

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОСЕВОВ НАРКОСОДЕРЖАЩИХ КУЛЬТУР ПО ДАННЫМ АВИАЦИОННОГО ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

© 2011 г. В. В. Егоров^{1*}, А. А. Ильин², А. П. Калинин³, А. И. Родионов², И. Д. Родионов⁴

¹ Учреждение Российской академии наук Институт космических исследований РАН, Москва

² ЗАО НТЦ “Реагент”, Москва

³ Учреждение Российской академии наук Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва

⁴ Учреждение Российской академии наук Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

*E-mail: victor_egorov@mail.ru

Поступила в редакцию 30.11.2010 г.

Рассматриваются вопросы методики оценки состояния наркосодержащих культур по данным авиационной гиперспектральной съемки с привлечением наземных измерений на тестовом полигоне. Для определения биометрических характеристик указанных культур применяется алгоритм нейронных сетей. Показано, что алгоритмы нейронных сетей обеспечивают приемлемые для практики точности оценки состояния наркосодержащих культур. Предлагаемая методика может использоваться для мониторинга посевов наркосодержащих растений с авиационных и космических носителей.

Ключевые слова: гиперспектрометр, конопля, нейросеть, биометрические характеристики, оценка состояния, точность, мониторинг

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы оперативной оценки состояния посевов наркосодержащих культур по данным космического зондирования представляются весьма актуальными как с экономической и социальной точек зрения, так и с позиций обеспечения безопасности РФ. Однако сегодня многие технические и методические аспекты этой проблемы проработаны недостаточно полно. В частности, не определены наиболее рациональные методы и средства оперативного мониторинга территорий, на которых возможно наличие посевов наркосодержащих культур, отсутствуют надежные результаты оценки биометрических параметров таких культур, а также точностные характеристики подобных оценок. Наиболее привлекательными на сегодня выглядят методы и средства космического гиперспектрального мониторинга территорий на предмет обнаружения, распознавания и оценки состояния наркосодержащей растительности. Однако отсутствие адекватной методической базы сдерживает их широкое практическое применение и выдвигает на первый план проведение исследований с применением авиационных гиперспектральных средств, съемка с которых сопровождалась бы синхронными измерениями *in situ*. Разработанная и апробированная на результатах авиационной гиперспектральной съемки методика, адаптированная к данным космического мониторинга, найдет практическое

применение в задачах оперативного контроля выращивания наркосодержащих культур. В данной работе такие исследования проводились на примере посевов конопли.

Под биометрическими параметрами понимаются такие характеристики конопли, как проективное покрытие, высота растений, диаметр стебля, ширина листа, процентное содержание поскони и т.п. Посконою называются мужские растения конопли, содержащие меньшее количество дельта-9-тетрагидроканнабинола (ТГК). Обычно, говоря о наркотических веществах конопли, имеют в виду именно содержание ТГК.

В ряде научных исследований (Saich et al., 2000; Непобедимый и др., 2004; Балтер и др., 2008) проводилось изучение возможностей распознавания и оценки состояния фитоценозов, включая посевы наркосодержащих культур, по данным аэрокосмического многоспектрального и гиперспектрального дистанционного зондирования (ДЗ). Однако однозначных ответов на сформулированные выше вопросы в указанных работах не дано. Возможно, это связано со спецификой решаемой проблемы, а также с трудоемкостью проводимых исследований.

Цель настоящей работы — апробация и оценка эффективности методов оперативного определения состояния посевов наркосодержащих растений по данным авиационной гиперспектральной съемки и наземных измерений на примере исследований посевов конопли на фоне других фито-

