

Всероссийская конференция с международным участием «Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов»
(SDM-2023)

г. Бердск, Новосибирская область, Россия

СЕКЦИЯ 1. Интегрированные геоинформационные технологии и системы в задачах мониторинга

Оценка видового состава и состояния древостоев по изображениям сверхвысокого разрешения с использованием контуров отдельных деревьев

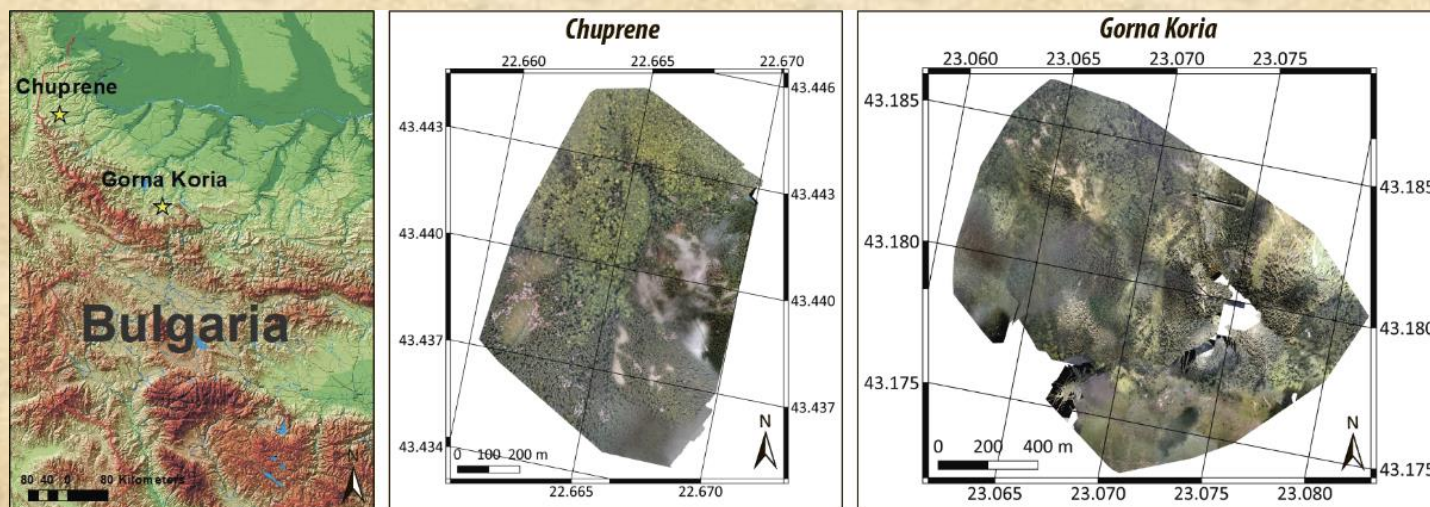
*Дмитриев Е.В. (ИВМ РАН), Кондранин Т.В. (МФТИ),
Сафонова А.Н. (МФТИ), Мельник П.Г. (МГТУ им. Н. Э. Баумана)*



Постановка задачи и описание района обследования

Цель работы: разработка методики совместной тематической обработки RGB и мультиспектральных БПЛА изображений лесных территорий для оценки местоположений, видов и классов жизненного состояния отдельных деревьев.

Используемые методы: коррекция изображений, обучаемая классификация, текстурный анализ, ITCD алгоритмы.



Тестовые участки расположены на территории заповедников Горната Кория (Берковска) и биосферного заповедника Чупрене (Чупрене, Видинская область), Болгария. Высота на уровне моря составляет 1300-1500. Рассматриваемый регион является уникальным природным комплексом, включенным в список ЮНЕСКО, который требует проведения регулярных обследований с целью принятия своевременных мер по решению проблем, связанных с повреждением древостоев стволовыми вредителями и изменением структуры древостоев.

Основными видами деревьев, произрастающих на тестовом участке являются ель обыкновенная (*Picea abies*) и бук европейский (*Fagus sylvatica*). Также присутствуют примеси сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и черной сосны (*Pinus nigra*).

Дистанционные данные

Облеты тестовых территорий проводились 25 июня 2017 года, 16 августа 2017 года и 25 сентября 2017 года, на высоте около 120 метров.

БПЛА DJI-Phantom 4 Pro



Полная масса – 1375 г
Размер по диагонали – 350 мм
Макс. скорость – 50-72 км/ч
Макс. угол наклона – 25-42°
Макс. высота полета над ур. моря – 6000 м
Макс. доп. скорость ветра – 10 м/с
Матрица камеры – 1" CMOS, 20 Мп
Объектив камеры – угол обзора 84°, 24 мм, f/2.8-f/11
Диапазон выдержки – 8-1/8000 с

Пространственное разрешение RGB изображения - 7 см на пиксель

БПЛА SenseFly eBee X



Взлётная масса – 1,6 кг
Размах крыла – 116 см
Крейсерская скорость – 40-110 км/ч
Макс. сопротивление ветру – до 46 км/ч
Матрица камеры – 1/3", 1,2 Мп
Размер снимка – 1 280×960
Спектральные каналы : Зелёный (550 нм ± 40 нм)
Красный (660 нм ± 40 нм)
Красный край (735 нм ± 10 нм)
Ближний ИК (790 нм ± 40 нм)

