

4. Обуховский, Ю.М. Торфяно-болотные комплексы Беларуси / Ю.М. Обуховский, Л.Л. Григоревич // Литосфера. - 2000. - № 12. - С. 89 - 104.
5. Картографирование по космическим снимкам и охрана окружающей среды / Е.А. Выстокова [и др.]. - М.: Недра, 1982.
6. Таповицкий, И.Г. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов / И.Г. Таповицкий, Ю.М. Обуховский. - Минск: Нука и техника, 1988.

ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННЫХ СЪЕМОК

***Топаз АЛ, канд. геол. наук; Шалькевич Ф.Е., канд. биол. наук, доц.
(Белорусский государственный университет, Минск)***

Для дешифрирования почвенного покрова предложена методика, основанная на цифровой обработке аэрофотоснимков и включающая структурный подход к изучению и картографированию почвенного покрова. С использованием разработанной методики выявлены индикационно-дешифровочные признаки почвенных комбинаций различных типов земель в аллювиальных террасированных и пойменных ландшафтах и установлены закономерности пространственной организации почвенного покрова с количественной оценкой его структуры.

Введение. Изучение структуры почвенного покрова (СПП) является одним из основных направлений исследований в современной географии почв. Это связано с тем, что неоднородность почвенного покрова, сложность его структуры и контрастность его компонентов является важным показателем качества сельскохозяйственных земель и имеет большое значение для практического использования почв.

Методика изучения СПП носит комплексный характер, т.е. предполагает изучение и типизацию не только единиц почвенного покрова, но и единиц рельефа, а также выявление устойчивых связей: почвенные комбинации (ПК) - рельеф - литология [1, с. 112]. Вторым важным положением методики изучения СПП является принцип качественно-количественной оценки СПП, учёт количественных показателей, важнейших обобщающих характеристик СПП - коэффициентов расчленённости, контрастности, сложности и неоднородности почвенного покрова.

В настоящее время изучение СПП в основном проводится по уже составленным почвенным картам. В этой связи использование материалов дистанционного зондирования открывает новые возможности для исследования генетико-геометрических особенностей почвенного покрова, его структуры, позволяя получать принципиально новую информацию о закономерностях строения почвенной структуры, которую традиционными наземными методами получить сложно, а иногда и невозможно. Дешифровочный анализ аэро- и космических снимков разных масштабов позволяет выявить СПП разных иерархических уровней организации. Так, на снимках детального масштаба выделяются компоненты почвенных структур низшего уровня - элементарные почвенные ареалы, на снимках крупного масштаба эти компоненты ещё хорошо видны, но основным объектом дешифрирования являются микроструктуры и мезоструктуры низшего уровня, на снимках среднего и мелкого масштабов дешифрируются мезоструктуры разных уровней организации и макроструктуры почвенного покрова. Таким образом, в качестве основного объекта дешифрирования и картографирования выступают не типы почв, а сами структуры почвенного покрова разного уровня организации и масштабов. Такой взгляд на почвенный покров открывает большие возможности для использования аэрокосмических и индикационных методов при исследовании СПП¹.

Однако при визуальном анализе фотоизображений почвенного покрова распознавание компонентного состава почвенных комбинаций, а также получение количественных показателей СПП связано с большой трудоёмкостью ручного процесса выделения почвенных контуров и измерения линейных и площадных элементов СПП (длина границ контуров, площадь контуров и т.п.). Прогресс в данной области может быть достигнут при использовании автоматизированных методов обработки и анализа дистанционной информации о почвенном покрове. Возможность и эффективность применения методов цифровой обработки снимков для решения почвенных задач подтверждается нашими исследованиями на примере анализа структуры почвенного покрова в долине р. Припяти.

Информационная база данных материалов аэрофотосъёмки и полевых исследований по ключевым участкам. Для решения задач, определяемых тематикой исследования, формирование базы данных исходной информации подразумевало сбор картографического материала, проведение полевых обследований изучаемых почв, исследование спектральной отражательной способности почв, а также выбор материалов аэрофотосъёмки и их оценку для дешифрирования почв и выявления СПП.

