

Оценка биометрических характеристик посевов наркосодержащих культур по данным авиационного гиперспектрального зондирования

В.В. Егоров¹, А.А. Ильин², А.П. Калинин³, А.И. Родионов², И.Д. Родионов⁴

¹ *Институт космических исследований РАН Москва,
117997 Москва, Профсоюзная 84/32
victor_egorov@mail.ru;*

² *ЗАО НТЦ «Реагент»,
119991 Москва, Косыгина 4
E-mails: andreyilyn@mail.ru*

³ *Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН,
19526 Москва проспект Вернадского 101, корп. 1
E-mails: kalinin@ipmnet.ru;*

⁴ *Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН
119991 Москва, Косыгина 4
E-mails: irodionov@reagent-rdc.ru*

Проводится оценка биометрических характеристик наркосодержащих культур по данным авиационной гиперспектральной съемки с привлечением измерений *in situ* на специализированном полигоне (мира). В качестве таких характеристик в работе рассматриваются: проективное покрытие, процентное содержание поскони и высота растений. Для определения указанных биометрических характеристик применяется алгоритм нейронных сетей. Показано, что алгоритмы нейронных сетей обеспечивают приемлемые для практики точности оценки состояния наркосодержащих культур. Так, например, абсолютная погрешность оценки проективного покрытия на тестовых участках мира составила 6%. Предложенная методика оценки состояния может использоваться для мониторинга посевов наркосодержащих растений с авиационных и космических носителей.

Ключевые слова: гиперспектрометр, конопля, нейросети, проективное покрытие, биометрические характеристики, оценка состояния, точность, мониторинг.

Введение

Оперативная оценка биометрических характеристик посевов наркосодержащих культур по данным космического зондирования представляется весьма актуальной как с экономической, так и социальной точек зрения. Наиболее привлекательными, на сегодня, выглядят методы и средства космического гиперспектрального мониторинга территорий на предмет оценки состояния наркосодержащей растительности. Однако отсутствие адекватной методической базы такой оценки 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*. В данной работе такие исследования проводились на примере посевов конопли.

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

посвященных дистанционному гиперспектральному зондированию растительных ценозов, оценкам их биометрических характеристик уделялось недостаточное внимание.

Целью настоящей работы является 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 растительных ценозов, а также открытой почвы в Пензенской области.

Экспериментальная съемка и полученные результаты

Для получения данных дистанционного зондирования растительных ценозов 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 специализированный полигон (мира) с 36 участками (размер участка 10x10 м²), занятыми различными типами растительности (в том числе наркосодержащими), на котором проводились также измерения *in situ*. Кроме того, на том же рисунке показан и тестовый полигон с посевами наркосодержащих культур. Результаты измерений *in situ* для участков, которые в дальнейшем были выбраны в качестве обучающих, представлены в таблице.

Таблица. Биометрические характеристики конопли на обучающих участках мира по данным наземных измерений

Номер участка	Средняя высота растений, см	Проективное покрытие, %	Содержание поскони, %
1	95	75	8
2	94	65	8
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	87	85	4
10	75	70	7
11	70	15	6

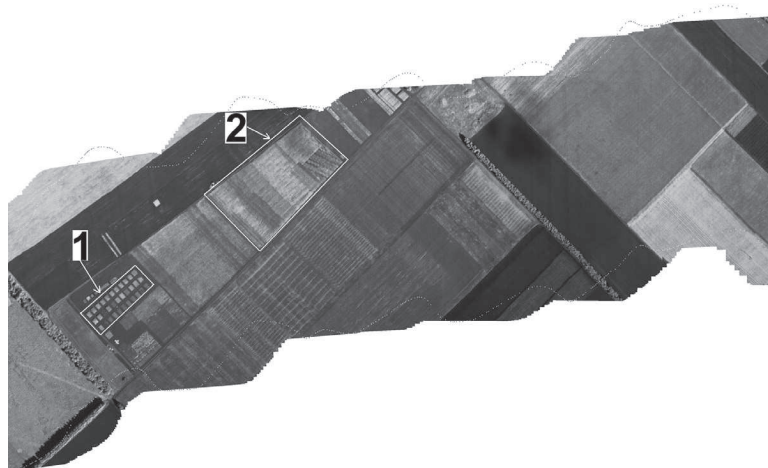


Рис. 1. Видеосъемка трассы на территории Пензенской области, включающего специализированный полигон (мира), выделенный белым прямоугольником -1, и тестовый полигон -2

Метод оценки биометрических характеристик растительности

Решение проблемы оценки биометрических характеристик конопли по данным гиперспектральной съемки наиболее эффективно, по нашему мнению, с использованием 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, 2000), а способ его обучения (метод обратного распространения ошибки) представляет собой градиентный алгоритм обучения, который используется для минимизации среднеквадратичного отклонения текущего от желаемого выхода нейросети.

