

Дешифрирование и картографирование почв сельскохозяйственных земель по космическим снимкам сверхвысокого разрешения

С.Г. Мышляков

*Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие «БелНИЦзем»
220108, Республика Беларусь, Минск, ул. Казинца, 86/3
E-mail: sergey_myshl@mail.ru*

Многозональные космические снимки QuickBird и Ikonos существенно расширяют возможности дистанционного изучения земельных ресурсов. В РУП «БелНИЦзем» создается автоматизированная технология создания крупномасштабных почвенных карт по материалам дистанционного зондирования. В статье рассматриваются основные подходы к обработке многозональных космических снимков сверхвысокого разрешения и к тематическому дешифрированию для целей почвенного картографирования. На примере калибровочно-тестовых полигонов, показана возможность дистанционного изучения водной эрозии, степени увлажнения почв, развития процесса деградации торфяников. Изучены и описаны основные дешифровочные признаки почв для использования при автоматизированном дешифрировании.

Ключевые слова: Дистанционное зондирование, географические информационные системы, многозональная съемка, космические снимки, почвы, почвенные карты, автоматизированная обработка данных дистанционного зондирования, дешифрирование, картографирование.

Введение

Почвенные карты являются одним из важнейших источников информации для рационального использования земельных ресурсов. Они могут быть востребованы при осуществлении работ по кадастровой оценке земель сельскохозяйственного назначения, при проведении мелиоративных, агротехнических мероприятий. Велико значение почвенных карт для землеустроительных работ, направленных на уменьшение и предотвращение деградации земель.

При создании и обновлении почвенных карт целесообразно использование данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Основная работа, которую необходимо выполнить для получения карты на основе снимков – тематическое дешифрирование. Дешифрирование включает в себя распознавание и интерпретацию информации, отобразившейся на снимке [1]. Именно с этим процессом связаны основные сложности дистанционного почвенного картографирования. Визуальное дешифрирование снимков субъективно, качество создаваемой продукции всецело зависит от навыков и опыта специалиста-дешифровщика. Автоматизированное дешифрирование основано на распознавании образов и зачастую подвержено неверной интерпретации машиной информации, закодированной в пикселях космического снимка.

Однако постоянное совершенствование методов компьютерной обработки пространственной информации исключают альтернативу использования автоматизированных технологий. При автоматизированной обработке ДДЗ задача оператора сводится к контролю качества создаваемой продукции и выборочному ручному редактированию. Достижение приемлемого результата достигается за счет многочисленных апробаций технологии на ключевых участках.

Главная цель выполняемой работы – создание автоматизированной технологии дешифрирования многозональных космических снимков для создания и актуализации почвенных карт для сельскохозяйственных земель. Непосредственные задачи заключаются в поиске и апробации

наиболее подходящих способов тематической обработки снимков для выявления локальных особенностей почвенного покрова изучаемых территорий и в изучение и формализация дешифровочных признаков почв изучаемых территорий.

Объект исследований, исходные данные и предварительная обработка снимков

Дешифрирование почв различных ландшафтов имеет свою специфику в зависимости от физико-географических условий и степени антропогенной освоенности территории. Так, для лесов, речных долин, незатронутых хозяйственной деятельностью торфяно-болотных комплексов ведущую роль при дешифрировании почвенного покрова играет ландшафтная индикация [2, 3]. Для открытых почв сельскохозяйственных земель дешифрирование осуществляется в основном по прямым дешифровочным признакам (тон, цвет, текстура, форма и размер контуров). В целом это должно обеспечивать более достоверные результаты дешифрирования, в отличие от индикации, которая всегда вероятна. Однако почва – сложное природное образование с постепенным изменением свойств, как в пространстве, так и во времени. Это обуславливает сложность определения границ почвенных разновидностей и тематической интерпретации выделенных контуров.

