

КАРТОГРАФУВАННЯ ТА МІНЕРАЛОГІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.4 : 445.4

Т. Ю. Биндыч

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ С ЦЕЛЮ ИЗУЧЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Т. Ю. Биндыч

ННЦ «ІГА ім. А. Н. Соколовського»

ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ НЕОДНОРОДНОСТІ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ

Обґрунтовується можливість застосування даних багатоспектральних космічних знімків високої роздільної здатності для вивчення неоднорідності ґрунтового покриття. Охарактеризовані основні етапи обробки зображення з метою оцінки його складності та на конкретному прикладі продемонстрована послідовність проведення первинного аналізу зображення.

Ключові слова: багатоспектральні космічні знімки, дистанційне зондування, неоднорідність ґрунтового покриття, аналіз зображення.

T. Yu. Byndych

SRC «A. N. Sokolovsky' ISSA»

USING A DATA OBTAINED IN THE PROCESS OF A REMOTE PROBING FOR A STUDYING OF AN UNDERLAYER HETEROGENEITY

The usage of multispectral high-resolution space photos for study of the soil heterogeneity has been discussed in the present article. Also there were described main stages of the image processing for the purpose of its complexity evaluation. A sequence of the image initial analysis has been given by the concrete example.

Keywords: multispectral space photos, distance probing, soil heterogeneity, pattern analysis.

Многие задачи планирования и оптимизации сельскохозяйственного производства, а также оценки эффективности системы агрохимических мероприятий связаны с изучением пространственной неоднородности состава и свойств почв на различных территориальных уровнях.

За более чем 30-летнюю историю изучения неоднородности почв и варьирования их свойств в пространстве трудами многих исследователей были сформулированы основные теоретические положения и разработаны методы количественной оценки неоднородности почвенного покрова. Хорошо известно, что к методам выявления неоднородности (сложности или пестроты) структуры почвенного покрова относят натурные, натурно-картометрические, картометрические, профильные и трансектные (Годельман, 1980; Козловский, 1970). К сожалению, не все из них обеспечивают получение, во-первых, детальных и репрезентативных данных, а во-вторых, действительно пространственных характеристик неоднородности. Следует отметить, что преимущественное использование получили разновидности картометрического метода, основанного на количественном учете контуров почвенного покрова и математико-статистической обработки их показателей (Годельман, 1981).

© Биндыч Т. Ю., 2006

Новейшие изменения в методологии, технологии картографирования и методах проведения почвенных исследований вынуждают проводить более критический анализ классических или общеизвестных приемов изучения и количественной оценки неоднородности почвенного покрова. Наиболее спорным вопросом их дальнейшего применения является использование в качестве первичных данных картографической информации, которая зачастую является сильно устаревшей. Необходимо также учитывать, что карта представляет собой вторичную модельную информацию, полученную в результате применения хотя и регламентированных приемов анализа, синтеза и обработки количественных данных, но выполняется нематематическими или интуитивными методами, основанными на опыте составителя карты. А это не всегда приемлемо при решении современных практически значимых и инженерных задач.

В этой связи для обеспечения современных требований к точности (геометрической и географической) и объективности исследований по вопросам неоднородности почвенного покрова представляется перспективным использование в качестве первичной количественной информации многоспектральных космических снимков (высокого качества изображения и разрешающей способности до 20 м). В отличие от традиционных почвенных карт они обладают большой обзорностью, объективно отображают характер поверхности и выполняют ее «естественную генерализацию». Наряду с этим космические снимки являются тем современным цифровым материалом, который благодаря своей разномасштабности позволяет проводить изучение и оценку неоднородности почвенного покрова на различных территориальных уровнях (почвенно-климатические зоны, провинции, отдельно взятые поля и делянки).

