Метод автоматизированного определения типов лесного растительного покрова по материалам аэрокосмической съемки

Хайруллин Радис Рафисович
кандидат технических наук, научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vka@mil.ru

Мишуков Олег Александрович
кандидат технических наук, научный сотрудник Военного института (научно-исследовательского) Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия, vka@mil.ru

АННОТАЦИЯ

Введение: Увеличение объема данных аэрокосмической съемки актуализирует вопросы повышения достоверности результатов классификации типов лесного растительного покрова и ускорения процесса оценки лесных растительных сообществ по цифровым изображениям земной поверхности. Известные способы классификации типов лесного растительного покрова по цифровыми изображениям обладают низкой достоверностью результатов классификации типов объектов и значительными временными затратами. **Цель исследования**: целью исследования является повышение достоверности результатов классификации типов лесного растительного покрова по аэрокосмическим изображениям земной поверхности. **Методы**: предлагаемый метод основан на получении дешифровочных признаков лесного растительного покрова по материалам аэрокосмической съемки и сравнения с типовыми эталонными образами, хранящимися в специальной базе данных. В качестве дешифровочных признаков почвенно-растительного покрова в методе применяются совокупности значений вегетационных индексов, рассчитываемых в пределах интерактивно выделенных эталонных контуров лесных растительных сообществ. Для вычисления дешифровочных признаков приведены расчетные формулы. Новизна предложенного подхода заключается в использовании формализованных знаний, полученных при изучении дешифровочных признаков основных растительных сообществ, а также в применении логического метода дешифрирования при обработке фотоизображений. Дешифрирование реализуется в четыре этапа посредством алгоритма автоматизированного определения по данным аэрокосмической съемки. Результаты: результатом реализации метода является специальная карта оценки лесных растительных сообществ, созданная в автоматизированном режиме по цифровым изображениям земной поверхности. **Практическая значимость**: Предлагаемый метод может быть положен в основу специализированного программного-алгоритмического обеспечения, интегрированного с программным обеспечениям геоинформационной системы «Панорама». **Обсуждение:** Разработанный метод позволяет по материалам аэрокосмической съемки в автоматизированном режиме определить типы лесного растительного покрова. Полученные результаты могут быть использованы для изучения, оценки и использования местности при принятии решений, планировании и ведении операции, создании специальных карт оценки растительного покрова.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: типы лесных растительных сообществ; естественные маски; вегетационный индекс; дешифровочные признаки; специальная карта

Введение

Возможность получения детальных цифровых изображений земной поверхности с помощью аэрокосмической съемки (АКС) позволила обеспечить решения широкого спектра задач, имеющих важное научное и народно-хозяйственное значение. Одной из важных задач является задача оценивания лесных растительных сообществ (ЛРС) и определения типов лесного растительного покрова. В статье представлен разработанный метод автоматизированного определения типов лесного растительного покрова, который обеспечивает повышение достоверности результатов классификации объектов и ускорение процесса оценки лесных растительных сообществ по цифровым изображениям земной поверхности. Метод включает следующие этапы: формирование базы исходной информации; создание эталона дешифровочных признаков по данным аэрокосмической съемки; дешифрирование материалов аэрокосмической съемки; создание специальной карты оценки лесных растительных сообществ.

Формирование базы исходной информации

Оценка лесных растительных сообществ начинается с исследования исходных данных, которые можно разделить на постоянные и переменные.

К постоянным данным относятся:

1. Цифровые изображения местности (материалы АКС в красной области спектра (0,62 – 0,75 мкм), характеризующей максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, и ближней инфракрасной области спектра (0,76 – 1,3 мкм), характеризующей максимальное отражение клеточных структур листа, т. е. высокую фотосинтетическую активность, способствующую меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной области) [1, 2];

2. Электронная карта (список карт), загруженная во внутреннем формате геоинформационной системы (ГИС).

3. Цифровая матрица высот.

4. Растровые изображения электронной карты (ЭК).

5. Спектральные и цветовые характеристики фоновых поверхностей, их составляющие и коэффициенты отражения типов лесных растительных сообществ [3, 4];

6. Спектральные и цветовые характеристики основных сельскохозяйственных культур в течении года [4, 5];

7. Сводные данные по физико-географическим особенностям территорий округов и территориальному распределению фоновых поверхностей [4,6,7], описаний местности.

К переменным данным относятся:

1. Размеры выбранного элементарного участка местности или объекта на ЭК. Выбор величины элементарных участков будет обусловлен тактическими нормативами и задачами, связанными с оценкой растительного покрова. Размеры элементарного участка могут меняться в зависимости от обстановки и условий местности;

2. Погодно-климатические условия на определённую дату (при получении материалов АКС).

4. Данные о площади исследуемой территории (ширина и глубина).

5. Основные характеристики леса: сомкнутость крон; ярусность леса в зависимости от возраста леса, высоты и толщины деревьев; густота леса; типы лесных растительных

сообществ (данные определяются после обработки материалов АКС); занимаемая площадь леса [8].

Обобщив постоянные и переменные данные, связанные с основными характеристиками естественной маски (ЕМ) растительного покрова, можно формировать специальную базу данных (СБД).