Пространственное разрешение мультиспектрального изображения - 27 см на пиксель

Основные этапы совместной обработки RGB и мультиспектральных изображений

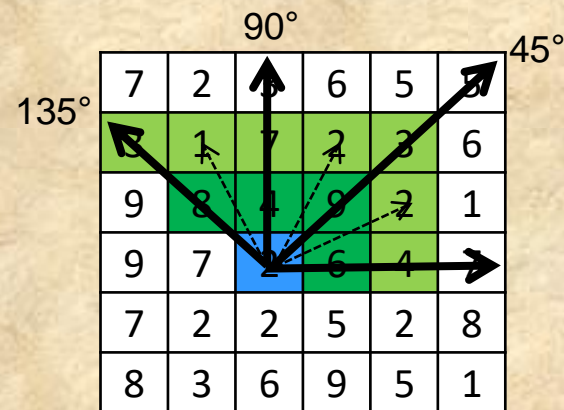
1. Предварительная обработка и совмещение RGB и мультиспектрального изображений с использованием опорных точек.
2. Выделение маски лесного полога с использованием алгоритма текстурной сегментации RGB изображения.
3. Попиксельная классификация видового состава на основе мультиспектрального изображения.
4. Сегментация контуров отдельных деревьев на RGB изображении.
5. Постобработка результатов попиксельной классификации с использованием контуров отдельных деревьев.
6. Оценка классов жизненного состояния отдельных деревьев.

Методика текстурной сегментации (1)

Построение матрицы совместной встречаемости уровней серого (GLCM – Gray-Level Co-Occurrence Matrix)



Направление и расстояние смежности

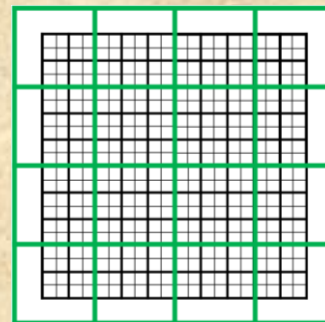


Извлечение текстурных признаков
расчет на сетке с последующей интерполяцией

Используемые признаки

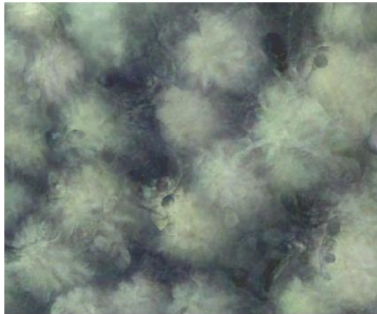
Автокорреляция (Autocorrelation)	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N i \cdot j \cdot p(i, j)$
Среднее суммы (Sum Average)	$\sum_{k=2}^{2N} k \cdot p_{i+j}(k)$
Контраст (Contrast)	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - j)^2 \cdot p(i, j)$
Энергия (Energy)	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j)^2$
Однородность (Homogeneity)	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N p(i, j) / (1 + i - j)$
Сумма квадратов (Sum Squares)	$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (i - \mu_i)^2 \cdot p(i, j)$

где $p(i, j) = \frac{GLCM(i, j)}{\sum_{i, j=1}^N GLCM(i, j)}$ - нормированная GLCM