Объектом исследований является почвенный покров калибровочно-тестовых полигонов (КТП), заложенных на землях СПК «Межаны» Браславского района Витебской области (КТП Рожево) и землях СПК «Новое Полесье» Солигорского района Минской области (КТП Величковичи). Создание маски сельскохозяйственных земель, куда относятся пахотные земли, залежи, луга и пастбища осуществлялось с использованием земельно-информационной системы (ЗИС). Тематическая обработка снимков выполнялась в пределах данных масок.

Оба полигона характеризуются набором специфических условий. КТП Рожево характеризуется преобладанием дерново-подзолистых в различной степени смытых суглинистых почв подстилаемых моренными отложениями. Следствием высокой степени расчленения рельефа является чрезвычайная мелкоконтурность и пестрота почвенных комбинаций. Земли подвержены процессам водной эрозии, во многих местах почти полностью смыт гумусовый горизонт. КТП Величковичи характеризуется преобладанием торфяных мелиорированных и постторфяных органо-минеральных антропогенных почв подстилаемых флювиогляциальными супесями и песками, которые сформировались на территории осушенного торфяно-болотного массива. Необратимые изменения в водно-физическом режиме почв приводят к минерализации торфяных горизонтов и коренной трансформации почвенного покрова.

Выполняемое исследование ориентировано на создание почвенных карт масштаба 1:10 000. Для создания карт такого масштаба необходимы ДДЗ, обладающие сверхвысоким разрешением [4]. При выполнении исследования были использованы космические снимки сверхвысокого разрешения QuickBird (03.07.2006 г.) и Ikonos (17.09.2006 г.). Пространственное разрешение QuickBird составляет 0,6 м (панхроматическая съемка) и 2,4 м (многозональная съемка), Ikonos 1 м (панхроматическая съемка) и 4 м (многозональная съемка). Многозональная съемка у обоих космических аппаратов осуществляется в четырех спектральных диапазонах – синем, зеленом, красном и ближнем инфракрасном.

Приобретенные данные дистанционного зондирования нуждаются в предварительной обработке. Исходные снимки были геопривязаны и ортотрансформированы. В целях улучшения цветопередачи и визуального восприятия снимков был выполнен ряд улучшающих гистограммных преобразований яркости и контраста (эквализация, нормализация, ручная коррекция). Непосредственные цифровые значения пикселей были изменены для всего изображения посредством суммарной высокочастотной фильтрации и медианной фильтрации.

Тематическая обработка снимков и выявление закономерностей отображения почв

Автоматизированное дешифрирование снимков основано на классификации отобразившихся объектов. Классификация многозональных изображений подразумевает разбиение на классы в многомерном признаковом пространстве. Размерность этого пространства определяется числом

отдельных каналов анализируемого изображения, а каждый пиксель многозонального снимка с его набором спектральных значений представляет собой точку в этом пространстве [5]. Для повышения достоверности дешифрирования оптимальным представляется изменение признакового пространства, за счет включения в него изображений с наиболее высокой степенью делимости изучаемых объектов и исключения каналов с низкой информативностью. В качестве изображений, которые потенциально могут улучшить дешифрируемость выступают производные данные, полученные путем многомерного статистического анализа и математических преобразований признаков пространств. В ходе исследования были апробированы следующие виды тематической обработки снимков: анализ главных компонент, преобразование “tasseled-cap”, расчет вегетационного индекса NDVI. Каждый из перечисленных методов обработки позволил выявить определенные особенности ландшафтного строения территории и структуры почвенного покрова.

Снимок на территорию КТП Рожево изображает состояние ландшафта в начале июля. В это время сельскохозяйственные культуры, находящиеся в различных фазах вегетации, естественная и культурная луговая растительность оказывают основное влияние на спектральную яркость пикселей изображения и на формирование спектрального образа ландшафта в целом. Спектральную отражательную способность почв в таких условиях проследить практически невозможно, а, следовательно, невозможно выполнить и дешифрирование по прямым дешифровочным признакам. Задача состоит в поиске наиболее адекватных косвенных индикаторов и тематических изображений для дешифрирования.

