

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ МНОГОЗОНАЛЬНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СВОЙСТВ ПОЧВ И РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

О. А. Чепелев, П. А. Украинский, В. И. Соловьев, А. В. Свиридова, И. М. Гашпоренко

*Белгородский государственный университет, Россия
Николаевский национальный аграрный университет, Украина*

Поступила в редакцию 7 сентября 2008 г.

Аннотация: В работе приведены результаты применения автоматизированных методов тематической обработки разновременных космических снимков для изучения динамики почв и растительности в условиях лесостепных ландшафтов. На двух пограничных полигонах Белгородской области России и Харьковской области Украины показаны преимущества и недостатки использования различных методик автоматизированной классификации изображений и ручной обработки для выделения лесных массивов, определения площадей почв в различной степени подверженных поверхностному смыву.

Ключевые слова: почва, растительность, космическая съемка, эрозия.

Abstract: The article presents the results of application of automated thematic processing methods for analyzing space pictures taken at different times. Studying dynamics of some soils and vegetation characteristics in partially wooded steppe landscapes conditions is conducted. The article gives an example of two ranges on border of the Belgorod region of Russia and the Kharkov region of Ukraine advantages and disadvantages of various automated images classifications and manual processing techniques use for allocation of woodlands and soil areas in various conditions of water erosion.

Key words: soil, vegetation, space shooting, erosion.

Использование методов дистанционного зондирования для изучения почв и растительности популярно по целому ряду причин – значительный охват территории, оперативность получения данных, возможность ведения режимных наблюдений [1, 3]. В то же время, остается актуальной проблема эффективности углубленной тематической обработки материалов дистанционного зондирования в виду несовершенства методик автоматизированного дешифрирования [4]. При снижении степени участия оператора в процессе выделения объектов на снимке возрастает число ошибок: происходит искажение формы и размеров выделенных объектов, ошибочное отнесение объектов к одному или нескольким классам. По этой причине на этапе планирования исследований должно быть определено оптимальное сочетание перечисленных методов, позволяющие обеспечить автоматизацию распознавания объектов при сохранении

высокой точности. Сравнение изображений классификации предпочтительнее, чем непосредственное сравнение разновременных снимков, поскольку устраняется необходимость их предварительной обработки, точной координатной привязки и стандартизации цветовых характеристик, делающей сравнение снимков корректным [5, 7]. В условиях Европейской лесостепи применение автоматизированных классификаций для картографирования почв и растительности осложнено высокой степенью разнообразия природных и, особенно, антропогенных ландшафтов. В Белгородской области площадь, занимаемая сельхозугодиями, составляет 2144,6 тыс. га (79,0%), а доля пашни в структуре сельхозугодий в большинстве районов превышает 75% [10]. Около 12,2% территории области покрыто лесами и древесно-кустарниковыми насаждениями. Перечисленные угодья являются наиболее предпочтительными объектами дистанционных исследований.

Целью проведенных исследований стало изучение динамики площадей эродированных почв и

облесенных территорий по разновременным данным дистанционного зондирования (ДДЗ) с использованием автоматизированных методов классификации изображений. В качестве исходных материалов использовались общедоступные бесплатные космические снимки, сделанные спутниками Landsat 5TM (18.06.1991 г., комбинация каналов 7:4:2, пространственное разрешение 28 м/пиксель) и Landsat 7ETM+ (16.07.2001 г., комбинация каналов 7:4:2, пространственное разрешение приведено к 15 м/пиксель). Исследования проводили на двух полигонах Белгородской области (рис. 1).

Для исследования почвенного покрова выбран полигон (38x34 км) в Ровеньском районе Белгородской области (1 на рис. 1). Для района в целом характерна высокая доля эродированных земель (63%), а на ДДЗ визуально четко выделяются участки с проявлениями поверхностного смыва. Фоновый почвенный покров полигона представлен черноземами обыкновенными среднегумусными среднемоющими разной степени эродированности. В почвенном покрове встречаются небольшие участки черноземов обыкновенных карбонатных,

черноземов выщелоченных, остаточно-карбонатных и солонцеватых.