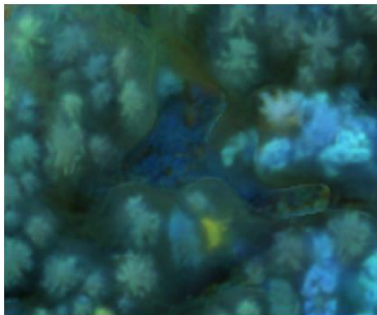


Общая схема текстурной обработки

Искажения сшивки

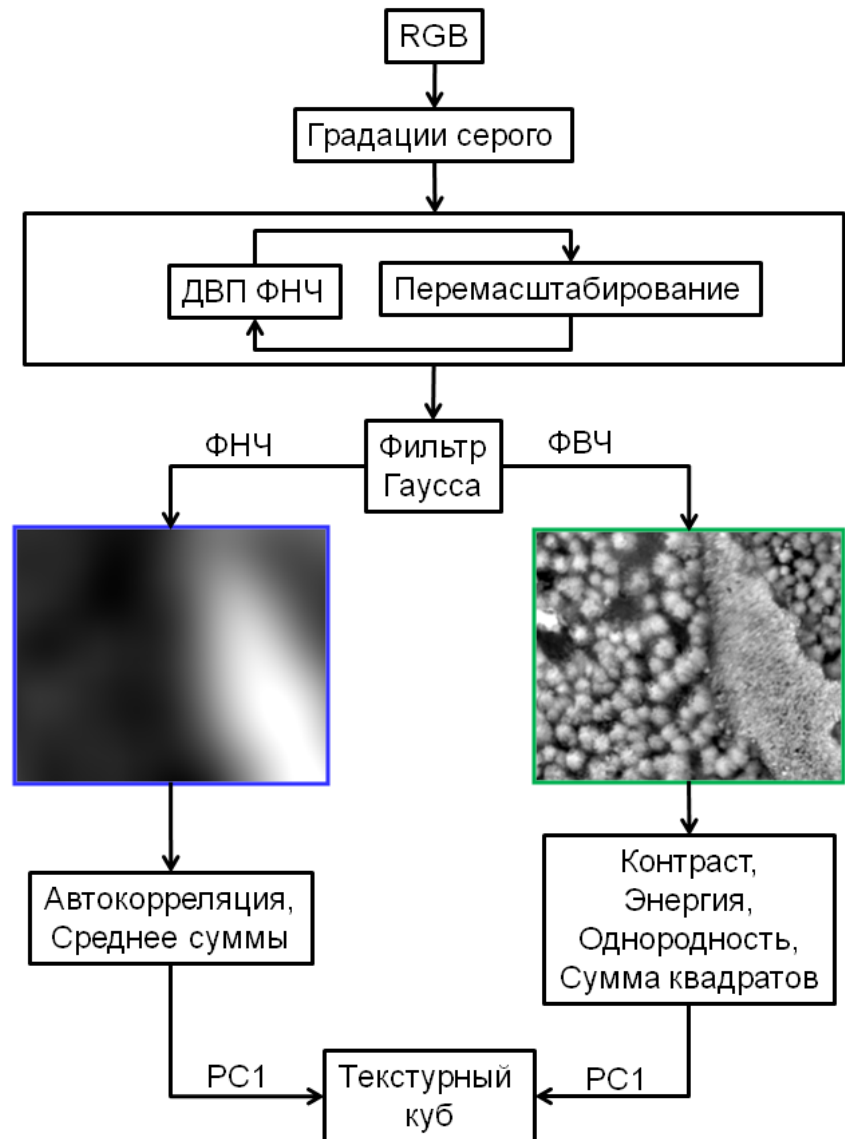


RGB



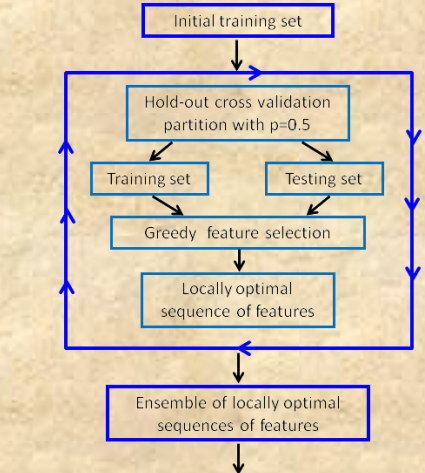
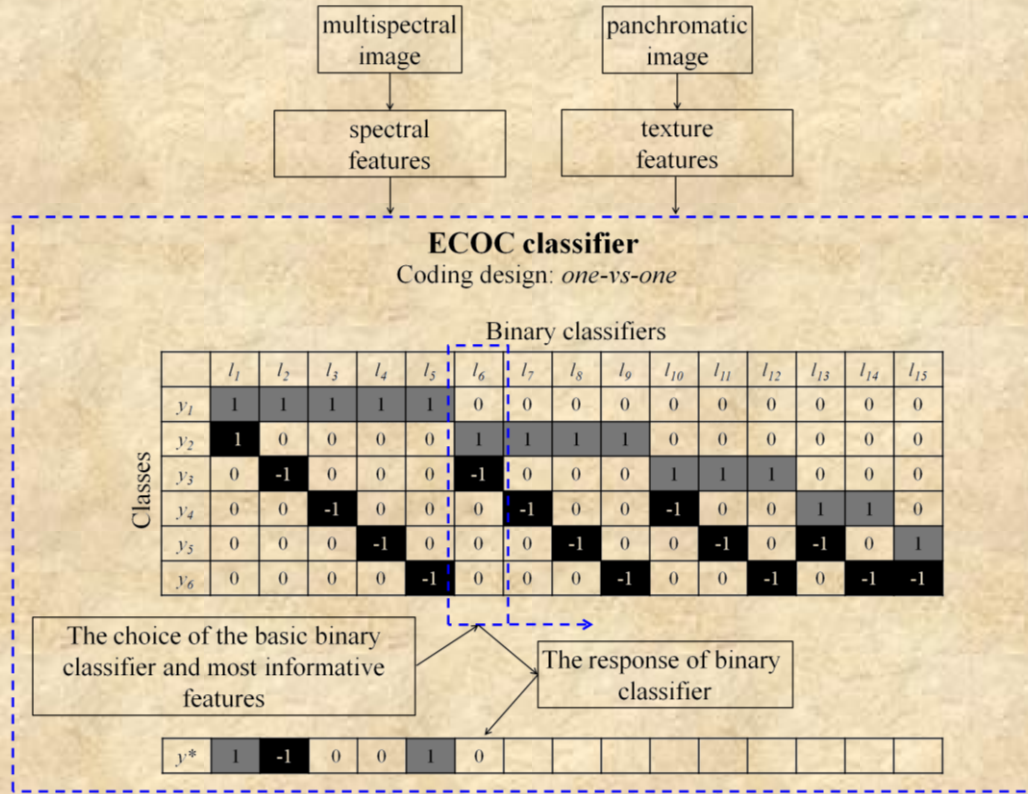
MS

При сшивке БПЛА изображений могут возникать артефакты, которые приводят к значительным ошибкам текстурной обработки. Часто такие артефакты плохо видны на исходных изображениях, однако становятся хорошо различимыми после проведения коррекции контрастности.



Методика классификации

Регуляризованный метод последовательного отбора признаков



Finding the most probable sequence of features

5	11	16	18	6	30	-
28	6	19	1	-	-	-
20	3	14	26	15	9	-
5	25	3	14	4	29	28
20	11	14	10	21	4	2
20	3	18	19	21	15	-
20	13	14	7	1	30	-
3	26	5	4	9	22	7
20	3	14	26	15	-	-
3	14	13	-	-	-	-
20	3	14	16	11	2	30
20	3	14	24	9	-	-

most probable sequence (left arrow) and random choice (right arrow) are indicated.