К объективным предпосылкам, которые определяют использование дистанционных данных для изучения неоднородности почвенного покрова (или отдельных свойств почв) в качестве нового перспективного направления в почвоведении, относятся:

- постоянное (а зачастую революционное) совершенствование разнообразных средств дистанционного зондирования земной поверхности (всех видов сканирования – тепловое, телевизионное, микроволновое, радиолокационное и т. д.);
- существование значительного фонда высококачественных (по репрезентативным свойствам и разрешающей способности) многоспектральных космических снимков для территории Украины, которая характеризуется высоким уровнем распаханности, что позволяет получать изображение собственно почвенной поверхности, не покрытой растительностью или снежным покровом в отдельные периоды времени;
- неуклонное совершенствование компьютерных методов дешифрирования космических снимков на основе применения геоинформационных систем;
- разработка алгоритма получения региональных уравнений (или моделей), раскрывающих взаимосвязь оптических свойств поверхности почвы с её основными физико-химическими свойствами (гранулометрическим составом и общим содержанием гумусовых веществ);
- разработка алгоритма создания электронных почвенных карт на основе использования данных дистанционного зондирования (ДЗ);
- существование значительного количества теоретически проработанных методов количественной и качественной оценки структуры почвенного покрова, пространственной неоднородности почвенных свойств и т. д.;
- практическая необходимость обеспечения строгих требований к статистически обоснованной точности проведения любых почвенных исследований при изучении и картографировании почвенного покрова.

В то же время нельзя не упомянуть о мнении исследователей, которые утверждают, что дистанционные методы (следовательно, и их данные) не столько решают, сколько ставят вопросы перед почвоведом. Это обусловливается, с одной стороны, новизной самой информации, которая не укладывается в рамки почвоведческого мышления в связи с явной недостаточностью знаний о закономерностях взаимосвязи оптических показателей почвенной поверхности с профильными физико-химическими характеристиками почв. С другой стороны, это определяется несовершенством методов проверки и интерпретации такой информации. Кроме того, существуют сезонные

ограничения в непосредственном наблюдении отражательных свойств почвенной поверхности из-за закрытия ее растительностью или снежным покровом.

Тем не менее представляется нелогичным и экономически невыгодным игнорирование значительного объема дистанционной информации о почвенной поверхности, которая накоплена за последние десятилетия. Поэтому нами предпринята попытка анализа одного из синтезированных изображений многозонального космического снимка в качестве источника первичной количественной информации о неоднородности почвенного покрова. Обоснованием такого использования послужило существование значительного количества работ, которые доказывают наличие высокой функциональной связи оптической яркости почвенной поверхности с ее основными физико-химическими характеристиками – общим количеством гумуса и гранулометрическим составом (Шатохин, 1998; Шатохин, Лындин, 2001). Исходя из этого нами выдвинуто предположение о том, что сложность рисунка изображения напрямую характеризует неоднородность почвенного покрова (хотя бы по двум упомянутым выше показателям). Поэтому основной целью исследований явилось оценивание сложности космического изображения почвенной поверхности и сопоставление полученных результатов с данными полевого обследования почв.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для этого использовались разноплановые материалы сектора дистанционного зондирования почвенного покрова ННЦ «ИПА им. А. Н. Соколовского». Основным объектом исследований выступили данные архивной многоспектральной съемки космического аппарата SPOT, которая была проведена 24.08.95 г. и выполнена при нулевой облачности с разрешающей способностью до 20 м. Территориальным объектом выбрано поле-полигон, на котором ранее было проведено детальное почвенное обследование и установлены математические модели связи яркостей различных диапазонов съемки с основными показателями почв (Шатохин, Лындин, 2001). На его территории было заложено 6 почвенных разрезов и отобрано 148 почвенных образцов из пахотного слоя для определения содержания гумуса по Тюрину и гранулометрического состава по Качинскому (Методи аналізів ґрунтів і рослин, 1999), которые составили банк количественной информации.

В ходе проведенных исследований решались следующие задачи:

- 1) проведение предварительного анализа изображения полигона;
- 2) проведение общего статистического анализа изображения;
- 3) экспертная оценка сложности изображения и данных полевого обследования почв полигона как основы для обоснования критериев классификации изображения.