На луговых землях возможно распознавание на снимках процессов водной эрозии. Водная эрозия проявляется в виде уменьшения мощности гумусового горизонта и уменьшения содержания органических соединений, что обусловлено вымыванием частиц и их переотложением в понижениях рельефа. По степени развития эрозионных процессов почвы подразделяются на слабо смытые, среднесмытые, сильно смытые и несмытые [6]. В качестве косвенного признака дешифрирования было взято априорное предположение об изменении спектральной яркости пикселей снимка по мере изменения степени смытости почв. Такая связь на летнем снимке обнаруживается благодаря состоянию растительности. Разреженный и угнетенный растительный покров является причиной увеличения спектральной яркости почв в видимых диапазонах (0,45 – 0,69 мкм) и индицирует участки активного проявления водной эрозии. Густой растительный покров, обуславливающий низкую отражательную способность в видимых участках спектра, приурочен к несмытым и намывным почвам. Построение производных изображений, выполненных при помощи алгоритмов тематической обработки, развивает данное предположение.

Снимок на территорию КТП Величковичи получен в осеннее время и характеризуется наличием участков открытых распаханых почв. При визуальном анализе территории по снимку бросаются в глаза светлые пятна минеральных почв и деградированных торфяников на темном фоне осушенных торфяных почв различной мощности. Одна из главных задач на таких территориях – отделение деградированных торфяных почв от коренных минеральных (дерново-подзолистых и дерновых заболоченных), визуально схожих. Последние приурочены к бывшим минеральным суходольным островам среди болота либо к песчаным гривам и валам бывшей речной поймы. Деградированные торфяные почвы характеризуются значительной сработкой торфяной залежи, минерализацией торфа, а также ветровой эрозией (дефляцией). Все эти негативные процессы отражаются на изменении содержания органического вещества в почве (зольности торфа). Содержание органики – это важнейший фактор, определяющий спектральную отражательную способность почв [4]. Выполненный регрессионный анализ подтвердил зависимость тона изображения открытых участков почв от зольности торфяных почв и гумусности минеральных почв.

Таким образом, установлена возможность автоматизированного распознавания на снимках минеральных почв, торфяных почв без признаков деградации (более 50% органического вещества), деградированных торфяно-минеральных почв (от 20% до 50% органического вещества) и минеральных остаточно-торфяных почв (менее 20% органического вещества). Для этих целей наиболее пригодными оказались красный (0,64 – 0,72 мкм) и зеленый (0,52 - 0,61 мкм) каналы съема.

мочной системы Ikonos, псевдоизображения 2-й главной компоненты и индекса яркости преобразования “tasseled-cap”. Помимо содержания органического вещества, при помощи красного и зеленого каналов возможно дешифрирование торфянисто-глеевых и торфяно-глеевых почв, которые характеризуются небольшой мощностью торфяного слоя – до 20 см и до 50 см соответственно. В то же время распознавание и разделение торфяных почв с мощностью залежи более 50 см не представляется возможным, что подтверждается многочисленными исследованиями [4, 7, 9]. Анализ главных компонент позволяет осуществить разделение минеральных почв по степени увлажнения.

Изучение и формализация дешифровочных признаков почв

Достоверность дешифрирования снимков зависит от набора используемых дешифровочных признаков. Никакие алгоритмы автоматизированного дешифрирования при всех их достоинствах не смогут компенсировать неудачно выбранные критерии для дешифрирования того или иного объекта.

При автоматизированном дешифрировании главной задачей является формализация дешифровочных признаков и алгоритмизация процесса. Формализация дешифровочных признаков подразумевает представление их в цифровом виде, пригодном для обработки при помощи ЭВМ. Автоматизация дешифрирования почв выдвигает требования по переводу визуальных и описательных характеристик в набор значений переменных для обеспечения возможности математической обработки ДДЗ.

Поскольку такие прямые дешифровочные признаки как форма, размер и текстура, определяющие рисунок ландшафта, очень сложно поддаются формализации, автоматизированное дешифрирование осуществлялось по тону изображения.