Для проведения оценки параметров состояния конопли 11 участков мира, занятых ею, были разбиты на ячейки, размеры которых соответствовали пикселям гиперспектрального изображения. Для каждого из 11 участков эти ячейки случайным образом относились к обучающим и тестовым. Число обучающих ячеек в три 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. Назовем эту процедуру итерацией. Затем выполнялась следующая итерация и т.д. Для полного обучения нейросети необходимо было осуществить некоторое количество итераций. Поскольку в каждой итерации используется небольшое число обучающих данных, то для достижения минимального значения ошибки определения биометрической характеристики растительности, требовалось 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 на тестовых данных может как убывать, так и возрастать. Как правило, кривая зависимости среднеквадратичной ошибки от числа итераций 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 величины ошибки ниже заранее заданного порогового значения) настройку сети прекращают, поскольку это означает, что процесс обучения нейросети успешно завершен.

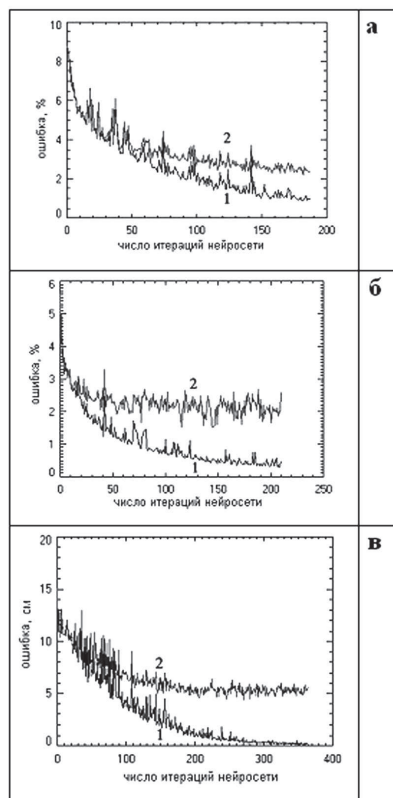


Рис.2. Среднеквадратичная ошибка определения биометрических характеристик конопли на мире:
 а – проективное покрытие, б – содержание покосни, в – высота растений,
 1 – по обучающим участкам мира, 2 – по тестовым участкам мира

Полученные результаты и их обсуждение

На первом этапе тематической обработки гиперспектральных данных проводилась оценка величин выбранных биометрических характеристик конопли по обучающим и тестовым участкам мира. Точность такой оценки в зависимости от числа итераций в сравнении с данными наземных измерений приведены на рис. 2.

На рис. 2а и б показаны абсолютные значения ошибки (%), поскольку сами величины проективного покрытия и содержания покосни измеряются в процентах. На рис. 2в указана абсолютная ошибка определения высоты растений в см. 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 мира. Кроме того, отметим, что реальная величина ошибки оценки биометрических характеристик конопли на тестовых участках при числе итераций больше 100 не превы-

щает 6% (проективное покрытие и высота растений), что свидетельствует о сравнительно высокой потенциальной точности оценки этих характеристик. В то же время реальная относительная ошибка определения содержания поскони была значительной – в среднем порядка 30%.