Для решения поставленных задач использовались в основном статистические методы и методы геоинформационной обработки данных. Так, для географической привязки, расчета сложного зонального отношения (Виноградов, 1984), основной обработки, преобразований и общего статистического анализа космического изображения использовали геоинформационную систему *TNT-lite*. Дисперсионный, корреляционный и регрессионный анализ всего массива количественной информации проведен с использованием пакета программ *STATISTICA*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительный анализ космического изображения предусматривал максимально возможный сбор различной тематической информации об отснятой территории и проведение ее схематической увязки с основными дешифровочными признаками: яркостью (фототон, насыщенность, контрастность) и структурой изображения (размеры и формы контуров, характер распределения яркости в них).

Согласно агропочвенному районированию территория полигона отнесена к Днепровско-Донецкой провинции, Донецкому округу, который характеризуется сложным почвенным покровом (черноземы обыкновенные мало- и среднемощные), который определяется в основном чрезвычайной геоморфологической неоднородностью (Кисель, 1981). По архивным картографическим материалам установлено, что на террито-

рии полигона по результатам крупномасштабного обследования выделено шесть почвенных контуров (Шатохин, Линдин, 2001). Почвенный покров полигона представлен черноземом обыкновенным с различиями по гранулометрическому составу, мощности профиля и степени смывости.

Проведена обязательная процедура основной обработки изображения с целью уменьшения зашумленности информации и повышения ее контрастности, резкости и подчеркивания контуров. Так как не существует аналитической объективно адекватной меры качества для различных способов обработки изображения, оценка качества изображения осуществлялась методом экспертной оценки при постоянном сравнении первичного изображения и оцениваемого. Эффективным оказалось применение одного из линейных операторов преобразования изображения (рис. 1). Визуальное сопоставление космического изображения полигона с архивной почвенной картой выявило их существенное различие по формам контуров (или их рисунку).

В связи со значительной геоморфологической неоднородностью территории необходимым этапом работы явилось создание цифровой модели рельефа (ЦМР) полигона, что позволило в автоматическом режиме проводить важнейший морфометрический анализ рельефа как основного фактора неоднородности почвенного покрова. Совместное рассмотрение ЦМР и преобразованного изображения позволило сделать наиболее общие выводы. Так, по светлотону довольно четко выделились две области изображения территории поля-полигона, а в пределах каждой из них – контрастные ареалы. Светлый светотон изображения в основном соответствует склону юго – юго-восточной экспозиции (с крутизной от $1,5^\circ$ до 4°), темный – более пологому склону западной экспозиции (до 1°).

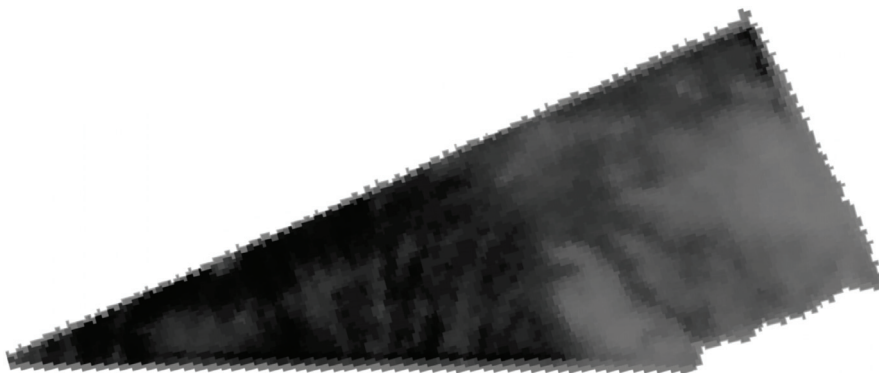


Рис. 1. Преобразованное космическое изображение почвенной поверхности поля-полигона

