

*На правах рукописи*

УКРАИНСКИЙ Павел Александрович

**ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПЛОДОРОДИЯ  
ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
(НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ)**

25.00.26. – землеустройство, кадастр и мониторинг земель

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Белгород – 2011

Работа выполнена на кафедре природопользования и земельного кадастра  
ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет»

Научный руководитель: СМИРНОВА Лидия Григорьевна  
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты: АХТЫРЦЕВ Анатолий Борисович  
доктор биологических наук, профессор

ЗАМЯТИНА Лариса Вячеславовна  
кандидат географических наук, доцент

Ведущая организация: ГНУ Всероссийский НИИ земледелия и  
защиты почв от эрозии, г. Курск

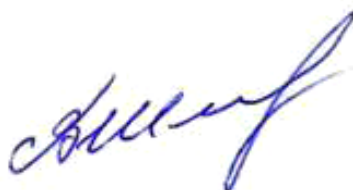
Защита состоится 8 ноября 2011 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.036.02 при Воронежском государственном педагогическом университете, по адресу: 394043, г. Воронеж, ул. Ленина, 86, ауд. 408.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке научных работников ВГПУ по адресу: 394043, Воронеж, ул. Ленина, 86, ауд. 34.

Автореферат разослан 8 октября 2011

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 394043, Воронеж, ул. Ленина 86, ВГПУ, Естественно-географический факультет, ученому секретарю диссертационного совета ДМ 212.036.02. Факс: 8 (4732) 55-19-49, E-mail: shmykov@vspu.ac.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук,  
доцент



В.И. Шмыков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность исследования.**

Доля земель сельскохозяйственного назначения в земельном фонде РФ составляет 23,5 %. Важнейшим свойством, обуславливающим их производственную ценность, является плодородие. Оно ухудшается вследствие сельскохозяйственного использования земель, поэтому встает вопрос о методах контроля этих изменений. В настоящее время существует дефицит актуальных почвенных данных, что затрудняет разработку землеустроительных проектов, основанных на адаптивно-ландшафтных принципах. Используемые методы почвенной съемки и проводимый агрохимический мониторинг не в полной мере способны поставлять необходимую информацию о состоянии плодородия.

Проблема обновления фонда почвенных данных связана также со значительной трудоемкостью и дороговизной традиционных почвенных съемок. В качестве способа решения этой проблемы в «Концепции государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения до 2020 года» предложено развитие дистанционного мониторинга. В этой Концепции космические снимки рассматриваются как наиболее оперативный и объективный (независимый) источником информации о плодородии земель сельскохозяйственного назначения. Для эффективного ведения дистанционного мониторинга показателей плодородия необходима разработка теоретических и методических основ изучения почвенного покрова по космическим снимкам. Эту работу необходимо проводить с учетом природной и хозяйственной специфики конкретных регионов.

Проведение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения с использованием методов дистанционного зондирования является особенно актуальным в регионах интенсивного земледелия, так как позволяет определять наиболее эффективные мероприятия по сохранению и воспроизводству плодородия земель при землеустройстве на адаптивно-ландшафтной основе, а также устанавливать их ценность как основного средства производства.

**Объект исследования** – земли сельскохозяйственного назначения.

**Предмет исследования** – показатели плодородия земель сельскохозяйственного назначения и их оценка на основе анализа космических снимков.

**Основная цель исследования** – разработка научных основ оценки показателей плодородия земель методами дистанционного зондирования.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определить перечень показателей плодородия, контролируемых методами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);
2. Выявить пространственные особенности дешифрирования почв земель сельскохозяйственного назначения в условиях Белгородской области;
3. Провести дистанционную оценку показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения;

4. Разработать рекомендации по внедрению методик дешифрирования космических снимков в практику дистанционного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

**Теоретические основы исследования.** Вопросы дистанционного исследования почвенного покрова по космическим снимкам рассматривались В. Ю. Андрониковым (1979), К.Я. Кондратьевым (1986), И.Ю. Савиным (1990), В.И. Кравцовой (2005), М.С. Симаковой (2002), G.A. Fox (2002), D.R. Thompson (1984), F.C. Westin (1976). Работы перечисленных исследователей указывают на возможность использования космических снимков для мониторинга и оценки показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения, а также на перспективы исследований в этом направлении. В то же время, они обозначают ряд нерешенных задач, связанных с использованием методов дистанционного зондирования.

**Материалы и методы исследования.** В исследовании применялись следующие методы: сравнительно-географический, обработки данных дистанционного зондирования, геоинформационного моделирования, математико-статистической обработки полученных результатов.

В значительной степени использован архив спутниковых данных и программное обеспечение для обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и геоинформационного анализа (ENVI и ArcGIS) Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов НИУ «Белгородский государственный университет». В работе использованы материалы мультиспектральной космической съемки со спутника Landsat 5TM, фондовые данные почвенных карт хозяйств Белгородской области, данные собственных полевых исследований, материалы отечественных и зарубежных интернет-архивов: Springer Link, Science Direct, Elibrary.

**Достоверность результатов.** Достоверность результатов количественного дешифрирования свойств почвы подтверждается данными полевых исследований. Достоверность проведения границ почвенных ареалов и определения их генетической принадлежности подтверждается сопоставлением с фондовыми данными почвенных карт хозяйств Белгородской области. Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о характере почвенного покрова земель сельскохозяйственного назначения Белгородской области. Исследовательские полигоны выбраны с учетом типичности проявления конкретных почвенных свойств, для дешифрирования которых разработана оригинальная методика. В работе применялись современные методы и средства обработки данных, в т.ч. программный продукт для обработки ДДЗ ENVI и геоинформационная система ArcGIS. При разработке оригинальных методик дешифрирования почвенного покрова учитывался как отечественный, так и обширный зарубежный опыт обработки снимков (проанализировано 90 источников).

**Научная новизна.** Впервые проведено оригинальное районирование территории Белгородской области по характеру сочетания угодий. Это районирование использовано для оценки сложности дешифрирования почвенно-

го покрова в различных частях региона. Впервые разработан почвенный индекс для дистанционного определения типов и подтипов почв лесостепной зоны по мультиспектральным космическим снимкам. Описаны значения почвенного индекса для зональных типов и подтипов почв, встречающихся в Белгородской области. Проанализирована зависимость между яркостью почвы на космическом снимке и ее гранулометрическим составом. Разработана формула расчета содержания физической глины. Впервые на территории Белгородской области проведены спектрометрические исследования для целей дешифрирования, по результатам которых создана спектральная библиотека яркости почв с различным содержанием гумуса.

#### **Основные защищаемые положения.**

1. Перечень дистанционно оцениваемых показателей плодородия и факторы, определившие его состав.
2. Природные и хозяйственные особенности территории Белгородской области и ее районирование по характеру сочетания угодий.
3. Результаты использования методик дешифрирования содержания гумуса, гранулометрического состава, распространения солонцеватых черноземов, эродированных почв, почвенных типов и подтипов по снимкам спутника Landsat 5ТМ в Белгородской области.
4. Рекомендации по внедрению разработанных методик дешифрирования показателей плодородия в практику дистанционного мониторинга.

#### **Практическая значимость и применение результатов исследования.**

Результаты проведенного исследования могут быть использованы для совершенствования дистанционного (космического) мониторинга и оценки показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения. Разработанные методики дешифрирования позволяют получать на основе космических снимков актуальные почвенные карты, на которых отображаются такие показатели как тип и подтип почвы, содержание гумуса, гранулометрический состав, степень эродированности.

Материалы диссертации вошли в отчеты по следующим проектам: проект 145/08 «Оценка мелиоративного состояния орошаемых земель Саратовской области средствами геоинформатики и дистанционного зондирования», грант Президента РФ (проект МК-1189.2010.5), мероприятие 1.3.2. «Проведение научных исследований целевыми аспирантами» ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (Проект П141), проект № 408 фонда «Научный потенциал» «Использование селективной автоматизированной коррекции данных при создании цифровых моделей рельефа по материалам дистанционного зондирования Земли», проект РНП.2.2.1.1.4439 Фундаментальные основы развития геоаналитические системы на базе научно-образовательного кластера «Геоинформатика и технологии дистанционного зондирования в естественных науках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)».