Для осуществления автоматизированного дешифрирования необходимо создание тематических классификаторов. Процедура обучения классификаторов подразумевает одновременно создание некоторой базы знаний и базы данных по изучаемым объектам (в данном случае почвам). Классификатор может быть обучен исходя из априорно известных значений, которые соответствуют определенной почве или посредством создания обучающих выборок непосредственно на снимке. В первом случае используются каталоги дешифровочных признаков, в цифровом виде описывающие свойства почв. Во втором случае исходные данные для дешифрирования создаются специалистом-дешифровщиком в интерактивном режиме. Желательно, чтобы такой специалист был бы знаком со структурой почвенного покрова (СПП) изучаемой территории, чтобы с максимальной достоверностью обозначить эталонные участки для дешифрирования [1].

Так как оптические свойства ландшафта постоянно меняются, создание универсального каталога дешифровочных признаков для автоматизированного дешифрирования почв представляется неподъемной задачей. При визуальном дешифрировании такими каталогами служат таблицы дешифровочных признаков (при использовании прямых признаков) и ландшафтно-индикационные таблицы (при использовании косвенных признаков) что продемонстрировано в работах [2, 10]. Более целесообразным представляется прямое обучение классификаторов.

Обязательным шагом является анализ репрезентативности обучающих выборок (эталонов) и их редактирование. Репрезентативность обучающей выборки достигается за счет выполнения следующих условий: достаточная площадь, множественность выборок, устойчивость значений спектральной яркости между каналами изображения и спектральная однородность выборки. Выполнение вышеперечисленных условий достигается за счет удачного обозначения эталонов на снимке и статистической обработки выборок. Общая схема обучения тематического классификатора для дешифрирования почв, использованная в работе приведена на рисунке 1. Статистическая обработка позволяет повысить репрезентативность выборок, исключив из классификатора нетипичные и случайные для создаваемых классов значения, а также в первом приближении оценить эффективность дешифрирования.

