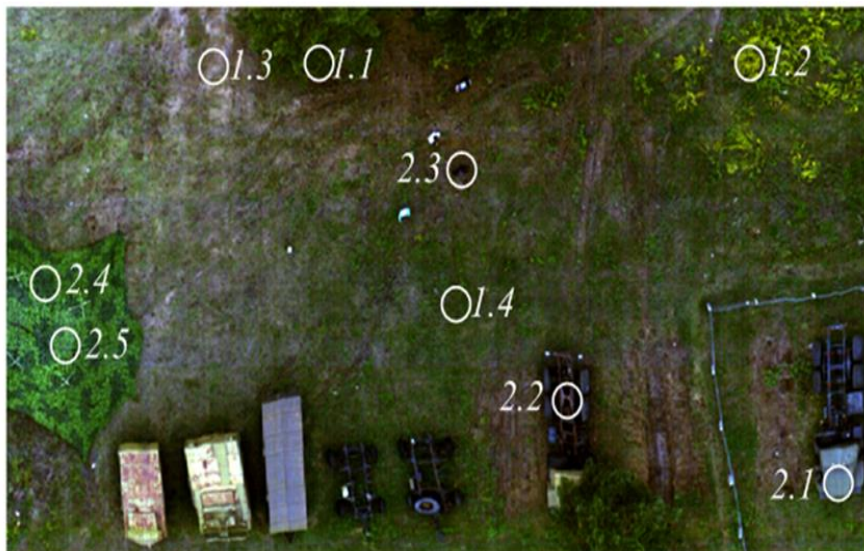
Итоговые результаты классификации

Системы признаков классификации	Точность классификации для объектов всех классов по отдельности (%)	Точность классификации для двух классов: растений и камуфляжных покрытий (%)
Один признак NDVI	61,67	98,33
Один признак TCHVI	68,75	100,00
Два признака – диапазоны 525-555 нм, 660-690 нм	83,33	99,58
Три признака – диапазоны 525-555, 660-690, 755-785	87,92	98,75
Два признака – индексы INDEX 1, INDEX 2	83,75	100,00
Один признак NDVI	73,75	99,58
Один признак TCHVI	70,83	100,00
Два признака – диапазоны 525-555 нм, 675-705 нм	82,92	100,00
Три признака – диапазоны 525-555, 675-705, 755-785	86,67	100,00
Два признака – индексы INDEX 1, INDEX 2	83,33	99,58
Один признак NDVI	69,17	100,00
Один признак TCHVI	64,17	100,00
Два признака – диапазоны 525-555, 695-725	85,42	99,58
Три признака – диапазоны 525-555, 695-725, 755-785	87,08	98,75
Два признака – индексы INDEX 1, INDEX 2	85,42	99,58



Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

Обрабатываемое ГСИ имеет размерность 928×488 пикселей в 454 спектральных каналах в диапазоне от 400 до 1000 нм. На изображении представлены объекты нескольких классов естественной поверхности (деревья, кусты, почва, трава) и антропогенные объекты, включая маскировочную сеть МКТ-2Л.



ГСИ с природными (1.1 – деревья, 1.2 – кусты, 1.3 – почва, 1.4 – трава) и с антропогенными (2.1, 2.2 – окраска машин, 2.3 – человек в камуфляже, 2.4, 2.5 – маскировочная сеть) объектами

Спектры маскировочной сети и растительности близки.

Отличительные особенности:

- максимум спектральной кривой сети в зеленой области смещен в более коротковолновую зону 534 нм и 554 нм;
- различное соотношение пиков спектральных кривых растительности и сети в ИК области 746 -752 нм и 775 -785 нм.

Зависимость номера канала от центральной длины волны

Ширина спектральных каналов различна для разных диапазонов: в области 400 нм – не более 0,3 нм, в области 600 нм – 1,5 нм, в области 900 нм – 4,5 нм.



Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

Выполнена классификация естественных и антропогенных объектов 5 классов (деревья, кусты, почва, трава и маскировочная сеть).

В таблице 11 приведена результирующая матрица ошибок классификации 5 выбранных объектов при использовании полной системы признаков, сформированной из всех 454 каналов.

В каждом столбце указано количество пикселей класса, соответствующего номеру столбца, отнесенных к классу, соответствующему номеру строки.

