

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8

Рассмотрен метод комплексной фильтрации выделения сельскохозяйственных полей по данным панхроматической съемки спутника дистанционного зондирования Земли из космоса Landsat-8. Дана количественная оценка результатов и сравнение с результатами кластеризации методами Single Pass и ISODATA программы MultiSpec.

Розглянутий метод виділення сільськогосподарських полів за даними панхроматичної зйомки супутника дистанційного зондування Землі з космосу Landsat-8. Дана кількісна оцінка результатів та порівняння з результатами кластеризації методами Single Pass та ISODATA програми MultiSpec.

The method of complex filtration of selection of the agricultural fields is considered from data of panchromatic survey of satellite of the remote sensing of Earth from space of Landsat-8. The quantitative estimation of results and comparing are given to the results of clusterization by the methods of Single Pass and ISODATA from the program MultiSpec.

Введение. Данные дистанционного зондирования (ДЗ) Земли из космоса представляют большой интерес при решении множества задач в различных областях и сферах деятельности человека. Одной из таких сфер является сельское хозяйство, с ее первоочередной задачей прогнозирования урожайности культур, а также мониторинга растительного покрова.

Наибольшее распространение для решения этих задач получили различные виды спектральных преобразований данных мультиспектральной съемки Земли из космоса, основанные на отношениях коэффициентов спектральной отражательной способности, предварительно рассчитанных по данным из разных поддиапазонов электромагнитного спектра. К таким преобразованиям относят, в частности, ряд так называемых индексов.

Одним из самых известных индексов, является вегетационный индекс и его разновидности (например, нормализованный разностный вегетационный индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)). Первые упоминания об исследовании состояния вегетации по мультиспектральным данным сканеров ДЗ, можно встретить в 1973 году, в исследованиях Rouse и его коллег [1], которые обрабатывали данные спутника Landsat-1 (ERTS-1) и использовали вычисления вегетационного и трансформированного вегетационного индексов по данным каналов сканера Landsat-1 MSS. В настоящее время вегетационные индексы широко используются для мониторинга состояния растительности, оценки биомассы, определения плотности растительного покрова, а также в задачах мониторинга и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных (с\х) культур [2].

Сама задача расчета индексов достаточно просто реализуется при помощи различных программных инструментов обработки мультиспектральных космоснимков [3]. Например, это программные продукты ERDAS Imagine, ENVI, PCI Geomatica, TNT Mips/Lite и подобные. Однако, совсем не тривиальной остается задача автоматизации отделения территорий

с\х полей от остальных территорий как природного, так и антропогенного ландшафтов.

Сложность решения этой задачи определена прежде всего тем, что такие территории имеют либо сходные значения NDVI с другой растительностью (например, луговой или же лесной), а открытые почвы с\х полей по значениям NDVI или по их спектральным особенностям, относятся к различным открытым почвам, которые могут не иметь ничего общего с с\х полями.

Выделение с\х полей из общего контекста космоснимка позволит в дальнейшем проводить различные расчеты исключительно по определенным территориям, что в свою очередь должно повысить прогноз урожайности.

Поскольку территории, покрытые с\х полями для Украины составляют большую часть, то задача автоматизации обработки космоснимков с целью выделения полей и последующей их обработке (например, расчет тех же вегетационных индексов, прогноз урожайности), является актуальной.

Настоящая работа основана на идеях и результатах работы, описанных в [4]. В этой работе авторы активно используют значения NDVI, а также различные методы фильтрации.

Цель и задачи работы. Целью являлась разработка программных инструментов автоматизации выделения с\х полей на базе разработанного метода комплексной фильтрации данных панхроматической съемки Landsat-8 без анализа индекса NDVI.

В ходе работы решены основные задачи:

- выполнена предварительная обработка данных космосъемки;
- из мультиспектральных и панхроматических данных выделен тестовый участок с изображениями с\х полей различной текстуры и уровнями яркости;
- выполнен ряд пространственных преобразований с данными, позволяющими отделить с\х поля от других объектов местности;
- выполнена оцифровка эталонных участков полей, представленная в векторном формате и используемая в ходе количественной оценки результатов преобразований;
- разработан программный инструментарий для автоматизации процесса выделения с\х полей с последующей количественной оценкой результатов;
- для количественного сравнения с результатами обработки предложенным методом комплексной фильтрации, выполнены кластеризации наборов данных методами Single Pass и ISODATA из программы MultiSpec.

Исходные данные и их характеристика. Исходными данными для обработки являлся мультиспектральный космоснимок, полученный со спутника ДЗ Landsat-8, покрывающий съемкой часть территории Днепропетровской области. Дата съемки: 16.03.2015. Космоснимок представляет данные уровня обработки Level 1 и предоставлен архивным центром LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) USGS EROS (U.S. Geological Survey's Earth Resources Observation and Science Center).

Спутник Landsat-8 (LDCM – Landsat Data Continuity Mission) выведен на солнечно-синхронную, приполярную орбиту (высота 705 км) 11 февраля 2013 года. Спутник выполняет съемку одной и той же территории с периодом 16 суток. Основные инструменты съемки (табл. 1):

– OLI (Operational Land Imager) – 9-канальный мультиспектральный сканер;

– TIRS (Thermal InfraRed Sensor) – 2-канальный сканер регистрации электромагнитного излучения в дальнем инфракрасном (тепловом) поддиапазоне спектра.