Так как одной из основных задач изучения почвенного покрова является выявление региональных особенностей СПП, нами была создана база данных по ключевым участкам, приуроченным к долине р. Припяти. В ландшафтном отношении особенностью ключевых участков явилась приуроченность их к низменным полесским природно-территориальным комплексам (ПТК), представленным аллювиальными террасированными и пойменными ландшафтами. Эти ландшафты занимают самые низкие (103 - 150 м) гипсометрические уровни, отличаются плоским и плосковолнистым рельефом с незначительными колебаниями относительных высот, широким распространением полугидроморфных и гидроморфных почв лёгкого гранулометрического состава.

Учитывая, что разнообразие почвенного покрова района исследования обусловлено главным образом геоморфологическими условиями (почвообразующие породы здесь представлены в основном аллювиальными песками), то в связи с этим основным критерием выбора ключевых участков явилась их приуроченность к различным типам земель, которые согласно общей схеме типологии земель Беларуси [1, с. 115] представлены землями водораздельных повышений («водоразделов»), крупных депрессий и широких пойм.

Для проведения исследований по ключевым участкам была создана база данных материалов аэрофотосъёмки и наземной информации, которая включала фрагменты чёрно-белых панхроматических аэрофотоснимков масштаба 1:6 000 - 1:15 000 оптимальных сроков съёмки, фрагменты изображения рельефа с топографических карт масштаба 1:10 000, почвенные карты, составленные на основе визуального дешифрирования аэрофотоснимков, а также данные лабораторных исследований по характеристике почвенных образцов.

Методика индикации почв и структуры почвенного покрова на основе цифровой обработки аэрофотоснимков. Для проведения исследований выбор методов цифровой обработки снимков основывался на особенностях процесса почвенного дешифрирования традиционным способом, без привлечения компьютерной техники.

Методика цифровой обработки аэрофотоснимков включала следующие этапы: создание фотокартографической основы, предварительную обработку фотоизображений, классификацию фотоизображений почвенного покрова, расчёт количественных показателей СПП, интерпретацию результатов на основе системного анализа.

В качестве фотокартографической основы для последующего дешифрирования использовались нормализованные цифровые фотоизображения, приведённые к одному масштабу. Данные фотоизображения были созданы с помощью программных средств цифровой фотограмметрической системы «Realistic Map» [2].



Основные этапы обработки и анализа аэрофотоснимков для индикации почв и выявления СПП

Однако основной целью использования данных дистанционного зондирования является извлечение из них полезной информации. Качество же тематической информации зависит не только от картографо-фотограмметрических особенностей исходного фотоснимка, но и от техники и методики, которые применяются при его интерпретации. Поэтому одной из наиболее важных и сложных из решаемых с помощью компьютера задач цифровой обработки снимков является дешифрирование.

Результативность же автоматизированной обработки существенно зависит от наличия программ, ориентированных на решение задач в определённой области, т.е. соответствующего математического (программного) обеспечения. Для тематической интерпретации аэрофотоизображений почвенного покрова нами совместно с сотрудниками кафедры математическо-

го обеспечения АСУ факультета прикладной математики и информатики Белгосуниверситета была разработана система автоматизированного дешифрирования, работающая в интерактивном режиме. Система позволяет выполнять предварительную обработку фотоизображений, проводить контурное дешифрирование (сегментация изображения), выполнять классификацию выделенных сегментов (генетическое дешифрирование), а также осуществлять автоматический картометрический анализ результатов дешифрирования с представлением результатов в виде таблиц статистик геометрических параметров и статистических характеристик [3].

Для предварительной обработки изображений в рамках разработанной нами системы реализованы алгоритмы гистограммных преобразований, различных методов фильтрации изображений и подчёркивания контуров. В результате на этапе предварительной обработки изображения можно улучшить зрительное восприятие изображения, подчеркнуть существующие различия между объектами, а также скрыть ненужную информацию, обеспечивая тем самым повышение объективности и достоверности дешифрирования.