Общая точность классификации отдельно по 5 классам достигает $OA_{acc} = 99,75\%$, а по двум классам (фон и маскировочная сеть), когда оценивается эффективность выделения маскировочной сети от растительности и не учитываются ошибки, связанные с отнесением пикселя определенного класса фона к другим классам фона, составляет:

$$RA_{acc} = 14583/14585 = 0,99986, OA = 23970/23972 = 0,99992.$$

Таблица 11 - Матрица ошибок при классификации данных методом SVM

Классы установленные	Классы истинные				
	1	2	3	4	5
1 (лес)	2477	13	0	0	0
2 (кусты)	15	4177	0	16	0
3 (трава)	0	0	1365	0	2
4 (почва)	4	10	0	1310	0
5 (сетка)	0	0	0	0	14583
Точности выделения сети из фона					
RA _{acc}				0,99986	
OA				0,99992	

$$\text{Over all Accuracy} = (23912/23972) 99,7497\%$$



Обработка гиперспектрального изображения реальной сцены

Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

В таблицах 11 – 13 приведены результирующие матрицы ошибок классификации методом опорных векторов SVM 5 выбранных объектов (деревья, кусты, почва, трава, сеть) при использовании систем признаков из 10, 3 и 2 главных компонент (ГК).

Таблица 11 – Матрица ошибок классификации с использованием 10 главных компонент

Таблица 12 – Матрица ошибок классификации с использованием 3 главных компонент

Таблица 13 – Матрица ошибок классификации с использованием 2 главных компонент

Классы установленные	Классы истинные				
	1	2	3	4	5
1 (лес)	2430	61	0	0	0
2 (кусты)	64	4131	0	11	0
3 (трава)	0	0	1365	1	0
4 (почва)	2	8	0	1314	0
5 (сетка)	0	0	0	0	14585
Точности выделения сетки из фона					
РАсс	1,000000				
ОА	1,000000				

Классы установленные	Классы истинные				
	1	2	3	4	5
1 (лес)	2144	344	68	0	0
2 (кусты)	343	3570	260	18	0
3 (трава)	7	270	978	6	24
4 (почва)	2	13	5	1302	5
5 (сетка)	0	3	54	0	14556
Точности выделения сетки из фона					
РАсс	0,998012				
ОА	0,996412				

Классы установленные	Классы истинные				
	1	2	3	4	5
1 (лес)	2085	301	113	0	91
2 (кусты)	2	185	1	6	85
3 (трава)	13	253	375	10	152
4 (почва)	0	7	8	1272	57
5 (сетка)	396	3454	868	38	14200
Точности выделения сетки из фона					
РАсс	0,973603				
ОА	0,785541				

Over all Accuracy = (23825/23972) 99,3868 %

Overall Accuracy = (22550/23972) 94,0681 %

Over all Accuracy = (18117/23972) 75,5757 %

Показано, что 3 ГК позволяют решить задачу с достаточно высокой точностью 94,07%, меньшее количество признаков для большинства практических применений недостаточно, большее - скорее всего избыточно, учитывая резко возрастающую сложность вычислений.



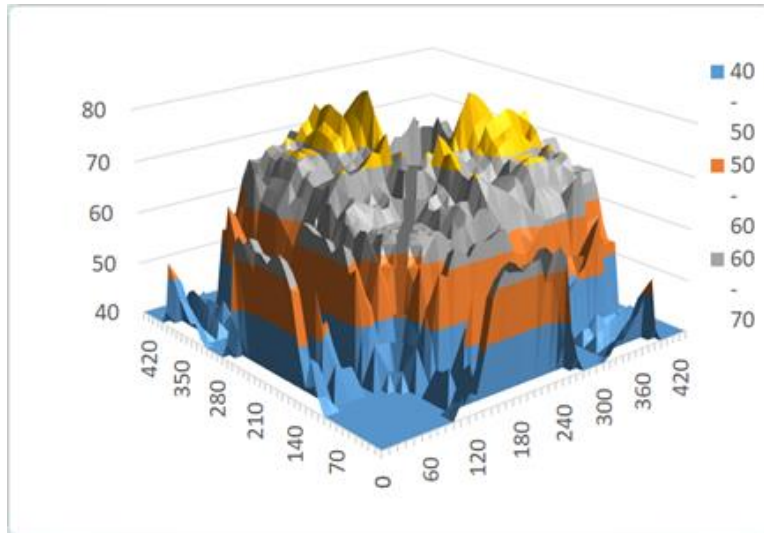
Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

Полный перебор систем из двух признаков во всем диапазоне каналов 0 - 430 (с шагом 10 каналов и с шагом 1 канал) позволил определить точность классификации каждой из этих систем и сформировать поверхности, описывающие точность классификации в зависимости от номеров выбранных каналов.