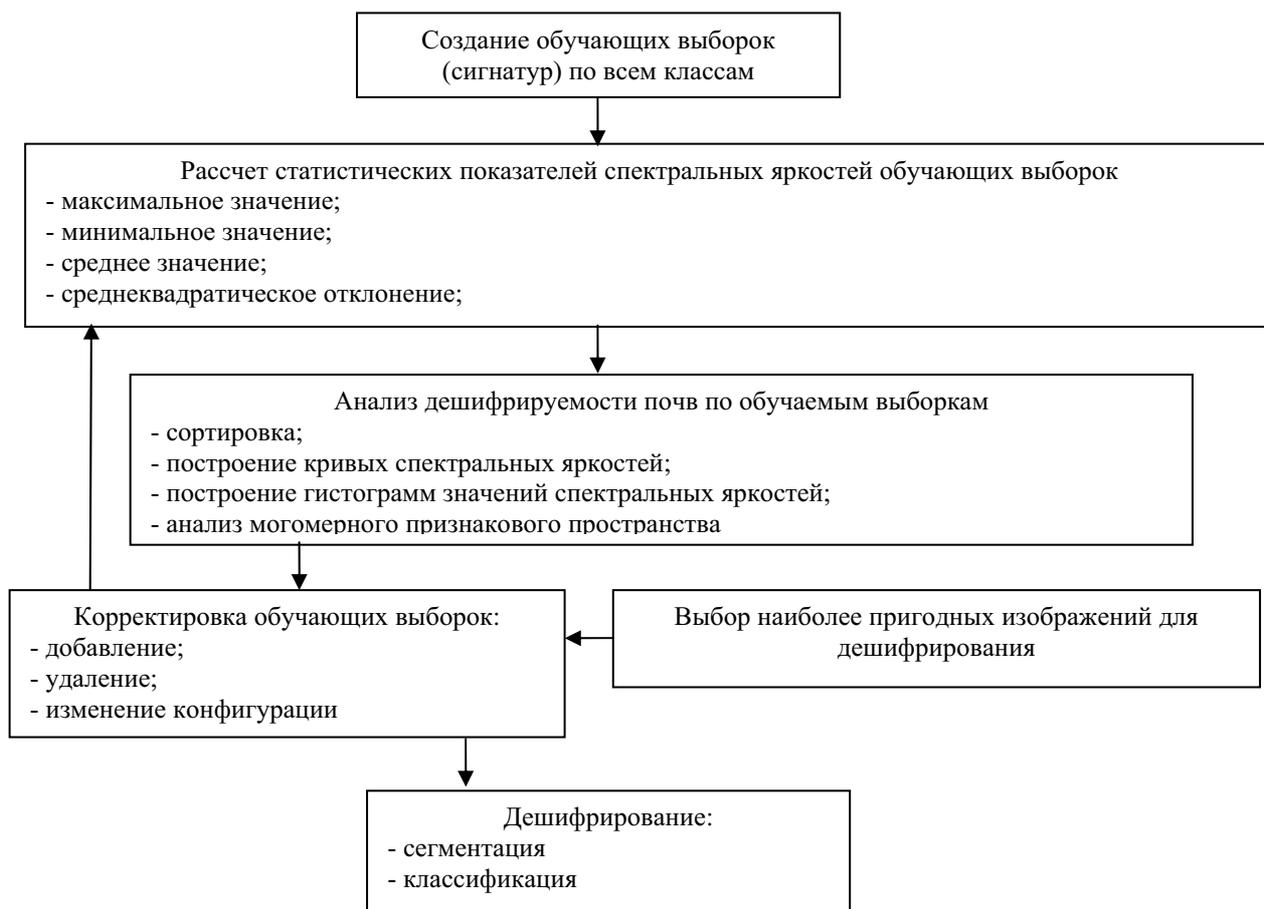


Рис. 1. Схема обучения классификатора

Анализ дешифрируемости почв, выполняемый при помощи статистической обработки преследует две цели. Первая – это определение пригодных для дешифрирования спектральных каналов снимка и производных псевдоизображений. Вторая цель – определение дешифровочных признаков почв, которые могут быть использованы при автоматизированном дешифрировании. При автоматизированном дешифрировании дешифровочные признаки формализуются по пороговым значениям спектральной яркости для каждого из классов. В выполняемом исследовании пороговые значения задавались исходя из долей среднеквадратического отклонения для каждого класса.

Классификация и генерализация изображений, создание карт

Следующим этапом автоматизированной обработки является классификация снимков. Однозначных универсальных принципов классификации не существует. В исследовании были апробированы алгоритмы неконтролируемой, контролируемой и экспертной классификации. Как правило, удовлетворительные результаты получаются при использовании гиперпараллелепипедного метода контролируемой классификации (решающее правило классификации определяется по методу максимального правдоподобия). Широкими возможностями обладает также экспертная классификация. В этом случае задача состоит в грамотном построении дерева принятия решений, интеграции в него дешифровочных признаков в виде критериев и правил.

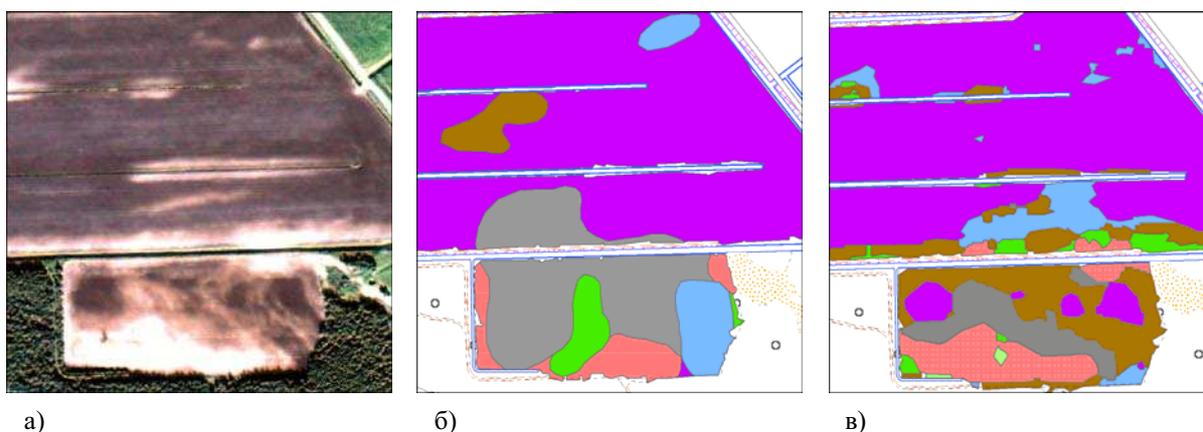
Классифицированные изображения обычно изобилуют различного рода помехами и неудобны для восприятия и дальнейшей обработки, из-за чего нуждаются в генерализации. Генерализация осуществляется в автоматическом режиме и преследует следующие цели: удаление мелких