Следующим этапом цифровой обработки является выделение на изображении однородных областей. Это задача сегментации. Однако перед проведением сегментации изображения необходимо определить область дешифрирования, так как составление почвенных карт с использованием средств цифровой обработки изображения требует классификации видов земельных угодий. Возможно выделение на изображении области как с прямолинейными границами (в виде прямоугольника или квадрата), так и с границами произвольной формы (путём обвода области при помощи левой кнопки мыши). Выделенная область вырезается из общего изображения и все дальнейшие операции осуществляются лишь для данной области.

Сегментация заключается в разбиении изображения на области (сегменты) по определенному критерию. В нашем случае для решения задачи сегментации были использованы методы кластерного анализа.

В разработанной нами системе этап сегментации изображения начинается с создания так называемой «кальки». Это специальная структура данных, в которой сохраняются результаты выделения сегментов на изображении, а также сопутствующая этому процессу информация. Входными данными для проведения сегментации являются образцы однородных областей, которые задаются пользователем вручную. После указания всех образцов можно запускать процесс сегментации, указав при этом допустимую величину отклонения элемента изображения от образцов. Элементы

изображения, которые отклоняются на большую величину, будут отнесены к 0-классу.

Таким образом, использование алгоритма сегментации, обеспечивающего выделение почвенных контуров по тону, позволяет повысить оперативность дешифрирования фотоизображений почвенного покрова, а влияние субъективного фактора при достаточной информативности тонового признака - свести к минимуму.

При визуальном дешифрировании даже квалифицированный исполнитель не в состоянии оконтуривать поля плотности с первоначально заданной градацией.

В системе предусмотрена возможность присвоения каждому кластеру буквенно-цифрового индекса определённой почвенной разновидности согласно с принятыми условными обозначениями. Поскольку индексация производится вручную, то её должен проводить опытный оператор (почвовед), чтобы сопоставить разновидность почвы, отнесённой к данному кластеру, с её классификационным названием.

Следует отметить, что для характеристики и названия любой почвенной комбинации должен быть выявлен её компонентный состав, т.е. указаны элементарные почвенные ареалы (ЭПА), составляющие комбинацию, а также определена доля участия в процентах каждого ЭПА в комбинации. В ряде работ, посвящённых вопросу изучения СПП с использованием материалов аэрофотосъёмки [4], отмечается, что большим преимуществом изучения СПП по аэрофотоснимкам является не только возможность выделения, типизации и определения почвенных комбинаций, но и возможность оценки степени их неоднородности статистико-картометрическим методом.

Показатели СПП могут быть получены также методами цифровой обработки фотоизображений. Нами в основу определения количественных показателей структуры почвенного покрова была положена методика БелНИИПА [1, с. 85 - 96], в которой набор показателей СПП сокращён до 3 основных: коэффициент расчленения, коэффициент контрастности, коэффициент неоднородности.

Для расчёта количественных показателей вводится размер пикселя в метрах. По каждому кластеру определяется площадь, площадь в процентах от общей, длина границ контуров (периметр по кластеру), в пределах каждого кластера - средняя площадь и средняя длина контура, количество контуров. На основании этих данных автоматически рассчитывается коэффициент расчленения по каждому кластеру и для всего участка в целом. Полученные в автоматическом режиме количественные показатели пред-

ставляются в виде таблицы статистик, на основе которой рассчитываются коэффициенты контрастности и неоднородности.

Для обоснования эффективности предложенной методики нами были выполнены экспериментальные работы по цифровой обработке аэрофотоснимков с целью анализа структуры почвенного покрова различных типов земель в долине р. Припяти.

Анализ структуры почвенного покрова долины р. Припяти на основе цифровой обработки аэрофотоснимков. По разработанной методике была выполнена цифровая обработка аэрофотоснимков ключевых участков, характеризующих почвенный покров различных типов земель долины р. Припяти. При этом изучение С1 III включало выявление ареалов почв и почвенных комбинаций и установление закономерностей их пространственного размещения.

Для надпойменной террасы р. Припяти были изучены особенности СПП плоских и выпуклых водоразделов и озеровидных депрессий.