Алгоритм взвешенного декодирования (ECOC classifier)

$$a(x) = \arg \min_{y_i} \frac{\sum_{j=1}^L |c_{ij}| g(c_{ij}, s_j(x))}{\sum_{j=1}^L |c_{ij}|}$$

c_{ij} - элементы кодовой матрицы,

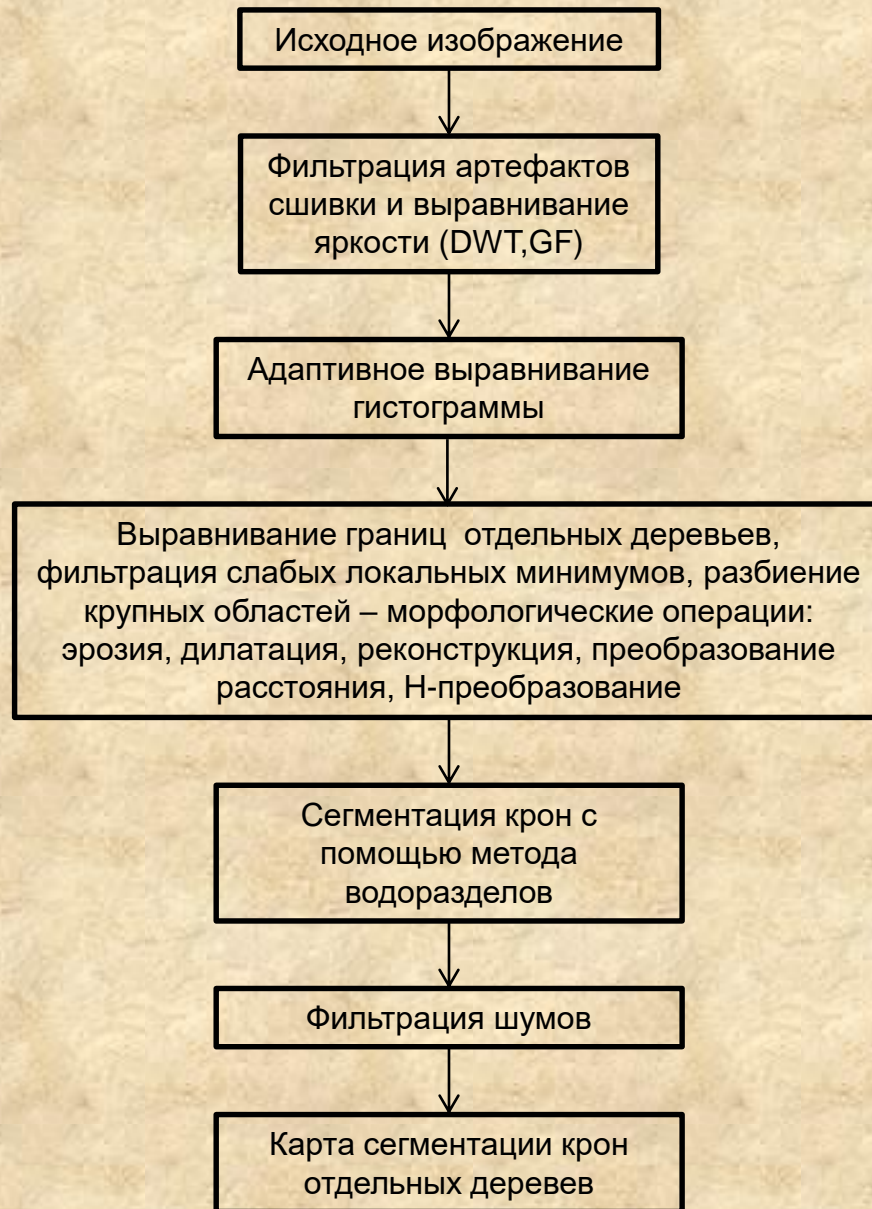
$g = \max(0, 1 - ys) / 2$ - функция потерь базового бинарного классификатора,

$s_j(x)$ - баллы классификатора l_j для набора признаков x .