На втором полигоне (41x83 км) были исследованы леса лесостепной части бассейна Северского Донца в сопредельных районах Белгородской области России и Харьковской области Украины (2 на рис. 1). Наиболее значительные по площади лесные массивы в данном регионе сосредоточены вдоль берегов Северского Донца, от начала Белгородского водохранилища (южная окраина г. Белгорода) до впадения реки Хотомля в Печенежское водохранилище, в речных долинах Кореня, Корочи, Нежеголи.

Первичную обработку, построение скаттерграмм (диаграмм спектральных признаков) и выполнение классификаций изображений проводили с использованием программного пакета ENVI, дальнейшая работа с подготовленными векторными масками осуществлялась в геоинформационной системе ArcGIS.

Для изучения отражательных свойств почв необходимо, чтобы территория была свободна от растительности, либо ее количество не превышало 15%. Этим условиям соответствуют сельско-



Рис. 1. Схема местоположения исследованных полигонов

хозяйственные поля с регулярно проводимой вспашкой. В условиях перехода к адаптивно-ландшафтным системам земледелия, с широким применением занятых паров и внедрением технологий минимальной обработки, почвы практически постоянно покрыты растительностью. Для более детального изучения почвенного покрова необходим системный анализ ДДЗ за 3–4 съемочных сезона. В нашем исследовании изучение различий в степени эродированности почв проводилось только для территорий, не покрытых растительностью в момент съемки в 1991 и в 2001 гг.

Для определения характера поверхности был проведен анализ ее спектральных признаков [8]. По значениям яркостей пикселей снимка в красном (Red) и ближнем инфракрасном (NIR) каналах нами построены скаттерграммы, на которых обособились шесть классов, соответствующих различным типам подстилающей поверхности (рис. 2).

На скаттерграмме выделяется почвенная линия – класс пикселей, описывающий вариацию спектра открытой почвы на снимке (5 на рис. 2), что свидетельствует о пригодности имеющихся данных для изучения почв. Для оконтуривания площадей с открытой почвой по спектральным коэффициентам красного и инфракрасного диапазона рассчитаны значения вегетационного индекса NDVI [11, 13].

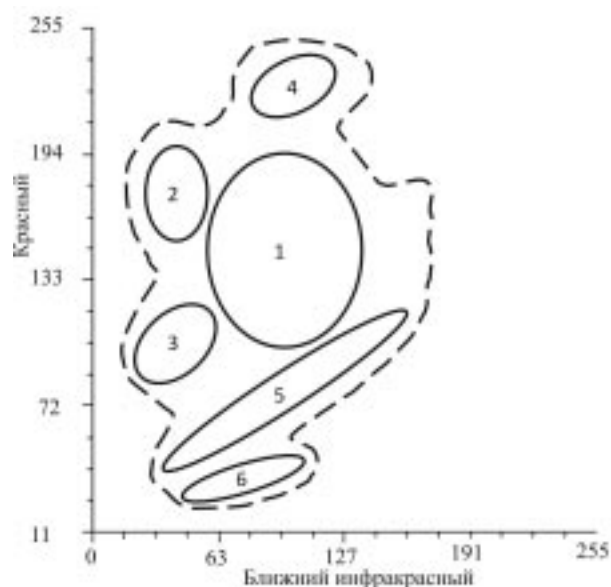


Рис. 2. Различные типы поверхности на скаттерграмме, построенной по космическому снимку Landsat 7ETM+ 2001 г. (подписи осей в градациях яркости)

1 – травянистая растительность, 2 – лиственные леса, 3 – хвойные леса, 4 – высушенная растительность, 5 – обнаженная почва (почвенная линия), 6 – водная поверхность

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Коэффициент NDVI может принимать значение от –1 до 1, однако NDVI оголенной почвы находится в узких пределах 0–0,5 ед. Территории, с этими значениями NDVI были выделены в качестве областей обработки для проведения классификаций, а их границы записаны в SHAPE-файлы. По пересечению областей обработки 1991 и 2001 гг. установлено, что только 128 км² земель (10% территории) на космических снимках не закрыты растительностью в обоих случаях и пригодны для изучения динамики эродированности почв дистанционными методами с использованием автоматизированного дешифрирования.