В формирование СБД должен быть положен объектно-ориентированный подход, позволяющий объективизировать процесс автоматизированного дешифрирования типов основных растительных сообществ, автоматизировать процесс экспертного анализа, обеспечить адаптацию к индикационным свойствам ландшафтов и учесть дешифровочные особенности фотоматериала. Схема СБД представлена на рис. 1. Для обозначения связей типа «один ко многим» между отношениями в схеме СБД используются цифры 1,…,n.

Рис. 1. Схема специальной базы данных

Основу СБД составляют отношения «Типы основных растительных сообществ», «Коэффициент, учитывающий изменения свойств местности от типа леса и времени года» и «Коэффициент скрывающих свойств лесных растительных сообществ». Записи в отношениях представляют объекты СБД. Каждый объект должен иметь уникальный ключ (идентификатор, который на схеме выделен подчеркиванием). Наименования и ключи объектов являются глобальными атрибутами. Структуру объектов дешифрирования – «лесных растительных сообществ» образуют атрибутивные данные отношения «Типы основных сообществ». В свою очередь, атрибутивные данные отношения «Коэффициент,

учитывающий изменения скрывающих свойств местности от типа леса и времени года» образуют структуру объектов при оценке возможного использования ЛРС для скрытного размещения объектов.

Объектами первого классификатора являются типы ЛРС. Особенность их формирования заключается в логическом объединении видов растительности по признаку принадлежности к экосистемам, т.е. в качестве типов ЛРС рассматриваются растительные экосистемы, характерные для изучаемой территории: лесные, луговые, экосистемы высшей водной растительности, болотные экосистемы. Типизация видов растительности, следовательно, и ЛРС осуществляется атрибутом <значение НРВИ> (нормализованный разностный вегетационный индекс (НРВИ), входящим в схему кортежа [9].

Объектом второго классификатора являются поправочный коэффициент r, учитывающий изменения густоты лесных массивов в зависимости от типа леса и времени года [10,11,12].

Основной характеристикой поправочного коэффициента, определяющей компенсирующее влияние на скрывающие свойства леса при его освоении, является зависимость от типов основных растительных сообществ и от времени года в момент исследования территории. Соответственно, определение коэффициента r осуществляется атрибутами <код типа ЛРС>, <значение НРВИ>, <время года>, входящими в схему кортежа. Количество кортежей в отношении, будет определяться числом парных сочетаний ЛРС, заданных классификатором основных растительных сообществ (ОРС). Необходимо заметить, что атрибуты, входящие в схему отношения «Коэффициент, учитывающий изменения скрывающих свойств местности от типа леса и времени года», функционально зависимы и являются классификационными единицами отношения «Коэффициент густоты лесных растительных сообществ».

Основными показателями специальной базы данных являются: нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI); вегетационный индекс (ВИ), скорректированный за подстилающую поверхность (SAVI).

1. Вегетационный индекс R_{NDVI}, значения вегетационного индекса R^i_{NDVI} и его разбросы ΔR^i_{NDVI} определяются с использованием формул (1) - (3) [1,2,13,14,15]:

$$R_{NDVI} = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}, \tag{1}$$

где R_{RED} – значения отраженного растительностью света в красной области спектра;

R_{NIR} – значения отраженного растительностью света в ближней инфракрасной области спектра.

$$R^i_{NDVI} = \frac{1}{K}\sum_{p=1}^{K} R_{NDVI_p}, \tag{2}$$

где K – число отсчетов ВИ в выборке по всем эталонным контурам заданных ОРС;

p – отсчеты ВИ в выборке по эталонным контурам заданных ОРС;

R_{NDVI_p} – значение вегетационного индекса $NDVI$ в р-м отсчете.

$$\Delta R^i_{NDVI} = \sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{p=1}^{K}(R^i_{NDVI} - R_{NDVI_p})^2} \quad . \tag{3}$$

2. Вегетационный индекс SAVI, скорректированный за подстилающую поверхность, и его разброс вычисляются с использованием формул (4) - (6) [1,14,15]:

$$R_{SAVI} = \frac{(R_{NIR} - R_{RED})}{(R_{NIR} + R_{RED} + \alpha)} \cdot (1+\alpha)\,, \tag{4}$$

где α – поправка за подстилающую поверхность.

$$R^i_{SAVI} = \frac{1}{K}\sum_{p=1}^{K} R_{SAVI_p} \quad , \tag{5}$$

где K – число отсчетов индекса SAVI в выборке;

p – отсчеты индекса SAVI в выборке;

R_{SAVI_p} – значение индекса SAVI в р-м отсчете.

$$\Delta R^i_{SAVI} = \sqrt{\frac{1}{K-1}\sum_{p=1}^{K}(R^i_{SAVI} - R_{SAVI_p})^2} \quad . \tag{6}$$

Из приведенных соотношений видно, что данный подход является полиморфным. В качестве параметров класса выступают совокупности значений вегетационных индексов, рассчитываемых в пределах интерактивно выделенных эталонных контуров ЛРС.

Одной из основных особенностей рассмотренного подхода к формированию специальной базы данных является введение в ее интерфейс логических операций, управляющих процессом корректировки дешифровочных признаков почвенно-растительного покрова.