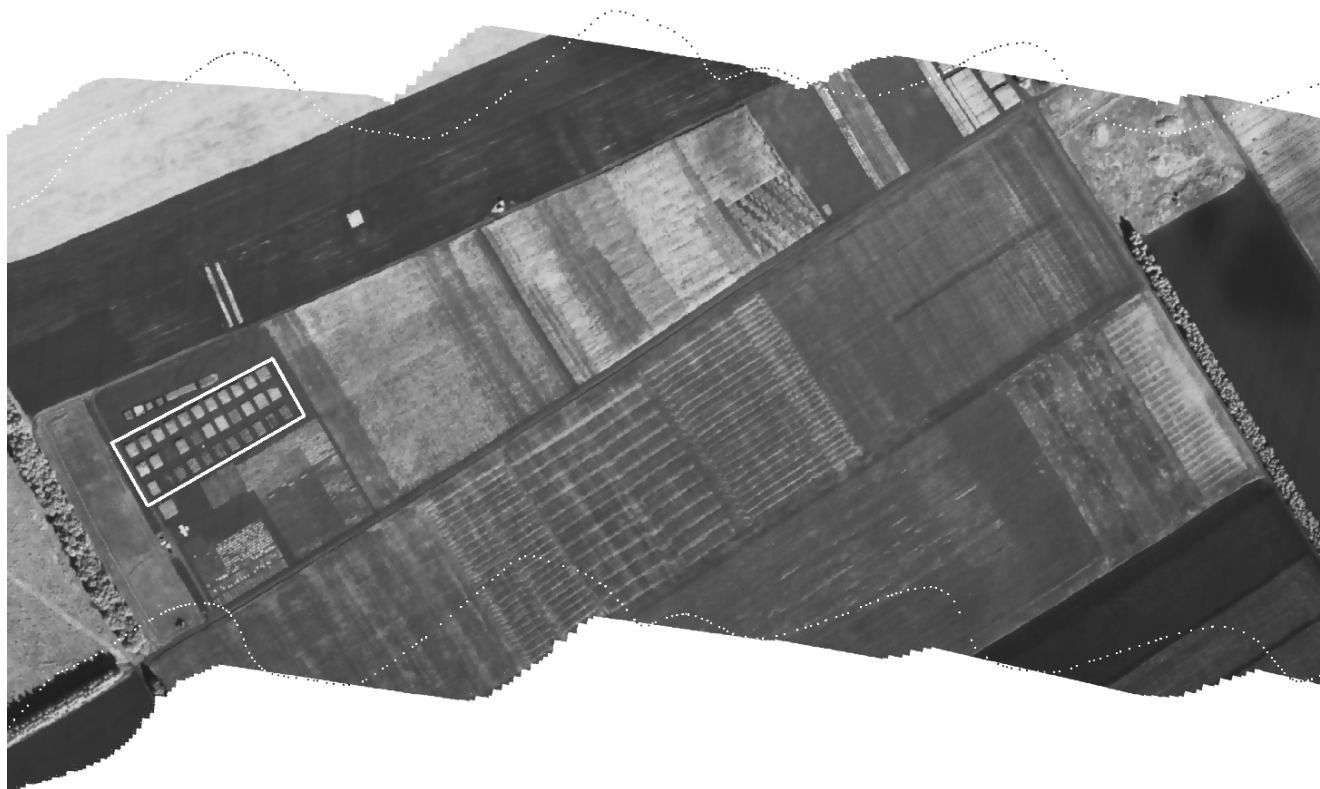


Рис. 1. Видеосъемка фрагмента трассы на территории Пензенской области, включающего тестовый полигон (мира), выделенный белым прямоугольником.

ценозов, а также открытой почвы в Пензенской области.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА

Для получения данных ДЗ о состоянии фитоценозов на территории Пензенской области использовался созданный в ЗАО НТЦ “Реагент” бортовой авиационный гиперспектрометр, прототип которого подробно описан в работе (Калинин и др., 2006).

Основные характеристики гиперспектрометра:

– спектральный диапазон	500–900 нм
– спектральное разрешение	1–10 нм
– пространственное разрешение	1×10^{-3} рад
– число спектральных каналов	224
– отношение сигнал/шум	более 100

Гиперспектрометр устанавливался на вертолет Ми-8МТВ. Трассовая съемка местности производилась в безоблачную погоду в июле 2006 г. с высоты 1000 м при скорости полета 130 км/ч. Синхронно с гиперспектральной проводилась видеосъемка, результаты которой использовались для геометрической коррекции гиперспектральных изображений и их географической привязки к

местности (Балтер и др., 2007). На рис. 1 показан результат видеосъемки фрагмента трассы на территории Пензенской области, включающего тестовый полигон (мира) с 33 участками (размер участка $10 \times 10 \text{ м}^2$), занятыми различными типами растительности (из них 11 участков, расположенных слева на трассе, были заняты посевами конопли). На всех этих участках проводились также наземные наблюдения. На рис. 2 приведено гиперспектральное изображение того же участка территории на длине волны 537 нм. Отметим, что при оценке биометрических характеристик растительности использовались данные всех 224 спектральных каналов. Результаты измерений *in situ* для участков, занятых коноплей, которые в дальнейшем были выбраны в качестве обучающих и тестовых, представлены в таблице. В ней приведены данные наземных измерений для трех биометрических характеристик, исследование которых проводилось в работе.

