

УДК 631.4:445.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

С.Ю. Булыгин¹, А.Б. Ачасов², Ф.Н. Лисецкий³

¹ Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Я. Горина, Россия, 308503, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

² Украина, Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева, Украина, 62483, Харьковская обл., Харьковский р-н, п. Коммунист

E-mail: achasovab@rambler.ru

³ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: liset@bsu.edu.ru

Представлена схема интегрального анализа цифровых моделей рельефа и данных дистанционного зондирования для получения прогнозных почвенных карт. Геоинформационный анализ рельефа позволяет оценить почвообразующий потенциал изучаемой территории, а космическое зондирование предоставляет информацию о современном состоянии почвенного покрова. Предлагаемый подход позволяет унифицировать и объективизировать процесс выделения почвенных контуров.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, ГИС-технологии, цифровые модели рельефа, почвенные карты, картографирование почв.

Известно, что крупномасштабное почвенное картографирование обязательно должно опираться на топографические карты местности или данные аэрокосмической съемки [1, 2]. Именно эти материалы являются основой для перевода дискретной информации о почвах в картографическую форму.

Необходимо отметить уникальность этих двух источников информации – альтернативой им может быть лишь геостатистическая интерполяция по точечным данным, которая, однако же, требует значительного количества точек опробования, достаточно затратная и, как указано в самом термине, не предназначенная для экстраполяции [3].

Разумеется, использование топографических материалов и данных дистанционного зондирования (ДДЗ) для пространственного прогнозирования распределения почвенных характеристик также нельзя назвать экстраполяцией в сугубо математическом значении этого термина. Но в отличие от геостатистики, опирающейся при построении квазиповерхностей лишь на анализ пространственной структуры самой исследуемой переменной, эти материалы, как «матрицы», могут при наличии четких индикационных моделей объективно воссоздавать определенные характеристики почвенного покрова.

При этом, если аэрокосмические материалы предоставляют информацию о почвенных параметрах, связанных с оптическими свойствами поверхности, то топографические карты позволяют прогнозировать (через обоснование границ) структуру почвенного покрова, исходя из анализа влияния рельефа на развитие морфофункциональных элементарных почвенных процессов.

Такой подход приобрел особую актуальность в последние годы в связи со стремительным развитием компьютерных технологий, позволившим быстро обрабатывать большие массивы данных, строить, анализировать и визуализировать сложные квазиповерхности по типу цифровых моделей рельефа (ЦМР).

В современном почвоведении количественный анализ ЦМР активно используется для установления корреляционных зависимостей между отдельными почвенными параметрами и характеристиками рельефа [4, 5, 6], оценки изменения структуры почвенного покрова [7], построения почвенных карт [8, 9]. Особый интерес вызывают примеры картографирования почв с использованием ЦМР и ДДЗ. Перспективность данного направления обусловлена возможностью взаимодополняемости и взаимозаменяемости этих видов информации.

На примере дешифрирования космической съемки территории штата Аризона установлено [10], что выделенные 12 спектральных классов (ареалов) хорошо коррелируют с таки-

ми показателями, как материнская порода, крутизна и экспозиция склона. Однако эти зависимости имели преимущественно локальный характер, связанный с ландшафтными особенностями исследуемой территории. Четких детерминированных связей между ДДЗ, параметрами рельефа и почвенного покрова установлено не было. Авторы отмечают, что полученные в результате исследований картографические материалы являются лишь дополнительными к традиционным почвенным картам.

В результате комбинирования ДДЗ и параметров цифровой модели рельефа для исследования почв в условиях сложного рельефа штата Висконсин [11] определено, что полученная таким способом пространственная почвенная классификация на 72% совпадает со среднemasштабной почвенной картой. Отметим, что классификацию проводили преимущественно по ландшафтным критериям.

Указано [6], что совместный учет геоморфологической неоднородности территории, определяемой при помощи ЦМР, вместе с дистанционно определяемым индексом вегетации значительно улучшают результаты почвенного картографирования.

Amesskamp и Lamp [120] считают, что современная земельная геоинформационная база Германии должна базироваться на совместном использовании ДДЗ, топографических и фондовых почвенных карт

Несмотря на преимущества аэрокосмических методов, их широкое использование для определения почвенных свойств ограничено погодными условиями и экранированием почвы растительным покровом. Это определяет значимость для верификации ДДЗ подспутниковых работ, например, применяя цифровые фотоаппараты для определения содержания гумуса по окраске почв [13].

Показателен пример совместного использования ЦМР и ДДЗ, продемонстрированный в работе [14]. На первом этапе проводили дешифрирование космических снимков с целью получения классификации земельных ресурсов: застройка, лес, сельскохозяйственные земли и т.п. Затем выполняли классификацию рельефа, заключающуюся в последовательном выделении по ЦМР форм рельефа от макро- до микроуровня. Полученную пространственную классификацию совместили с геологической картой местности, позволило обособить «земельные единицы» (*soil land units*) разного ранга. К примеру, наиболее низкий (детальный) уровень «земельных единиц» выделяется по критериям экспозиции и крутизны склонов. Данные ДДЗ используются как дополнительный критерий для определения границ выделенных групп.

Сорокиной и Козловым [15] предложен оригинальный подход к крупномасштабному картографированию дерново-подзолистых почв. Авторы использовали ряд параметров рельефа (площадь водосбора, индекс влажности и др.), а также ДДЗ (яркости спектральных каналов, индекс NDVI) в качестве индикационных характеристик для составления цифровых почвенных картосхем.

Hengl и Rossiter [16] приводят пример совместного использования ДДЗ и ЦМР при создании почвенных картографических материалов для района Хорватии общей площадью 1000 км². По ДДЗ выделяли однородные почвенно-ландшафтные участки, которые в дальнейшем сравнивали с картосхемами отдельных параметров рельефа. В выводах отмечается целесообразность и эффективность такого подхода. Аналогичный подход был использован в работе [17] для создания мелкомасштабной карты почв одного из регионов Венгрии.

Целью статьи является представление нового подхода к обеспечению картографической основой процесса полевого почвенного обследования путем составления крупномасштабных прогнозных почвенных карт, основанных на количественном интегральном анализе топографических и аэрокосмических материалов.