Корректировка дешифровочных признаков почвенно-растительного покрова обусловлена снижением показателя достоверности машинной классификации зависящего от трех групп факторов: 1) интегрирующих свойств растительности; 2) отсутствия резких различий растительности внутри одного природного ландшафта; 3) влияния почв, выходов скальных пород. Для устранения влияния этих факторов предлагается использовать разработанный алгоритм коррекции вегетационного индекса, структурно-логическая схема которого представлена на рис. 2.

При реализации данного алгоритма значения показателя достоверности машинной классификации ОРС (блок 1), рассчитывается по формуле [1,14]:

$$\chi = \frac{N_m}{N}\,, \tag{7}$$

где N_m – количество правильно дешифрированных (машинно-классифицированных) объектов;

N – общее количество интерактивно выделенных объектов.

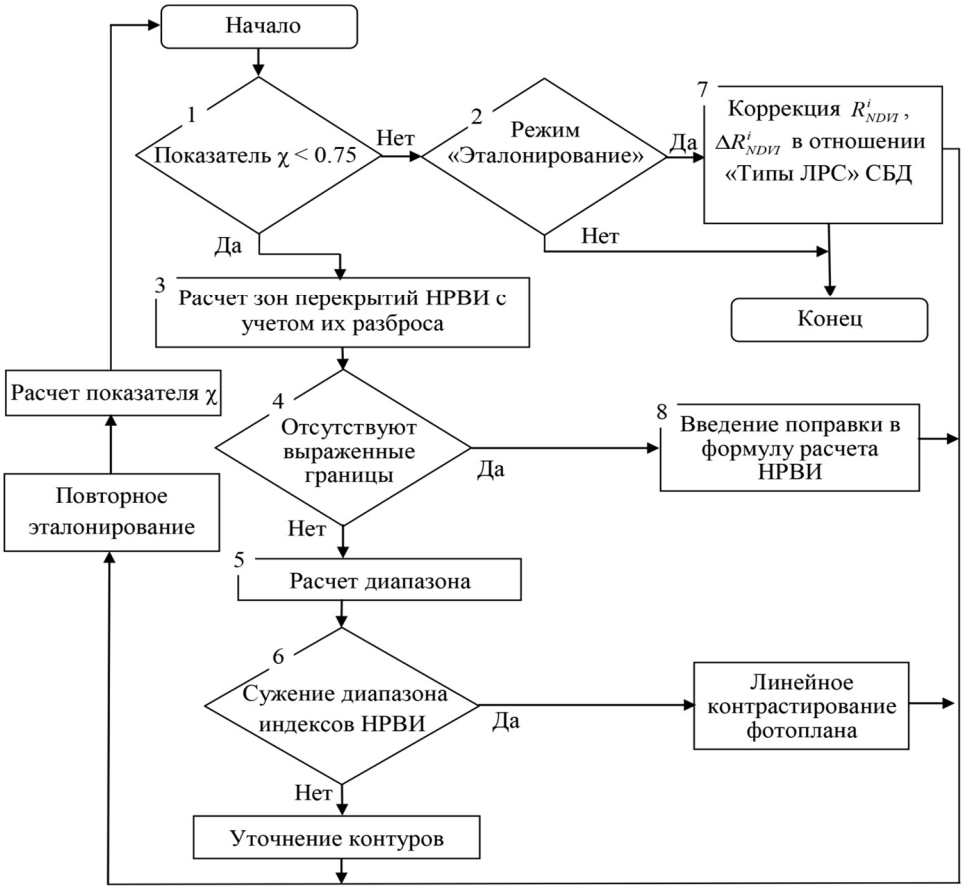

Рис. 2. Структурно-логическая схема алгоритма коррекции вегетационного индекса

В случае снижения значения показателя достоверности машинной классификации ОРС ниже 0.75 осуществляется расчет зон перекрытий *NDVI* с учетом их разброса (блок 3), в котором для интервалов $R_i = \left[\frac{R^{i+1}_{NDVI} - \Delta R^{i+1}_{NDVI}}{2}, \frac{R^{i}_{NDVI} + \Delta R^{i}_{NDVI}}{2}\right]$, отсортированных в порядке возрастания значений *NDVI*, проверяется следующее выражение:

$$\left[R_i \cap R_{i+1} = \varnothing\right] \vee \left[\left(\frac{R^{i+1}_{NDVI} - \Delta R^{i+1}_{NDVI}}{2}\right), \left(\frac{R^{i}_{NDVI} + \Delta R^{i}_{NDVI}}{2}\right) \geq \Delta R\right], \quad (8)$$

где ΔR – наименьшее из всех значений разброса вегетационного индекса ΔR^i_{NDVI}, определенных в отношении «Типы лесных растительных сообществ».

Не выполнение хотя бы одного условия из зависимости (8) свидетельствует об отсутствии выраженных границ между индексами ЛРС (блок 4). При необходимости выполняется устранение зон перекрытий (блок 8) путем введения в формулу (4) поправки за подстилающую поверхность (α). При этом вегетационный индекс, скорректированный за подстилающую поверхность, рассчитывается по формуле (5).

Расчет поправки выполняется с шагом 0.1 в интервале $\alpha \in [0.1;1]$. При достижении допустимого значения показателя достоверности расчет поправки заканчивается. Новые

значения *NDVI* записываются в специальную базу данных (блок 7) и работа алгоритма прекращается.

