

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ РАЗНОВРЕМЕННЫХ АЭРОФОТОСНИМКОВ

The work contains the results of studying that was aimed at finding out the influence of drainage engineering on the change of soil structure. The main object of the Soil Dynamics Studying was microstructures and their components meaning elementary soil areals. The results of digital processing of photographs lead to creation of color-coded cluster maps and calculation of soil structure quantitative indicators: partition, contrast and inhomogeneity indexes. The work shows that digital processing of photographs taken at different time gives a possibility to study soil dynamics through its structure and evaluate the consequences of drainage engineering influence on soil.

Дистанционные методы исследования открыли новый этап в изучении природной среды. Материалы разновременных дистанционных съемок являются незаменимой основой для наблюдения за изменениями почвенного покрова во времени и пространстве. Почвенный покров сегодня нуждается в постоянном и системном изучении, многоаспектном систематическом наблюдении. Решение же задач почвенного аэрокосмического мониторинга возможно только на основе применения современных технологий обработки и анализа аэрокосмической информации.

Следует отметить, что при изучении динамики почвенного покрова основным объектом являются микроструктуры и их компоненты – элементарные почвенные ареалы, поскольку именно на этом уровне организации почвенного покрова прежде всего проявляются процессы его трансформации.

Разнообразные приемы воздействия человека на почву по последствиям могут быть разделены на две группы [1, с. 28].

Первая – ненаправленно-антропогенная – способствует усилению контрастности и связана с негативными последствиями развития эрозии, усиления засоленности и заболоченности. При этом увеличивается образование комплексов и сочетаний. Такое изменение структуры почвенного покрова (СПП) является результатом неправильного осуществления приемов обработки, мелиорации почв и др.

Вторая – научно обоснованные и целенаправленные приемы, устраняющие неблагоприятные свойства почв отдельных компонентов СПП, приводит к выравниванию и повышению плодородия всей почвенной комбинации, снижению контрастности почвенного покрова, например, устранению

солончаковатости промывкой, избыточного увлажнения – осушительными мелиорациями, выравниванием плодородия известкованием и гипсованием и др.

Последствия данного воздействия человека на почвы могут быть оценены на основе цифровой обработки разновременных снимков.

В наших исследованиях методика цифровой обработки аэрофотоснимков включала следующие основные этапы: создание фотокартографической основы, предварительную обработку и классификацию фотоизображений почвенного покрова, расчет количественных показателей СПП, интерпретацию данных по результатам системного анализа.

В качестве фотокартографической основы для последующего дешифрирования использовались нормализованные цифровые фотоизображения, приведенные к одному масштабу (1: 10 000) и пригодные для проведения дальнейшей процедуры автоматизированного дешифрирования и расчета количественных показателей. Данные фотоизображения были созданы с помощью программных средств цифровой фотограмметрической системы «Realistic Map».

Однако основная цель использования данных дистанционного зондирования – извлечение из них полезной информации. Качество же тематической информации зависит не только от картографо-фотограмметрических особенностей исходного фотоснимка, но и от техники и методики, которые применяются при его интерпретации. Поэтому одной из наиболее важных и сложных из решаемых с помощью компьютера задач цифровой обработки снимков является дешифрирование. Результативность же автоматизированного дешифрирования существенно зависит от наличия программ, ориентированных на решение задач в определенной области, т. е. соответствующего математического (программного) обеспечения.

Для тематической интерпретации аэрофотоизображений почвенного покрова использовалась интерактивная автоматизированная система «MDW» (совместная разработка кафедр математического обеспечения АСУ факультета прикладной математики и геодезии и картографии географического факультета). Система позволяет выполнять предварительную обработку фотоизображений, проводить контурное дешифрирование (сегментация изображения), выполнять классификацию выделенных сегментов (генетическое дешифрирование), а также осуществлять автоматический картометрический анализ результатов дешифрирования с представлением этих результатов в виде таблиц статистик геометрических параметров и статистических характеристик [2].

