

КОНФЕРЕНЦИЯ ИКИ РАН 2021

В.Д. Егоров

*Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука
Российской академии наук*

**МЕТОД НАХОЖДЕНИЯ ЗАТЕНЕННЫХ И ЧАСТИЧНО
ЗАТЕНЕННЫХ ПИКСЕЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОБЪЕМА БИОМАССЫ ЛЕСНОЙ
РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ
МНОГОКАНАЛЬНЫМ И САМОЛЕТНЫМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫМ
ИЗОБРАЖЕНИЯМ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО
РАЗРЕШЕНИЯ**

**I. РАСПОЗНАВАНИЕ ТИПОВ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ
И ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ОБЪЕМА БИОМАССЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО УХОДЯЩЕМУ
ОТ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕХНОСТИ ОТРАЖЕННОМУ ОТ НЕЕ СОЛНЕЧНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ**

приведено выражение для дистанционно измеряемого функционала яркости L_{jk} неоднородного по пространству лесного элемента (области s_0) вблизи земной поверхности

$$\begin{aligned}
 & L_{jk} \left(i, n, r, \theta, \varphi, M \left(C_{\text{п}}, A_{\text{кр}} \right), \delta_1, \delta_2, h_0 \right) = \\
 & = \frac{1}{2\pi^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{2\pi} \left\{ U_s \left(\lambda, n, h_0, \dots \right) \left[\left(1 - C_{\text{п}} - \delta_1 \right) \rho_1 \left(\lambda, r, \theta, \theta', \varphi, \varphi' \right) + \right. \right. \\
 & + \left. \left(C_{\text{п}} - C_{\text{п}} A_{\text{кр}} - \delta_2 \right) \cdot \rho_2 \left(\lambda, i, \theta, \theta', \varphi, \varphi' \right) + C_{\text{п}} A_{\text{кр}} \rho_3 \left(\lambda, r \right) \right] + \\
 & + H_s \left(\lambda, n, h_0, \dots \right) \cdot \left[\delta_1 \rho_1 \left(\dots \right) + \delta_2 \rho_2 \left(\dots \right) \right] \cdot R_{jk} \left(\lambda, \Omega \right) \cos \left(\theta' \right) d\lambda \cdot d\theta' d\varphi', \quad (1)
 \end{aligned}$$

где j – номер канала приемной аппаратуры k -го типа с полем зрения s_0 и приборной функцией $R_{jk}(\lambda, \Omega)$; λ – длина волны в j -м канале с нижним λ_1 и верхним λ_2 пределами; Ω – телесный угол поля зрения; n – параметр, характеризующий тип атмосферных условий (прозрачности атмосферы); i – параметр типа (породы) лесной растительности; r – параметр типа межкроновой травянистой/кустарниковой растительности; M – плотность зеленой (листовой/хвойной) фитомассы лесных насаждений; h_0 – высота Солнца; θ, φ – зенитный и азимутальный угол наблюдения соответственно; $C_{\text{п}} = s_2/s_0$ – сомкнутость лесного полога; $A_{\text{кр}} = s_2^*/s_2$ – ажурность крон; s_2^* – площадь внутри крон, не занятая элементами кроны – межкроновые просветы, внутри которых прямая и рассеянная солнечные радиации испытывают многократное рассеяние; $\delta_1 = \tilde{s}_1/s_0$, $\delta_2 = \tilde{s}_2/s_0$ – доли теней в межкроновых областях и на кронах деревьев соответственно; s_1, s_2 – межкроновая и кроновая площади в поле зрения s_0 ($s_1 + s_2 = s_0$) соответственно; \tilde{s}_1, \tilde{s}_2 – части межкроновой и кроновой площадей, покрытые тенью; ρ_1, ρ_2, ρ_3 – спектральные коэффициенты отражения (в общем случае – индикатрисы рассеяния) межкроновой травянистой/кустарниковой области, кроновой области и многократного рассеяния внутрикроновых просветов; θ', φ' – зенитный и азимутальный углы падающей прямой (U_s) и рассеянной (H_s) радиаций.

В работе (Козодеров, Косолапов, 1999, ИЗК №1) приведены результаты расчета функционала яркости при различных входных параметрах с акцентом на влияние затененных участков на результаты расчета.