В противном случае осуществляется расчет диапазона σ_{NDVI} вегетационного индекса *NDVI* в шкале допустимых для растительности (блок 5) по следующей формуле:

$$\sigma_{NDVI} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(R^i_{NDVI} - R_{NDVI})^2} \ . \tag{9}$$

Значение ВИ R_{NDVI} рассчитывается по формуле:

$$R_{NDVI} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} R^i_{NDVI} \ . \tag{10}$$

После расчета диапазона индексов *NDVI* σ_{NDVI}, необходимо проверить выполнение условия, представленного неравенством (11):

$$\frac{\sigma_{NDVI}}{\Delta} \geq 0.4 \ , \tag{11}$$

где Δ – разность между максимальным и минимальным значениями ВИ *NDVI*, определенными для растительности (блок 6).

На практике при проверке условия (11) пороговые значения сравниваемого параметра выбираются равными 0.8 и 0.4 соответственно. Невыполнение условия (11) свидетельствует о низком качестве фотоизображения. В этом случае осуществляется линейное контрастирование фотоизображения путем пересчета значений его фототона. Это реализуется растяжением диапазона колебаний фототона: темному из них присваивается значение 0, а светлому – 255. Результатом работы будет являться новое фотоизображение с более выраженными различиями фототона. Если линейное контрастирование фотоизображения не обеспечивает допустимые значения показателя достоверности машинной классификации, то осуществляется коррекция ВИ с использованием математического аппарата специальной базы данных. В случае, когда контрастированием ортофотоплана или коррекцией ВИ повысить значение показателя достоверности машинной классификации не удается, необходимо выполнить повторное выделение контуров типов ЛРС в интерактивном режиме. При этом предоставляется возможность выполнить анализ возникающих ошибок. Обработка данных заканчивается установкой новых значений R^i_{NDVI} и ΔR^i_{NDVI} в отношении «Типы основных растительных сообществ» специальной базы данных (блок 7). Результатом работ являются упорядоченные по основным растительным сообществам значения НРВИ в соответствии со следующей зависимостью:

$$T \bigcap R_{NDVI} \neq \varnothing, \ T_k \in T, \ R^i_{NDVI} \in R_{NDVI}, \text{ при } i = \overline{1,n}, \ k = \overline{1,m}, \tag{12}$$

где T_k – тип k-го основного растительного сообщества;

R^i_{NDVI} – эталонное значение НРВИ;

n – количество эталонных значений НРВИ;

m – количество типов основных растительных сообществ.

Таким образом, реализация изложенного подхода формирования СБД позволяет объективизировать процесс автоматизированного дешифрирования типов ЛРС, автоматизировать процесс экспертного анализа, обеспечить адаптацию к индикационным свойствам ландшафтов и учесть дешифровочные особенности фотоматериала.

Создание эталона дешифровочных признаков по данным аэрокосмической съемки

При создании эталона целесообразно применить подход, позволяющий обеспечить наилучший результат распознавания типов лесных растительных сообществ (ТЛРС). При этом следует использовать формализованные знания, накопленные в результате исследования ландшафтов исследуемой территории. В рамках этого подхода можно применять методы цифровой фильтрации, логического и кластерного анализа данных, направленные на повышение точности дешифровочного решения.

Структурная схема алгоритма формирования эталонов дешифровочных признаков растительного покрова по данным АКС, реализующего этап эталонирования, представлена на рис. 3.