Объекты и методы исследований. Полевые исследования проводили в 2000-2001 гг. на территории агрофирмы «Шахтер» Славянского района Донецкой области. В качестве полигона были выбраны два расположенных рядом поля общей площадью 108 га. На данной территории заложили 5 почвенных разрезов и отобрали 3 образца из слоя 0-10 см (рис. 1-2).

Разрез № 250. Чернозем обыкновенный на элювии песчаников: А 0-40 см, АВ 40-65 см, В 65-91 см, С > 91 см. Содержание гумуса (Н) – 1,6%. Содержание физической глины (ФГ) – 27%. Крутизна склона (К) – 3,5°, Экспозиция (Э) – 140°.

Разрез № 253. Чернозем обыкновенный слабосмытый на лессовидных суглинках: А 0-30 см, АВ 30-48 см, Вк 48-70 см, Рк > 70 см. Н=4,7%. ФГ=58%. К=2°. А=100°.

Разрез № 256. Чернозем обыкновенный на элювий песчаников, подстилаемый плотными глинами: А 0-28 см, АВ 28-34 см, В 34-48 см, С 48-92 см, D > 92 см. Н=1,8%. ФГ=37%. К=5,7°. Э=170°.

Разрез № 257. Чернозем обыкновенный на элювий песчаников, подстилаемый плотными глинами: А 0-30 см, АВ 30-41 см, В 41-61 см, С 61-100 см, D > 100 см. Н=1,5%. ФГ=35%. К=5,7°. Э=165°.

Разрез № 258. Чернозем обыкновенный среднесмытый на лессовидных суглинках: Ак 0-28 см, АВк 28-40см, Вк 40-50 см, Ск > 50 см. Н=4,0%. ФГ=63%. К= 6°. Э = 185°.

Точка № 251. Н=1,8%. ФГ=43%. К=3,8°, Э = 125°.

Точка № 254. Н=4,6%. ФГ=55%. К=2,1°, Э = 105°.

Точка № 255. Н=1,7%. ФГ=36%. К=5,7°, Э = 165°.

Заметим, что данный полигон был лишь одним из многих изученных в рамках этой проблематики [09, 20] и его выбор в качестве объекта исследования был обусловлен двумя основными причинами.

Во-первых, на исследовательский полигон была собрана наиболее полные фондовые данные, а именно: разноплановые и разновременные космические снимки; топографическая карта масштаба 1: 10000; почвенная карта того же масштаба (рис. 1), полученная по традиционной методике без применения ДДЗ. Таким образом, были смоделированы оптимальные условия подготовительного этапа почвенного обследования. Отметим, что легенда карты отражает точку зрения [21], согласно которой влияние эрозии на почвенный покров незначительно, а укороченность профиля почв объясняется, главным образом, природными условиями их образования. В этом контексте термин «слабоксероморфная почва» использован для почвы, которая имеет незначительно меньшую мощность профиля по сравнению с модальной. Согласно традиционным воззрениям такая почва могла бы называться слабосмытой.

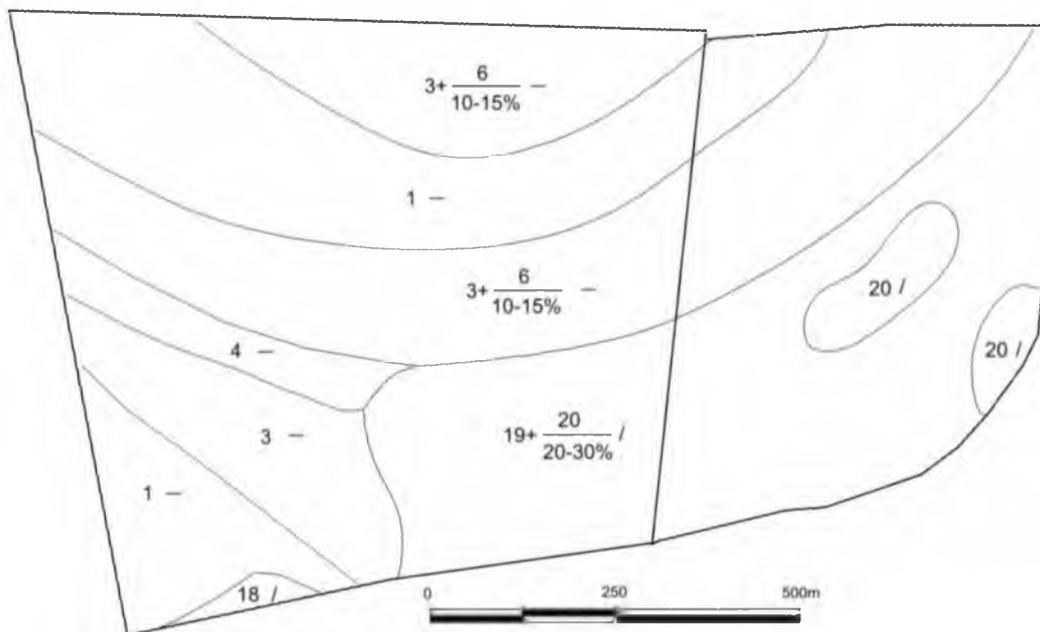


Рис. 1. Фрагмент архивной почвенной карты исследуемой территории

1 – чернозем обыкновенный легкоглинистый на лессах; 3 – чернозем обыкновенный легкоглинистый слабосероморфный на лессах; 4 – чернозем обыкновенный легкоглинистый среднесероморфный на лессах; 6 – чернозем обыкновенный легкоглинистый слабосмытый на лессах; 18 – чернозем среднесуглинистый на элювии песчаников; 19 – чернозем среднесуглинистый слабосероморфный на элювии песчаников; 20 – чернозем среднесуглинистый среднесероморфный на элювии песчаников

Во-вторых, почвенный покров полигона характеризуется значительной пестротой, что хорошо отображает рис. 2. Тоновая неоднородность космического снимка открытых почв объясняется тремя основными факторами: 1) эродированностью почвенного покрова; 2) разнообразием материнских пород (лессы и песчаники), что обуславливает неоднородность гранулометрического состава почв и, как следствие, существенные различия в их гумусированности и окраске; 3) влиянием рельефа на гидротермические условия почвообразования и гумусонакопления.