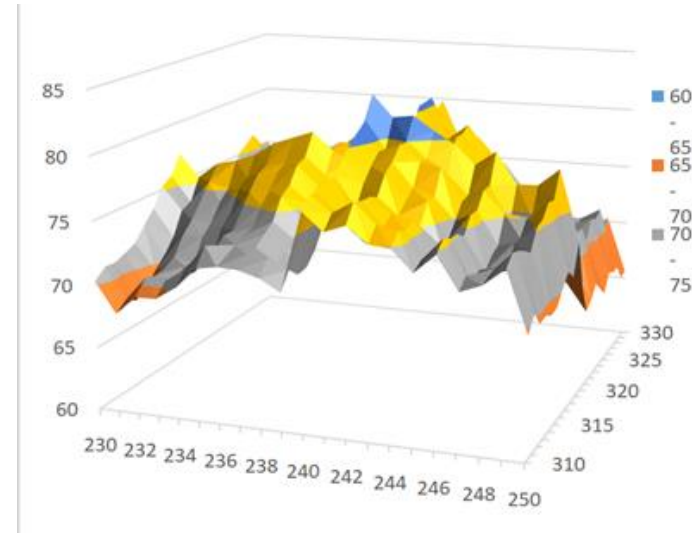
Максимум точности 78,71% достигается в двух симметричных по диагонали точках 320*240 и 240*320 при выборе в качестве двумерной системы признаков значений КСЯ 240 и 320 каналов (с шагом 10 каналов).

Максимум точности 81,92% достигается в двух симметричных по диагонали точках 319*240 и 240*319 при выборе в качестве двумерной системы признаков значений КСЯ 240 и 319 каналов (с шагом 1 канал).

Точность классификации от номеров каналов в виде поверхности для систем из двух признаков