Для предварительной обработки изображений в рамках разработанной системы реализованы алгоритмы гистограммных преобразований, различных методов фильтрации изображений и подчеркивания контуров. Таким образом, на этапе предварительной обработки изображения можно улучшить его зрительное восприятие, подчеркнуть существующие различия между объектами, а также скрыть ненужную информацию, обеспечивая тем самым повышение объективности и достоверности дешифрирования. В ряде случаев предварительная обработка исходного аэрофотоснимка позволяет более выразительно выделить детали изображения, которые визуальным дешифрированием не удается выделить, и тем самым придать большую объективность процессу дешифрирования.

Следующим этапом цифровой обработки является выделение на изображении однородных областей. Это задача сегментации, которая заключается в разбиении изображения на области (сегменты) по определенному критерию. В нашем случае для решения задачи сегментации были использованы методы кластерного анализа. Входными данными для проведения сегментации выступают образцы однородных областей, которые задаются пользователем вручную. После указания всех образцов можно запускать процесс сегментации, определив при этом допустимую величину отклонения элемента изображения от образцов. Элементы изображения, которые отклоняются на большую величину, будут отнесены к нулевому классу. Исследования показали, что использование алгоритма сегментации, обеспечивающего выделение почвенных контуров по тону, позволяет повысить оперативность дешифрирования фотоизображений почвенного покрова, а влияние субъективного фактора при достаточной информативности тонового признака свести к минимуму. При визуальном дешифрировании даже квалифицированный исполнитель не в состоянии оконтуривать поля плотности с первоначально заданной градацией.

Следует отметить, что для названия и характеристики любой почвенной комбинации должен быть определен ее компонентный состав, т. е. указаны элементарные почвенные ареалы (ЭПА), составляющие комбинацию, а также выявлена доля участия в процентах каждого ЭПА. В связи с этим в системе была предусмотрена возможность присвоения каждому кластеру буквенно-цифрового ин-

декса определенной почвенной разновидности согласно с принятыми условными обозначениями [3, с. 188], а в основу определения количественных показателей СПП была положена методика БелНИИПА [1, с. 85–96], в соответствии с которой использовались три основных показателя – коэффициенты расчленения, контрастности и неоднородности.

Для расчета количественных показателей вводится размер пикселя в метрах. По каждому кластеру определяется площадь в гектарах, площадь в процентах от общей, длина границ контуров (периметр по кластеру), в пределах каждого кластера – средняя площадь и средняя длина контура, количество контуров. На основании этих данных автоматически рассчитывается коэффициент расчленения по каждому кластеру и для всего участка в целом. Полученные в автоматическом режиме количественные показатели представляются в виде таблиц статистик, по которым рассчитываются коэффициенты контрастности и неоднородности (табл. 1, 2).

Таблица 1

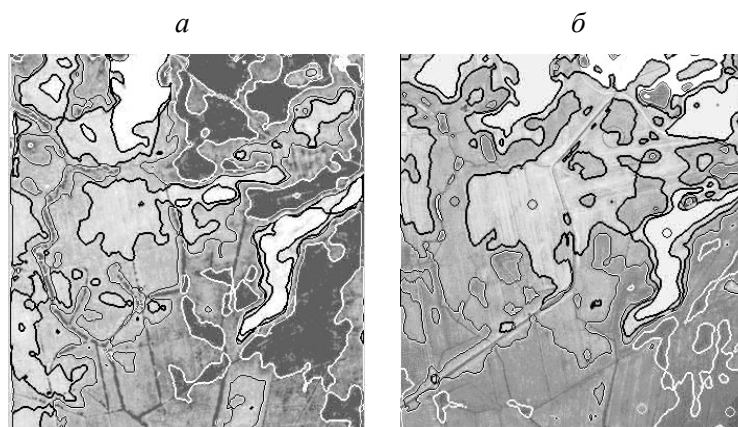
Статистика кластерной карты и баллы контрастности почв до мелиорации