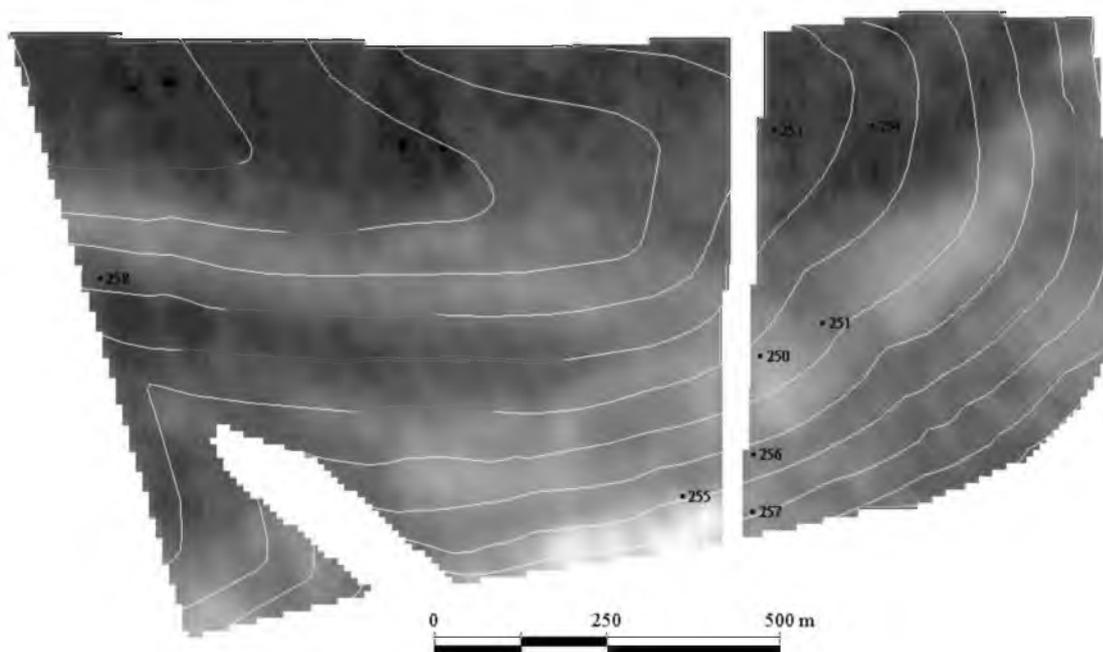


Рис. 2. Космическое изображение (КА IRS) тестовых полей №№1-2 с наложенными горизонталями (сечение рельефа – 5 м)

Схема исследований предполагала построение прогнозной почвенной карты полигона на основании интегрального анализа ЦМР и ДДЗ с привлечением архивной карты почв. Для анализа и проверки прогнозной карты было решено использовать полученные ранее данные о почвах полигона.

Отметим, что предлагаемый подход к составлению прогнозных почвенных карт на базе количественного интегрального анализа разноплановых материалов применим в первую очередь к зональным автоморфным почвам, преобладающим на территории лесостепной и степной зон.

На базе архива ГНПЦ «Природа» был сформирован пакет ДДЗ, состоящий из снимков: 1) КА Landsat-4; дата съемки – 22.08.1988; многоспектральное сканирование по семи спектральным каналам (мкм): 1) 0,45-0,52; 2) 0,52-0,60; 3) 0,63-0,69; 4) 0,79-0,90; 5) 1,55-1,75; 7) 2,08-2,35; разрешающая способность съемки в каналах №№1-5,7 – 28,5 м, №6 – 120 м.; 2) КА «Ресурс-Ф1», камера КФА-1000; дата – 19.08.1985; цветная спетрозональная фотосъемка в диапазоне – 0,57-0,81 мкм; разрешающая способность после оцифровки негатива снимка – 10-12 м; 3) КА IRS; дата – 07.05.2003; панхроматическая съемка в диапазоне 0,5-0,75 мкм; разрешающая способность – 5,8 м. Все снимки получены в условиях нулевой облачности. Подбор материалов ДЗЗ проводили с учетом погодных условий, что позволило отобрать снимки, характеризующие воздушно-сухое состояние почвы, и снять вопрос о влиянии влажности на окраску почвы

Цифровая модель рельефа была получена путем сканирования топографических карт масштаба 1:10000. Отвекторизованные изогипсы рельефа с помощью геоинформационной системы TNTlite были преобразованы в растровое изображение высот местности.

Результаты исследований и их обсуждение

Поскольку реальную пространственную картину современного состояния почвенного покрова может дать только дистанционное зондирование, на первом этапе изучали временную динамику цветовой неоднородности почв полигона. В частности требовал подтверждения вопрос: не связана ли пестрота наиболее актуального по времени снимка, выполненного КА IRS, с иными неучтенными факторами, например, какими-либо технологическими операциями либо наличием на поле растительных остатков.

Статистический анализ ДДЗ показал, что между одновременными снимками наблюдается сильная корреляция. Коэффициенты корреляции колебались в пределах $r=0,74-0,88$ в

зависимости от типа снимка и используемого канала. Учитывая разницу в регистрирующей аппаратуре спутников, разрешающей способности съемки, а также в ее спектральном диапазоне, можно предположить, что за период 1985-2003 гг. на исследуемой территории не получили отражение эрозионные процессы такой интенсивности, которые могли бы привести к значительной трансформации структуры почвенного покрова. Также можно считать доказанным, что яркостная вариабельность космического снимка 2003 г. обусловлена именно цветовой неоднородностью почвенного покрова.

Для изучения пространственной структуры почвенного покрова по его отражательным свойствам был использован кластерный анализ, эффективность которого в решении задач дистанционной почвенной картографии показана на многочисленных примерах. Применяли итеративный метод группировки, процедура К-средних, мера расстояния – эвклидова. В качестве переменных выступали значения яркостей космических изображений открытой почвы.