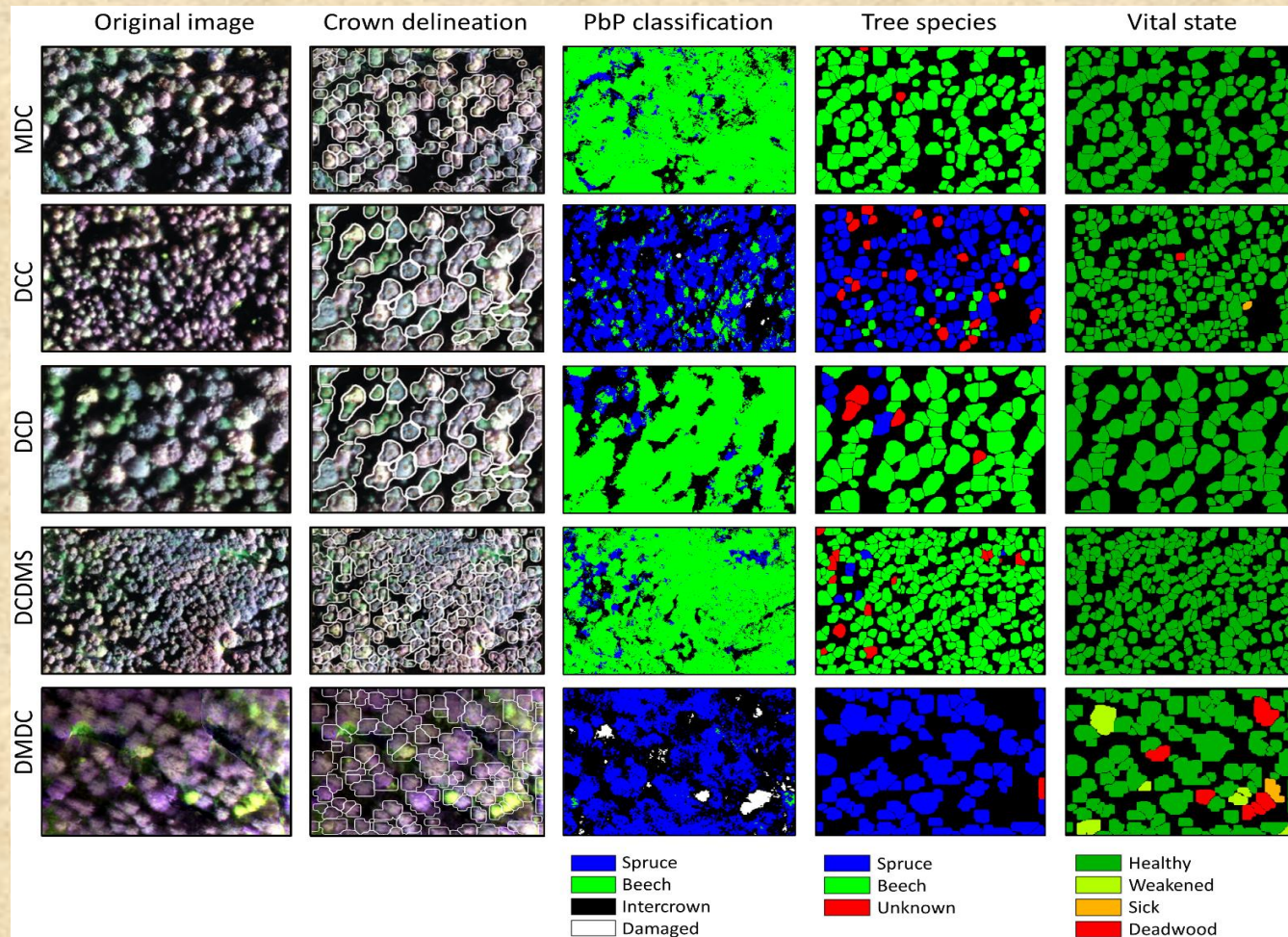
Выбор матрицы кодирования

ordinal	one versus all	one versus one	binary complete
$L = K - 1$	$L = K$	$L = K(K-1)/2$ $K = 100, L = 4950$	$L = 2^{K-1} - 1$ $K = 15, L = 32767$
$L = (3^k - 2^{k-1})/2$	$K = 15, L = 7141686$		