Перечень кластеров	Площадь по кластеру, га	Площадь (в % от общей)	Периметр по кластеру, км	Баллы контрастности			Произведение балла контрастности на площадь (K·S)
				Основной балл по шкале контрастности	С поправкой на кислотность	Суммарный балл	
K1 – ДП	2,8	7	3,6	3,0	0,3	3,3	23,1
K2 – ДПБ ₁	7,4	18	13,3	2,0	0	2,0	36,0
K3 – ДПБ ₂	9,4	22	18,8	1,0	0,6	1,6	35,2
K4 – ДПБ ₃	14,4	34	21,9	Преобладают			
K5 – ДБ ₂	8,3	20	9,9	0,0	0,3	0,3	6,0
Всего	42,3	100	67,5	–			100,3

Примечание. ДП – дерново-подзолистые оглеенные внизу; ДПБ₁ – дерново-подзолистые временно избыточно увлажненные; ДПБ₂ – дерново-подзолистые глееватые; ДПБ₃ – дерново-подзолистые глеевые; ДБ₂ – дерновые глееватые. Количественные показатели СПП: $K_k = 100,3 : 20 = 5,02$; $K_p = 67,5 : 42,3 = 1,60$; $K_n = K_k \cdot K_p = 5,02 \cdot 1,60 = 8,03$.

С целью изучения влияния осушительной мелиорации на динамику почвенного покрова нами были проанализированы материалы аэрофотосъемки ключевого участка «Макаричи» (Петриковский район Гомельской области) до и после мелиорации с интервалом 25 лет. В исследованиях использовались аэрофотоснимки оптимальных (весенних) сроков съемки.

Снимки были трансформированы в проекцию топографической карты и приведены к масштабу 1:10 000. Сопоставление разновременных аэрофотоснимков, приведенных к единому масштабу (рисунк), показало, что почвенный покров изучаемой территории претерпел значительные изменения, которые четко коррелируют с тоном фотоизображения и геометрией почвенных контуров. Как показали исследования [4, 5], на аэрофотоснимках потемнение тона фотоизображения почв, не скрытых растительностью, связано с увеличением содержания в них влаги и гумуса, т. е. отражена в первую очередь степень увлажнения почв. Поэтому по изменению тона фотоизображения можно судить о степени гидроморфизма почв.



Фрагмент аэрофотоснимка ключевого участка «Макаричи» с показом границ почвенных контуров:

a – до мелиорации; *b* – после мелиорации

Количественно оценить изменения, произошедшие в почвенном покрове данной территории, можно путем анализа количественных показателей его структуры. Статистика кластерных карт и баллы контрастности почв для ключевого участка «Макаричи» до и после активной осушительной мелиорации приведены в табл. 1 и 2.

Статистика кластерной карты и баллы контрастности почв после мелиорации

Перечень кластеров	Площадь по кластеру, га	Площадь (в % от общей)	Периметр по кластеру, км	Баллы контрастности			Произведение балла контрастности на площадь (K·S)
				Основной балл по шкале контрастности	С поправкой на кислотность	Суммарный балл	
K1 – ДПБ ₀	3,6	9	4	2,0	0,3	2,3	20,7
K2 – ДПБ ₁	10,6	25	15,8	1,0	–	1,0	25
K3 – ДПБ ₂	12,8	31	20,6	Преобладают			
K4 – ДПБ ₃	12,1	29	13,8	1,0	0,3	1,3	37,7
K5 – ДБ ₂	2,4	6	4,4	1,0	0,3	1,3	7,8
Всего	42,3	100	58,6	–			91,2

Примечание. Количественные показатели СПП: $K_k = 91,2 : 20 = 4,56$; $K_p = 58,56 : 41,59 = 1,41$; $K_n = K_k \cdot K_p = 4,56 \cdot 1,41 = 6,43$.