Результаты анализы использовали для составления картосхемы отражательной способности почв полигона, на которой выделено четыре внутренне однородных кластера-ареала (рис. 3). Отметим, что отражательная способность почв увеличивается от первого кластера к четвертому: среднее значение яркости для 1 кластера составляет 85, для второго – 93, для третьего – 100, для четвертого – 116. Соответственно, основываясь лишь на ДДЗ, можно предположить, что один кластер характеризует наиболее «темные», высокогумусные почвы. Однако отметим условность такой однозначной интерпретации. Так, например, смытые легкоглинистые и несмытые песчаные почвы могут иметь одинаковую яркость на снимке. Последнее актуально для нашего случая, т. к. анализ архивной почвенной карты и результаты полевых исследований, показали, что юго-восточная часть полигона представлена почвами легкого гранулометрического состава, сформировавшимися на элювии песчаников.

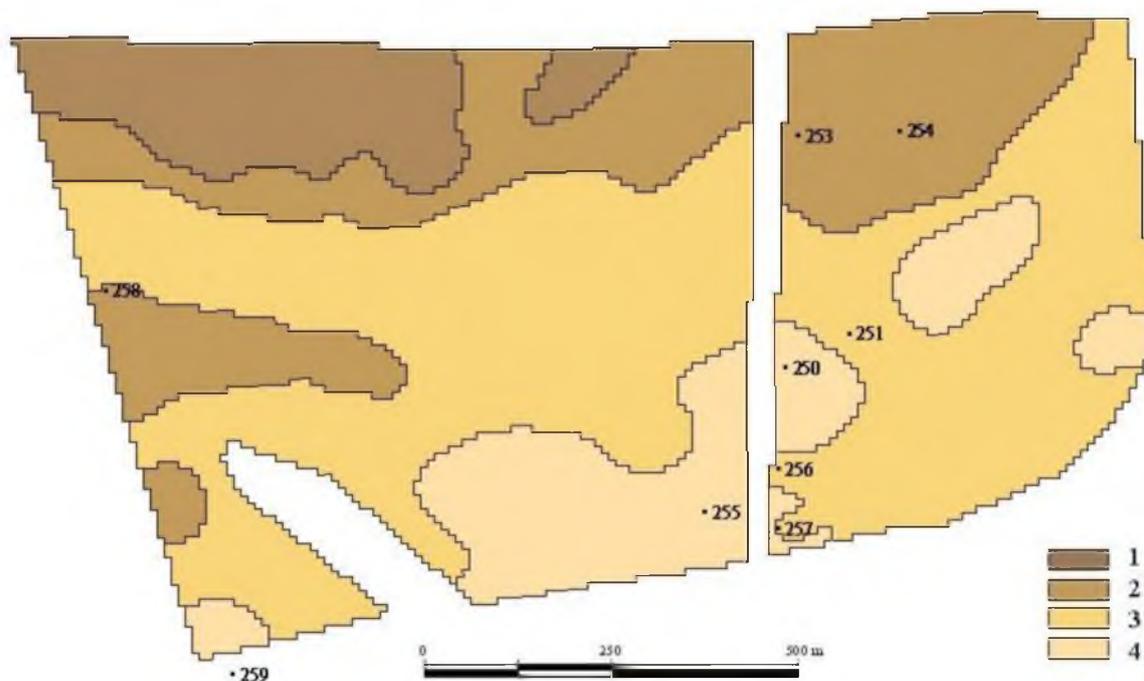


Рис. 3. Картосхема отражательной способности почв, созданная по результатам кластерного анализа ДДЗ. 1, 2, 3, 4 – номера кластеров

Следующим этапом исследований было преобразование ЦМР полигона в растровые изображения уклонов и экспозиций данной территории, поскольку именно эти параметры в первую очередь регулируют поступление солнечной радиации и осадков в почву, и соответственно, влияют на ее строение и плодородие. Для количественного учета этого влияния нами предложено использовать коэффициент ксероморфности (K_k) [18], который характеризует изменение гидротермических условий для конкретного участка рельефа в сравнении с горизонтальной поверхностью:

$$K_k = K_i / K_u,$$

где K_i – коэффициент инсоляции, отражающий поступление прямой солнечной радиации на реальный склон в сравнении с горизонтальной поверхностью; K_u – коэффициент относитель-

ного увлажнения, характеризующий поступление влаги в почву на данном склоне в сравнении с горизонтальной поверхностью.

Методика расчета приведенных коэффициентов изложена в ряде работ [19, 18]. Коэффициенты могут быть использованы как для вычисления абсолютных значений солнечной радиации и осадков для конкретных склонов, так и в качестве относительных параметров, характеризующих пространственный почвообразующий «потенциал» местности. Отметим, что Кк по своей сути близок радиационному индексу сухости, который широко используется в географии для оценки климатических условий ландшафтообразования. Разумеется, Кк не может полностью отразить влияние рельефа на почвообразование (так он не учитывает длину склона и его форму), однако в первом приближении он позволяет количественно оценить гидротермические условия в каждой точке рельефа.

Эффективность использования Кк при исследовании почвенного покрова была подтверждена по выборкам, состоящим из 124 и 23 разрезов для условий степи и лесостепи соответственно. Было установлено, что Кк тесно связан с содержанием гумуса в черноземах и мощностью их профиля [18] и, соответственно, может выступать предиктором при почвенном картографировании [20].

Исследуемая территория была разделена на четыре зоны (рис. 4) в соответствии со сложившимся гидротермическим условиями: 1-я зона (зона модальных гидротермических условий) характеризуется значениями Кк от 1 до 1,1; 2-я зона (зона слабой ксероморфности) – Кк = 1,1-1,2; 3-я зона (зона средней ксероморфности) – Кк = 1,2-1,3; 4-я зона (зона сильной ксероморфности) – Кк > 1,3.