Полный перебор с шагом 10 каналов



Полный перебор с шагом 1 канал

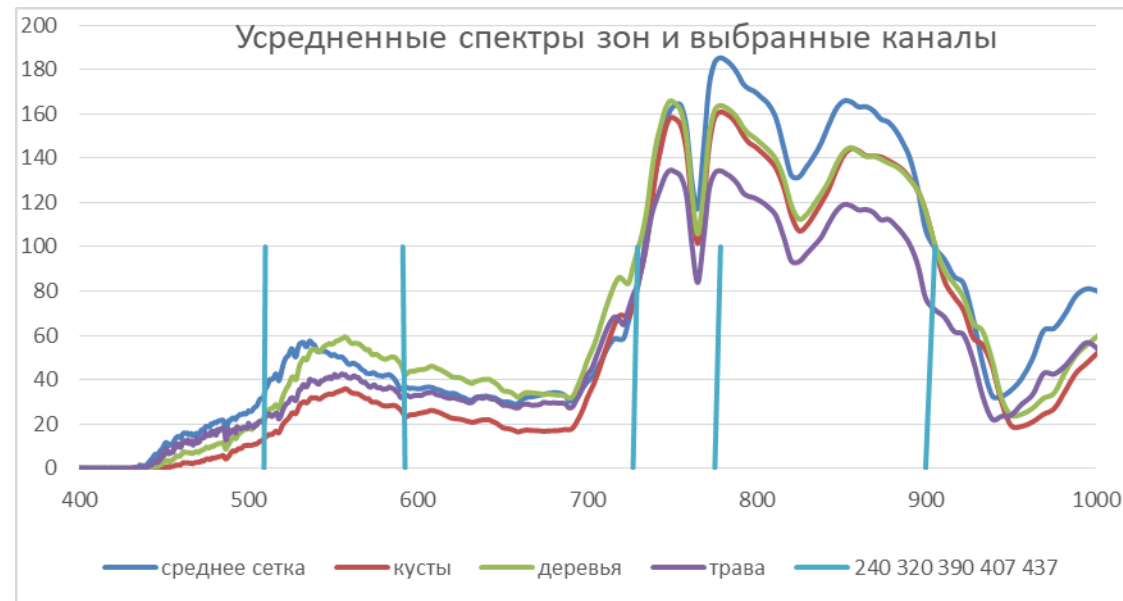


Обработка гиперспектрального изображения реальной сцены

Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

Системы признаков	Точность выделения сети из фона	Точность классификации 5 объектов, вкл. сеть	Выбор систем признаков
Все каналы	ML - 1,0	ML - 0,9760	
10 ГК 3 ГК 2 ГК	SVM - 1,0 SVM - 0,998 SVM - 0,833	SVM - 0,987 SVM - 0,890 SVM - 0,658	Метод главных компонент
Системы из 3 признаков по исходным каналам			
3 канала 241, 320, 429 (510, 591, 860 нм)	SVM - 0,9913 ML - 0,9923	SVM - 0,8889 ML - 0,8694	Полный перебор по 437 каналам с шагом 20 и дальнейшем уточнении с шагом 1 при классификации 5 классов
3 канала 391, 407, 436 (729, 775, 895 нм)	SVM - 0,9981 ML - 0,9978	SVM - 0,9276 ML - 0,9128	Метод AdDell по 437 каналам при классификации 5 классов
3 канала 391, 408, 437 (729 нм, 778 нм, 900 нм)	SVM - 0,9996 ML - 0,9995	SVM - 0,9526 ML - 0,9469	Полный перебор в окрестности признаков, найденных методом AdDell
Системы из 3 признаков по каналам заданной спектральной ширины			
3 канала 33, 37, 50 (полосы 730 - 739, 770 - 779, 900 - 909 нм)	SVM - 1,0 ML - 1,0	SVM - 0,9539 ML - 0,9440	Полный перебор по объединенным каналам полосой 10 нм с шагом 1 при классификации 5 классов
3 канала 16, 18, 25 (полосы 720 - 739, 760 - 779, 900 - 919 нм)	SVM - 1,0 ML - 0,9998	SVM - 0,9570 ML - 0,9499	Полный перебор по объединенным каналам полосой 20 нм с шагом 1 при классификации 5 классов
3 канала 10, 14, 16 (полосы 700 - 729, 760 - 789, 850 - 879 нм)	SVM - 0,9989 ML - 0,9989	SVM - 0,9351 ML - 0,9297	Полный перебор по объединенным каналам полосой 30 нм с шагом 1 при классификации 5 классов
3 канала 8, 9, 12 (полосы 720 - 759, 760 - 799, 880 - 899 нм)	SVM - 1,0 ML - 1,0	SVM - 0,9318 ML - 0,9297	Полный перебор по объединенным каналам полосой 40 нм с шагом 1 при классификации 5 классов
3 канала 0, 1, 2 (полосы 400 - 499, 500 - 599, 600 - 699 нм)	ML - 0,9735	ML - 0,8160	Аналог RGB (полосы 100 нм)

Таблица 14 - Результаты классификации растительности и сети с применением систем признаков, выбранных на основе анализа их спектров, и предложенных методов обработки ГС данных.



Спектры растительности и маскировочной сети и выбранные каналы, по комбинациям (пар и троек) которых формируются системы признаков при классификации объектов.



Классификация естественных и антропогенных объектов на поверхности Земли

Таблице 15 - Точность классификации объектов 5 выбранных регионов интереса (растительность и маскировочная сеть) при определении систем признаков путем объединения значений каналов в спектральных полосах заданной ширины.

Ширина полосы, нм	Точность для 3 полос, %	Лучшие полосы, нм	Точность для 2 полос, %	Лучшие полосы, нм
исходная	97,60	Все 454 канала		
исходная	94,69	727-730, 778-782, 900-905	81,92	510-511, 591-592
10	92,79	720-729, 760-769, 900-909	81,63	500-509, 610-619
20	94,99	720-739, 760-779, 900-909	80,54	500-519, 580-599
30	92,97	700-729, 760-789, 880-900	80,76	490-519, 580-609
40	92,97	720-759, 760-799, 880-900	81,68	480-519, 600-639
50	93,61	700-749, 750-799, 900-909	79,53	450-499, 600-649
60	92,63	700-759, 760-819, 880-900	81,54	460-519, 580-639
70	92,60	680-749, 820-889, 890-900	78,52	470-539, 540-609
80	88,78	480-559, 800-879, 880-900	77,56	400-479, 640-719
90	91,39	670-759, 760-849, 850-900	78,24	400-489, 580-669
100	87,71	700-799, 800-899, 900-909	77,66	400-499, 600-699
110	82,87	400-509, 620-729, 840-900	78,69	400-509, 620-729

Отметим слабую зависимость точности классификации от ширины полос до 70 нм и независимость систем из трех и двух признаков.