**Апробация работы.** Результаты исследований доложены автором на научных и научно-практических конференциях: Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Регион-2008: общественно-географические аспекты» (Харьков, 2008), Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Регион-2009: общественно-географические аспекты» (Харьков, 2009), Международной научной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС – 16. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. (Ростов-на-Дону, 2010), III Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции молодых учёных «Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике» 19-22 октября 2009 г. (Белгород), IV Международной научной конференции «Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах» (Белгород, 2010), Международной научно-практической конференции «Управление продукционным процессом в агротехнологиях 21 века», посвященной 35-летию образования Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства (Белгород, 2010).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования автором опубликовано 17 научных работ, включая 3 из перечня ВАК.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 190 наименований, включая 90 иностранных, 19 приложений. Основной текст диссертации изложен на 162 страницах машинописного текста и содержит 8 таблиц и 32 рисунка.

## **ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

### **1. Перечень дистанционно оцениваемых показателей плодородия и факторы, определившие его состав.**

Физической основой дешифрирования почвенного покрова являются представления о спектральных свойствах почвы. Дистанционно оцениваться могут только те показатели плодородия, которые влияют на ее спектральную отражательную способность. Этим определяется потенциальный (максимальный перечень) показателей плодородия контролируемых методами дистанционного зондирования.

Состав реального перечня дистанционно определяемых показателей связан с текущим уровнем прогресса в дистанционных исследованиях, который определяется следующими факторами:

- развитием технологий космической съемки земной поверхности;
- развитием компьютерной техники и программного обеспечения для обработки космических снимков;
- накоплением и обобщением опыта дистанционного исследования почвенного покрова.

На сегодняшний день в различных публикациях описаны методы дистанционного определения следующих показателей: генетической принадлежности

почв, содержания гумуса, гранулометрического состава, засоления, степени эродированности, содержания карбонатов, содержания соединений железа, содержания различных минералов, опасности образования почвенных корок. Первые пять показателей являются наиболее важными для территории Белгородской области. Полученный перечень из пяти показателей исчерпывающим не является. Так в приложении к приказу №150 «Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения» от 4 мая 2010 г. перечислены 17 физических и химических показателей плодородия и 6 показателей негативных процессов. Дистанционно определяемые показатели относятся к наиболее важным для оценки плодородия, т.к. по значимости, на их долю приходится более половины информации о почвах. Поэтому дистанционный мониторинг способен удовлетворить большую часть потребности в информации о состоянии плодородия.

## **2. Природные и хозяйственные особенности территории Белгородской области и ее районирование по характеру сочетания угодий.**

Белгородская область расположена преимущественно в лесостепной зоне, юго-восточная ее часть относится к зоне степей. Поверхность территории представляет собой несколько приподнятую равнину, по которой проходят юго-западные отроги Орловско-Курского плато Среднерусской возвышенности, расчлененного многочисленными речными долинами и густой овражно-балочной сетью. Климат области умеренно-континентальный, средняя температура января от  $-8$  до  $-9^{\circ}\text{C}$ , средняя температура июля от  $+20$  до  $+21^{\circ}\text{C}$ . Количество осадков составляет 450-500 мм в год, с максимумом в весенне-летний период. В почвенном покрове преобладают черноземы, распространены серые лесные почвы. Благоприятные почвенно-климатические условия обуславливают активное развитие сельского хозяйства. Земли сельскохозяйственного назначения занимают 74,3% территории области. Среди них преобладает пашня (61% площади области), также значительна доля пастбищ и сенокосов (12%).

Территория Белгородской области неоднородна с точки зрения сложности дешифрирования почвенного покрова. В разных частях области по-разному сочетаются угодья, почвы которых можно и нельзя дешифрировать по прямым дешифровочным признакам. К первым территориям относятся пашня, а ко вторым – все остальные угодья. При дешифрировании почвенного покрова пашни важны такие показатели как цельность и раздробленность ареалов пашни, форма и площадь полей. Все эти характеристики сформировались как в результате исторического развития экономики Белгородской области, так вследствие природных ее особенностей. В качестве природной особенности главенствующую роль играет рельеф: уклон территории, степень эрозионной расчлененности территории, форма речных бассейнов (узкие, вытянутые или широкие, округлые).

Для выявления региональной специфики дешифрирования почвенного покрова было выполнено районирование Белгородской области по характеру сочетания угодий. Для этого был произведен визуальный анализ мозаики космических снимков со спутника Landsat 5TM, покрывающей всю террито-

рию области. В результате было выделено шесть типов районов (рис. 1). К первому типу относятся территории с преобладанием или значительной площадью лесов на водораздельных пространствах. Такие районы сосредоточены на возвышенных правобережьях крупных рек. – Северского Донца с притоками (Нежеголь, Корень, Короча), Оскола, Тихой Сосны, Ворсклы, Ворсклицы. Форма полей здесь часто округлая, с извилистыми границами. Пашня не образует сплошного ареала, и занимает до половины площади территории. Она представлена разобщенными ареалами, зажатыми между лесами, населенными пунктами и овражно-балочной сетью. Поэтому до половины почвенного покрова недоступно для дистанционного изучения. Разобщенность ареалов пашни не позволяет подробно проследить по космическим снимкам пространственные закономерности изменения почвенного покрова. Но в этих районах наблюдается значительная пестрота почвенного покрова, что делает их интересными для дистанционного изучения. Специфическими задачами дешифрирования почвенного покрова является проведение границы серых лесных почв и черноземов и выделение ареалов их подтипов.