При проведении компьютерной классификации учитывалось наличие на аэрофотоснимках различных видов земельных угодий (пахотных и луговых). Сравнение результатов автоматизированного дешифрирования и почвенных карт, составленных на основе визуального дешифрирования, показало, что при цифровой обработке более точно выделяются участки с одинаковой оптической плотностью и тем самым обеспечивается разделение почв по определённым показателям - содержанию гумуса, степени увлажнения почв, т.е. по их спектральному образу. Так, для распаханых территорий в результате классификации были выделены кластеры, соответствующие определённым почвенным разновидностям: дерново-подзолистым временно избыточно увлажненным (с содержанием гумуса от 0,6 до 1,0 %); дерново-подзолистым глееватым (с содержанием гумуса от 1,1 до 2,5 %); дерново-подзолистым глеевым (с содержанием гумуса от 2,5 до 3,4 %).

Исследования показали, что в основном границы почвенных ареалов приурочены к определённым формам рельефа, которые можно выделить по рисунку горизонталей на топографической карте. На основе совместного анализа тона фотоизображения и рисунка горизонталей выявлена тесная зависимость между формами рельефа, тоном фотоизображения и распределением почв по степени увлажнения. По результатам исследований были составлены таблицы индикационно-дешифровочных признаков почв ключевых участков, отражающие закономерности пространственной дифференциации почвенного покрова.

Дешифрирование ряда структур почвенного покрова позволило получить количественные показатели их свойств: состав и соотношение компонентов, коэффициенты расчленения контуров, контрастности граничащих в них почв и в целом степени неоднородности почвенного покрова

Комплексный анализ оптико-структурной характеристики фотоизображений, цветокодированных кластерных карт и количественных показателей позволил выявить особенности структуры почвенного покрова различных типов земель надпойменной террасы Припяти.

Выявлено, что *СПП плоских водоразделов* отличается пятнистым рисунком почвенных комбинаций. Формирование среднеконтрастных сочетаний обусловлено различиями почв, развитых на плоских повышениях (дерново-подзолистые оглеенные внизу и временно избыточно увлажненные) и в замкнутых западинах (дерново-подзолистые и дерновые заболоченные). Почвенный покров слабонеоднородный ($K_{11} = 9,1$).

СПП выпуклых водоразделов распознаётся по «лопастному» рисунку фотоизображения почвенного покрова. Характерны среднеконтрастные сочетания автоморфных и полугидроморфных дерново-подзолистых почв. Крупнопятнистый рисунок создают пятна лопастной формы дерново-подзолистых оглеенных внизу и временно избыточно увлажненных почв. Почвенный покров среднееднородный ($K_{12} = 14,8$).

Для СПП озеровидных депрессий типичны слабоконтрастные сочетания полугидроморфных почв. Слабовыраженный пятнистый рисунок фотоизображения создаёт чередование пятен дерново-подзолистых заболоченных и дерновых заболоченных почв. Почвенный покров однородный ($K_{13} = 2,7$).

Результаты индикации компонентного состава и генетико-геометрических форм пространственной организации почвенного покрова позволили также разработать индикационно-дешифровочные признаки почвенных комбинаций различных типов пойменных земель с их количественной оценкой.

Выявлено, что *для прируслового типа земель* характерны линзовидные почвенные комбинации - сильноконтрастные сочетания аллювиальных дерновых оглеенных внизу, дерново-глееватых почв и неразвитых песчаных. Почвенный покров сильноеднородный ($K_{14} = 24,4$).

СПП гривистой поймы отличается серповидными почвенными комбинациями - среднеконтрастными сочетаниями аллювиальных дерново-глееватых и глеевых в ложбинообразных понижениях, аллювиальных дерновых оглеенных внизу и временно избыточно увлажненных почв с включениями неразвитых песчаных почв, формирующихся на вершинах грив и холмообразных повышениях. Почвенный покров среднееднородный ($K_{15} = 14,6$).