На рис. 1 приведены результаты численных расчетов значений яркости L_{jk} по модели 1 для трех типов лесных сообществ: березового, елового и смешанного (по 50% ели и березы) лесов в виде областей максимально возможных значений L_{jk} при различных значениях параметров C_{II} и $A_{кр}$ и при $\delta_{1,2} = 0$ в области визирования (мгновенном поле зрения) аппаратуры S_0 . Показаны также возможные “смещения” расчетных значений яркости в сторону пониженных значений при возможном появлении теней вдоль соответствующих координатных осей. Видно, что начало координат осей (длина каждой из рассматриваемых осей отражает абсолютную величину изменчивости L_{jk}) сомкнутости ($C_{II} = 0$) едино для всех лесных групп (пород) и соответствует яркости определенного травянисто-кустарникового фона (на рисунке обозначено через Я.Ф.).

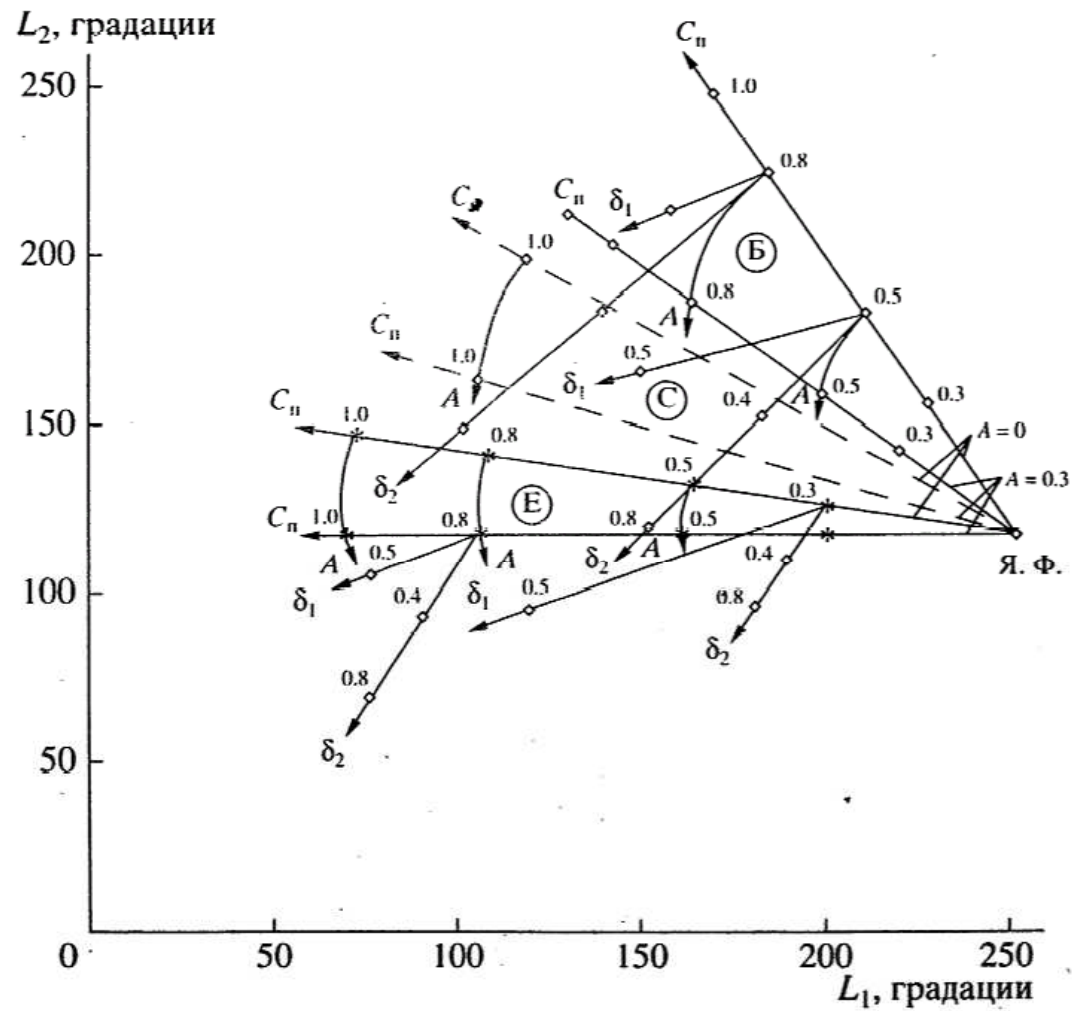


Рис. 1. Результаты численных расчетов значений яркости по модели 1 для двух каналов и трех типов лесных сообществ: березовый лес (Б) (границы бестеневых областей и координатные оси основных параметров – C_{II} , $A_{кр}$, δ_1 , δ_2 нанесены сплошными линиями); смешанный (С) хвойно-лиственный лес (вышеуказанные границы и оси нанесены крупным пунктиром); еловый лес (Е) (границы областей и оси нанесены сплошными линиями со звездочками).

Таким образом, из рис. 1 можно видеть, что если бестеневые области рассматриваемых трех лесных групп пространственно разнесены (локализованы) в плоскости L_1, L_2 , то появление теней $\delta_{1,2}$ приводит к существенному расширению этих областей для каждой группы и взаимоналожению соответствующих данных не только разных групп, но и отдельных семейств (δ_1, δ_2) внутри каждой группы, поэтому требуется корректный учет влияния теней на L_{jk} , а следовательно, и на результаты восстановления плотности зеленой фитомассы лесных деревьев M .

**II. НАХОЖДЕНИЕ ЗАТЕНЕННЫХ ПИКСЕЛОВ НА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ САМОЛЕТНЫХ
ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ "СРЕДНЯЯ ИНТЕГРАЛЬНАЯ ЯРКОСТЬ -
СРЕДНИЙ ПАРАМЕТР СМЕЩЕНИЯ"**