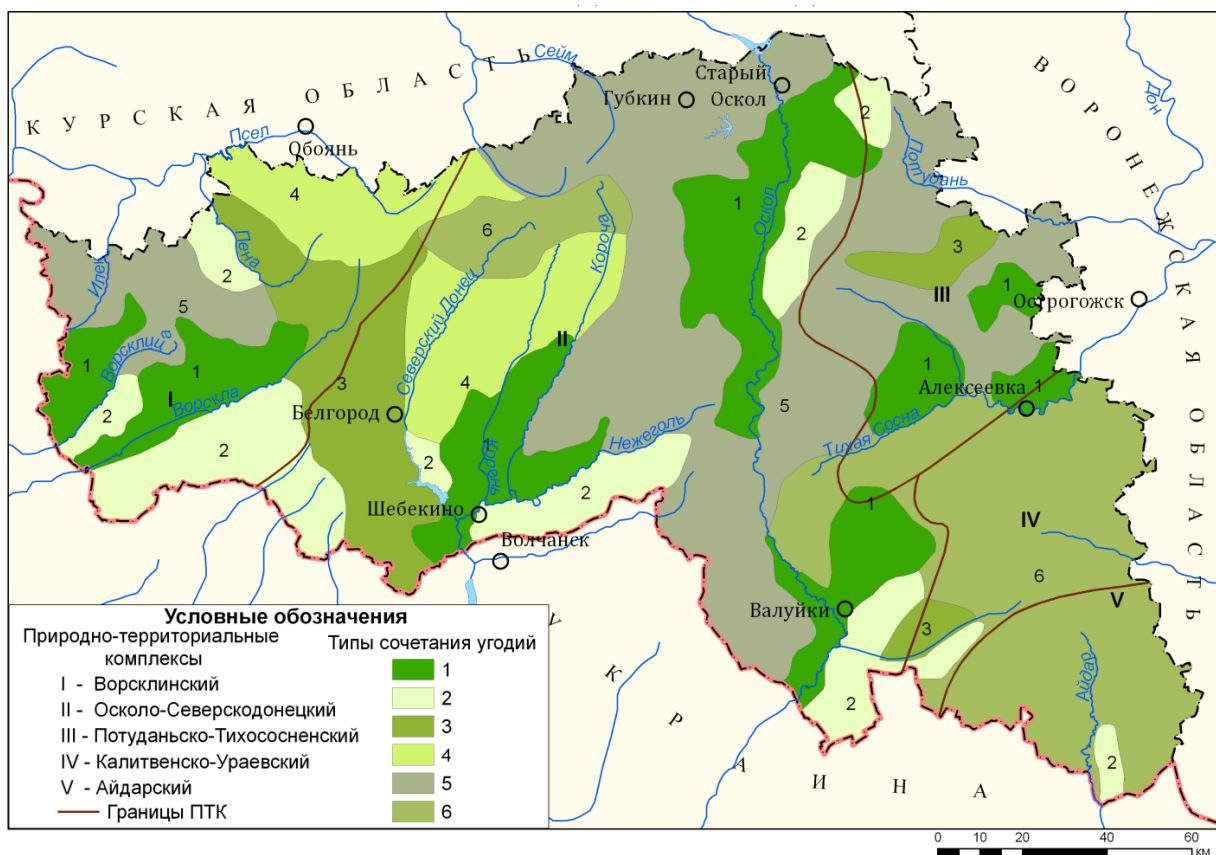


Рис. 1. Карта распространения различных типов сочетания угодий на территории Белгородской области

Ко второму типу относятся низменные территории левобережий крупных рек. Для них характерен плоский рельеф, слабая расчлененность овражно-балочной сетью, незначительная площадь лесов и населенных пунктов. Здесь пашня преобладает над другими угодьями, ее доля от площади территории самая большая по сравнению с другими частями области. Наиболее



распространена прямоугольная форма полей. Поля крупные, вытянутые в направлении ближайшей крупной реки. Пашня образует цельный, слабо расчлененный ареал. Структура землепользования районов второго типа наиболее благоприятствует дистанционному картографированию почв. На этих территориях до  $\frac{3}{4}$  почвенного покрова можно наблюдать в оголенном виде. Цельность ареалов пашни позволяет проследить на значительных территориях закономерности изменения почвенного покрова. Специфическими задачами дешифрирования почвенного покрова является выделение лугово-черноземных почв и почв западин, почв легкого гранулометрического состава. Необходимо создание методик, позволяющих дистанционно обнаруживать проявления таких проявлений деградации почв как развевание и линейная эрозия на уступах речных террас.

Третий тип - районы со средней эрозионной расчлененностью и обилием байрачных лесов и мелких лесов на приводораздельных пространствах. Ареалы пашни образуют здесь крупные ареалы округлой формы, рассеченные овражно-балочной сетью. Границы полей отличаются извилистостью. Четвертый тип - территории с узкими вытянутыми приводораздельными пространствами. Ареалы пашни здесь имеют удлиненную вытянутую форму, поэтому нередко располагаются в пределах двух соседних сцен Landsat, что увеличивает количество нужных снимков, и создает необходимость проводить операцию по сшивке их в мозаику. Поля, как правило, с двумя-тремя ровными сторонами и одной-двумя извилистыми, граничащими с балками или речной долиной. При дешифрировании почв пашни в районах третьего и четвертого типа повышена сложность создания маски пашни.

Пятый тип - территории с редкими байрачными лесами и развитым овражно-балочно-долинным комплексом. Форма ареалов пашни здесь аналогична третьему типу. Специфические отличия этого типа обусловлены тем, что ядро территорий, где он распространен, приурочено к водоразделам Оскола и Северского Донца, Оскола и Тихой Сосны. На приводораздельных пространствах распространена прямоугольная и квадратная форма полей, в чем есть некоторое сходство со вторым типом. Специфической задачей дешифрирования почвенного покрова здесь является выявление ареалов солонцеватых черноземов. К шестому типу относятся районы с практически отсутствующими (распространены крайне редко и неравномерно) байрачными лесами, редкими населенными пунктами и сильно развитой овражно-балочной сетью. Ареалы пашни образуют здесь крупные ареалы округлой формы, рассеченные овражно-балочной сетью, границы полей извилистые.

Составленная карта районирования территории Белгородской области по характеру сочетания угодий позволяет оценить сложность дешифрирования почвенного покрова. Такую оценку необходимо проводить на этапе планирования исследования почвенного покрова по космическим снимкам. Адекватная оценка сложности дешифрирования позволит правильно рассчитать затраты времени на дешифрирование, определить необходимость привлечения дополнительных данных помимо космических снимков и запланировать необходимый объем полевых исследований.

### **3. Результаты использования методик дешифрирования почвенных типов и подтипов, содержания гумуса, гранулометрического состава, распространения солонцеватых черноземов, эродированных почв по снимкам спутника Landsat 5TM в Белгородской области.**

Для дешифрирования типов и подтипов почв выбран исследуемый участок в междуречье Корочи и Нежеголи. Разработан специализированный почвенный индекс для дешифрирования типов и подтипов почв. В основу разработки индекса положен опыт дешифрирования почв лесостепи Т.В. Королюка и Е.В. Щербенко (2003). В соответствии с ним для создания индекса выбраны 2, 3 и 4-й каналы Landsat. Предложена следующая формула расчета индекса:

$$\text{ПИ1} := (3 - \text{Ик}) / (3 + \text{Ик} - 2\text{К}), \quad (1)$$

где ПИ1 – почвенный индекс 1, Ик – яркость в ближнем инфракрасном диапазоне спектра (4 канал Landsat), К – яркость в красном диапазоне спектра (3 канал Landsat), З – яркость в зеленом диапазоне спектра (2 канал Landsat).

Почвенный индекс ПИ1 принимает для почв отрицательные значения: для типичных черноземов от -0,5 до -0,8, для оподзоленных и выщелоченных черноземов – от -0,8 до -1,0, для темно-серых лесных почв – от -1,0 до -1,25, для серых лесных почв – от -1,25 до -1,7, для светло-серых лесных почв – от -1,7 до -2,2.

Процесс дешифрирования почвенного покрова при помощи индекса включает в себя три этапа. На первом этапе производится пространственное ограничение дешифрируемой территории путем выделения участков с почвенным покровом, лишенным растительности. Прочие участки исключаются из обработки при помощи операции маскирования. На втором этапе производится непосредственно расчет индекса, результатом которого является градиентное изображение. Градиентное изображение является лучшим способом передачи непрерывности почвенного покрова и постепенности перехода между почвами. Перед выделением по градиентному изображению почвенных ареалов выполняется сглаживание медианным фильтром. Это устраняет ошибки связанные с «шумом» в изображении. Третий этап заключается в преобразовании градиентного изображения в дискретное при помощи квантования. На этом этапе происходит очерчивание границ ареалов подтипов почв и их идентификация (рис. 2).

В результате дешифрирования на исследуемом участке выделены типичные черноземы, светло-серые лесные, серые лесные, темно-серые лесные почвы, оподзоленные и выщелоченные черноземы. Анализ результатов показал, что при дешифрировании генетически отдаленных подтипов достигается наибольшая эффективность распознавания. При дешифрировании генетически близких подтипов могут возникнуть ошибки, для устранения которых необходимо проведение наземных исследований (рис. 2).

В настоящее время созданы различные формулы, увязывающие содержание гумуса и спектральные свойства почвы. Они предназначены для количественного определения содержания гумуса. Общим их недостатком является

ся неуниверсальный характер. Каждая существующая формула работает с наибольшей эффективностью только на территории, для которой она создана.

В представленной работе предложен полуколичественный способ дистанционного определения содержания гумуса в почве. В его основе сбор сведений о спектральных свойствах почвы с различным содержанием гумуса на тестовом участке и формализация этих сведений в виде спектральных библиотек. Выявленные закономерности экстраполируются на обширные территории при помощи классификации космических снимков по алгоритму спектрального угла.