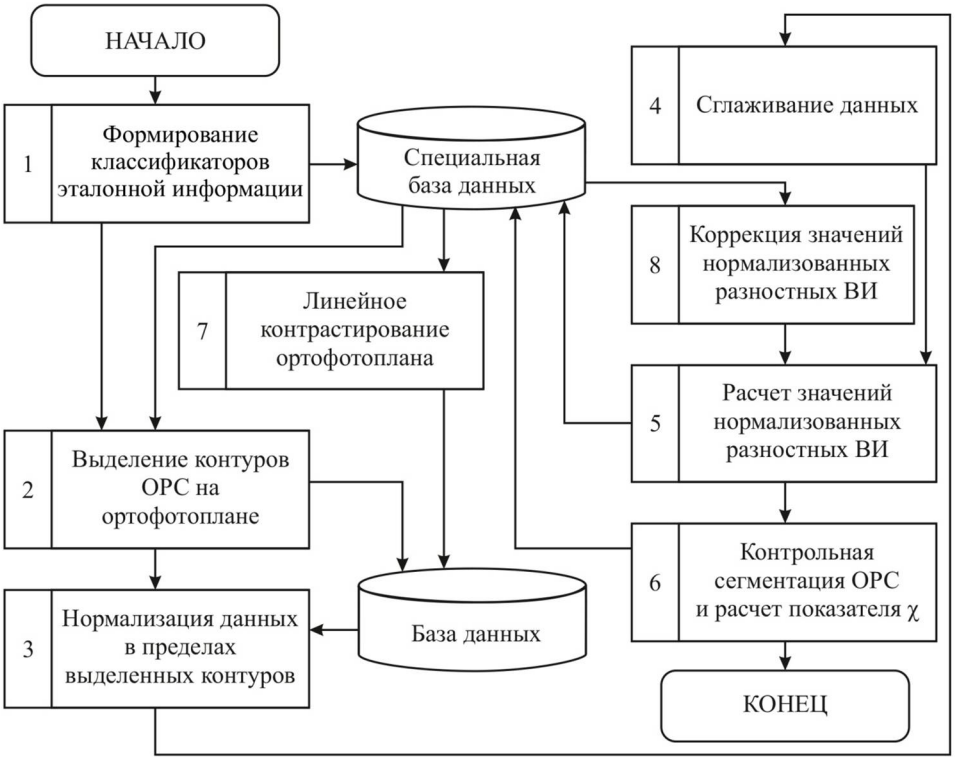

Рис. 3. Схема эталонирования дешифровочных признаков растительного покрова по данным АКС

Эталонирование дешифровочных признаков почвенно-растительного покрова по данным дистанционного зондирования начинается с заполнения специальной базы данных информацией, характеризующей типы ОРС, по сложности их структуры и контрастности

(блок 1). После этого, на ортофотоплане в интерактивном режиме с использованием ландшафтной карты осуществляется выделение контуров ОРС (блок 2).

Затем, выполняется нормализация данных в пределах выделенных контуров (блок 3). Она заключается в вычислении индексов *NDVI* по формуле (2) для каждой пары пикселов в пределах выделенных контуров ОРС. Результатом работы будет является карта *NDVI*.

На следующем этапе с целью исключения одиночных помех выполняется выравнивание спектральных образов объектов дешифрирования на карте *NDVI* (блок 4).

Сглаживание данных осуществляется методом медианной фильтрации квадратным окном размерностью ($M \times M$) по формуле [1,2,14]:

$$R_{NDVI} = (1/M^2)\sum_{g=i}^{i+M}\sum_{h=j}^{j+M} R_{NDVI_{g,h}}\ , \tag{13}$$

где i, j – порядковые номера элементов карты *NDVI* по строкам и столбцам, $i = \overline{1,n}$, $j = \overline{1,m}$;

g, h – текущие значения обрабатываемого элемента данных в пределах окна по строкам и столбцам соответственно.

Результатом операции сглаживания будет являться карта сглаженных значений *NDVI* [16].

В пятом блоке выполняется расчет НРВИ и их разбросов с использованием формул (3) - (5) для каждого типа основных растительных сообществ. Рассчитанные значения сохраняются в отношении «Типы основных растительных сообществ» специальной базы данных.

Далее, с использованием полученных индексов *NDVI* выполняется контрольная сегментация основных растительных сообществ (блок 6). Она заключается в расчете показателя достоверности машинной классификации (χ) по формуле (7) в интерактивном режиме. Процесс эталонирования заканчивается в случае достижения значения показателя достоверности машинной классификации χ более 0.75. В противном случае, осуществляется линейное контрастирование ортофотоплана (блок 7) с использованием уравнения [1,14]:

$$y^0 = \frac{255\cdot(y - y_{\min})}{(y_{\max} - y_{\min})}, \tag{14}$$

где $y_{\min}$, $y_{\max}$ – минимальное и максимальное значения фототона фотоизображения;

y – текущее значение фототона;

y^0 – новое текущее значение фототона, полученное в результате выполнения операции линейного контрастирования ортофотоплана.

Если путем линейного контрастирования значение достоверности машинной квалификации не удается повысить ($\chi < 0.75$), тогда осуществляется коррекции ВИ (блок 8). Коррекция осуществляется с использованием математического аппарата специальной базы данных.

Как следует из описания вышеприведенного алгоритма, процессы, происходящие при эталонировании, носят циклический характер. Это обеспечивает наиболее точную настройку на характерные особенности исследуемой территории и особенности съемочного материала.

Дешифрирование

В основу автоматизированного дешифрирования аэрофотоснимков заложен машинно-ориентированный способ извлечения информации на основе прямых дешифровочных признаков. Новизна предложенного подхода заключается в использовании формализованных знаний, полученных при изучении дешифровочных признаков ОРС, а также в применении логического метода дешифрирования при обработке фотоизображений. Процесс дешифрирования заключается в последовательном выделении контуров ОРС путем сравнения между собой значений ВИ, полученных из выражения (1) для обрабатываемых фотоизображений, с эталонными, хранящимися в базе данных.

Дешифрирование реализуется в четыре этапа посредством алгоритма автоматизированного определения по данным АКС. Результатом является сформированная карта типов лесных растительных сообществ. Рассмотрим этапы дешифрирования аэрофотоснимков.

Этап 1. Выполняется нормализация для всех элементов фотоизображения исследуемого участка. При ее реализации индексы *NDVI* вычисляются по формуле (1) для каждой пары пикселов (элементов изображений), последовательно выбираемых из цифровых массивов фотоизображений.

Этап 2. Выявление территорий с антропогенными объектами классификации. К ним относятся дороги, строения, дорожные сооружения и другие искусственные объекты. Индексы *NDVI* для таких объектов существенно отличаются от индексов, соответствующих растительности, и лежат, как правило, в области отрицательных значений. Реализация данного блока осуществляется путем последовательного проверки «попадания» ВИ искусственных объектов в интервал допустимых значений ВИ, определенных для растительности Δ. Площади элементов карты *NDVI*, соответствующих этим индексам, суммируются и фиксируются в карте антропогенно освоенных территорий.