Основные задачи заключались: а) в получении радиометрически и геометрически исправленных гиперспектральных изображений с использованием синхронной гиперспектральной и видеосъемки; б) в проведении оценки состояния наркосодержащих культур с использованием нейросетевого алгоритма с прямой связью (feed-forward) по полученным гиперспектральным

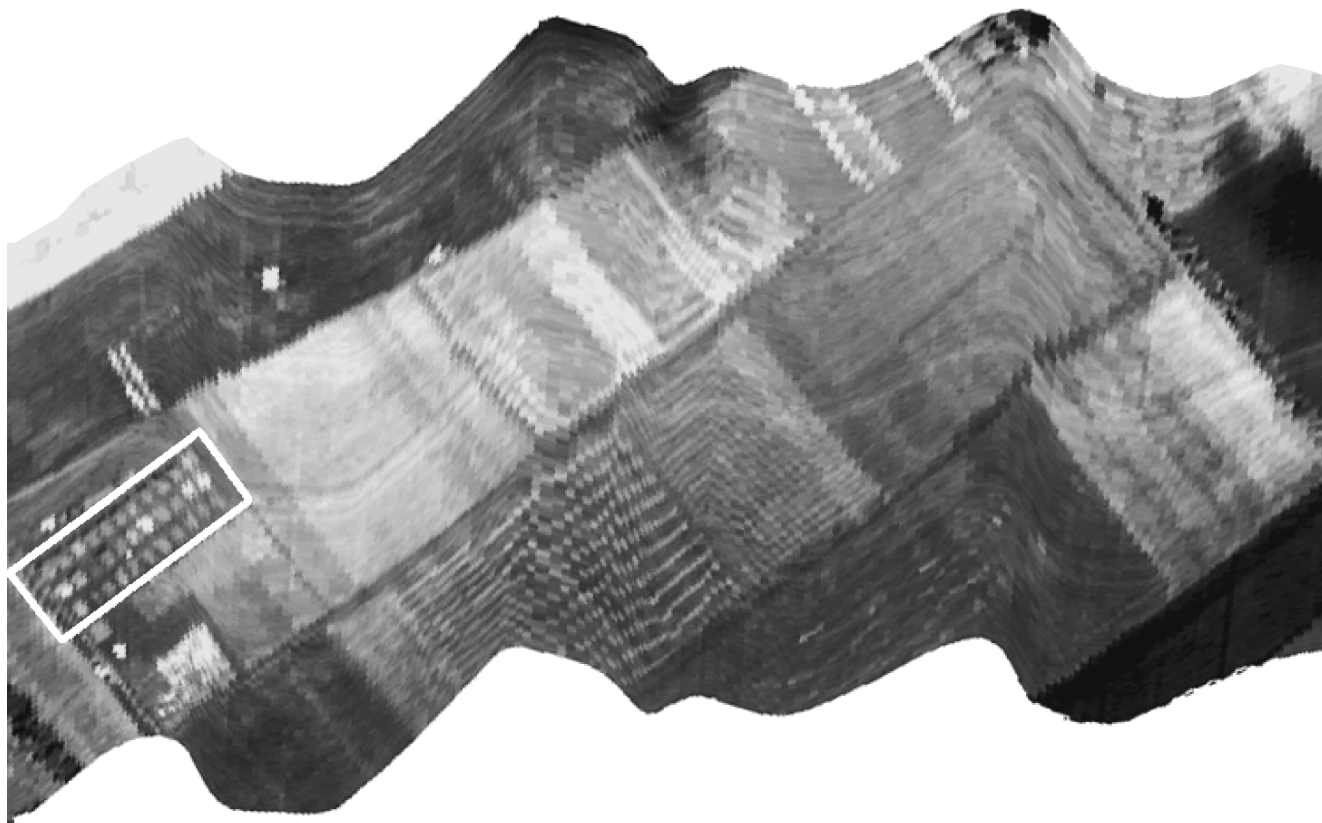


Рис. 2. Гиперспектральное изображение фрагмента трассы на территории Пензенской области, включающего тестовый полигон (мира), полученное на длине волны 537 нм.

изображениям. Обучение нейросети проводилось по методу обратного распространения ошибки (backpropagation) (Priddy, Keller, 2005); в) в оценке точности определения биометрических характеристик наркосодержащих культур.