контуров, обуславливающих «шум» на изображении, объединение мелких контуров в более крупные и сглаживание контуров.

Наконец, заключительными этапами обработки являются векторизация растровых изображений, оформление карты и легенды. После векторизации полученные контуры вновь подлежат генерализации с целью получения картографического изображения, удовлетворяющего требованиям масштаба и точности создаваемой карты. Легенда и стиль отображения подобраны произвольно, поскольку полученные в результате выполнения работы карты сами являются одним из исходных материалов, необходимых для создания окончательного варианта цифровой почвенной карты в соответствии с существующими требованиями [11, 12]. Фрагмент почвенной карты, полученной в ходе автоматизированной обработки ДДЗ, приведен на рисунке 2.

Заключение и выводы

Процесс обработки и дешифрирования ДДЗ для целей почвенного картографирования достаточно трудоемок. Автоматизация данного процесса подразумевает последовательное выполнение ряда операций и иерархическую группировку выполняемых команд. Поэтому возникает необходимость алгоритмизации и построения моделей выполнения процесса. При помощи специальных сред разработки, встроенных в программные приложения, таких как Model Builder для ArcGIS и Spatial Modeler для ERDAS IMAGINE были созданы отдельные модели для предварительной тематической обработки снимков, классификации, генерализации и векторизации изображений. Модели создаются таким образом, что выходные данные одного процесса являются входными данными для другого процесса. Таким образом, обеспечивается непрерывное выполнение команд и минимизация участия оператора. Входными данными для моделей являются земельное покрытие



Условные обозначения

Почвы	
	дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные
	дерново-глееватые
	дерново-глеевые
	торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые
	торфяные
	деградированные торфяно-минеральные
	деградированные минеральные остаточно-торфяные

а) фрагмент космического снимка Ikonos, 17.09.2006;

б) фрагмент цифровой почвенной карты СПК «Новое Полесье», 2004 г.;

в) фрагмент цифровой почвенной карты, полученной в результате автоматизированной дешифрирования космического снимка Ikonos.

Рис. 2. Результат автоматизированного дешифрирования космического снимка Ikonos на территорию КТП Величковичи

тие ЗИС (для определения земель сельскохозяйственного назначения), 4 спектрональных изображения QuickBird или Ikonos, и векторный слой эталонных участков изучаемых почвенных разновидностей для формирования каталога дешифровочных признаков. В качестве выходных данных выступает векторный слой изучаемых почвенных разновидностей. Фактически, участие специалиста требуется лишь на этапе анализа дешифрируемости почв с использованием каталога дешифровочных признаков.

В результате выполнения работы была установлена возможность использования космических снимков сверхвысокого разрешения QuickBird и Ikonos для изучения и автоматизированного картографирования отдельных свойств почв Беларуси. Так для условий сильнорасчлененного рельефа Белорусского Поозерья установлена возможность дешифрирования проявлений эрозии по летнему снимку, но автоматизированное картографирование не представляется возможным ввиду значительного сходства спектральных образов в различной степени смытых почв. Для открытых распаханых площадей осушенных торфяно-болотных комплексов многозональные космические снимки сверхвысокого разрешения позволяют оценивать развитие процессов деградации торфяной залежи и осуществлять картографирование некоторых типов почв.