При увеличении степени автоматизации классификации изображения повышается скорость и падает точность обнаружения и картографирования объектов. По степени участия оператора в процессе выделения объектов методы классификации можно разделить на три группы: визуальное дешифрирование с векторизацией по растровой подложке; контролируемая классификация (классификация с обучением); неконтролируемая классификация (классификация без обучения) [3, 2]. Для разделения почвенных разностей по степени эродированности нами была использована неконтролируемая классификация по методу IsoData. Границы почвенных разностей визуально трудно различимы, что мешает производить векторизацию по растровой подложке или формировать эталонные выборки для проведения классификации с обучением. Таким образом, применение неконтролируемых классификаций для группировки почв по степени эродированности после определения областей обработки вполне оправдано. Нами выделено три градации степени эродированности для почв, не занятых растительностью, именно: неэродированные, слабо- и среднеэродированные, сильно эродированные. Разделение слабо- и среднеэродированных почв не проводилось, т.к. почвы с этими степенями эродированности сложно различимы не только на космических снимках, но и в полевых условиях [6, 1].

Один из недостатков автоматизированных методов дешифрирования связан с невозможностью реализации сложных интеллектуальных процедур и использования косвенных дешифровочных признаков [8]. На исследованном полигоне наряду с проявлениями поверхностного смыва имеются участки черноземов солонцеватых. При использовании автоматизированных методов классификации изображений имеет место неуверенное разде-

ление солонцеватых почвенных разностей и смытых почв. Оба случая на космическом снимке в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне приводят к осветлению фототона почвы. Объективно разграничить их позволяет только визуальное дешифрирование. Ареалы засоления имеют округлую форму с заметными границами в виде концентрических окружностей, а ареалы поверхностного смыва почвы представляют неправильную, нередко вытянутую, форму, с плавными неясными переходами фототона. Такие различия в форме обусловлены приуроченностью эродированных почв к определенным формам рельефа, что в свою очередь служит косвенным дешифровочным признаком. Плоскостной смыв отмечается на крутых длинных склонах, а засоление почв в западинах [6]. После корректировки результатов автоматизированной группировки эродированных почв по цифровой модели рельефа были получены следующие значения площадей (таблица).

Анализ таблицы показывает, что на первом полигоне за десятилетний срок в группу эродированных перешло 7,45 км² земель. Снизилась незначительно площадь слабо- и среднеэродированных земель, но втрое увеличилась площадь сильноэродированных земель. Основными причинами произошедших изменений можно считать низкий уровень реализации противоэрозионных мероприятий. В 90-х годах XX в. стремление хозяйств Белгородской области к сомнительному повышению рентабельности производства привело к изменениям структуры посевных площадей, выразившимся в увеличении доли пропашных культур (в особенности сахарной свеклы и подсолнечника) и отказе от высева сидератов и многолетних трав. Это, возможно, спровоцировало рост эродированности земель на исследованном полигоне. В настоящее время ситуация нормализуется. В 18 из 21 районов области доля многолетних насаждений в структуре посевных площадей превысила 15%, а в затронутом нашими исследованиями Ровеньском административном районе – 21% [10].

Для автоматизированного выделения растительных объектов по ДДЗ применялись те же методы, что и при исследовании почв. Для обеспечения сопоставимости сведений о площадях лесных массивов ДДЗ 1991 и 2001 гг. были стандартизированы путем приведения к пространственному разрешению 28,5 м с применением медианного фильтра. При помощи скаттерограммы на космическом снимке второго полигона (2 на рис. 1) были обособлены классы лиственных и хвойных лесов, травянистой вегетирующей и сухостойной растительности. Точность выделения этих классов близка к классификации с обучением, а скорость – к неуправляемой классификации. Как и ожидалось, наиболее уверенно были разделены классы густых хвойных и широколиственных лесов [9, 12]. С целью уточнения площадей лесов был применен алгоритм управляемой классификации изображения с формированием обучающей выборки по методу параллелепипеда. Следует отметить, что согласно ранее проведенным нами исследованиям, использованный алгоритм автоматизированной классификации занижает площади выделенных лесных массивов на 10–12% по сравнению с результатами ручной векторизации объектов по растровой подложке.