Сегментация контуров отдельных деревьев



Обработка тестовых мультиспектральных изображений

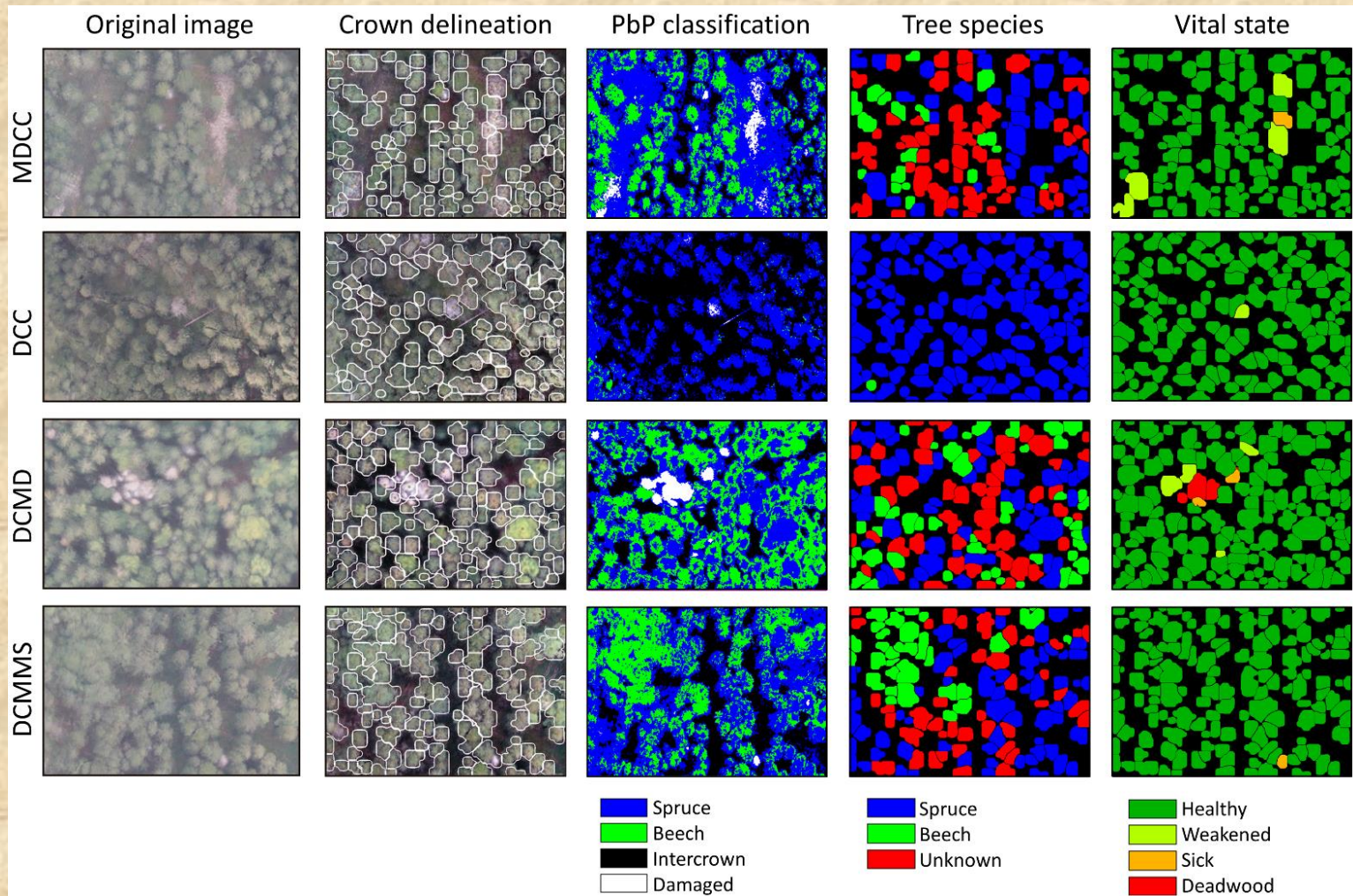


MDC (Medium-dense Deciduous Canopy – лиственные древостои со средней плотностью полога),
DCC (Dense Canopy Coniferous – хвойные древостои с высокой сомкнутостью полога),
DCD (Dense Canopy Deciduous – лиственные древостои с высокой сомкнутостью полога),
DCDMS (Dense Canopy Deciduous Multi-Scale – лиственные полные древостои с высоким разбросом диаметров крон),
DMDC (Damaged Medium Dense Canopy – поврежденные полные древостои)

Точности сегментации крон отдельных деревьев

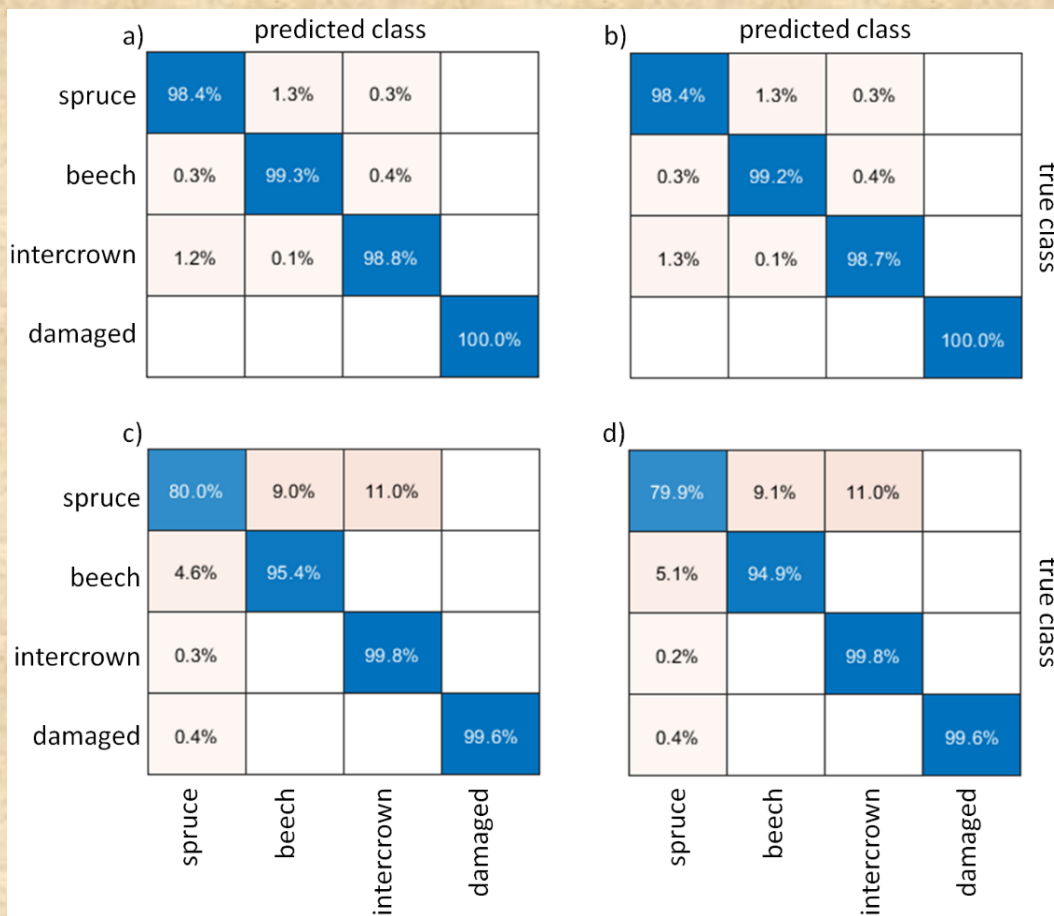
Data set	Image area	Area of missing trees, %	Mean number of crowns per plot	Number of delineated trees	Number of lost trees	JSC, %	IoU, %
1	MDC	33	130	124	6	95.38	92.72
	DCC	26	171	159	12	92.98	94.50
	DCD	36	77	74	3	96.1	93.89
	DCDMS	19	340	310	30	91.18	90.67
	DMDC	16	112	107	5	95.57	94.38
2	MDCC	38	118	113	5	95.76	96.64
	DCC	34	127	124	3	97.64	95.44
	DCMD	32	157	151	6	96.18	95.76
	DCDMS	33	139	132	7	94.96	94.11