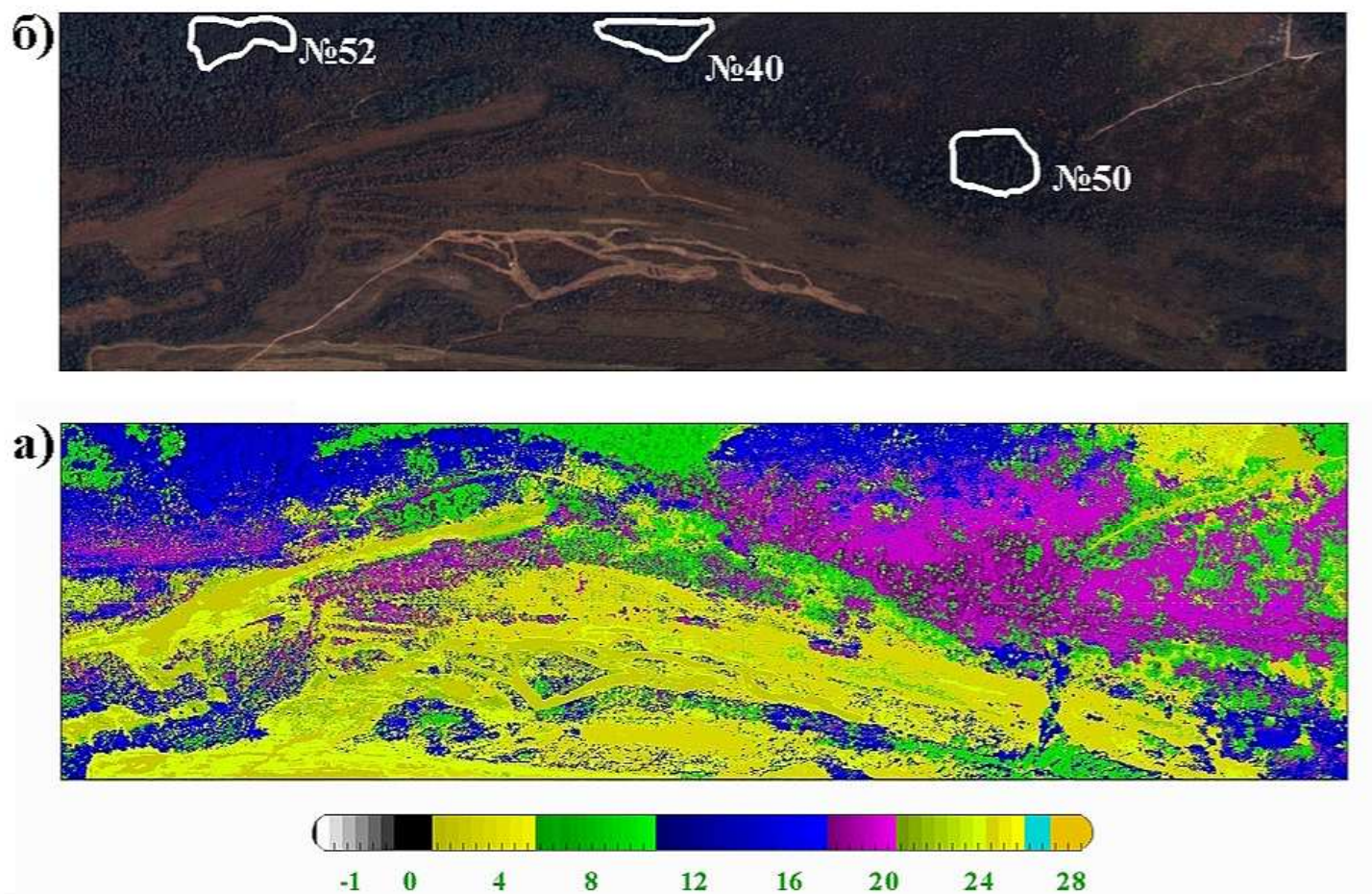


Рис. 2. а) Результаты расчета распознавания типов лесной растительности (2018 г.) методом QDA по гиперспектральным самолетным данным на одном из фрагментов трека Тг_11_04_17. Обучение по березовой, сосновой и еловой растительности классификатора проводилось по эталонным участкам №52, №40 и №50, соответственно, представленным на RGB изображении этого фрагмента б).