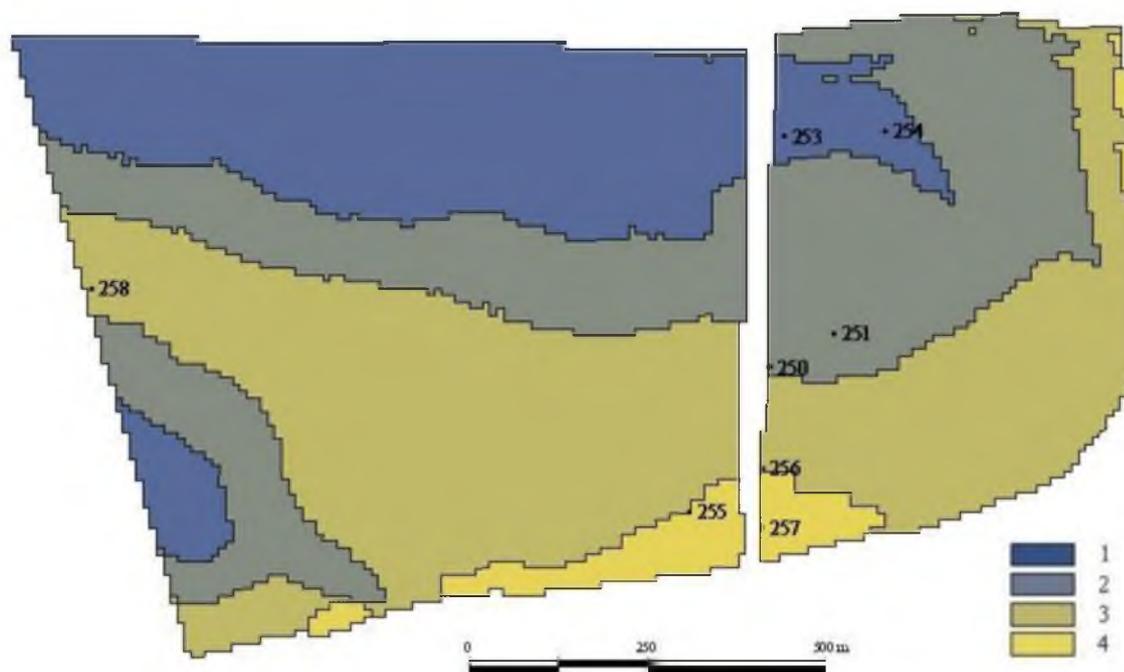


Рис. 4. Картограмма распределения по гидротермическим условиям:
1 – Кк=1-1,1; 2 – Кк=1,1-1,2; 3 – Кк=1,2-1,3; 4 – Кк>1,3

Такое зонирование было обусловлено рядом причин. Во-первых, результаты предыдущих исследований [18] свидетельствуют о том, что зависимость между Кк и рядом параметров почвы близка к линейной. В связи с этим, при анализе гидротермических условий территории целесообразно использовать также равномерную линейную шкалу. Во-вторых, согласно современной концепции рационального использования земельных ресурсов, территории с крутизной более 5° рекомендуется выводить из интенсивной обработки. Соответственно, и обследование этих земель не будет требовать такой же степени детальности, как, например, привокзальных участков. Поскольку коэффициент ксероморфности склона крутизной 5° южной экспозиции (т. е. наиболее засушливый вариант) составляет 1,294, то к четвертой группе были отнесены все земли с Кк>1,3, без дальнейшей их дифференциации по данному признаку.

Полученная картограмма позволяет объективно выделять участки с однородными условиями почвообразования и дает возможность прогнозировать пространственную структуру почвенного покрова. Недостатки полученных материалов: 1) невозможность учета фактора ма-

теринских пород, что может существенно повлиять на результаты картографирования; 2) «идеальность» полученных материалов, характеризующих квазицелинное состояние почвенного покрова и не отражающих произошедшие с ним изменения.

Логично предположить, что интегральный анализ ДДЗ и ЦМР позволит ликвидировать недостатки каждого из информационных источников и добиться определенного эффекта эмерджентности. Картосхема ксероморфности становится своеобразным нуль-моментом, эталонным изображением незероированного почвенного покрова территории, а картосхема отражательной способности почв фиксирует их актуальное состояние. Наложение эти карт позволит еще на подготовительном этапе почвенного обследования выделить ареалы потенциально смытых почв, и в дальнейшем, при проведении почвенной съемки, сконцентрировать на них дополнительное внимание.

Проиллюстрируем сказанное на примере анализа северной части полигона, представленной почвами одинакового гранулометрического состава. Разрез №253 отнесен к первой (модальной) зоне гидротермических условий, что говорит об оптимальных гидротермических условиях почвообразования, близких к плакорным. Отметим, что данная почва уступает по мощности и гумусированности чернозему обыкновенному модальному (разрез № 100), описанному на соседнем поле в условиях выровненного водораздела, и характеризующемся следующими параметрами: мощность профиля – 90 см, Н=5,3%, ФГ=62%. Отличия между данными почвами могут быть объяснены как результатом эрозионных процессов, так и худшей влагообеспеченностью склонового варианта вследствие повышенной эвапотранспирации и потери влаги с поверхностным стоком [21]. Согласно картосхеме отражательной способности почв (рис. 3) разрез №253 относится лишь ко второму по яркости кластеру. Таким образом, можно предположить, что на территориях со схожими гидротермическими условиями (модальная зона ксероморфности) в нынешних условиях можно выделить два ареала почв, существенно отличающихся по содержанию гумуса в верхнем слое. К сожалению, нам не удалось подтвердить это предположение фактически. Тем не менее, допустимо охарактеризовать почвы ареала территориально совпадающего со вторым оптическим кластером, как слабосмытые, а почвы первого кластера – как несмытые.

В таблице предложен вариант дешифрирования результатов интегрального анализа ДДЗ и ЦМР для условий, когда почвенный покров представлен черноземами, сформировавшимися на однородных материнских породах. Если предположить, что вся территория полигона представлена несмытыми черноземами одного гранулометрического состава, то изображения 3 и 4 должны быть идентичны, а все контуры, выделенные на них, будут характеризоваться совпадением номера кластера и зоны. Например, почвенный ареал северо-западного участка полигона, выделяемый при пересечении 1 кластера и 1 зоны, на предварительном этапе почвенного обследования получит следующую прогнозную диагностику – чернозем модальный. Использование архивной почвенной карты позволит уточнить номенклатуру, например – чернозем обыкновенный модальный легкоглинистый. Контуры вторых номеров анализируемых картосхем можно предварительно охарактеризовать как слабоксероморфные, третьих – среднексероморфные, четвертых – сильноксероморфные.