Детальное контурное дешифрирование изображения требует проведения общего статистического анализа его цифровой информации в качестве предшествующей процедуры с использованием особенных или ранее созданных алгоритмов (Денисов, 1980; Матиясевич, 1980; Усиков, Пятибрат, 1980). Основной задачей этого этапа при почвенном дешифрировании является статистическое обоснование критериев и принципов классификации изображения (подобно количественным показателям отдельных таксонов, их элементов и сочетаний на традиционной почвенной карте), что позволит качественно характеризовать степень неоднородности почвенного покрова. Рассчитанные наиболее общие статистические показатели для исследуемого изображения представлены в *таблице*. Отмечено, что отдельные из них, а именно размах варьирования, коэффициенты контрастности и вариации, демонстрируют степень различия между абсолютными показателями оптической яркости, следовательно, их использование позволяет проводить сравнение контрастности различных рисунков изображения одного и того же территориального объекта, выполненных в различные периоды съемки или оптической аппаратурой разных космических аппаратов, что особенно важно при выполнении мониторинговых задач изучения почвенного покрова.

Значительно дополнило полученную статистическую информацию построение кривой распределения оптических яркостей (рис. 2). Она иллюстрирует особенности изображения и позволяет даже визуально, без использования дополнительных вычислений, дать наиболее общую его характеристику. Так, преобладающий интервал яркостей составляет от 66 до 89 и выступает фоном для отдельных более высокояркостных контуров. Из графика видно, что вариационный ряд имеет не одну, не две, а гораздо большее количество мод, что может выступать косвенным доказательством того, что изображение объединяет качественно разнородные объекты (Дмитриев, 1972).

Проведение общего статистического анализа изображения позволяет обоснованно подойти к выбору принципов и методов классификации изображения, учитывая конкретные требования исследователей к её точности и детализации. Отсутствие ранее разработанных алгоритмов дискретизации изображения почвенной поверхности требует изложения нескольких возможных вариантов такого статистического обоснования.

Общие статистические показатели изображения полигона

Показатель	Формула для расчета	Расчетное значение
Минимальное значение	X_{min}	61
Максимальное значение	X_{max}	155
Размах варьирования	$\Delta X = X_{max} - X_{min}$	94
Коэффициент контрастности изображения	$W = \frac{X_{max} - X_{min}}{X_{max} + X_{min}}$	0,44
Средняя арифметическая «взвешенная»	$\bar{x} = \frac{f_1 x_1 + f_2 x_2 + \dots + f_n x_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{\sum f x}{n}$, где x – значения яркости; f – количество пикселей с яркостью x (частота); n – общее число пикселей	86,72
Среднее квадратическое отклонение	$\sigma_x = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1)}$, где x_i – значения яркости каждого пикселя; \bar{x} – средневзвешенное значение яркости; n – общее число пикселей	19,35
Коэффициент вариации	$\vartheta_x = \frac{\sigma_x}{\bar{x}}$	0,22

В почвоведении традиционно число выделяемых классов определяется объемом совокупности n , задачами исследования и некоторыми другими обстоятельствами (например, степенью асимметрии распределения) и выбирается, в известной мере, произвольно. Например, примерное число классов k предлагается оценивать по формуле (Дмитриев, 1972)

$$k = 1 + 3,31 \times \lg n ,$$

где n – объем совокупности; k – число классов.

При этом принято считать, что брать k меньше, чем это следует из формулы, нежелательно, а больше, иногда в 2–3 раза, – вполне допустимо. В зависимости от рассчитанного числа классов находится классовый интервал (или ширина класса) – c . Как и число классов, величина c устанавливается произвольно, с учетом удобства последующих вычислений. Следуя этому подходу, в нашем случае под объемом со-

вокупности принята площадь полигона – 4219 пикселей и, следовательно, k составило 12,99 (≈ 13). При размахе варьирования яркостей в 94 единицы ширина классового интервала составила 7.