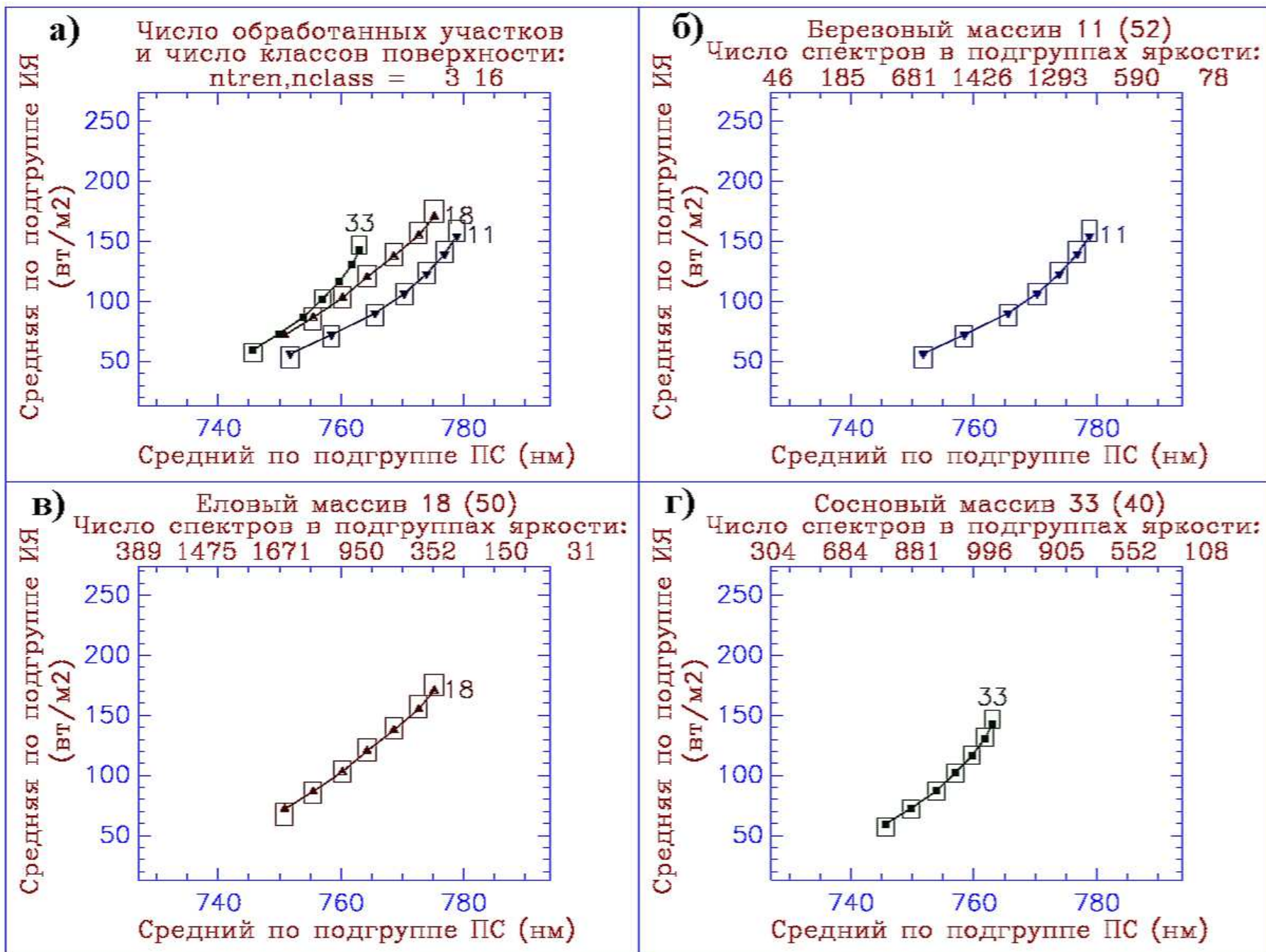


Рис. 3. б), в), г) представляют рассчитанные диаграммы "средняя интегральная яркость - средний параметр смещения" по массивам спектров с участков №52 (береза), №50 (ель) и №40 (сосна) рис. 2 б) соответственно, в то время как а) представляет наложение этих диаграмм.