Некоторые биометрические характеристики участков мира с коноплей по данным наземных измерений

Номер участка	Средняя высота растений, см	Проективное покрытие, %	Содержание поскони, %
1	95	75	8
2	94	65	то же
3	67	55	30
4	98	75	5
5	92	80	9
6	105	85	6
7	80	65	5
8	87	75	2
9	то же	85	4
10	75	70	7
11	70	15	6

Решение проблемы оценки биометрических характеристик конопли на основе данных гиперспектральной съемки наиболее эффективно, по нашему мнению, на основе алгоритма искусственных нейронных сетей (нейросетей). Основное преимущество нейросетей – возможность значительного повышения скорости вычислений. В частности, для решения задачи оценки количественных характеристик растительности по спектральным данным могут применяться нейронные сети с прямой связью (feed-forward), обучаемые по методу обратного распространения ошибок (backpropagation). Используемым нейросетевым алгоритмом является перцептрон (Галушкин, 1999), а способ его обучения (метод обратного распространения ошибки) представляет собой градиентный алгоритм обучения, который используется для минимизации среднеквадратичного отклонения текущего выхода и желаемого выхода нейросети.

Для проведения оценки параметров состояния конопли 11 участков мира, занятых ею, были разбиты на ячейки. Их размеры соответствовали пикселям гиперспектрального изображения. Для каждого из 11 участков эти ячейки случайным образом распределялись на обучающие и тестовые (общее число ячеек равнялось 1100). Число обу-

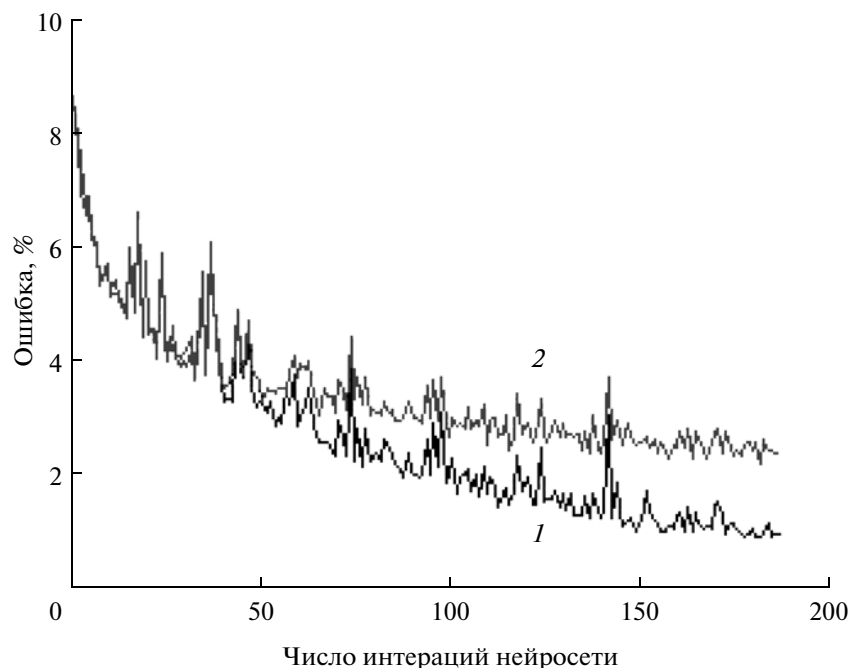


Рис. 3. Среднеквадратичная ошибка определения проективного покрытия почвы коноплей: 1 – по обучающим участкам, 2 – по тестовому участку.

чающих ячеек в 3 раза превосходило число тестовых. После этого проводилось обучение нейросети, для чего использовались наземные данные и спектральные характеристики для каждой из обучающих ячеек. Нейронная сеть обучалась следующим образом: случайным образом выбиралось небольшое число обучающих данных (гиперспектральные сигнатуры и биометрические характеристики растительности), и по этим входным данным подстраивались синоптические связи нейросети с использованием метода обратного распространения ошибки. В работе эта процедура названа итерацией. Затем выполнялась следующая аналогичная итерация и т.д. Для полного обучения нейросети необходимо осуществить некоторое количество таких итераций. Поскольку в каждой итерации используется небольшое число обучающих данных (порядка 20), то для достижения минимального значения ошибки определения биометрической характеристики растительности требуется достаточно большое число итераций. Обученная нейросеть применялась для оценки количественных характеристик конопли (на примере проективного покрытия, высоты растений и содержания поскони). После каждой итерации обучения проводилось оценка биометрических характеристик конопли по случайному набору небольшого числа тестовых данных.