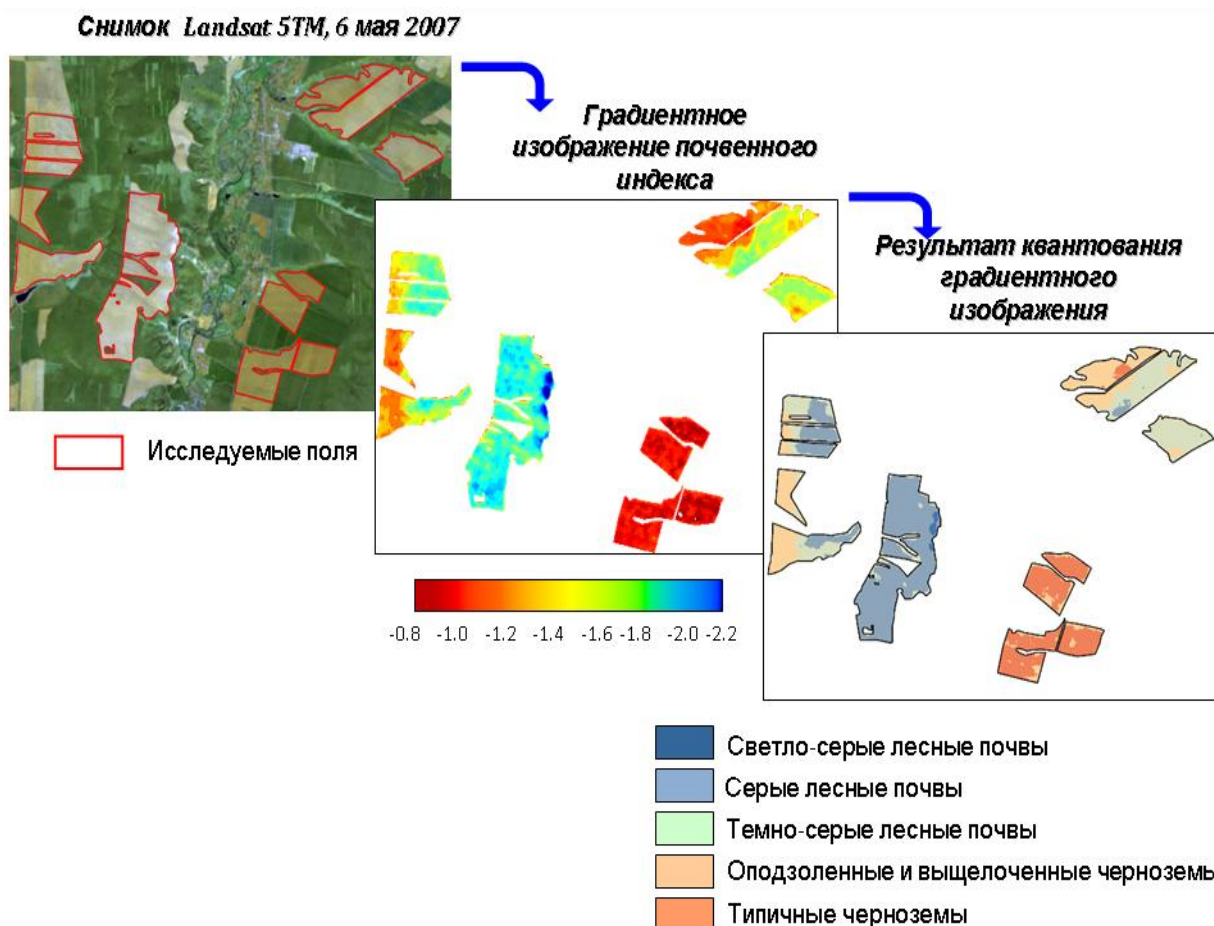


Рис. 2. Дешифрирование типов и подтипов почв

Исследуемая территория состоит из двух участков в пределах хозяйства «Белгородское»: тестового и дешифрируемого. На тестовом участке производится отбор проб для определения содержания гумуса и спектрометрических измерений. Дешифрируемый участок является полигоном для экстраполяции зависимости между содержанием гумуса и спектральной отражательной способностью почвы на основе дешифрирования космических снимков.

В ходе дешифрирования содержания гумуса выделялись следующие классы: почвы с содержанием гумуса 5–6%, 4–5% и 3–4 %. Количество классов, выделяемых при дешифрировании, и их границы были выбраны в соот-

ветствии с грациями гумусированности, использованными на почвенной карте хозяйства.

Распределение значений гумусированности в пространстве согласуется с рельефом местности. Наибольшее содержание гумуса (5–6%) отмечается на плакорной части дешифрируемого участка. Она протягивается с севера на юг, пересекая весь исследуемый массив полей, местами примыкая к его западной границе. К востоку и западу от плакора с повышением крутизны склонов содержание гумуса падает до 4–5%. Наименьшее содержание гумуса (3–4%) отмечается на крутых прибалочных склонах. В пределах дешифрируемого участка это преимущественно склоны южной экспозиции, расположенные в восточной его половине. Кроме них содержание гумуса 3–4% характерно для крупных эрозионных ложбин (рис. 3).

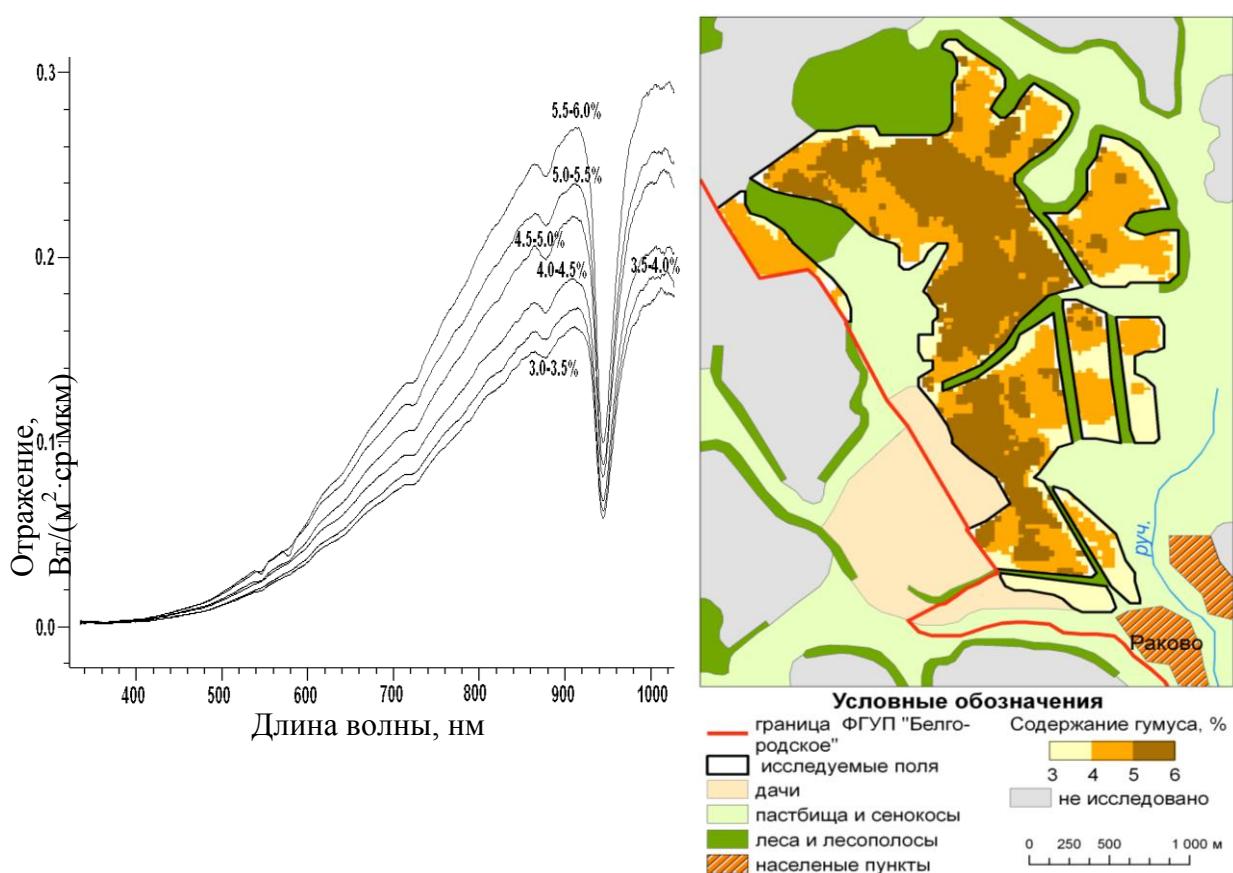


Рис. 3. Спектральная библиотека (справа) и результата дешифрирования содержания гумуса с ее применением (слева)

Гранулометрический состав почвы изучался на исследуемом участке, расположенном в Левобережном Поосколье. Исследуемые поля размещены на 2-4 террасах долины Оскола. Предварительное дешифрирование выполнено при помощи неконтролируемой классификации по алгоритму ISODATA. Количество классов при дешифрировании соответствует числу классов легенды (5 классов). В соответствии с полученными ареалами выбраны точки полевого обследования.