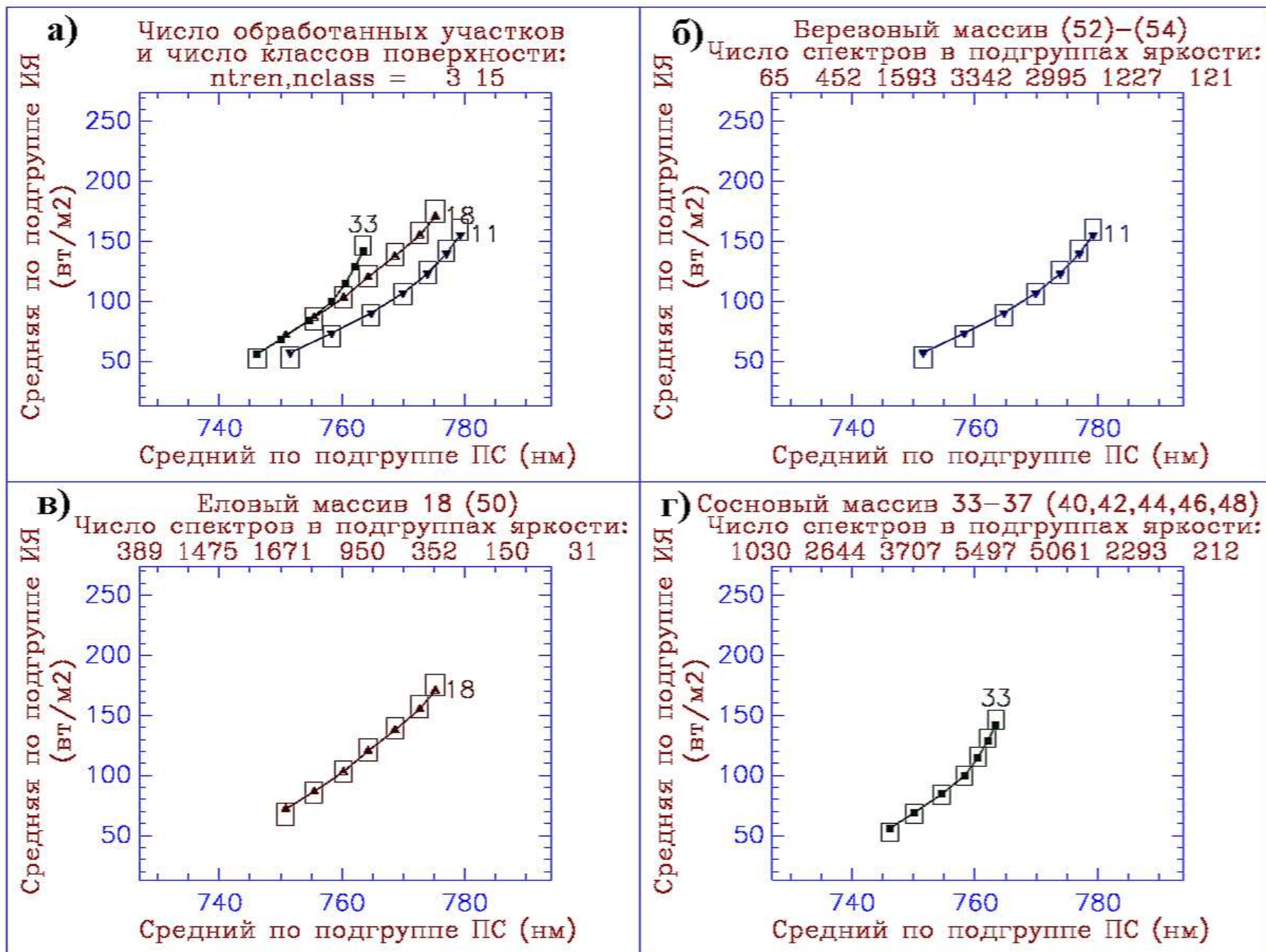


Рис. 4. б), в), г) представляют рассчитанные диаграммы "средняя интегральная яркость - средний параметр смещения" по расширенным массивам спектров с участков № 52, 54 (береза), № 50 (ель) и № 40, 42, 44, 46, 48 (сосна) соответственно, в то время как а) представляет наложение этих диаграмм (добавлены пять эталонных участков с соседнего фрагмента этого же трека).

**III. ПОСТРОЕНИЕ БАЗ ДАННЫХ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ РАСЧЕТОВ ПО РАСПОЗНАВАНИЮ
ТИПОВ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ПО 32 КЛАССАМ, ИЗ КОТОРЫХ ПО 7 КЛАССОВ
ПРИХОДИТСЯ НА СОСНОВУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, БЕРЕЗОВУЮ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И ЕЛОВУЮ
РАСТИТЕЛЬНОСТЬ, ПРИЧЕМ ПЕРВЫЕ ТРИ КЛАССА В КАЖДОМ СЛУЧАЕ - ЭТО ЗАТЕНЕННЫЕ
И ЧАСТИЧНО ЗАТЕНЕННЫЕ ПИКСЕЛЫ**