Кривая зависимости ошибки, полученная для тестовых данных, может, как убывать, так и возрастать. Как правило, кривая зависимости среднеквадратичной ошибки от шага итерации на

обучающих участках убывает. Убывание означает успешное протекание процесса обучения, а возрастание означает так называемое переобучение сети. В этом случае изменение параметров архитектуры нейросети может исправить ситуацию. Если же эта процедура не улучшает качество обучения, то следует брать обучаемую нейросеть в момент, предшествующий возрастанию ошибки на тестовых данных. При стабилизации ошибки на тестовых участках (или снижении ее величины ниже заранее заданного порогового значения) настройку нейросети прекращают, поскольку это означает, что процесс ее обучения успешно завершен.

На рис. 3–5 показаны графики хода стандартных ошибок в зависимости от числа итераций обучения нейросети. На рис. 3 и 4 показаны абсолютные значения ошибки (%), поскольку сами величины проективного покрытия и содержания поскони измеряются в процентах. На рис. 5 показана абсолютная ошибка в определении высоты в сантиметрах. Из этих рисунков видно, что, как и следовало ожидать, погрешность определения биометрических характеристик конопли на обучающих участках убывает быстрее и по абсолютной величине ниже погрешности оценки на тестовых участках. Ошибки на обучающих и тестовых участках на рис. 3–5 отображаются в зависимости от числа итераций (Priddy, Keller, 2005). Отметим, что реальная величина ошибки оценки биометрических характеристик конопли на тестовых участках при числе итераций больше 100 не превышает 6% (проективное покрытие и высота растений), что свидетельствует о

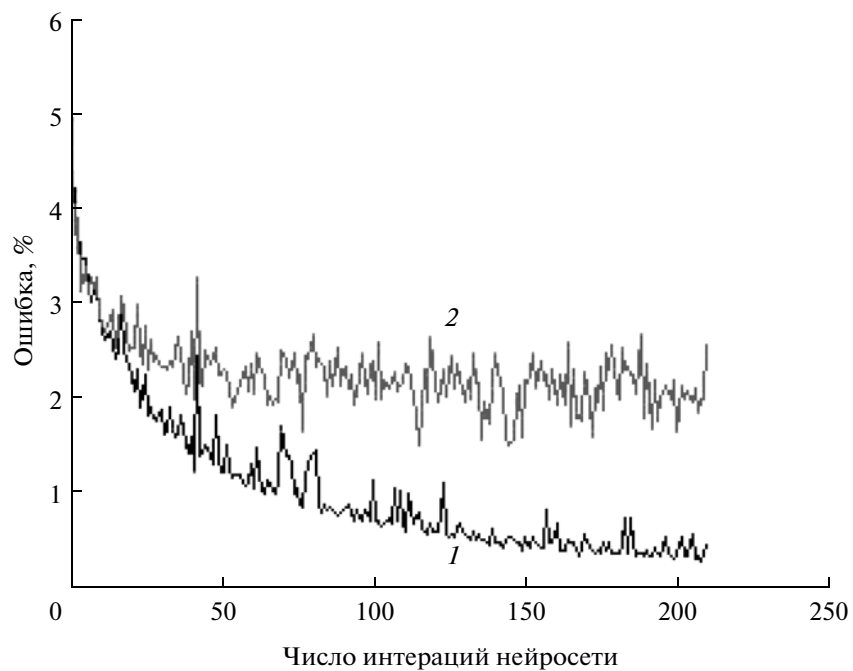


Рис. 4. Среднеквадратичная ошибка определения содержания поскони в посевах конопли: 1 – по обучающим участкам, 2 – по тестовому участку.