Таблица

Матрица дешифрирования результатов интегрального анализа ЦМР и ДДЗ

	1 кластер	2 кластер	3 кластер	4 кластер
1 зона Кк<1.1	модальные плакорные почвы	слабосмытые*/ модальные	средне / слабосмытые	сильно / среднесмытые
2 зона Кк=1.1-1.2	модальные / намывные	слабоксероморфные почвы	слабосмытые слабоксероморфные / слабоксероморфные	среднесмытые слабоксероморфные / слабосмытые слабоксероморфные
3 зона Кк=1.2-1.3	намывные	среднексероморфные / намывные	среднексероморфные почвы	слабосмытые среднексероморфные / среднексероморфные
4 зона Кк >1.3	намывные	намывные	среднексероморфные / намывные	сильноксероморфные почвы

*Примечание. Вероятностная интерпретация контура: в числителе более, в знаменателе – менее вероятная оценка.

При классификации контуров, образовавшихся в результате комбинации рангов n зоны и n+1 кластера картосхем 2-3, следует учесть, что такой пограничный вариант может быть вызван определенным техническим браком, поэтому в таблице приводится вероятностная интерпретация контура.

Особое внимание уделяется контурам, образовавшимся в результате комбинации рангов n и $n+2$, например: 1 зона и 3 кластер соответственно. Такой вариант свидетельствует, что при модальных гидротермических условиях почвы данного контура имеют более низкие значения яркости поверхности, что может быть вызвано, как изменением гранулометрического состава, так и влиянием эрозии. В таком случае обращаются к архивной карте. Если картографическая информация подтверждает изменение литологической серии в данном контуре, его предварительно характеризуют согласно номенклатуре архивной карты. Если же согласно карте гранулометрический состав однороден по всей территории поля – делается прогноз о средней степени эродированности почв контура. Учет пространственного влияния гранулометрического состава может быть формализован путем преобразования карты почв в картосхему содержания физической глины и включения ее в дальнейший анализ. Другой пример: контур, образовавшийся на пересечении четвертой зоны ксероморфности (засушливые условия) и первого кластера яркости (самые темные по цвету почвы). Делается прогнозный вывод о том, что это намывные почвы. Уточним, что на данном этапе наших исследований, рассматривается ситуация, исключающая гидроморфизм.

Технически автоматическое выделение прогнозных ареалов может быть легко выполнено в ГИС с помощью кластерного анализа: выделяются все возможные ареалы, возникающие на пересечениях зон гидротермических условий, кластеров яркости изображения и контрастных по ФГ выделов (рис. 5). Эти территории в дальнейшем будем называть «контурами». Выделение таких контуров проводится только в случае, если их площадь составляет не менее 50% от каждого из выделов на исходных картосхемах. В противном случае контур присоединяется к одному из соседних больших контуров.

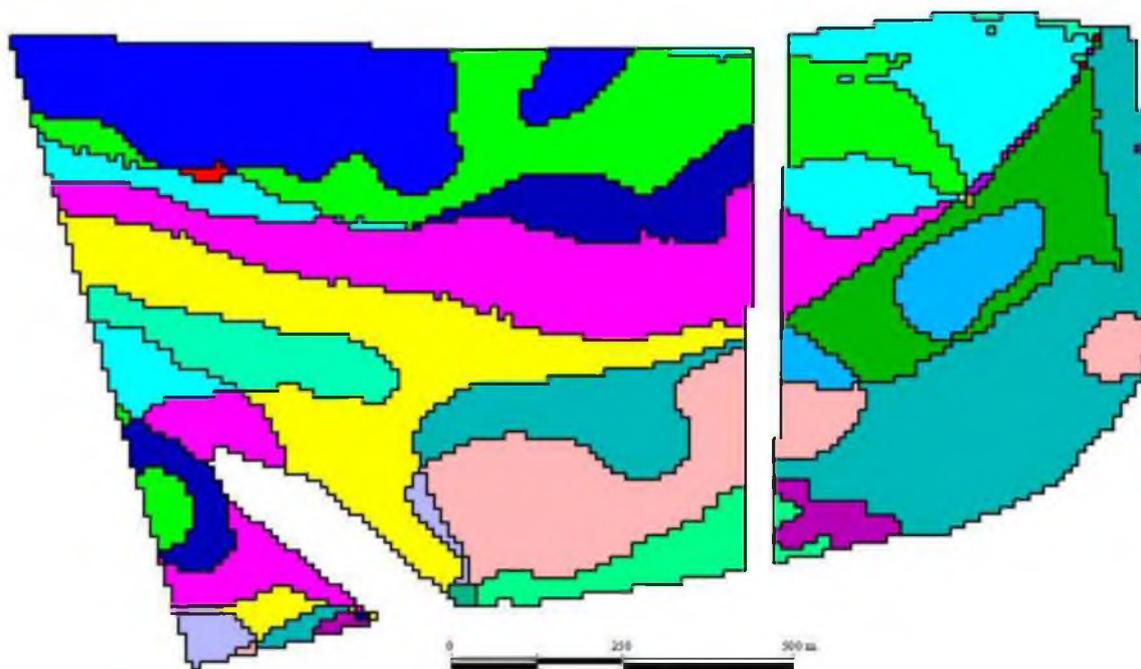


Рис. 5. Первичные результаты интегрального анализа ДДЗ и ЦМР

На следующем этапе производили генерализацию полученной картосхемы – прототипа новой почвенной карты, согласно тематике картографирования и заданному масштабу. Используются два вида генерализации:

а) физический. Выполняется выбраковка «островков» – контуров, имеющих незначительную площадь. Технически выбраковка реализовывалась при помощи модуля «Morphological Function» ГИС TNTlite. В результате «островки» либо присоединяли к какому-то из уже классифицированных контуров (как правило), либо – в случае сосредоточения одиночных «островков» – объединяли в один большой контур.

б) номенклатурный. Проводили объединение контуров, относительно которых в ходе анализа архивных материалов была доказана их почвенная однородность или родственность (комплексность).

Результат такой обработки представлен на рис. 6. Каждый контур данного рисунка характеризуется соответствующим шифром, состоящим из порядкового номера зоны, порядкового номера кластера и значка, показывающего гранулометрический состав почвы, например: 1+2 /.