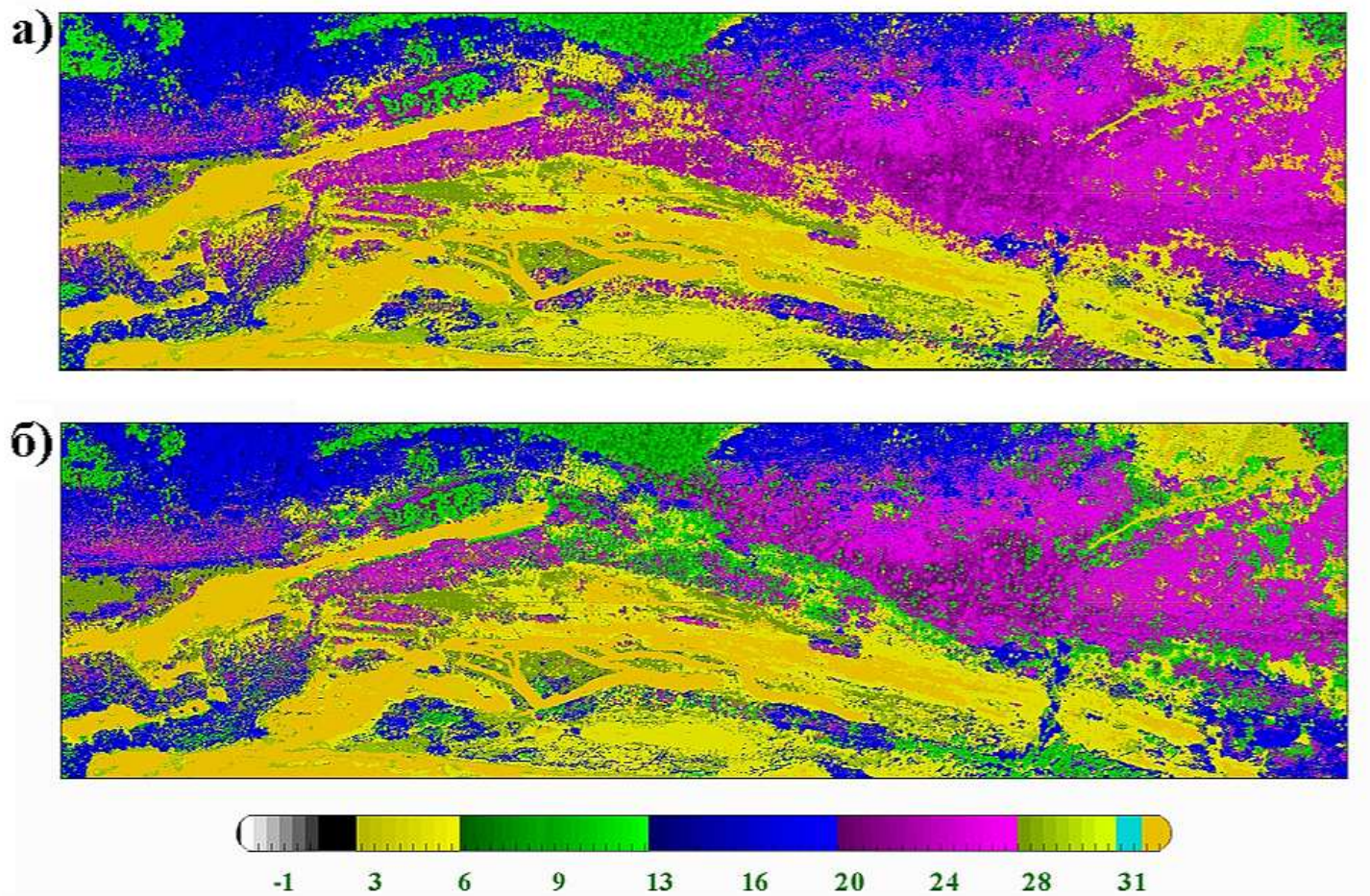


Рис. 5. Результаты расчетов распознавания типов лесной растительности по 32 введенным классам по модели QDA:
 а) обучение классификатора по сосновой, березовой и еловой растительности проводилось по выбранным эталонным участкам, описанным на рис. 3; б) обучение классификатора по сосновой, березовой и еловой растительности проводилось по выбранным эталонным участкам, описанным на рис. 4.