Выделена зависимость между отражением в третьем канале снимка Landsat и содержанием физической глины, которая позволяет провести расчет данного показателя. Величина ошибки ( $R^2=0.77$ ) соответствует аналогичным зависимостям, выявленным для других территорий. Больше всего ошибок возникло при дешифрировании песчаных и тяжелосуглинистых почв. Такая проблема связана с тем, что почвы этого гранулометрического состава наименее представлены в выборке, на основе которой создана формула расчета (рис. 4).

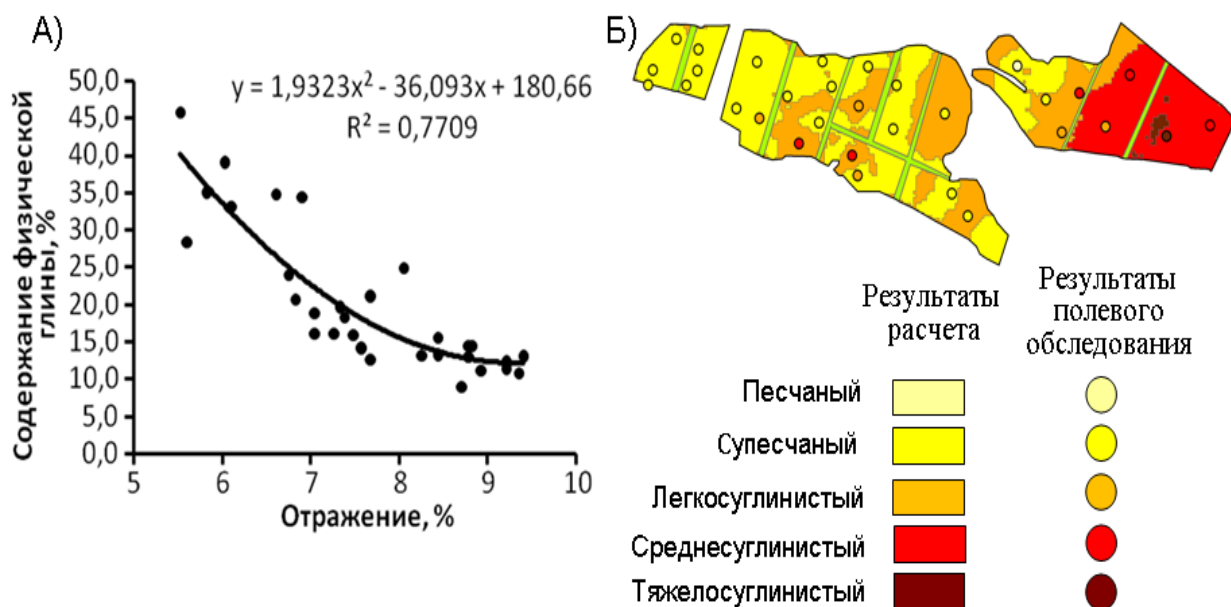


Рис. 4. Дешифрирование гранулометрического состава. А – связь между отражением в третьем канале Landsat и содержанием физической глины, Б – результат определения гранулометрического состава

В результате дешифрирования содержания гранулометрического состава на исследуемом участке выделены супесчаные, песчаные, легко-, средне- и тяжелосуглинистые почвы. Гранулометрический состав меняется с востока на запад, становясь более легким при продвижении к пойме Оскола.

Площадь солонцеватых черноземов в Белгородской области невелика. Однако в отдельных районах их встречаемость выше среднего по области. К территориям с наибольшим распространением этих почв относится водораздел Северского Донца и Оскола. Поэтому для разработки методики дешифрирования солонцеватых черноземов выбран исследуемый участок в этой части области – бассейны рек Дубенки, Орлика, Ольшанки.

Солонцеватые черноземы легко выделяются на космическом снимке при визуальном дешифрировании. В комбинации каналов Landsat 7:5:3 они отличаются темно-коричневым цветом, сильно контрастируя с окружающими черноземными почвами, которые на снимки имеют карамельно-коричневый цвет. Граница солонцеватых черноземов на космических снимках имеет четкий характер с резким переходом к окружающим почвам. Выделение солонцеватых черноземов производилось при помощи контролируе-

мой классификации по алгоритму максимального правдоподобия. Для облегчения дешифрирования создана маска территорий потенциального нахождения солонцеватых черноземов. По результатам дешифрирования составлена карта распространения солонцеватых черноземов на исследуемом участке в масштабе 1:200000, оценена площадь солонцеватых черноземов и проанализирована форма их ареалов (рис. 5).

В пределах исследуемого участка обнаружено 98 ареалов солонцеватых черноземов общей площадью 1010 га. Это составляет 1,3% от всей площади исследуемой территории и 2,2% от площади пашни на рассмотренном участке. Минимальная площадь ареала равняется 0,5 га, максимальная – 93,3 га. Среди выделенных контуров большинство имеет площадь до 5 га.