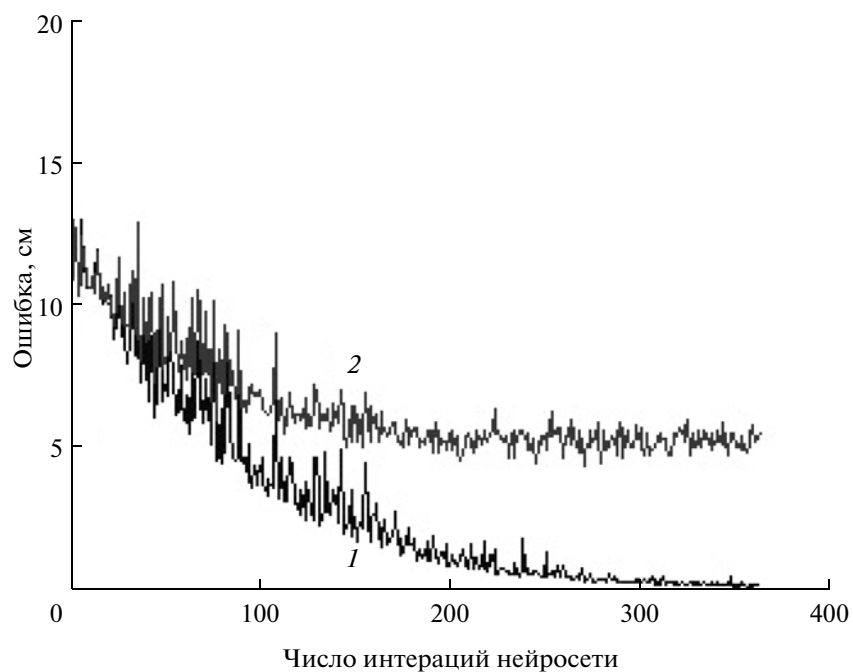


Рис. 5. Среднеквадратичная ошибка определения высоты конопли: 1 – по обучающим участкам, 2 – по тестовому участку.

сравнительно высокой потенциальной точности оценки этих характеристик. В то же время реальная относительная ошибка определения содержания поскони была значительной – в среднем порядка 30%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка методов распознавания и оценки биометрических характеристик посевов наркосодержащих растений по данным авиационной ги-

перспектральной съемки — первый этап в создании технологии оперативного контроля с космических и авиационных носителей за несанкционированным выращиванием наркосодержащей растительности. Используемые в них алгоритмы нейросетевой обработки гиперспектральных данных являются эффективным инструментом в решении задач оценки состояния растительных объектов.

Следует отметить, что настоящая работа носит методический характер и поэтому целесообразно продолжение данного исследования при разнесении обучающих и тестовых участков на большие расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Балтер Б.М., Егоров В.В., Ильин А.А., Калинин А.П., Орлов А.Г., Останний А.Н., Родионова И.П., Родионов И.Д. Оценка возможностей гиперспектральной съемки для дистанционного обнаружения заданного типа растительности. Препринт № Пр-2134. М.: ИКИ РАН, 2007. 28 с.

Балтер Б.М., Егоров В.В., Ильин А.А., Калинин А.П., Орлов А.Г., Родионов И.Д., Стальная М.В., Чекалина Т.И. // Исслед. Земли из космоса. 2008. № 6. С. 34–42

Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение // Докл. 5-й Всерос. конф. М.: Радио и связь, 1999. 484 с

Калинин А.П., Орлов А.Г., Родионов И.Д. // Вестн. МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. Приборостроение. 2006. № 3. С. 11-24.

Непобедимый С.П., Родионов И.Д., Воронцов Д.В., Орлов А.Г., Калашников С.К., Калинин А.П., Овчинников М.Ю., Родионов А.И., Шилов И.Б., Любимов В.Н., Осипов А.Ф. // ДАН. 2004. Т. 397. № 1. С. 45–48.

Priddy K.L., Keller P.E. Artificial neural networks: an introduction. SPIE Press, 2005. 165 p.

Saich P., Lewis P., Disney M., Thackrah G. Comparison of HyMap/E-SAR data with models for optical reflectance and microwave scattering from vegetation canopies // Proc. Int. Symp. Retrieval bio- and geophysical parameters from SAR data for land applications. Sheffield, Sept. 2001 (ESA SP-475, Jan. 2000).

Biometrical Features Seeds Estimation of Narcotic Culture on the Base of Aircraft Hyperspectral Remote Sensing

V. V. Egorov¹, A. A. Ilyin², A. P. Kalinin³, A. I. Rodionov², I. D. Rodionov⁴

¹ Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow

² Stock Company, Reagent Scientific Engineering Centre, Moscow

³ Ishlinsky Institute of Problems in Mechanics of Russian Academy of Sciences, Moscow

⁴ Semyonov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow

Estimation of vegetation status on the aviation hyperspectral data and *in situ* measurements are developed. For evaluation of biometrical characteristics neural network algorithm was used. It was shown that neural network algorithm provides acceptable for practical aims accuracy of biometrical characteristic estimation. The proposed method can be used for the practical control of cannabis crop from aviation and space platforms.

Keywords: hyperspectrometr, cannabis, classification, neural network, biometric characteristics, reliability, accuracy