Обработка тестовых RGB изображений



MDCC (Medium Dense Canopy Coniferous – хвойные древостои со средней плотностью полога),
DCC (Dense Canopy Coniferous – хвойные древостои с высокой сомкнутостью полога),
DCMD (Dense Canopy Mixed Damaged – поврежденные полные смешанные древостои)
DCMMS (Dense Canopy Mixed Multi-Scale – смешанные полные древостои с высоким разбросом диаметров крон)

Матрицы ошибок попиксельной классификации тестовых мультиспектральных и RGB изображений



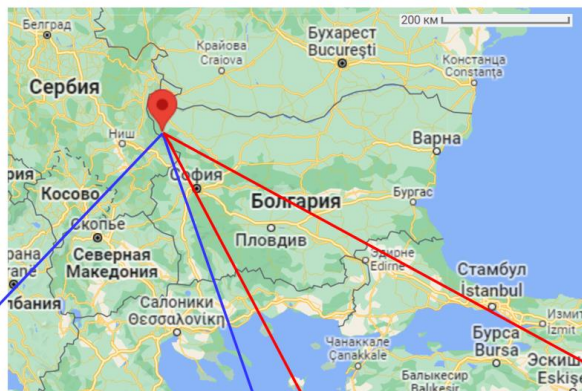
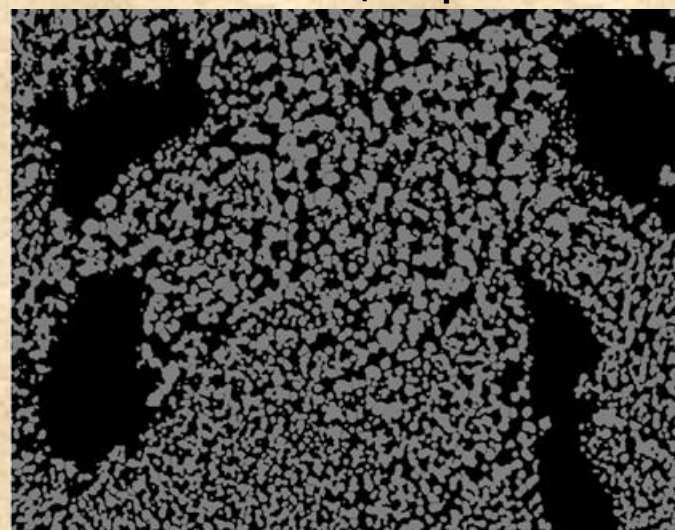
- (a) – метод переклассификации для Dataset-1;
- (b) – метод кросс-валидации для Dataset-1;
- (c) метод переклассификации для Dataset -2;
- (d) – метод кросс-валидации для Dataset-2.

Совместная тематическая обработка изображений территории Чупрене

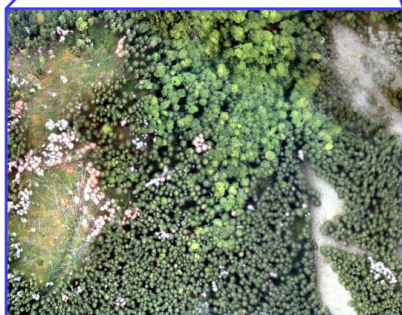
маска леса



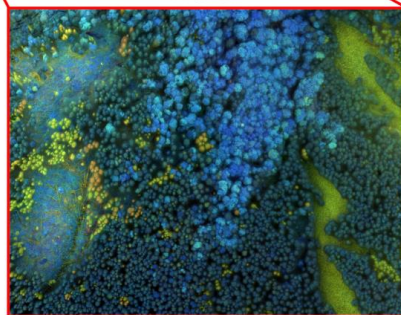
сегментация крон



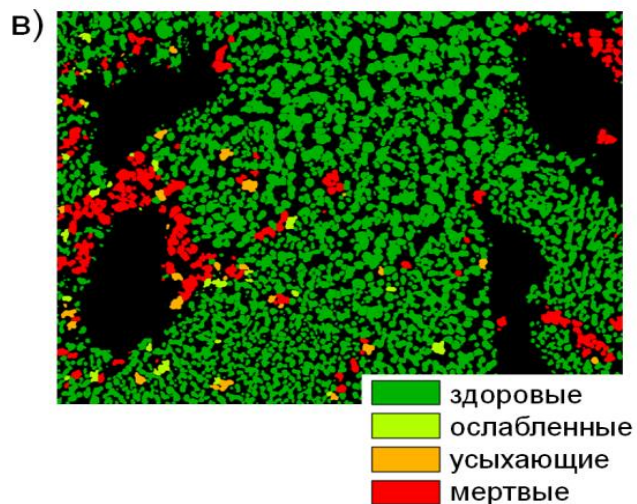
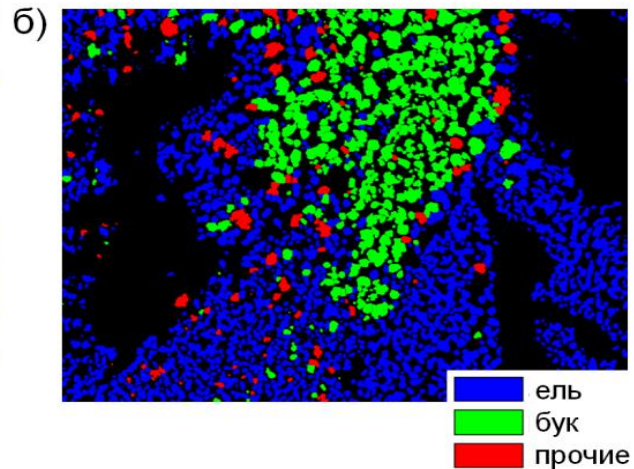
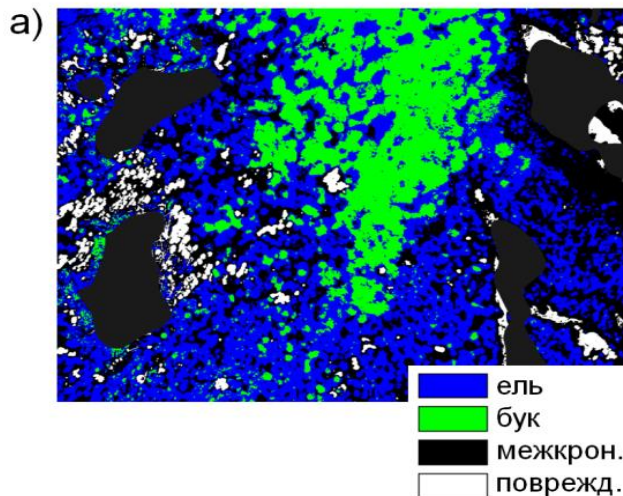
RGB