Построение и анализ кривой распределения оптических яркостей можно рассматривать как в качестве отдельного подхода к дискретизации изображения, так и в качестве одного из этапов при проведении его общего статистического анализа. В нашем случае графическое представление статистической совокупности позволило сделать предположительный вывод о том, что исследуемое изображение может быть подразделено по оптическим яркостям максимум на 22 класса. Некоторые обособленные ограничения по учету яркостей с незначительными частотами (например, площади менее 50 пикселей и имеющие приграничное расположение на полигоне) – лишь на 11–12 классов.

Более строгие требования к статистически достоверной дискретизации требуют использования среднего квадратического отклонения в качестве классового интервала. При таком подходе количество классов следует рассчитывать как

$$k = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\sigma_x},$$

где $X_{\max} - X_{\min}$ – размах варьирования; σ_x – среднее квадратическое отклонение.

В наших исследованиях расчетное число классов по этой формуле составило 5.

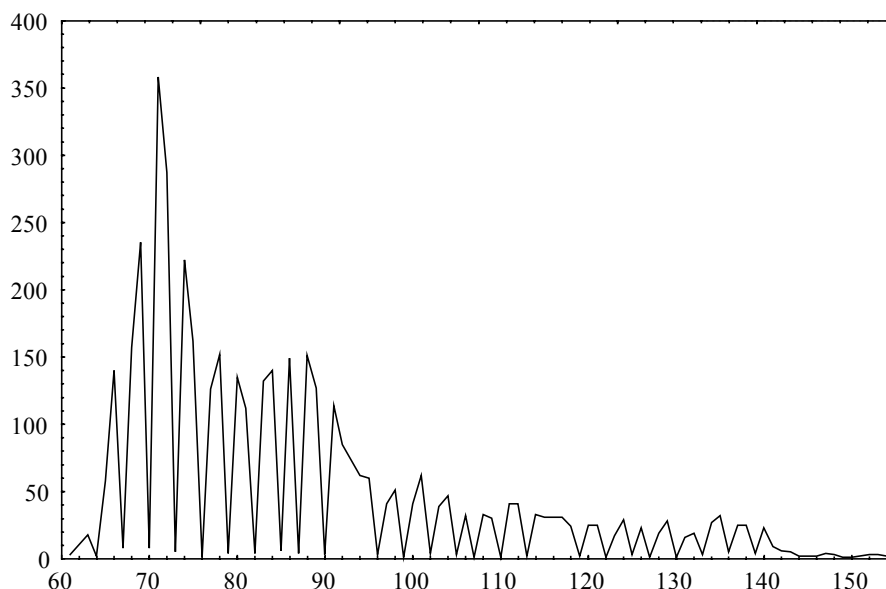


Рис. 2. График распределения оптических яркостей полигона:
ось X – показатели оптической яркости элементов изображения,
ось Y – количество элементов изображения (или частота)

Необходимо отметить, что на этом этапе необходимо проводить обязательную процедуру отбраковки данных. Она представляет собой отбрасывание некоторых вариантов, которые по логическим соображениям или по строгому статистическому критерию (например, нормированное отклонение) не принадлежат к изучаемой генеральной совокупности (Шатохин, Лындин, 2001). Однако при этом следует учитывать, что фрагменты космического изображения – это пример великообъемной выборки, в которой могут содержаться варианты, сильно отклоняющиеся от среднего арифметического, а значит, оказывающие сравнительно малое влияние на величину среднего квадратического отклонения. Так как анализ космического изображения

производится для последующей оценки его сложности, необходимо осторожно относиться к отбрасыванию «нетипичных» показателей яркости из вариационного ряда. Их потеря может существенно отразиться на «степени сложности» рисунка изображения и точности выделения границ почвенных контуров, а значит, и на их содержательном описании.