Этап 3. Выполняется сглаживание данных, которое заключается в выравнивании спектральных образов объектов дешифрирования [17]. Оно осуществляется методом медианной фильтрации по формуле (2).

Этап 4. Выполняется процесс сегментации ОРС, основанный на методе локальной кластеризации. Сначала, методом «ближайших соседей» [18, 19] выполняется предварительная сегментация областей в матрице *NDVI* с равными индексами с установлением принадлежности выделенного кластера типу основного растительного сообщества. Кластерам, образованным неустановленными классификатором индексами, присваиваются свои кодовые обозначения, отличные от хранящихся в специальной базе данных. В результате будет сформирован набор карт, элементами которых являются коды типов основных растительных сообществ, а также коды неустановленных объектов. Для оконтуривания каждого массива кодов используется метод «наименьшего однородного сегмента, ассимилируемого ядром» [18,19,20]. Размер ядра сегмента ($l_1 \times l_1$) выбирается равным (3×3) точек, размер оболочки ($l_2 \times l_2$) – (7×7) точек. Весовая функция (F), используемая для установления степени генерализации исследуемого контура, определяется по формуле:

$$F = \left(\frac{1-(l_2-l_1)}{l_2}\right)\cdot S_1 + \left(\frac{(l_2-l_1)}{l_2}\right)\cdot S_2, \qquad (15)$$

где S_1 и S_2 – площади ядра и оболочки соответственно при $l_2 > l_1$.

Отслеживание контура осуществляется путем перемещения окна по границе ядра вдоль контура объекта и проверки площади захвата на каждом шаге. Изменение направления перемещения окна выполняется в случае уменьшения площади более чем на 10%. Применение этого метода позволяет снизить чрезмерную изрезанность контуров и удалить «нитевидные» включения других контуров. Операция завершается фиксацией полученных координат контуров в отдельные списки ($<T_{ij}>$) для основных растительных сообществ.

Таким образом, применение машинно-ориентированного способа извлечения информации на основе прямых дешифровочных признаков позволяет говорить о разработке основы интеллектуального анализа данных при исследовании ЛРС для оценки их скрывающих свойств.

Представление результатов в картографическом виде начинается со сглаживания данных методом медианной фильтрации по зависимости (13) и создания на этой основе векторного слоя ТЛРС исследуемой территории. После этого созданный векторный слой совмещается с растровой картой исследуемой территории и в интерактивном режиме уточняются границы ареалов выделенных ЛРС. В качестве картографической основы предлагается использовать электронную топографическую карту масштаба 1: 100 000. Ее создание предлагается осуществлять в среде ГИС «Оператор». Трансформирование отдельных снимков и объединение полученных растров в единое изображение предполагается осуществить с использованием, созданного в среде «C++ Builder 6.0» программного приложения «Оценка типов лесных растительных сообществ». Точность трансформирования при высоте сечения рельефа 5-7 м в пределах элементарного участка может составить 8-10 м для равнинных участков местности и 10-12 м для всхолмленных.

На следующем этапе каждому выделенному типу ЛРС присваивается значение коэффициента его скрывающих свойств. Определение значений коэффициентов скрывающих свойств осуществляется с использованием формулы (10). В завершении данного этапа созданная карта оформляется в принятых условных знаках.

Заключение

Разработанный метод основан на получении дешифровочных признаков лесного растительного покрова и позволяет получать объективную информацию о типах лесного растительного сообщества на основе автоматизированного дешифрирования космических снимков. Результатом реализации метода будет являться созданная в автоматизированном режиме специальная карта оценки лесных растительных сообществ. Такие карты необходимы органам управления для изучения, оценки и использования местности при принятии решений, планировании и ведении операции.

Литература

1. *Алексеев В.Ф., Осипов А.Г., Прокофьев А.В., Хайруллин Р.Р.* Методика автоматизированного создания специальной карты маскирующих свойств лесной растительности по материалам аэрокосмической съемки. // Труды ВКА им. А.Ф. Можайского. СПб.: 2019. Вып. 668. С. 111-116.

2. *Elvidge C.D., Lyon R.J.P.* Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass // Remote Sensing of Environment. 2018. Vol. 17. P. 265-269.

3. *Ковязин В.Ф., Богданов В.Л., Гарманов В.В., Осипов А.Г.* Мониторинг зеленых насаждений с применением беспилотных летательных аппаратов // Аграрный научный журнал. Издательство: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова (Саратов) №4. 2016. С. 14-19.

4. *Борзов С.М., Потатуркин О.И.* Классификация типов растительного покрова по гиперспектральным данным дистанционного зондирования Земли // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2014. Т. 12. №4. С. 13-22.

5. *Шинкаренко С.С., Канищев С.Н.* Фитомелиоративное картографирование пастбищ Волгоградского Заволжья на основе спектрозональной космической съемки // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты Займище, 2016. ФГБНУ рационального природопользования: материалы I Международной научно-практической Интернет-конференции. Соленое «ПНИИАЗ» С. 420-426.