Приведем предварительную номенклатурную характеристику полученных контуров: «1+1-» – чернозем обыкновенный модальный легкоглинистый на лессах; «1+2-» – чернозем обыкновенный легкоглинистый на лессах в комплексе с черноземом смытым; «2+3-» – чернозем обыкновенный слабосероморфный легкоглинистый на лессах в комплексе с черноземом смытым; «3+3-» – чернозем обыкновенный среднесероморфный легкоглинистый на лессах; «3+3/» – чернозем среднесероморфный среднесуглинистый на элювии песчаников; «3+2-» – чернозем обыкновенный среднесероморфный намытый легкоглинистый на лессах; «3+4/» – чернозем среднесероморфный смытый среднесуглинистый на элювии песчаников; «4+4/» – чернозем сильносероморфный среднесуглинистый на элювии песчаников.

Тип и подтип почвы, литологическую серию и разновидность определяли по архивной почвенной карте. Род (модальность, эродированность) – на основе совместного анализа ДДЗ и картосхемы ксероморфности территории. Степень эродированности почв не определяли, потому что изучаемые почвы, как правило, были разной степени ксероморфности (короткопрофильности), из-за чего их классификация по степени смытости была бы некорректной. Разумеется, полученная прогнозная почвенная карта (рис. 6) является лишь основой, требующей обязательной доводки в процессе полевого обследования.

Проанализируем полученную прогнозную почвенную карту (рис. 6), используя результаты наших полевых исследований в качестве контроля.

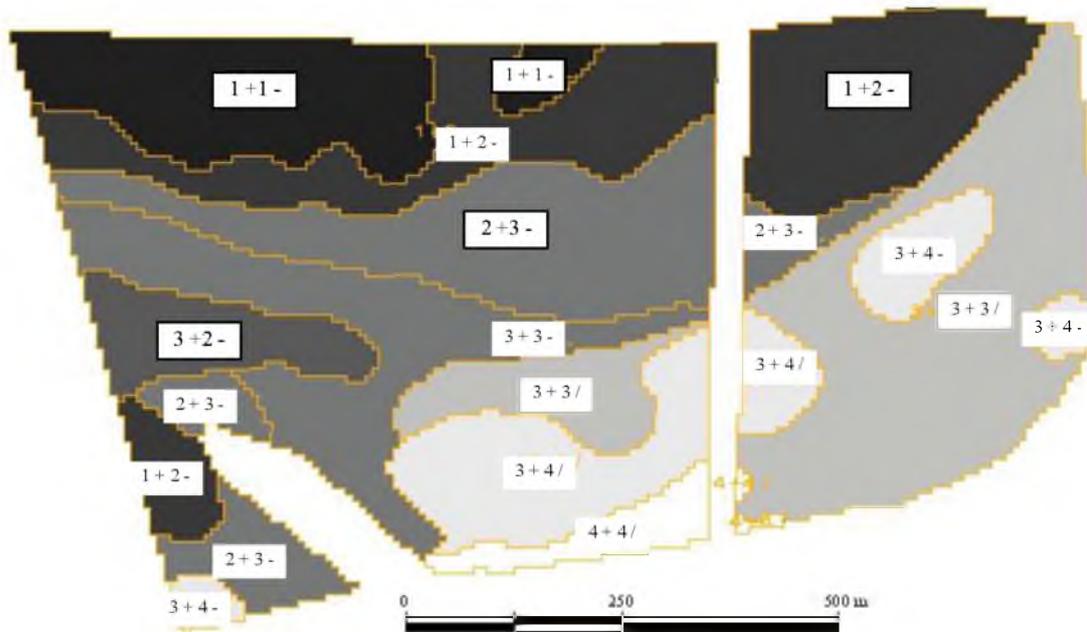


Рис. 6. Окончательные результаты интегрального анализа ДДЗ и ЦМР:
 “1+2 /” – первая цифра означает номер зоны ксероморфности; вторая цифра означает номер кластера; “/” – среднесуглинистый гранулометрический состав; “-” – легкоглинистый гранулометрический состав

Разрез №253 и точка №254 относятся к ареалу чернозема обыкновенного слабосероморфного легкоглинистого на лессах в комплексе с черноземом смытым. Это представляется вполне логичным, учитывая вышеизложенное сравнение разреза №253 с разрезом №100.

Разрез №250 характеризует контур «3+4/», т. е. самый «жесткий» вариант почвообразования – совокупность легкого гранулометрического состава, неблагоприятных гидротермических условий и эродированности. В данной почве зафиксировано наименьшее количество гумуса в пахотном слое – 0,6%, что даже при учете самого низкого содержания физической глины – 27%, говорит о ее возможной смытости. Отметим, что точка №251, расположенная в 100 м от нее, характеризуется существенным утяжелением гранулометрического состава и повышением содержания гумуса, что свидетельствует о значительной пестроте почвенного покрова на полигоне.

Не вызывает особых противоречий и отнесение разрезов №256 и 257 к контуру «3+3/» – среднексероморфные среднесуглинистые несмытые почвы. Единственное, что не может быть отражено в прогнозной почвенной карте при условии использования лишь вышеупомянутых источников информации, это подстиление почв плотными глинами.

Разрез №258 относится к зоне средней ксероморфности и второму кластеру (контур «3+2-»). В сравнении с модальным черноземом аналогичного гранулометрического состава (№100) разрез №258 характеризуется меньшим содержанием гумуса в верхнем слое и почти вдвое укороченным профилем. Анализ рельефа (рис. 4) позволяет предположить, что на данном участке изначально формировались короткопрофильные почвы, что обуславливалось южной экспозицией и значительным уклоном (6°) склона. В то же время содержание гумуса несколько превышает норму, характерную для зоны средней ксероморфности, что может свидетельствовать о процессах намыва. Отметим, что космическая съемка в оптическом диапазоне не дает прямой информации о мощности профиля почв, и в случае использования лишь ДДЗ данный почвенный выдел, был бы ошибочно отнесен к черноземам слабосмытым. Это еще раз подчеркивает целесообразность совместного использования ДДЗ и ЦМР при картографировании почв.