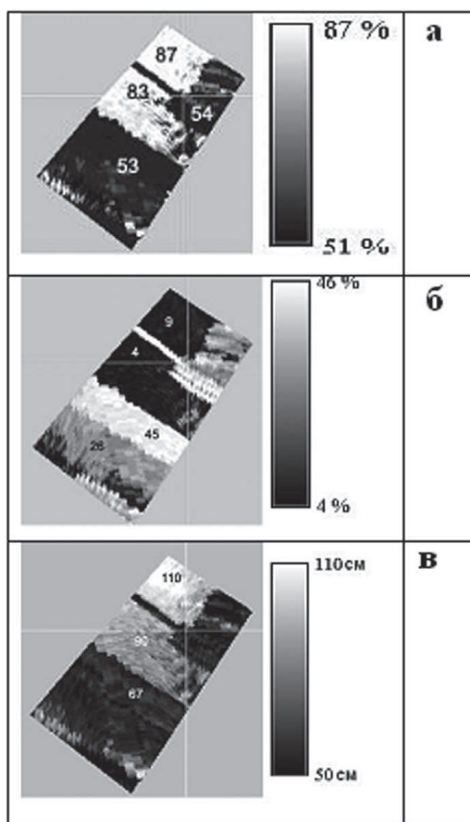


Рис.3. Биометрические характеристики тестового участка: а – проективное покрытие, б – процентное содержание поскони, в – высота растений

На втором этапе тематической обработки проводилась оценка биометрических характеристик посевов конопли на тестовом полигоне. Результаты этой обработки представлены на рис. 3.

На рис. 3а показана карта распределения проективного покрытия конопли по территории этого полигона. Справа приведена шкала (клин) значений проективного покрытия. Цифрами на отдельных полях показаны средние значения этой характеристики по выделенным однородным участкам. На рис. 3 б и в показаны, соответственно, карты распределения процентного содержания поскони и высоты растений. К сожалению, на тестовом полигоне наземных измерений не проводилось, однако, как показывает сравнение данных по миру (таблица) и тестовому полигону можно сделать вывод об их качественном согласии.

В заключение следует отметить, что разработка метода оценки биометрических характеристик посевов наркосодержащих растений по данным авиационной гиперспектральной съемки – первый шаг на пути создании технологии оперативного контроля из космоса 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 данная работа носит методический характер и поэтому целесообразно продолжение исследования оценки величины ошибки при разнесении на большие расстояния обучающих и тестовых участков.

Предлагаемая методика может использоваться для практического контроля посевов наркосодержащих растений с авиационных и космических носителей. Кроме того, разработанные методы носят достаточно общий характер и применимы к задачам мониторинга других типов растительности.

Литература

1. 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 ИКИ РАН Пр-2134. М. 2007. 28 с.
2. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн. 3: Учебное пособие для вузов / Общая редакция А.И. Галушкина.-М.:ИПРЖР, 2000. 258 с. (Нейрокомпьютеры и их применение)
3. Калинин А.П., Орлов А.Г., Родионов И.Д. Авиационный гиперспектрометр // Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана. Сер. «Приборостроение». 2006. №3. С.11-24.
4. Непобедимый С.П., Родионов И.Д., Воронцов Д.В., Орлов А.Г., Калашиников С.К., Калинин А.П., Овчинников М.Ю., Родионов А.И., Шилов И.Б., Любимов В.Н., Осипов А.Ф. Гиперспектральное дистанционное зондирование Земли // ДАН. 2004. Том 397. №1. С. 45-48.
5. Priddy K.L., Keller P.E. Artificial neural networks: an introduction. SPIE Press. 2005.165 p.

Biometrical features estimation of narcotic vegetation on the data of aircraft hyperspectral survey

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

¹ Space Research Institute of Russian Academy of Sciences,
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.
victor_egorov@mail.ru;

² Stock Company, Reagent Scientific Engineering Centre,
119991 Moscow, 4 Kosygin
E-mails: andreyilyn@mail.ru;

³ Ishlinsky Institute of Problems in Mechanics of Russian Academy of Sciences,
119526 Moscow, 100-1 Vernadskogo Pr.
E-mails: kalinin@ipmnet.ru;

⁴ Semyonov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences
119991 Moscow, 4 Kosygin
E-mails: irodionov@reagent-rdc.ru

Estimation of vegetation status on the aviation hyperspectral data and in situ measurements on the special test sites are developed. For evaluation of biometrical characteristics such as projective cover, content of masculine cannabis, herb height neural network algorithm was used. It was shown that neural network algorithm provides acceptable for practical aims accuracy of biometrical characteristic estimation. For example, absolute error estimation of projective cover on the special test sites was six percent. The proposed method can be used for the practical control of cannabis crop from aviation and space platforms.

Keywords: hyperspectrometr, cannabis, neural network, biometric characteristics, projective cover, reliability, accuracy, monitoring.