RGNir



Результаты совместной тематической обработки RGB и мультиспектрального изображений

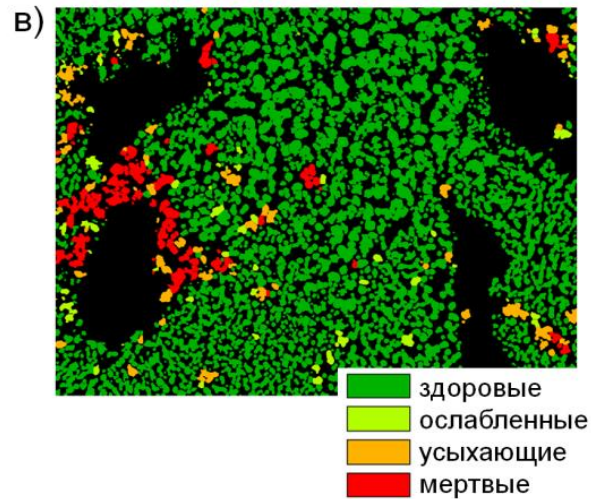
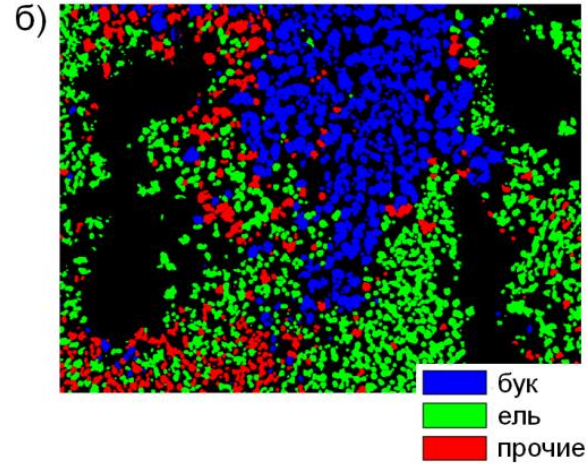
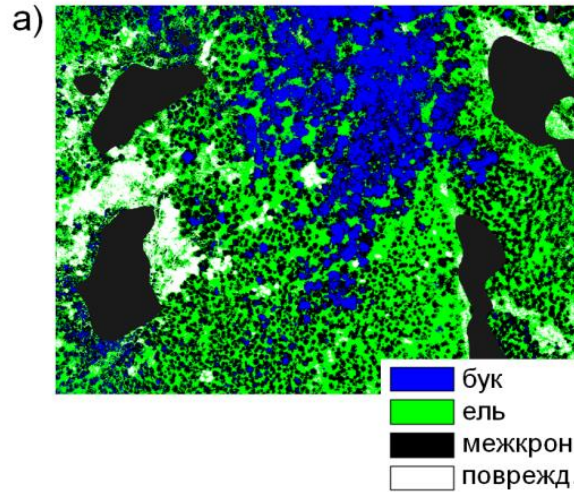


г)

	Предсказанные			
	1	2	3	4
Истинные 1	79.7%	20.2%	0.1%	
Истинные 2	2.0%	98.0%		
Истинные 3			100.0%	
Истинные 4				100.0%

1 - ель
 2 - бук
 3 - межкрон.
 4 - поврежд.

Результаты тематической обработки RGB изображения



г)

		Предсказанные			
		1	2	3	4
Истинные	1	91.3%		8.7%	
	2		84.7%	11.0%	4.3%
	3	13.8%	3.0%	83.2%	
	4		0.5%		99.5%

1 - ель
 2 - бук
 3 - межкрон.
 4 - поврежд.

Выводы

Представлен метод дистанционной оценки видового состава и жизненного состояния древостоев на основе совместной обработки фото и мультиспектральных изображений с использованием спектральных и текстурных признаков. Предложен метод текстурной обработки, нечувствительный к артефактам сшивки изображений. Точность оконтуривания крон с помощью предлагаемого ITCD алгоритма составляет величину порядка 95%. Использование ITCD алгоритма позволяет улучшить результаты попиксельной классификации.