6. *Братков В.В., Атаев З.В.* Вегетационные индексы и их использование для картографирования горных ландшафтов Российского Кавказа // Электронный научный журнал «APRIORI. Серия: Естественные и технические науки» №1. 2017. С. 1-21.

7. *Королёв А.Ю., Королёва А.А., Яковлев А.Д.* Маскировка вооружения, техники и объектов. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 155 с.

8. *Dainelli R., Toscano P., Di Gennaro S. F., Matese A.* Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles Forest Remote Sensing - a Systematic Review. Part II: Research Applications // Forests, 2021. Vol. 12. Is. 4. P. 397-402.

9. *Шинкаренко С.С.* Анализ динамики пастбищных ландшафтов в аридных условиях на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI) // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2015. № 1. С. 110-114.

10. *Осипов А.Г., Ефимов А.Н.* Методика комплексной оценки оперативно-тактических свойств местности в системах поддержки принятия решений с использованием геоинформационных технологий // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2018. № 642. С. 102-109.

11. *Хайруллин Р.Р.* Оценка точности автоматизированного дешифрирования лесных растительных сообществ при создании карт маскирующих свойств местности // Научно-технический журнал «Информация и Космос». 2020. №2(0). С. 135-138.

12. *Щербаков В.М.* Практика автоматизированного дешифрирования территорий, определенного направления использования на примере Приозерского района Ленинградской области // Сборник материалов II международной научно-практической конференции. СПб.: Политехника. 2017. С. 92-101.

13. *Deng Y., Goodchild M. F., Chen X.* Using NDVI to define thermal south in several mountainous landscapes of California. Computers &Geosciences. 2019. № 88. P. 327-336.

14. *Richardson A.J., Wiegand C.L.* Distinguishing vegetation from soil background information // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2009. Vol. 43. Is. 12. P. 1541-1552.

15. *Myneni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., Marshak A.L.* The interpretation of spectral vegetation indexes // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2015. Vol. 33. Is. 2. P. 481-486.

16. *Gillespiea T.W., Ostermann-Kelmb S., Donga C., Willisa K.S., Okina G.S.* Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. Ecological Indicators. 2018. № 79. P. 485-494.

17. *Катаев М.Ю., Бекеров А.А., Медвецкий Д.В.* Методика сглаживания временного ряда вегетационного индекса NDVI // Доклады ТУСУРа. 2017. том 20. № 1. С. 85-88.

18. *Paragios N., Deriche R.* Geodesic Active Regions: A new paradigm to deal with frame partition problems in computer vision. // Journal of Visual Communications and Image Representation, Special Issue on Partial Differential Equations in Image Processing. Computer Vision and Computer Graphics. 2012. Vol. 13. 1/2. P.249-268.

19. *Smith S.M.* A New Class of Corner Fields. // British Mashine Vision Conference. Leeds, Sep. Springer-Verlag. 2016. P. 139-148.

20. *Richards J. A.* Remote Sensing Digital Image Analysis. Fifth edition. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 494 p.

THE METHOD FOR AUTOMATED DETERMINATION OF FOREST COVER TYPES FROM AEROSPACE IMAGES

RADIS R. KHAIRULLIN,
St-Petersburg, Russia, vka@mil.ru

OLEG A. MISHUKOV,
St-Petersburg, Russia, vka@mil.ru

ABSTRACT

Introduction: The increase in the volume of aerospace survey data actualizes the issues of increasing the reliability of the results of classification of types of forest vegetation cover and speeding up the process of assessing forest plant communities from digital images of the Earth's surface. The known methods of classification of types of forest vegetation cover by digital images have low reliability of the results of classification of types of objects and significant time costs. **Purpose of the study:** the purpose of the study is to increase the reliability of the results of classification of forest vegetation types based on aerospace images of the Earth's surface. **Methods:** the proposed method is based on obtaining decryption signs of forest vegetation cover based on aerospace survey materials and comparison with standard reference images stored in a special database. As decoding features of the soil and vegetation cover, the method uses sets of values of vegetation indices calculated within the interactively selected reference contours of forest plant communities. Calculation formulas are given to calculate the decryption features. The novelty of the proposed approach lies in the use of formalized knowledge obtained in the study of decoding features of the main plant communities, as well as in the application of the logical method of decoding in the processing of photographic images. Decryption is implemented in four stages by means of an automated detection algorithm based on aerospace survey data. **Results:** the result of the implementation of the method is a special assessment map of forest plant communities, created in an automated mode based on digital images of the earth's surface. **Practical significance:** The proposed method can be used as the basis for specialized software-algorithmic software integrated with the software of the geographic information system "Panorama". **Discussion:** The developed method makes it possible to determine the types of forest vegetation cover using the materials of the aerospace survey in an automated mode. The results obtained can be used to study, evaluate and use the terrain in decision-making, planning and conducting operations, creating special maps for assessing vegetation cover.

Keywords: types of forest plant communities; natural masks; vegetation index; decryption signs; special map.