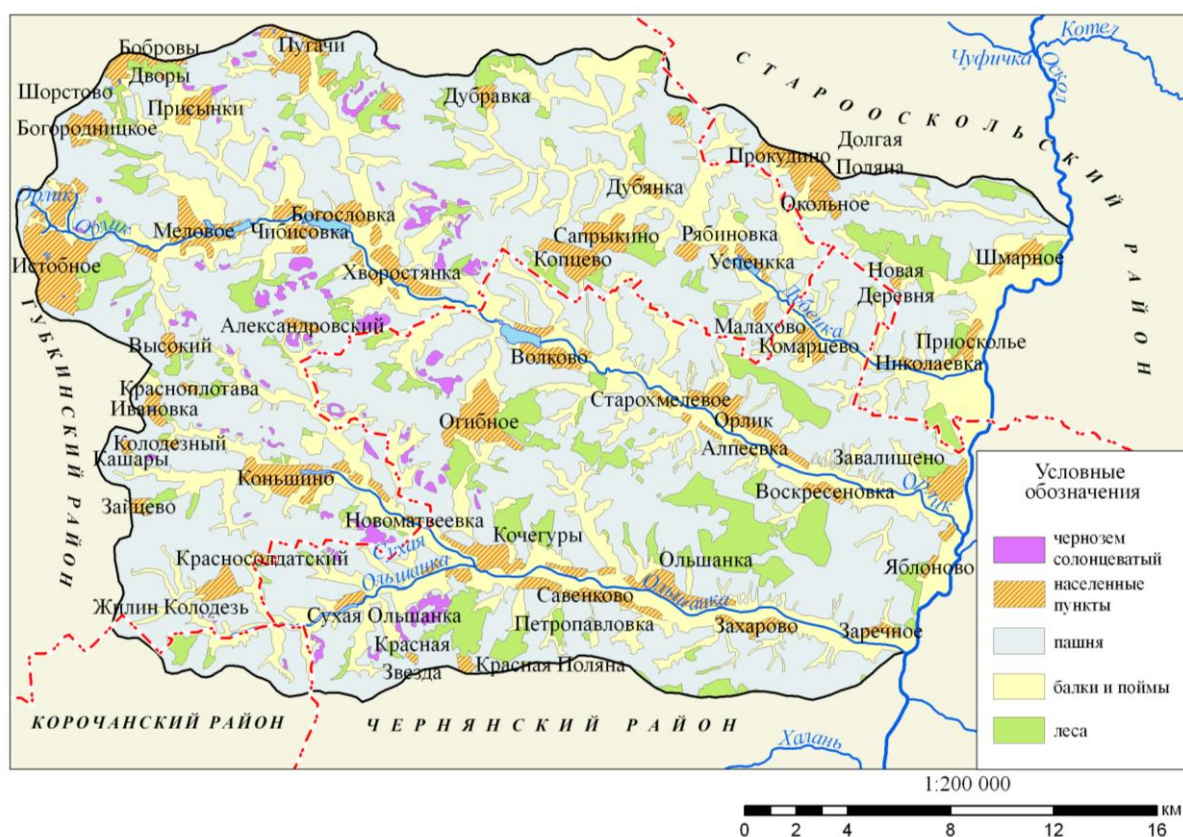


Рис. 5. Результаты дешифрирования солонцеватых черноземов

Все ареалы солонцеватых черноземов по форме разделяются на четыре группы: округлые, вытянутые, серпообразные и разветвленные ареалы. В то время как на почвенной карте Белгородской области масштаба 1:200000 они имеют только округлую или вытянутую форму. При картографировании в масштабе 1:10000 детальность нанесения соответствует требованиям выделения почвенных контуров, а точность нанесения границ соответствует масштабу 1:25000.

Для изучения эрозии почв пашни был выбран участок на стыке земель Губкинского и Старооскольского района. Он протянулся с севера на юг от восточной части хвостохранилища Лебединского ГОКа до долины реки Дубенка (рис. 6). Согласно схеме почвенно-эрозионного районирования Белго-

родской области участок относится к Верхнеоскольскому району, который располагается на севере области, в верховьях реки Оскол. Верхнеоскольский почвенно-эрозионный район отличается сильным эрозионным расчленением территории и сильным смывом почвы. В этом районе широко представлены сильноэродированные маломощные почвы, что является его отличительной чертой.

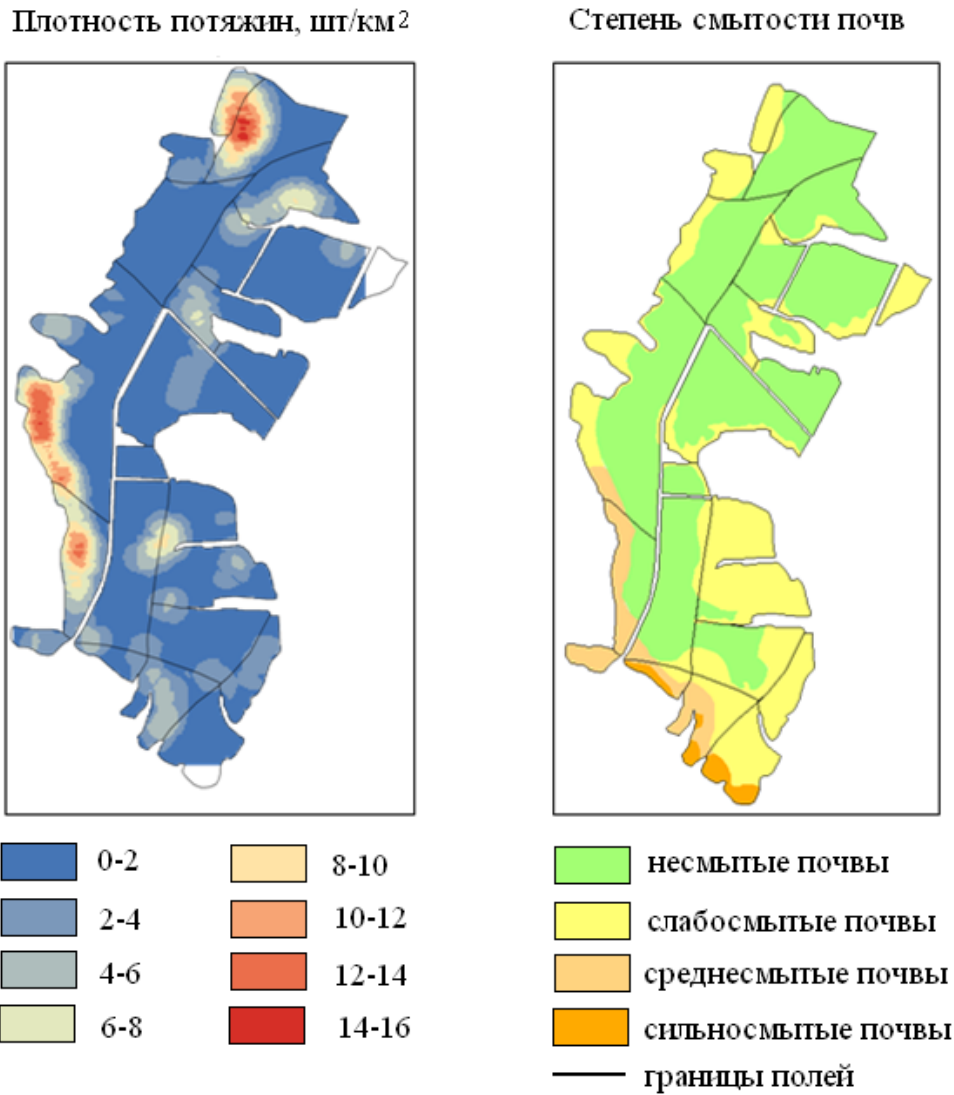


Рис.6. Результаты дешифрирования эродированности почв пашни

Для изучения линейной эрозии применено визуальное дешифрирование с ручной векторизацией линейных эрозионных форм по снимку со спутника IRS-1C за 31 января 2002 года. На снимках зимнего сезона съемки уверенно обнаруживаются потяжины, чему способствует низкий угол падения солнечных лучей зимой. Поскольку все поля находятся в одинаковом состоянии, покрытые относительно равномерным слоем снега, потяжины видны четче, чем в теплый период года, когда состояние полей различно. На основе полученных результатов дешифрирования рассчитана плотность линейных эрозионных форм. Общая длина потяжин составляет 36,49 км. Их распределение

отличается неравномерностью. По этому показателю на исследуемой территории можно выделить специфические участки: юго-западный и северо-западный (густота пятен колеблется в пределах от 8 до 16 шт/км<sup>2</sup>), центральный участок, приуроченный к пересечению двух водоразделов, (до 2 шт/км<sup>2</sup>), южный и северный половина (сочетаются участки с густотой пятен 0–2, 2–4 и 4–8 шт/км<sup>2</sup>).

Для дешифрирования проявления плоскостного смыва применена неконтролируемая классификация по алгоритму ISODATA. Интерпретация результатов классификации осуществлена путем сопоставления с почвенными картами хозяйств, рельефом и анализа взаимного пространственного расположения классов. Площадь сильносмытых почв по результатам дешифрирования составляет 21,9 га (1,8%), среднесмытых – 73,0 га (6,1%), слабосмытых – 385,6 га (32,3 %), несмытых – 713,3 га (59,8%). На почвенной карте эти почвы занимают соответственно 17,1 га (1,4%), 55,1 га (4,6%), 377,2 га (31,6%), 745,4 га (62,4%).

#### **4. Рекомендации по внедрению разработанных методик дешифрирования космических снимков в практику дистанционного мониторинга показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения.**

При разработке программы дистанционного мониторинга показателей плодородия необходимо решить следующие вопросы, касающиеся применения методик дешифрирования космических снимков:

- определение продолжительности программы мониторинга;
- определение необходимой периодичности проведения измерений,
- определение места дистанционных данных в процессе мониторинга и их соотношения с наземными данными,
- определение территории, охватываемой мониторингом,
- выбор формы выражения измеряемых показателей.