Использование автоматизированных технологий обработки и дешифрирования многозональных ДДЗ позволяют значительно повысить эффективность цифрового почвенного картографирования за счет сокращения времени (в среднем в 3 раза сокращаются временные затраты на полевые и картосоставительские работы) и повышения точности локализации контуров.

Дальнейшие исследования в данном направлении будут сосредоточены на совершенствовании процесса создания моделей, адаптации моделей для использования различных ДДЗ (по времени съемки, пространственному и спектральному разрешению, состоянию местности и т.д.), внедрении в процесс обработки цифровых моделей рельефа, а также на апробации технологии на других территориях.

Литература

1. Указания по использованию аэрофотоматериалов при крупномасштабном картографировании почв. Утв. Научн.-техн. советом Министерства сельского хозяйства БССР, протокол №6 от 28.09.1984. Беларус. науч.-иссл. ин-т почвоведения и агрохимии, Респ. проектн. ин-т по землеустройству "Белгипрозем". Мн., 1986. 42 с.
2. *Обуховский Ю.М., Губин В.Н., Марцинкевич Г.И.* Аэрокосмические исследования ландшафтов Беларуси. Мн.: Навука і тэхніка, 1994. 175 с.
3. *Обуховский Ю.М., Шалькевич Ф.Е., Топаз А.А.* Индикационные аспекты космического картографирования природной среды // Материалы второго Белорусского космического конгресса. ОИПИ НАН Беларуси / Под ред. С.В. Абламейко. Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. С. 239-243.
4. *Кравцова В.И.* Космические методы исследования почв. М.: АспектПресс, 2005. 190 с.
5. *Лурье И.К., Косиков А.Г.* Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Под ред. А.М. Берлянта. М.: Научный мир, 2003. 168 с.
6. Полевое исследование и картографирование почв БССР / Под ред. Смяна Н.И. Мн.: Ураджай, 1990. 221 с.
7. Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве: сб. науч. трудов. М.: Наука, 1990. 247 с.
8. *Губин В.Н. и др.* Основы методики и технологии дистанционной диагностики земельных ресурсов. Мн., 1993. 142 с.
9. *Ковалев А.А., Ничипорович З.А., Шалькевич Ф.Я, Кривонос О.В.* Методика дистанционной диагностики мелиорированных торфяных почв Полесья на основе аэрофотосъемки. – Мн., 1999. 37 с.

10. Ковалев А.А. и др. Дистанционное картографирование природной среды / Под ред. И.И. Лиштвана, А.А. Ковалева, В.Н. Губина. Мн.: Институт геологических наук АН Беларуси, 1995. 176 с.
11. Смян Н.И. и др. Технология отображения почвенного покрова в ЗИС // Земля Беларуси, 2003. №3. С.14-15.
12. Земельно-информационная система Республики Беларусь. Порядок создания: ТКП 055-2006 (03150). – введ. 30.12.2006. Мн.: Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь, 2006. 111 с.

High Resolution Space Imagery for Soil Recognition and Mapping of Agricultural Lands

Sergey Myshliakov

*Research Republican Unitary Enterprise on Land Management,
Geodesy and Cartography “BelNICzem”
Kazintsa str. 86/3, Minsk, Republic of Belarus, 220108*

High-resolution multispectral space images QuickBird and Ikonos substantially increase possibilities of land cover/land use remotely studies. Researches and construction of the automated technology of large-scale soil-mapping based on remote sensing data are performed in Republican Unitary Enterprise “BelNICzem”. Main approaches of multispectral high-resolution imagery processing and thematic interpretation for soil mapping are reviewed in the article. Possibilities of remote studies of water erosion, soil moisture and peat degradation in reclaimed areas are shown by examples of tested areas, located in Braslav and Soligorsk districts of the Republic of Belarus. Major indication characteristic of soils for their use in automated recognition are considered.

Keywords: remote sensing, geographic information systems, multispectral imagery, space images, soils, soil maps, automated processing of remote sensing data, recognition, interpretation, mapping.