REFERENCES

1. Alekseev V.F., Osipov A.G., Prokofiev A.V., Khairullin R.R. The technique of automated creation of a special map of the masking properties of forest vegetation based on aerospace survey materials. Trudy Voyenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhayskogo [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky]. St. Petersburg: 2019. Issue 668. Pp. 111-116. (in Rus).
2. Elvidge C.D., Lyon R.J.P. The influence of spectral variations of rock and soil on the assessment of green biomass // Remote sensing of the environment. 2018. Vol. 17. Pp. 265-269.
3. Kovyazin V.F., Bogdanov V.L., Garmanov V.V., Osipov A.G. Monitoring of green spaces using unmanned aerial vehicles. Agrarnyy nauchnyy zhurnal [Agrarian Scientific Journal]. Publisher: Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov (Saratov) No. 4. 2016. Pp. 14-19. (in Rus).
4. Borzov S.M., Potaturkin O.I. Classification of vegetation types by hyperspectral data of remote sensing of the Earth. Vestnik NGU [Bulletin of the NSU]. Series: Information technologies. 2014. Vol. 12. No. 4. Pp. 13-22. (in Rus).
5. Shinkarenko S.S., Kanishchev S.N. Phytomeliorative mapping of pastures of the Volgograd Trans-Volga region based on spectrozonal satellite imagery. Sovremennoye ekologicheskoye sostoyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty Zaymishche [Modern ecological state of the natural environment and scientific and practical aspects of Zaimishche], 2016. Federal State Budgetary Scientific Institution of Rational Nature Management: Materials of the I International Scientific and Practical Internet Conference. Salted "PNIIAZ" Pp. 420-426. (in Rus).
6. Bratkov.V., Ataev Z.V. Vegetation indices and their use for mapping mountain landscapes of the Russian Caucasus. Elektronnyy nauchnyy zhurnal "APRIORI. Seriya: Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki" [Electronic scientific journal "a priori. Series: Natural and Technical Sciences"]. No. 1. 2017. Pp. 1-21. (in Rus).
7. Korolev A.Yu., Koroleva A.A., Yakovlev A.D. Maskirovka vooruzheniya, tekhniki i ob"yektov [Masking of weapons, equipment and objects]. St. Petersburg: ITMO University, 2015. 155 p. (in Rus).
8. Dainelli R., Toscano P., Di Gennaro S. F., Matese A. Recent Advances in Unmanned Aerial Vehicles Forest Remote Sensing - a Systematic Review. Part II: Research Applications // Forests, 2021. Vol. 12. Is. 4. Pp. 397-402.
9. Shinkarenko S.S. Analysis of the dynamics of pasture landscapes in arid conditions based on the normalized vegetation index (NDVI). Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye [News of the Nizhnevolzhsky agrouniversity complex: science and higher professional education]. 2015. No. 1. P. 110-114. (in Rus).
10. Osipov A.G., Efimov A.N. Methodology of complex assessment of operational and tactical properties of terrain in decision support systems using geoinformation technologies. Trudy Voyenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhayskogo [Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky]. 2018, No. 642. Pp. 102-109. (in Rus).
11. Khairullin R.R. Evaluation of the accuracy of automated decoding of forest plant communities when creating maps of masking properties of terrain. Nauchno-tekhnicheskiy zhurnal "Informatsiya i Kosmos" [Scientific and Technical journal "Information and Space"] 2020, №2(0). Pp. 135-138. (in Rus).
12. Shcherbakov.M. The practice of automated decryption of territories, a definite direction of use on the example of the Priozersky district of the Leningrad region. Sbornik materialov vtoroy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Collection of materials of the Second International Scientific and Practical Conference]. St. Petersburg: Polytechnic, 2017. Pp. 92-101. (in Rus).
13. Deng Y., Goodchild M. F., Chen X. Using NDVI to define thermal south in several mountainous landscapes of California. Computers &Geosciences. 2019. № 88. Pp. 327-336.
14. Richardson A.J., Vigand K.L. Differences of vegetation from background information about soil // Photogrammetric engineering and remote sensing. 2009. Volume 43, Is. 12. Pp. 1541-1552.
15. Mineni R.B., Hall F.G., Sellers P.J., Marshak A.L. Interpretation of spectral vegetation indices // Proceedings of the IEEE on Geoscience and Remote Sensing. 2015. Volume 33, Volume 2. Pp. 481-486.

16. Gillespiea T.W., Ostermann-Kelmb S., Donga C., Willisa K.S., Okina G.S. Monitoring changes of NDVI in protected areas of southern California. Ecological Indicators. 2018. № 79. Pp. 485-494.
17. Kataev M.Yu., Bekerov A.A., Medvetsky D.V. Metodika sglazhivaniya vremennogo ryada vegetatsionnogo indeksa NDVI [Method for smoothing the time series of the NDVI vegetation inde]. Doklady TUSUR. 2017. Volume 20. No. 1. Pp. 85-88. (in Rus).
18. Paragios N., Deriche R. Geodesic Active Regions: A new paradigm to deal with frame partition problems in computer vision. // Journal of Visual Communications and Image Representation, Special Issue on Partial Differential Equations in Image Processing. Computer Vision and Computer Graphics. 2012. Vol. 13. 1/2. Pp.249-268.
19. Smith S.M. A New Class of Corner Fields. // British Mashine Vision Conference. Leeds, Sep. Springer-Verlag. 2016. Pp. 139-148.
20. Richards J. A. Remote Sensing Digital Image Analysis. Fifth edition. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 494 p.