Длительность программы дистанционного мониторинга необходимо увязывать со временем нахождения спутника на орбите. Расчетный срок пребывания спутника на орбите составляет обычно 3-5 лет. Тем не менее, целый ряд спутников пробыли на орбите значительно большее время (Landsat 5 – 27 лет, SPOT 4 – 13 лет, IRS-1C – 16 лет). При разработке некоторых современных спутников, расчетный срок их работы на орбите был заложен равным 7-10 годам. Таким образом, существенным недостатком дистанционного мониторинга является относительная краткосрочность его программ. После прекращения функционирования спутника, на орбиту могут и не вывести новый спутник с таким же или близким по свойствам съемочным оборудованием. Рекомендуется создавать методики дистанционного мониторинга с учетом вероятного использования снимков с разных спутников, на которых установлена сходная по свойствам съемочная аппаратура.

В Приказе об утверждении «Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения» предусмотрено определение различных показателей плодородия в зависимости от скорости их изменения через пять и пятнадцать лет. С периодичностью раз в пять лет определяется содержание органического вещества в пахотном го-



ризонте. Раз в пятнадцать лет уточняется название почвы, ее гранулометрический состав, доля эродированных и солонцеватых почв. Практически любой спутник, независимо от временного разрешения съемки, позволяет подбирать один снимок в год. Чем выше временное разрешение (период между отдельными повторными съемками одного и того же участка), тем больше вероятность того, что снимок будет получен в удачное для проведения мониторинга время. На периодичность мониторинга влияет и пространственное разрешение космических снимков. Чем выше пространственное разрешение, тем более мелкие изменения можно обнаружить. Поэтому для дистанционного мониторинга необходимо использовать снимки с максимально высоким пространственным и временным разрешением.

По роли космических снимков в процессе мониторинга и характеру их сочетания с данными полевых обследований или картографическими данными можно выделить две формы проведения мониторинга: мониторинг с ведущей ролью космических снимков и мониторинг с их вспомогательной ролью. Ведущая роль в процессе мониторинга показателей плодородия принадлежит снимкам, если по ним определяются как границы почвенных выделов (контурное дешифрирование), так и их содержимое (генетическое дешифрирование). Это характерно для методик дешифрирования содержания гумуса, гранулометрического состава, типов и подтипов почв. При этом наземные данные могут применяться для оценки точности результатов и их коррекции.

Вспомогательная роль космических снимков в процессе мониторинга имеет место, если содержимое почвенных выделов, устанавливается исключительно на основе наземных обследований или существующих почвенных карт. Это характерно для методики дешифрирования почвенного покрова пастбищ и сенокосов и методики дешифрирования эродированности земель пашни.

При выборе территории охватываемой мониторингом возможны два подхода. Первый подход заключается в сплошном мониторинге какого-либо показателя плодородия в пределах всей пашни на территории хозяйства, административного района или области. Второй подход заключается в проведении выборочного мониторинга. В его рамках мониторинг проводится на участках, где существует значительная опасность развития деградации земель. Достоинством сплошного мониторинга является возможность получения максимально полных сведений об изменении показателей плодородия в пространстве. Преимуществом выборочного мониторинга является сокращение времени и трудозатрат на обработку космических снимков. Уменьшение площади, на которой определяются показатели плодородия, упрощает подборку космических снимков необходимого качества и уменьшает финансовые затраты на их приобретение.

Типичным примером методики, предназначенной для выборочного мониторинга, является подход к выделению ареалов солонцеватых черноземов по космическим снимкам. Непосредственно в самой методике заложено ограничение исследуемой территории, реализуемое через прием маскирования.

Предложенные методики дешифрирования содержания гумуса, гранулометрического состава, типов и подтипов почв пашни, почвенного покрова пастбищ и сенокосов являются количественными методиками. Методика дешифрирования степени эродированности земель может использоваться как в сплошном, так и в выборочном мониторинге. Решение о том или ином способе ее применения должно решаться на основе анализа текущей ситуации с развитием эрозионных процессов на исследуемой территории.

Показатели плодородия, для которых проводится дистанционный мониторинг, могут оцениваться и выражаться в качественной, количественной и полуколичественной форме. К методикам качественного определения показателей плодородия относятся: методика дешифрирования почвенного покрова пастбищ и сенокосов, методика выделения ареалов солонцеватых черноземов.

Количественными методиками можно получить градиентные (непрерывные) данные. К ним относится определение гранулометрического состава, типов и подтипов почвы. Показатель наименования почвы на уровне типа или подтипа является качественным показателем. Однако, описанная методика определения основана на расчете по космическим снимкам почвенного индекса. Он является условной количественной характеристикой почвы, поэтому данную методику можно считать количественной.

К полуколичественным методикам относится определение содержания гумуса в пахотном слое почвы. В результате ее применения этот показатель оценивается в нескольких числовых градациях, между которыми на карте будут проходить четкие границы и полученные результаты являются дискретными данными.

Методика дешифрирования эродированности земель, содержит в себе как компоненты количественного, так и компоненты качественного определения. К первым относится дешифрирование линейной эрозии с расчетом плотности эрозионных форм, ко вторым – дешифрирование плоскостного смыва.

## Заключение

Полученные в ходе исследования результаты позволили сформулировать следующие основные **выводы**:

1. В перечень контролируемых показателей методами ДЗЗ входят содержание гумуса, гранулометрический состав, солонцеватость, степень эродированности, название почвы.

2. В результате проведенного с использованием ДДЗ районирования земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области, выявлены типы сочетания угодий, сформировавшиеся под влиянием эрозионного расчленения местности в ходе хозяйственного освоения земель. В выделенных районах различается доля пашни, цельность и расчлененность ее ареалов. Эти различия обуславливают максимальный объем дистанционно получаемой почвенной информации, специфику процесса дешифрирования почвенного покрова, формируют особенности тематических задач.

3. В пределах пашни содержание гумуса дешифрируется на основе данных спектральной библиотеки, используемой в качестве пользовательского эталона. В масштабе 1:10000 эти данные применимы для проведения мониторинга. Снимки Landsat TM позволяют дешифровать этот показатель достаточно точно.

4. Гранулометрический состав пахотных земель дешифрируется на основе зависимости между отражением в третьем канале снимка Landsat и содержанием физической глины. Используя данную закономерность, содержание физической глины определяется по известной величине отражения, зафиксированной на космическом снимке. Величина ошибки ( $R^2=0.77$ ) соответствует аналогичным зависимостям, выявленным для других территорий.

5. Максимальная автоматизация процесса дешифрирования солонцеватых почв достигается при использовании метода классификации с обучением. Площадь контуров, выделенных по снимку Landsat, соответствует требованиям к почвенной съемке в масштабе 1:10000, а точность нанесения границ соответствует более мелкому масштабу (1:25000).

Проявление линейной эрозии определяется по результатам визуального дешифрирования эрозионных форм. Доля земель разной степени эродированности определяется при помощи автоматизированного дешифрирования, использующего оценку различий в тоне изображении каналов съемки.

6. Определение названия почвы по типу и подтипу методами ДЗЗ проводится при помощи автоматизированного дешифрирования на основе построения индексных изображений. Почвенный индекс рассчитывается на основе второго, третьего и четвертого канала Landsat и принимает значения при переходе от светло-серых лесных почв до типичных черноземов от -2,2 до -0.5.

7. Рекомендуются при разработке программ дистанционного мониторинга увязывать их продолжительность расчетным сроком работы используемого спутника. Необходимо выбирать периодичность проведения мониторинга в соответствии с временным и пространственным разрешением космической съемки. Показатели плодородия, для которых проводится дистанционный мониторинг, могут оцениваться и выражаться в качественной, количественной и полуколичественной форме, что определяется особенностями методики дешифрирования и характером определяемого показателя. В зависимости от степени неоднородности территории производится сплошной или выборочный мониторинг. Космические снимки в процессе мониторинга могут иметь ведущую или вспомогательную роль, что определяется особенностями используемых методик дешифрирования.