Во избежание ошибок, возникающих на этапе статистической обработки данных, необходима детализация информации относительно структуры изображения. В отдельных случаях допустимо ее использование в качестве отдельного подхода к дискретизации изображения. Основной задачей такого использования является учет степени варьирования изучаемого признака, а именно оптической яркости, в пределах хорошо выделяемых (контрастирующих) ареалов. Для этого, в частности, можно использовать метод построения профилей оптических яркостей по трансектам, которые характеризуются наиболее сложным рисунком изображения (рис. 3 и 4). Так, на рис. 4 изображен трансект, имеющий протяженность около 3 км и характеризующийся варьированием оптических яркостей от 65 до 140. Профиль хорошо иллюстрирует резкое изменение яркости на участке около 1400–1500 м, где изменение оптической яркости составило 30 единиц и в целом подтвердило предварительный вывод о наличии двух обширных разнородных почвенных ареалов в границах полигона, а также уточняет местоположение их общей границы. Интересно отметить, что выделенные низко- и высокояркостные ареалы также являлись неоднородными. В пределах каждого из них можно выделить как минимум по три ареала, варьирование яркости в которых наблюдается на уровне 5–10 единиц. Рисунок показывает более значительное возрастание яркости на участке от 1350 до 1500 м (на 20–30 единиц) и достаточно резкий, ступенчато-образный перепад яркостей на отрезках 800–1100, 2050–2400 и 2600–2750 м (более 50 единиц). Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод о предположительном наличии в пределах полигона 9–10 ареалов с интервалом оптических яркостей до 10 единиц, что позволяет в достаточной степени детализировать изображение для сопоставления полученных результатов с данными полевого обследования почв.

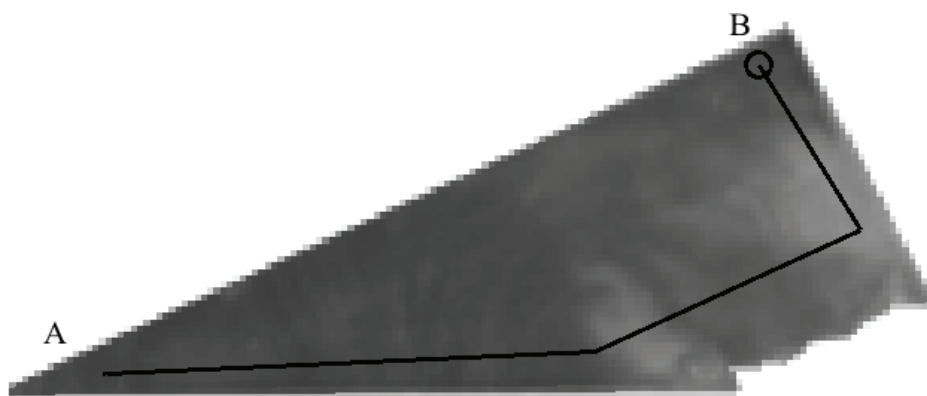


Рис. 3. Космическое изображение полигона с трансектом

Проведенный статистический анализ обеспечивает количественное обоснование для экспертного оценивания и формулировки предварительных выводов о степени неоднородности или сложности изображения, которое можно интерпретировать и как неоднородность почвенного покрова. Известно, что степень неоднородности почвенного покрова выражается в основном относительными показателями: количеством классов на площадь полигона; процентным содержанием площади ареалов, занимаемой каждым из классов; отношением площади ареалов отдельных классов к общей площади исследуемого полигона (Годельман, 1981). Нам представляется важным и необходимым использование сложности изображения в качестве количественного

признака при экспертном оценивании. Напомним, что признак является действительно количественным, если, сравнивая два объекта, можно определить, на сколько или во сколько раз этот признак у одного объекта выражен сильнее, чем у другого (Гохман, 1991). Поэтому в ходе исследований решалась задача создания измерительного инструмента для количественной оценки сложности изображения. Для этого нами