Статистический анализ полученных векторных слоев показал, что на исследованной территории за десять лет произошел общий рост лесопокрытой площади на 14,66 км² (2,46% от площади лесов в 1991 г.). Основной причиной увеличения стало зарастание старых вырубок в лиственных массивах. В то же время, заметно сократились площади сосновых лесов. По результатам классификации с обучением в 1991 г. общая площадь сосновых лесов, произрастающих вдоль берегов Северского Донца, на участке от начала Белгородского водохранилища до впадения реки Хотомля в Печенежское водохранилище, составляла 85,24 км², а в 2001 г. она сократилась до 81,64 км². Относительные потери площади сосновых лесов составили 4,23%. При сравнении очертаний лесов в

Таблица

Распределение почв ключевого участка по степени эродированности (числитель – км², знаменатель – %)

Год	Неэродированные	Слабо- и среднеэродированные	Сильноэродированные
1991	<u>81,61</u>	<u>43,01</u>	<u>3,57</u>
	63,66	33,55	2,79
2001	<u>74,23</u>	<u>42,99</u>	<u>11,02</u>
	57,88	33,52	8,59

1991 и 2001 г. было обнаружено, что большая часть ареалов, сведенных лесов, имеют правильную конфигурацию с прямыми углами и четкими границами. Появление обезлесенных площадей связано, прежде всего, с проведением санитарных рубок, т.к. большинство сосновых лесов на исследованной территории относятся к лесокультурам послевоенного времени. В этих неустойчивых монокультурных биоценозах возникают очаги опасных заболеваний (например, корневой губки), происходит усыхание древостоя, замещение сосны листовыми породами, что и обуславливает необходимость проведения санитарных рубок.

Качественно оценить состояние растительного покрова позволяет изучение пространственного и временного варьирования вегетационного индекса NDVI. Вегетационный индекс листовых лесов подвержен сезонной изменчивости, поэтому изучение многолетней динамики NDVI проводилось только для сосновых лесов. В период с 1991 по 2001 гг. произошло ожидаемое понижение NDVI сосновых лесов на исследуемом участке в среднем на 0,11 единиц. Оно связано со старением массивов, приводящим к снижению интенсивности окраски хвои.

Таким образом, использование процедур автоматизированной классификации для космических снимков позволило ускорить процесс дешифрирования при сохранении высокой точности выделения объектов. Исследование показало эффективность применения алгоритмов неуправляемых классификаций для выявления почв с различной степенью эродированности. При выделении лесных массивов и их типизации по породному составу целесообразно использовать классификации с обучением по скаттерограмме или при помощи пользовательских эталонов. В результате сравнительного анализа изображений классификации разновременных ДДЗ выявлен рост доли сильноэродированных земель и сокращение площади сосновых лесов, которые имели место на исследованных полигонах в период с 1991 по 2001 гг. Полученные результаты исследования поверхностного смыва нуждаются в дополнении и корректировке путем проведения подспутниковых наблюдений и использования фондовых материалов, т.к. авто-

Чепелев Олег Анатольевич

кандидат географических наук, начальник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного университета, г. Белгород, т. (4722) 30-13-72, факс (4722) 30-10-24, E-mail: chepelev@bsu.edu.ru