В заключение отметим, что предлагаемый алгоритм совместного использования разноплановых материалов может быть легко реализован в виде программного продукта в рамках геоинформационной системы. Таким образом, появляется возможность автоматизации процесса создания прогнозных почвенных карт с целью их дальнейшего использования при полевом почвенном обследовании.

Выводы

Проведенные исследования подтвердили перспективность использования интегрального анализа данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа при решении задач картографирования зональных автоморфных почв в степной и лесостепной зонах.

Создаваемые в ходе анализа карты содержат информацию, как о почвообразующем потенциале территории, так и о современном состоянии почвенного покрова, что дает возможность еще на предварительно-камеральном этапе диагностировать степень его деградации. Включение в анализ архивных почвенных карт позволяет уточнить номенклатурный список почв и построить прогнозную почвенную карту, существенно дополняющую информационно-картографическую базу полевого периода обследования территории.

К основным преимуществам предложенного подхода следует отнести объективность выделения почвенных контуров, основанную на использовании логико-статистических моделей и методов геоинформационного анализа, и унификацию процесса получения прогнозных почвенных карт, позволяющую обеспечить повторяемость результатов картографирования.

Авторы выражают благодарность В.Б. Соловью и Д.О. Тимченко за помощь в проведении полевых исследований.

Список литературы

1. Ачасов А.Б. К вопросу влияния рельефа на гумусированность черноземов // Почвоведение. – 2006. – № 9. – С. 931-938.
2. Ачасов А.Б. Деякі аспекти формалізації гідротермічних умов ґрунтоутворення // Вісник аграрної науки. – 2006. – № 9. – С. 17-21.
3. Ачасов А.Б. Можливості сучасних методів одержання просторової інформації про параметри ґрунтів // Наукові доповіді НАУ. – 2007. – № 2. – С. 1-7.
4. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України / Полупан М. І., Соловей В. Б., Кисіль В. І., Величко В. А. – К.: Колоб'іг, 2005. – 304 с.
5. Географічні інформаційні системи. За ред. проф. М. Ван Мервіна. – Київ: Вид-во НАУ, 2003. – 208 с.
6. Евдокимова Т.И. Почвенная съемка. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 270 с.
7. Общесоюзная инструкция по крупномасштабным почвенным и агрохимическим исследованиям территории колхозов и совхозов и по составлению почвенных карт территорий производственных колхозно-совхозных управлений. – М.: Колос, 1964. – 112 с.
8. Сорокина Н.П., Козлов Д.Н. Опыт цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. – 2009. – № 2. – С.1-14.
9. Шатохин А.В., Ачасов А.Б. Использование современных технологий при картографировании почвенного покрова Северной Донецкой Степи // Почвоведение. – 2005. – № 7. – С. 790-798.
10. Amesskamp M., Lamp J. Three-dimensional soil prediction: fuzzy rules and a GIS / Land information systems: development for planning the sustainable use of land resources. – Ispra: The European Soil Bureau. – 1998.
11. Bayramin İ. Using geographic information system and remote sensing techniques in making pre-soil surveys // Proceedings of the International Symposium On Desertification, 2000, Konya; [Электронный ре-

сурс] – Режим доступа: http://www.toprak.org.tr/isd/isd_04.htm.

12. Dobos E., Micheli E., Baumgardner M. F., Biehl L., Helt T. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping // *Geoderma*. – 2000. – Vol. 97. – P. 367-391.

13. Булыгин С.Ю., Бидолах Д.И., Лисецкий Ф.Н. Оценка гумусированности почв путем обработки их цифровых фотоизображений // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. – 2011. – Т. 16. – № 15. – С. 154-159.

14. Gessler P.E., Chadwick O.A., Chamran F., Althouse L., Holmes K. Modeling soil-landscape and ecosystem properties using terrain attributes // *Soil Science Society of America Journal*. – 2000. – Vol. 64. – P. 2046-2056.

15. Hengl T., Rossiter D. Supervised landform classification to enhance and replace photo – interpretation in semi-detailed soil survey // *Soil Science Society of America Journal*. – 2003. – Vol. 67. – P. 1810-1822.

16. Horvath, E.H., Post, D.F., Kelsey, J.B., The relationships of Landsat digital data to the properties of Arizona range lands // *Soil Science Society of America Journal*. – 1984. – Vol. 48. – P. 1331-1334.

17. Lee K., Lee G.B., Tyler E.J., Thematic mapper and digital elevation modelling of soil characteristics in hilly terrain // *Soil Science Society of America Journal*. – 1988. – Vol. 52. – P. 1104-1107.

18. McKenzie H.J., Gessler P.E., Ryan P.J., O'Connell D.A. The role of terrain analysis in soil mapping // *Terrain Analysis: Principles and Applications*. J. P. Wilson and J. C Gallant (Eds.). Chapter 10. 2000. John Wiley and Sons Ltd. New York.

19. Park S.J., McSweeney K., Lowery B. Identification of the spatial distribution of soils using a process – based terrain characterization // *Geoderma*. – 2001. – Vol. 103. – P. 249-272.

20. Phillips J.D. Divergent evolution and the spatial structure of soil landscape variability // *Catena*. – 2001. – V. 43. – P. 101-113.

21. Sharma S.K., Mohanty B.P., Zhuc J. Including topography and vegetation attributes for developing pedotransfer functions // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006. – Vol. 70. – P. 1430-1440.

THE USE OF INTEGRAL ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA AND DIGITAL ELEVATION MODEL FOR SOIL MAPPING OF BLACK SOIL ZONE

**S.Y. Bulygin¹, A.B. Achasov²,
F.N. Lisetskii³**

¹ V.Y. Gorin Belgorod State Agricultural Academy, Vavilova St., 1, Mayskiy Settl., Mayskiy Settl., Belgorod Reg., 308503, Russia

E-mail: s.bulygin@rambler.ru

² V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University, Communist Settl., Kharkov Reg, 62483, Ukraine

³ Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

The scheme of integral analysis of remote sensing data and digital elevation model for soil mapping is presented. The geoinformational analysis of topography gives information about soil formation potential of the studied territory. The remote sensing gives information about actual state of the soil. The proposed approach allows to standardize the soil mapping process.

Keywords: remote sensing of the Earth, GIS-technologies, digital elevation models, soil maps, soil mapping.