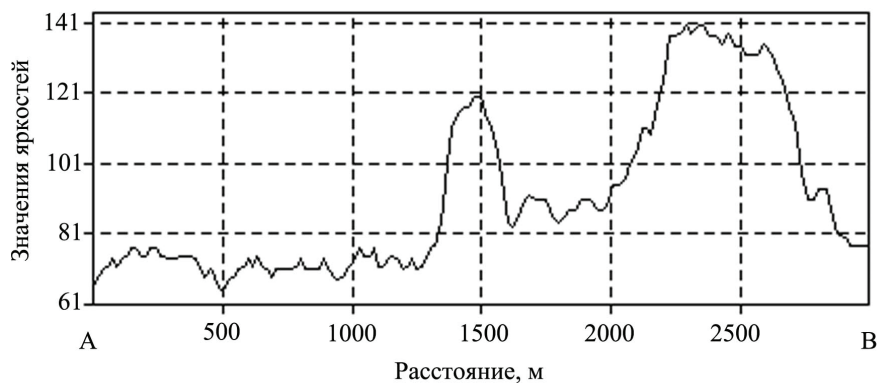


Рис. 4. Профиль яркостей по трансекту

предлагается использовать эталон, то есть некоторый теоретически возможный территориальный объект, который можно характеризовать как однородный (в нашем случае по показателю оптической яркости почвенной поверхности), и проводить сопоставление полученных данных (общие статистические, количество классов при дискретизации изображения) с аналогичными показателями эталона. При этом основными принципами такого сопоставления и экспертного оценивания в целом являются, с одной стороны, приоритетность максимизации количества выделяемых классов, с другой – выборочность (на основе четко сформулированных логических и количественных критериев) практически значимых для конкретных исследований факторов (или признаков) ограничения дискретизации при классифицировании изображения.

Исходя из вышесказанного и соблюдая принцип максимизации количества классов при анализе изображения, по результатам его статистической обработки в наших исследованиях сделан вывод о том, что его сложность максимум в 22 раза выше, чем принятого эталона. Для итогового суждения о достаточности и целесообразности такой детализации изображения или о необходимости дальнейшего поиска оптимального количества классов проведено обобщение данных полевого почвенного обследования полигона. Напомним, что исследуемая выборка объединяет данные по черноземам с содержанием гумуса от 0,8 до 6,2 % и физической глины от 12,9 до 67,2 % (Шатохин, Лындин, 2001). Учитывая высокую функциональную связь между этими важнейшими почвенными показателями и проанализировав аналитическую погрешность методов их определения, которые использовались в ходе исследований, сделан вывод о предпочтительном использовании содержания физической глины (размах варьирования – 55 %) как определяющего фактора ограничения детализации при классифицировании изображения. Так, при максимально возможной детализации (т. е. 22 класса) исследуемое изображение может обеспечить нас информацией о пространственном распределении черноземов с шагом изменения содержания физической глины в 2,5 %. Это можно считать достаточно высокой степенью детализации.

Проанализировав все полученные результаты, был сделан вывод о целесообразности использования данных профиля яркостей по трансекту для обоснования оптимального количества классов. Согласно результатам неоднородность почвенного покрова полигона в 9 раз сложнее эталона, что достаточно информативно для почвоведов (обеспечивается шаг изменения содержания физической глины в 5 %).

Завершающий этап обработки изображения – составление карты-версии почвенных выделов полигона, по которой возможно проведение количественной оценки неоднородности почвенного покрова хорошо апробированными традиционными методами. Для этого использовались методы кластерного анализа, а именно метод К-средних для установленного выше числа классов, обеспечивающих необходимую для конкретных исследований детальность (рис. 5).