матизированная классификация по прямым дешифровочным признакам проводилась только для почв не покрытых растительностью.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта международного фонда «Научный потенциал» № 148.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 07-05-90900_моб_снг_ст.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аковецкий В.И. Дешифрирование снимков / В.И. Аковецкий. – М.: Недра, 1983. – 374 с.
 2. Геоинформатика / Е.Г. Капралов [и др.]. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 480 с.
 3. Гельдыев Б.В. Экологическая оценка природно-антропогенных систем с использованием ГИС и ДДЗ / Б.В. Гельдыев, М.А. Максимов, Д.С. Шкурычев // Arc Review. – 2008. – №2. – С. 12–13.
 4. Данилова И.В. Методика составления карт лесных территорий на основе данных космической съемки (на примере Красноярского края) / И.В. Данилова // География и природные ресурсы. – 2007. – №4. – С. 140–145.
 5. Замятин А.В. Анализ динамики земной поверхности по данным дистанционного зондирования Земли / А.В. Замятин, Н.Г. Макаров. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 176 с.
 6. Кравцова В.И. Космические методы исследования почв / В.И. Кравцова. – М.: Аспект Пресс, 2005. – 190 с.
 7. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков / И.А. Лабутина. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
 8. Обиралов А.И. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов. – М.: Колос, 2006. – 335 с.
 9. Пономарев Е.И. Использование съемки со спутников серии ДМС для мониторинга нарушенности лесов / Е.И. Пономарев, Л.В. Буряк // География и природные ресурсы. – 2007. – №4. – С. 135–139.
 10. Природные ресурсы и экологическое состояние Белгородской области: атлас / под ред. Ф.Н. Лисецкого [и др.]. – Белгород, 2005. – 179 с.
 11. Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования / У.Г. Рис. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
 12. Серов А.В. Опыт определения состава насаждений по космическим снимкам. / А.В. Серов, О.И. Попова, В.В. Пахучий // Arc Review. – 2005. – №3. – С. 11.
 13. Шатохин А.В. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной донецкой степи / А.В. Шатохин, А.Б. Ачасов // Почвоведение. – 2005. – №7. – С. 790–798.
- Chepelev Oleg Anatol'yevitch
Candidate of Geography, chief of geoinformatics department of Federal and regional centre of aerospace and land monitoring of objects and natural resources of Belgorod State University, Belgorod, tel. (4722) 30-13-72, fax (4722) 30-10-24, E-mail: chepelev@bsu.edu.ru

Украинский Павел Александрович
лаборант отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного университета, г. Белгород, т. (4722) 30-13-72, E-mail: ukrainski@bsu.edu.ru

Соловьев Виктор Иванович
ведущий инженер Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного университета, г. Белгород, т. (4722) 30-13-71, E-mail: solovyev@bsu.edu.ru

Свиридова Алла Викторовна
младший научный сотрудник отдела геоинформатики Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов Белгородского государственного университета, г. Белгород, т. (4722) 30-13-72, E-mail: sviridova@bsu.edu.ru

Гашпоренко Ирина Михайловна
аспирантка Николаевского государственного аграрного университета, г. Николаев, Украина, т. (0512) 34-61-60, E-mail: irkin09@rambler.ru

Ukrainskiy Pavel Aleksandrovitch
Laboratory assistant of geoinformatics department of Federal and regional centre of aerospace and land monitoring of objects and natural recourses of Belgorod State University, Belgorod, tel. (4722) 30-13-72, E-mail: ukrainski@bsu.edu.ru

Solov`yov Victor Ivanovitch
Chief engineer of Federal and regional centre of aerospace and land monitoring of objects and natural recourses of Belgorod State University, Belgorod, tel. (4722) 30-13-71, E-mail: solovyev@bsu.edu.ru

Sviridova Alla Victorovna
Junior research worker of geoinformatics department of Federal and regional centre of aerospace and land monitoring of objects and natural recourses of Belgorod State University, Belgorod, tel. (4722) 30-13-72, E-mail: sviridova@bsu.edu.ru

Gashporenko Irina Mikhailovna
Post-graduate student of Nikolayev State Agrarian University, Nikolayev, Ukraine, tel. (0512) 34-61-60, E-mail: irkin09@rambler.ru