Для СПП центральной поймы типичны почвенные комбинации с преобладанием фоновой почвы - слабоконтрастные сочетания аллювиальных дерново-перегнойно-глеевых и дерново-глеевых почв с включениями аллювиальных дерново-глееватых и дерновых временно избыточно увлажненных почв. Почвенный покров слабонеоднородный ($K_{II} = 5,6$).

СПП притеррасной поймы отличают крупнопятнистые почвенные комбинации - слабоконтрастные сочетания аллювиальных иловато-перегнойно-глеевых и торфяно-глеевых почв. Почвенный покров однородный ($K_{II} = 1,1$).

Таким образом, рисунок фотоизображения и количественные показатели СПП являются надёжным устойчивым признаком индикации структурных элементов почвенного покрова в виде закономерно организованных комбинаций почв, отражающих своеобразие физико-географических условий территории.

Заключение. Выполненные нами исследования свидетельствуют о том, что на фоне установленных для территории республики типов земель, возможна более конкретная их типизация на основе материалов дистанционного зондирования с детальным учётом СПП, характеризуемой количественными показателями на основе цифровой обработки аэрофотоснимков. При этом оптико-структурная характеристика изображения, которая проявляется в рисунке фотоизображений почвенного покрова, а также количественные показатели СПП могут служить основой для создания аэрофотоэталонов различных типов земель и разработки индикационно-дешифровочных признаков почвенных комбинаций различных типов земель. Типы земель дают комплексную характеристику почвенного покрова (сведения о рельефе и степени неоднородности почвенного покрова) и могут служить критерием для определения степени пригодности земель в сельскохозяйственном производстве, основой для рационального использования земель и наблюдения за изменениями почвенного покрова во времени и пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кауричев, И.С. Структура почвенного покрова и типизация земель / И.С. Кауричев, Т.А. Романова, И.П. Сорокина. - М.: Изд-во МСХА, 1992.- 152 с.
2. Киркоров, Н.И. Создание и обновление 3-х мерных моделей местности и формирование цифровых ортофотокарт на основе цифровых изображений аэрокосмических снимков с использованием ЦФС / Н.И. Киркоров // ИНФОРМАТИКА-98: материалы семинара. - Минск: БГУ, 1998. - С. 21 -26.

3. Топаз, А.А. Изучение и картографирование почвенного покрова на основе аэрокосмической информации / А.А. Топаз, В.В. Краснопрошин, В.В. Конах // Третий Белорусский космический конгресс: материалы конгр., г. Минск, 23 - 25 окт. 2007 г.). - Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2007.-С. 183- 187.
4. Методика составления карты типов пойменных земель И Т.А. Романова [и др.]. - Минск, 1990. - 31 с.

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ В ЛЕСАХ II ГРУППЫ

Лыщик П.А., канд. техн. наук, доц.; Бавбель Е.И.

(Белорусский государственный технологический университет, Минск)

В Республике Беларусь внедрение и эксплуатация географических информационных систем в лесном хозяйстве тесно связана с программой компьютеризации отрасли «Лесное хозяйство» и внедрением информационной системы управления лесным хозяйством (ИСУЛХ). В основу расчетов положена модель пространственной оптимизации использования лесных ресурсов, представляющая собой задачу линейного программирования. Показана эффективность данной методики, поскольку географическая информационная система (ГИС) позволяет производить оценку как местоположения выделов лесного фонда относительно путей транспорта, так и оптимальное расположение лесотранспортных путей в лесах II группы, используя при этом повыдельную базу данных. При этом ГИС выступает как основная среда для проектирования и анализа лесотранспортной сети. Также данная программа позволяет сравнивать различные варианты лесотранспортной сети и провести ее анализ.

Введение. Глобальная интенсификация современного лесного хозяйства, бурное развитие компьютерного оборудования и программного обеспечения создали предпосылки для широкого внедрения информационных технологий в сферу лесоустроительного проектирования и лесохозяйственного производства.

В настоящее время в Республике Беларусь для всех лесохозяйственных предприятий создана и постоянно совершенствуется геоинформационная система «Лесные Ресурсы». Основное назначение системы - полу-