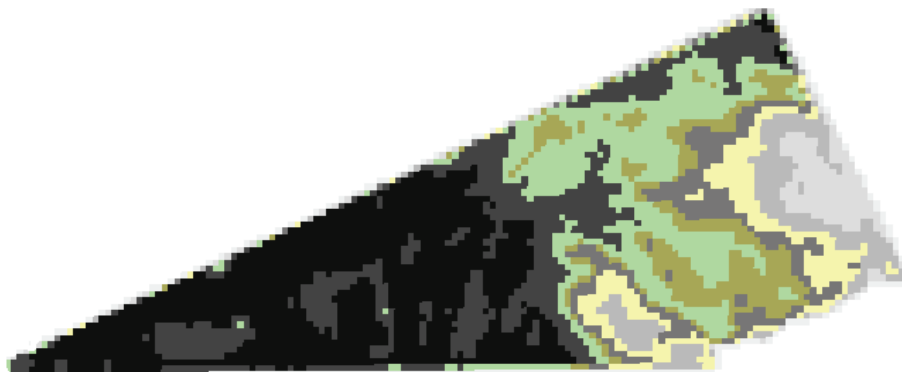


Рис. 5. Картосхема-версия для количественной оценки неоднородности почвенного покрова полигона

ВЫВОДЫ

Предложена определенная последовательность операций анализа и первичной обработки изображения многоспектральных космических снимков при изучении неоднородности почвенного покрова. Ее следует рассматривать начальным этапом разработки методологических подходов и методических приемов для изучения и оценки показателей неоднородности на основе их количественной информации космического изображения. К вопросам, которые требуют первоочередной теоретической разработки для развития этого направления использования космической информации в почвоведении, можно отнести:

- систематизацию наработанных региональных расчетных уравнений, раскрывающих взаимосвязи оптических свойств поверхности почвы с её основными физико-химическими свойствами, для поиска и обоснования почвенных критериев дискретизации изображения на этапе его предварительного статистического анализа;
- систематизацию и учет существующих требований к детальности и качеству результатов количественной оценки неоднородности почвенного покрова, а также к картографическим материалам, полученным дистанционными методами исследования почв;
- оценку информативности материалов космической съемки для изучения и количественной оценки неоднородности почвенного покрова в сравнении традиционными методами и т. п.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов Б. В.** Аэрокосмический мониторинг экосистем. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
- Годельман Я. М.** Неоднородность почвенного покрова и использование земель. – М.: Наука, 1981. – 200 с.
- Годельман Я. М.** Пути выявления неоднородности почвенного покрова и применения параметров его структуры для учета и оценки земельных ресурсов // Структура почвенного покрова и ее значение для картирования почв, учета и использования почвенных ресурсов: Тез. докл. IV Всесоюз. совещ. – Кишинев, 1980. – С. 78-80.
- Гохман О. Г.** Экспертное оценивание: Учеб. пособие. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 152 с.

Денисов Д. А. Быстрый алгоритм кластер-анализа изображений // Исследование Земли из космоса. – 1980. – № 1. – С. 88-89.

Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 292 с.

Кисель В. Д. Почвенный покров и районирование черноземной территории Украины // Черноземы СССР (Украина). – М.: Колос, 1981. – С. 26-38.

Козловский Ф. И. Почвенный индивидуум и методы его определения // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – М.: Наука, 1970. – С. 42-59.

Матиясевич Л. М. Вопросы оценки информационных свойств материалов и средств космической фотосъемки // Исследование Земли из космоса. – 1980. – № 2. – С. 84-91.

Методи аналізу ґрунтів і рослин: Методичний посібник / За ред. С. Ю. Булигіна, С. А. Балюка, А. Д. Міхновської, Р. А. Розумної. – Кн. 1. – Х.: НМЦ ІГА, 1999. – 160 с.

Усиков Д. А., Пятибрат Т. В. Гистограмма как основа статистической классификации изображений // Исследование Земли из космоса. – 1980. – № 1. – С. 99-103.

Шатохин А. В. Дистанционная индикация содержания гумуса в почвах лесостепной и степной зоны Украины // Агрохимия. – 1998. – № 6. – С. 21-25.

Шатохин А. В., Лындин М. А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037-1044.

Надійшла до редколегії 26.09.05