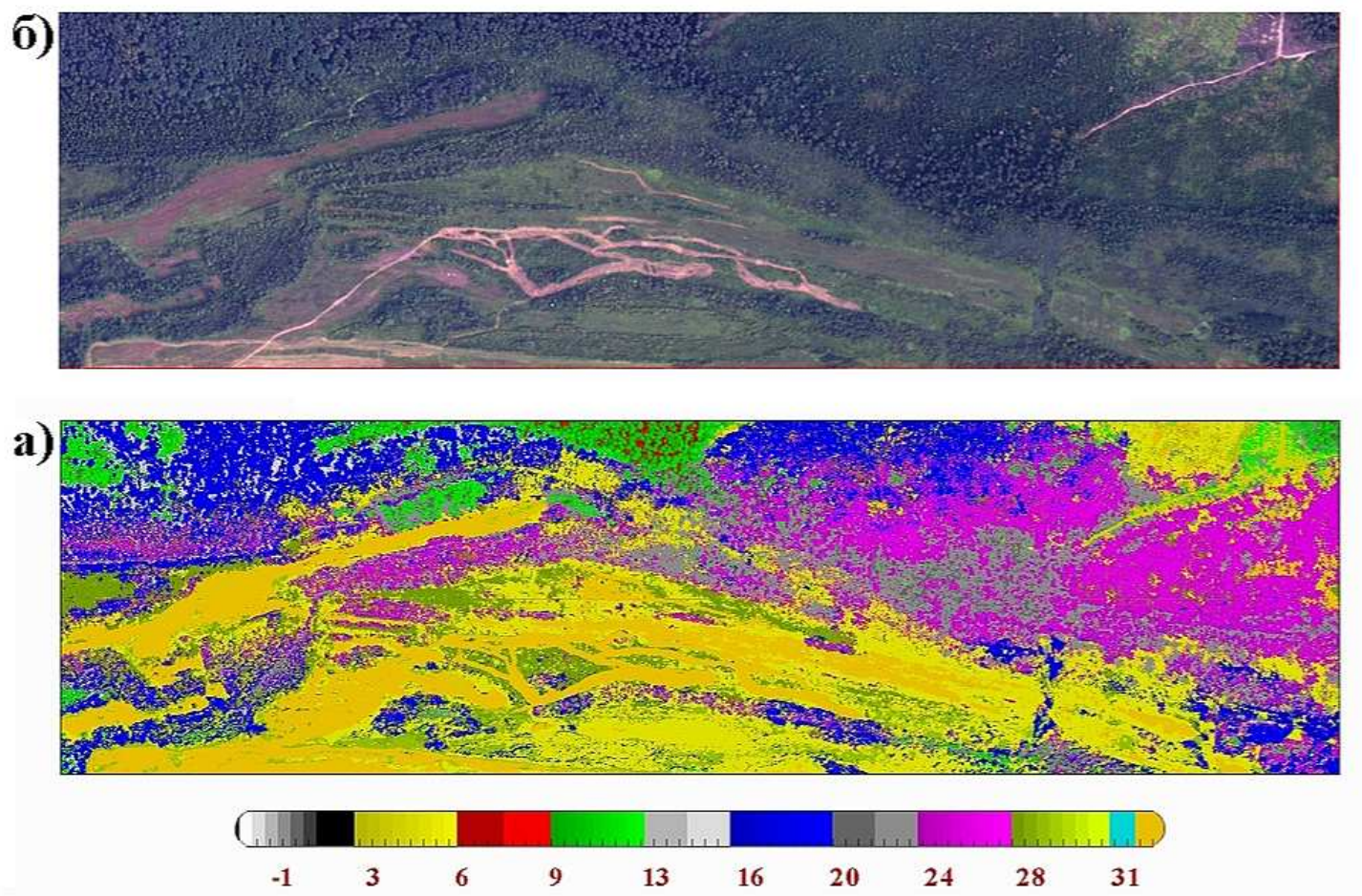


Рис. 6. а) Результат расчета распознавания типов лесной растительности по 32 введенным классам по модели QDA: обучение классификатора соответствует случаю рис. 5 а). По сосновой, березовой и еловой растительности введены классы затененных и частично затененных пикселей, обозначенные для сосновой растительности тонами красного цвета, а для березовой и еловой растительности - тонами серого цвета;
б) RGB - изображение этого фрагмента самолетного трека.

ВЫВОДЫ

а) Как показано ранее (Козодеров, Косолапов, 1996, 1999) при расчете объема биомассы и других параметров состояния подстилающей поверхности по разработанным моделям высокого пространственного разрешения 5 -10 м на пиксел и возможно большего разрешения особое значение приобретает знание расположения затененных и частично затененных пикселов дистанционно полученных изображений, что может определить точность и качество этого расчета.

б) В настоящей работе предлагается определять затененные и частично затененные пикселы на гиперспектральных изображениях с использованием введенных ранее диаграмм "средняя интегральная яркость - средний параметр смещения" для спектров с тех или иных участков поверхности, представляющих интерес и осуществления расчетов распознавания классов (в том числе с затененных и частично затененных участков) лесной растительности по одной из имеющихся моделей.

в) Осуществленные расчеты показали хорошую работоспособность предлагаемого подхода и высокую точность нахождения затененных и частично затененных пикселов на имеющихся гиперспектральных изображениях земной поверхности.