Таблице 16 - Спектральные полосы и точность классификации растительности и маскировочной сети при выборе системы признаков предложенными методами.

Системы признаков	Точность, %	Спектральные полосы
Все признаки	91,63	
Сплошной 2D	81,63	500-509, 610-619
AdDell 2D	72,71	730-739, 770-779
Сплошной 3D	94,40	730-739, 770-779, 900-909
AdDell 3D	94,40	730-739, 770-779, 900-909

Расчет признаков осуществлялся суммированием значений каналов для спектральных полос шириной 10 нм.



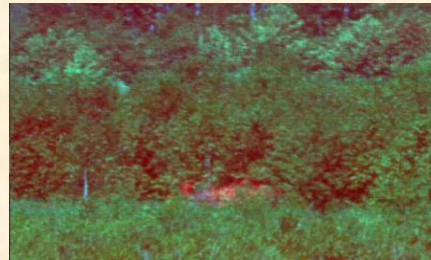
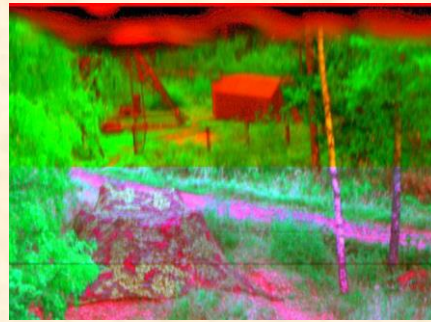
Классификация в системе признаков 700-749 нм, 750-799 нм, 900-909 нм (93,61%)



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

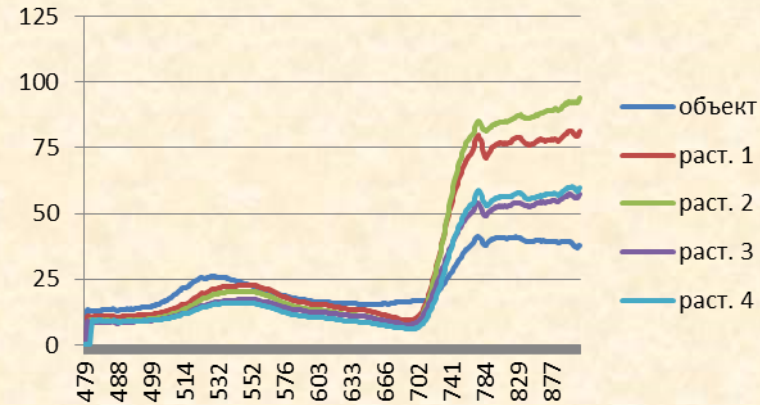


Обнаружение замаскированных объектов на фоне растительности



Исходное изображение

Результующее изображение



Спектры различных участков растительности и объекта

Предложен алгоритм обнаружения объектов по гиперспектральным изображениям.

Основан на:

- определение спектральной функции контраста между объектом и фоном;
- нахождении локальных максимумов спектральной функции контраста;
- выборе спектральных каналов по найденным максимумам;
- синтезе информативных изображений.

Показатели точности классификации подстилающей поверхности по их изображениям

Точность производителя (Producer's Accuracy, **РАсс**) – показатель, который определяет точность заданного рассчитанного класса и вычисляется путем деления количества правильно классифицированных пикселей этого класса на истинное количество пикселей этого класса.

Точность пользователя (User's Accuracy, **UАсс**) – показатель, который определяет насколько вероятно, что данный класс совпадает с результатами классификации и вычисляется путем деления количества правильно классифицированных пикселей этого класса на общее количество пикселей, отнесенных к этому классу в результате классификации.

Общая точность (Overall Accuracy, **ОАсс**) – показатель, который равен доли верно классифицированных пикселей и вычисляется путем деления количества правильно классифицированных пикселей на общее их количество.