Если до мелиорации преобладающая площадь ключевого участка была занята дерново-подзолистыми глеевыми почвами (34 %) (см. табл. 1), то после мелиорации преобладающими стали дерново-подзолистые глееватые почвы (31 %) (см. табл. 2). Площади дерновых глееватых почв сократились с 20 до 6 %, дерново-подзолистых глееватых увеличились с 22 до 31 %. Произошло также увеличение площадей малоплодородных песчаных дефлированных почв (с 7 до 9 %).

Почвенная комбинация, представленная сочетанием, в котором преобладали дерново-подзолистые глеевые и глееватые, а также дерново-глееватые почвы (ДПБ₃³⁴ + ДПБ₂²² + ДБ₂²⁰ + ДПБ₁¹⁸ + ДПБ₀⁷), сменилась сочетанием с преобладанием дерново-подзолистых глееватых, глеевых и временно избыточно увлажненных почв (ДПБ₂³¹ + ДПБ₃²⁹ + ДПБ₁²⁵ + ДПБ₀⁹ + ДБ₂⁶).

Сравнение количественных показателей СПП, полученных по результатам цифровой обработки разновременных аэрофотоснимков, показывает уменьшение ряда коэффициентов: контрастности (с 5,02 до 4,56), расчлененности (с 1,60 до 1,41) и неоднородности (с 8,03 до 6,43). В целом, если до мелиорации почвенный покров данной территории можно было охарактеризовать как среднеконтрастный ($K_k = 5,02$), среднерасчлененный ($K_p = 1,60$), слабонеоднородный ($K_n = 8,03$), то после мелиорации – как слабоконтрастный ($K_k = 4,56$), среднерасчлененный ($K_p = 1,41$), слабонеоднородный ($K_n = 6,43$).

Анализ полученных результатов показал, что основная причина в изменении структуры почвенного покрова была обусловлена снижением уровня грунтовых вод под воздействием осушительной мелиорации, что способствовало снижению избыточного увлажнения почв и соответственно их контрастности. Однако, следует отметить, что для территорий с преобладанием почв с различной мощностью торфяного горизонта понижение уровня грунтовых вод приводит, наоборот, к увеличению их контрастности. Это объясняется уменьшением мощности торфяного горизонта в результате его сработки и появлением минеральных почв. Кроме того, снижение уровня грунтовых вод способствует увеличению площадей дефлированных почв.

Таким образом, в результате выполненных исследований была установлена высокая эффективность использования цифровой обработки разновременных аэрофотоснимков при изучении динамики почвенного покрова. Компьютерная обработка снимков позволяет ускорить процесс дешифрирования и его количественный анализ, на основании которого можно судить о происходящих изменениях в почвенном покрове. Это особенно важно для районов интенсивного хозяйственного освоения. Исходя из концепции о том, что почва является зеркалом ландшафта, динамика геометрии почвенного пространства, обусловленная изменениями факторов пространственной дифференциации, может служить индикатором состояния природной среды в целом.

1. Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина И.П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М., 1992.

2. Konakh V. V., Topaz A. A. // The Sixth International Conference on «Pattern Recognition and Information Processing». Minsk, 2001. P. 197.

3. Полевое исследование и картографирование почв БССР (Методические указания) / Под ред. Н.И. Смеяна, Т.Н. Пучкаревой, Г.А. Ржеутской. Мн., 1990.

4. Щербенко Е.В., Асмус В.В., Андроников В.Л. // Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М., 1990. С. 214.

5. Топаз А.А. // Вестн. БГУ. Сер. 2. 2006. № 1. С. 74.

Поступила в редакцию 12.03.10.

Антонина Анатольевна Топаз – кандидат географических наук, доцент кафедры геодезии и картографии.

Франц Емельянович Шалькевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры геодезии и картографии.