### **По материалам диссертации опубликованы следующие работы:**

**1. 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 // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2009. – №1. – С.55-60**

**2. Смирнова, Л.Г. Закономерности пространственного распределения гумуса в почвах эрозионных агроландшафтов / Л.Г. Смирнова, П.А. Украинский, И.Е. Новых // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №9. – С.19-21**

**3. Украинский, П.А. Изучение гранулометрического состава почв Поосколья по данным дешифрирования космических снимков / П.А. Украинский, О.А. Чепелев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011 – Т.13. – №1(5). – С. 1225-1229**

4. Украинский, П.А. Использование данных дистанционного зондирования в прецизионном земледелии/П.А.Украинский // Материалы Всероссийской конференции «Научный потенциал студенчества - будущему России" (г. Ставрополь, 20-21 апреля 2007 года). – Режим доступа: <http://science.ncstu.ru/conf/past/2007/stud/theses/environment/16.pdf/fil-download>

5. Чепелев, О.А. Геоинформационное обеспечение почвенно-экологического мониторинга в зоне добычи железных руд Курской магнитной аномалии / О.А.Чепелев, С.В.Кравцов, П.А.Украинский // Материалы Всероссийской конференции «Научный потенциал студенчества - будущему России" (г. Ставрополь, 20-21 апреля 2007 года). – Режим доступа: <http://science.ncstu.ru/conf/past/2007/stud/theses/environment/17.pdf/fil-download>

6. Новые технологии дистанционного зондирования Земли в организации экологического мониторинга / О.А. Чепелев, Г. Сыродоев, А. Герась, В.И. Соловьев, П.А. Украинский, И Сыродоев // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых: «Геоэкология и рациональное природопользование: от науки к практике» - Белгород, 2007. – С. 46-49.

7. Украинский, П.А. Сравнение эффективности различных алгоритмов классификации при выделении природных объектов на космических снимках / П.А. Украинский // Инновационные проекты в охране окружающей среды: Доклады Всероссийской научн.-техн. конф. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. – С. 235-239.

8. Украинский, П.А. Изменение состояния сосновых лесов в лесостепной части бассейна Северского Донца / П.А. Украинский // Материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Регион – 2008: общественно-географические аспекты» (17-18 апреля 2008 года, г. Харьков). – Харьков: ИРО ХНУ им. В.Н. Каразина, 2008. – С. 142-145.

9. Опыт интеграции геоинформатики и дистанционного зондирования Земли в работе центра коллективного пользования Белгородского госуниверситета / Ф.Н. Лисецкий, О.А. Чепелев, В.И. Соловьев, Э.А. Терехин, Украинский П.А. // Можливості супутникових технологій у сприянні вирішення проблем Миколаївщини. Миколаїв, 2008. - С. 8-11.

10. Украинский, П.А. Сокращение площади пашни и многолетних насаждений на территории Белгородского района Белгородской области в по-

следней четверти XX – начале XXI века /П.А. Украинский // Материалы междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Регион – 2009: общественно-географические аспекты» (23-24 апреля 2009 года, г. Харьков). – Харьков: ИРО ХНУ им. В.Н. Каразина, 2009. – С. 85-88

11. Украинский, П.А. Космический мониторинг сельскохозяйственной растительности / П.А. Украинский //Материалы конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения» XIII международная научно-производственная конференция (19-22 мая 2009) Белгород, 2009. – Издательство Белгородской ГСХА. – С.364

12. Чепелев, О.А. Изучение пространственной изменчивости гранулометрического состава почв левобережного Поосколья по данным дешифрирования космических снимков / О.А Чепелев, П.А. Украинский // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: Материалы IV Междунар. науч. конф. 11-14 октября 2010 г. – М.; Белгород: КОНСТАНТА, 2010 – С 506-510.

13. Смирнова, Л.Г. Особенности пространственного распределения гумуса в почвах склона и его количественная оценка / Л.Г. Смирнова, П.А. Украинский, И.Е. Новых // Управление производственным процессом в агротехнологиях 21 века: Материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 35-летию образования Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства. 15-16 июля 2010 г. – Белгород: «Отчий край», 2010. С. 24-27.

14. Украинский, П.А. Использование космических снимков Landsat для картографирования типов почв / П.А. Украинский // Материалы VII Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований». – Днепропетровск: ІМА-прес, 2010. – Вып 7. – С. 286-288

15. Украинский, П.А. Использование космических снимков для контроля изменения площадей водоемов // ИнтерКарто-ИнтерГИС – 16. Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт: материалы Междунар. науч. конф., 3-4.07.2010 г. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. – С. 561-564

16. Украинский, П.А. Применение разновременных снимков для изучения трансформации ландшафтов береговой зоны Таганрогского залива / П.А. Украинский, И.В. Шевердяев, А.Е. Цыганкова // Сборник трудов VI Международной науч.-практ. конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» (5-8.09.2010, СОЛ «Лиманчик»). – Ростов-на-Дону, 2010. – С. 392-395

17. Украинский, П.А. Использование данных дистанционного зондирования в прецизионном земледелии / П.А. Украинский // Вестник СНО. – Ч. 1. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2007 – С. 64-66.

*Первые три работы опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК России.*

**Получены следующие охранные документы на объекты интеллектуальной собственности:**

1. База данных «Значение спектральной отражательной способности обнажений горных пород Белгородской области». / Правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», авторы О.А. Чепелев, П.А. Украинский. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2008620368. Заявка № 2008620368, дата поступления 10.11.2008. Зарегистрировано в Реестре баз данных 11.01.2009.

2. База данных индикаторов состояния земельных, водных ресурсов и климатических параметров / Правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», авторы: В.И. Соловьев, П.А. Украинский, Э.А. Терехин. Свидетельство о гос. регистрации базы данных № 2010620071. Заявка № 2009620598, дата поступления 01.12.2009. Зарегистрировано в Реестре баз данных 29.01.2010.

3. Программа мониторинга входных индикаторов, используемых в динамических глобальных моделях растительности (DGVMs) / Правообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородский государственный университет», авторы: В.И. Соловьев, П.А. Украинский, Э.А. Терехин. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2010610926. Заявка № 2009616889, дата поступления 2.12.2009. Зарегистрировано в Реестре баз данных 29.01.2010.

## **ОГЛАВЛЕНИЕ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

#### **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ В ПОЧВЕННОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ**

1.1. Потребность в дистанционном исследовании почвенного покрова

1.2. Требования к космическим снимкам и методам их обработки, применяемым для исследования почвенного покрова агроландшафтов

1.3. История и современные достижения космических исследований почвенного покрова

#### **2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ЗЕМЕЛЬ**

2.1. Общая схема обработки космических снимков

2.2. Применяемое программное обеспечение

2.3. Предварительная обработка

2.4. Тематическая обработка

2.5. Постклассификационная обработка

#### **3. АНАЛИЗ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ УСЛОВИЙ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЗЕМЕЛЬ**

3.1. Природные условия и история освоения территории Белгородской области

3.2. Особенности дешифрирования почвенного покрова в различных частях Белгородской области

3.3. Дешифровочные признаки почв Белгородской области

#### **4. РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СНИМКОВ СО СПУТНИКА LANDSAT 5TM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИК ДИСТАНЦИОННОЙ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ**

4.1. Дешифрирование почвенного покрова пашни

4.2. Дешифрирование свойств почвы пашни

4.3. Дешифрирование почвенного покрова пастбищ и сенокосов

#### **5. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК ДЕШИФРИРОВАНИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА**

5.1. Особенности ведения дистанционного мониторинга в современных условиях

5.2. Использование ГИС-технологий для сравнения разновременных данных

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **ЛИТЕРАТУРА**