Таблица 1

Основные характеристики аппаратуры съемки Landsat-8

№ канала	Название канала	Диапазон съемки, мкм	Длина волны на полусреднем максимуме, мкм	Пространственное разрешение съемки, м
<i>сканер OLI</i>				
1	Coastal Aerosol	0,433 – 0,453	0,443	
2	Blue	0,450 – 0,515	0,482	
3	Green	0,525 – 0,600	0,562	
4	Red	0,630 – 0,680	0,655	30
5	NIR	0,845 – 0,885	0,865	
6	SWIR 1	1,56 – 1,66	1,61	
7	SWIR 2	2,1 – 2,3	2,2	
8	PAN	0,50 – 0,68	0,59	15
9	Cirrus	1,36 – 1,39	1,375	30
<i>сканер TIRS</i>				
10	Thermal 1	10,3 – 11,3	10,8	
11	Thermal 2	11,5 – 12,5	12,0	100

Трек съемки спутника Landsat-8 представлен схемой WRS-2 (Worldwide Reference System). Согласно ей, вся поверхность планеты разделена на 233 столбца (Path), которые соответствуют орбите спутника, и 248 строк (Row). Площадь территории покрытия одной ячейки сети WRS-2, составляет 180x185 км – 33 300 км². Центральная часть Днепропетровской области покрыта съемкой Landsat-8 с Path: 178, Row: 26.

В исследовании интерес представлял Магдалиновский район Днепропетровской области, с его богатой с\х инфраструктурой.

На рис. 1 представлен пример изображения архивной сцены Landsat-8, снятой в панхроматическом канале, указанных координатах Path/Row, совмещенный с контурами границ Днепропетровской области и Магдалиновского района.

Процесс автоматизации обработки космоснимка проводился с использованием открытого, свободно распространяемого программного обеспечения GDAL, SAGA

GIS, а также специально разработанных программ обработки мультиспектральных изображений на языке программирования C++.

Метод комплексной фильтрации. Основу предлагаемого метода автоматизации выделения полей представляет комбинирование известных методов фильтрации изображений. Так, в ходе ряда экспериментов, установлено, что приемлемый результат выделения с\х полей может быть достигнут при использовании следующей комбинации методов:

1. Фильтрация исходного изображения фильтром Лапласа с ядром свертки:

$$\begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

2. Использование морфологического фильтра расширения (Erosion).

3. Выделение ячеек раstra с определенным диапазоном значений, соответствующих с\х полям.

4. Медианная фильтрация для устранения отдельных выбросов значений.

5. Окончательное выделение ячеек раstra с определенным диапазоном значений, соответствующих с\х полям (подготовка маски).

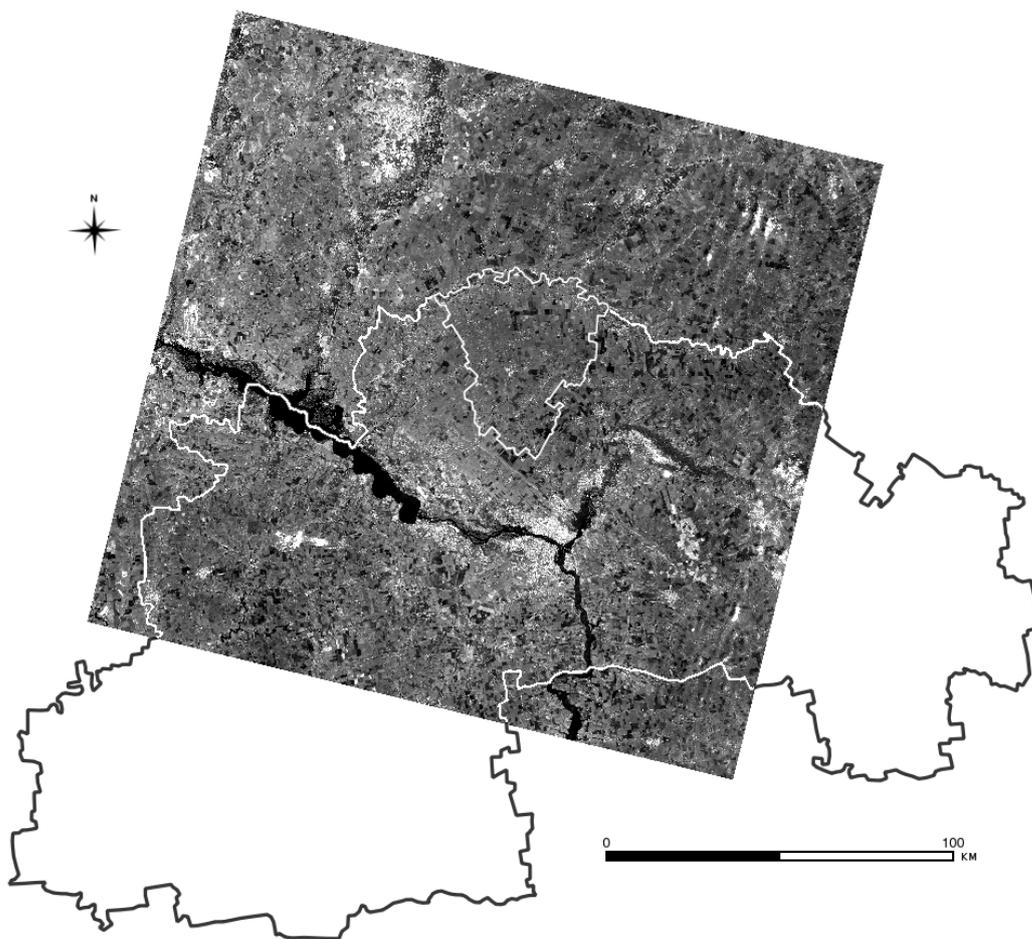


Рис. 1. Покрытие части территории Днепропетровской области одной сценой Landsat-8. Представлены контуры границ области и Магдалиновского района

После того, как растровая маска готова, выполняется маскирование исходного растра – фрагмента изображения панхроматического канала Landsat-8. На рис. 2 представлены ключевые результаты обработки исходного фрагмента панхроматического изображения (рис. 2, а).

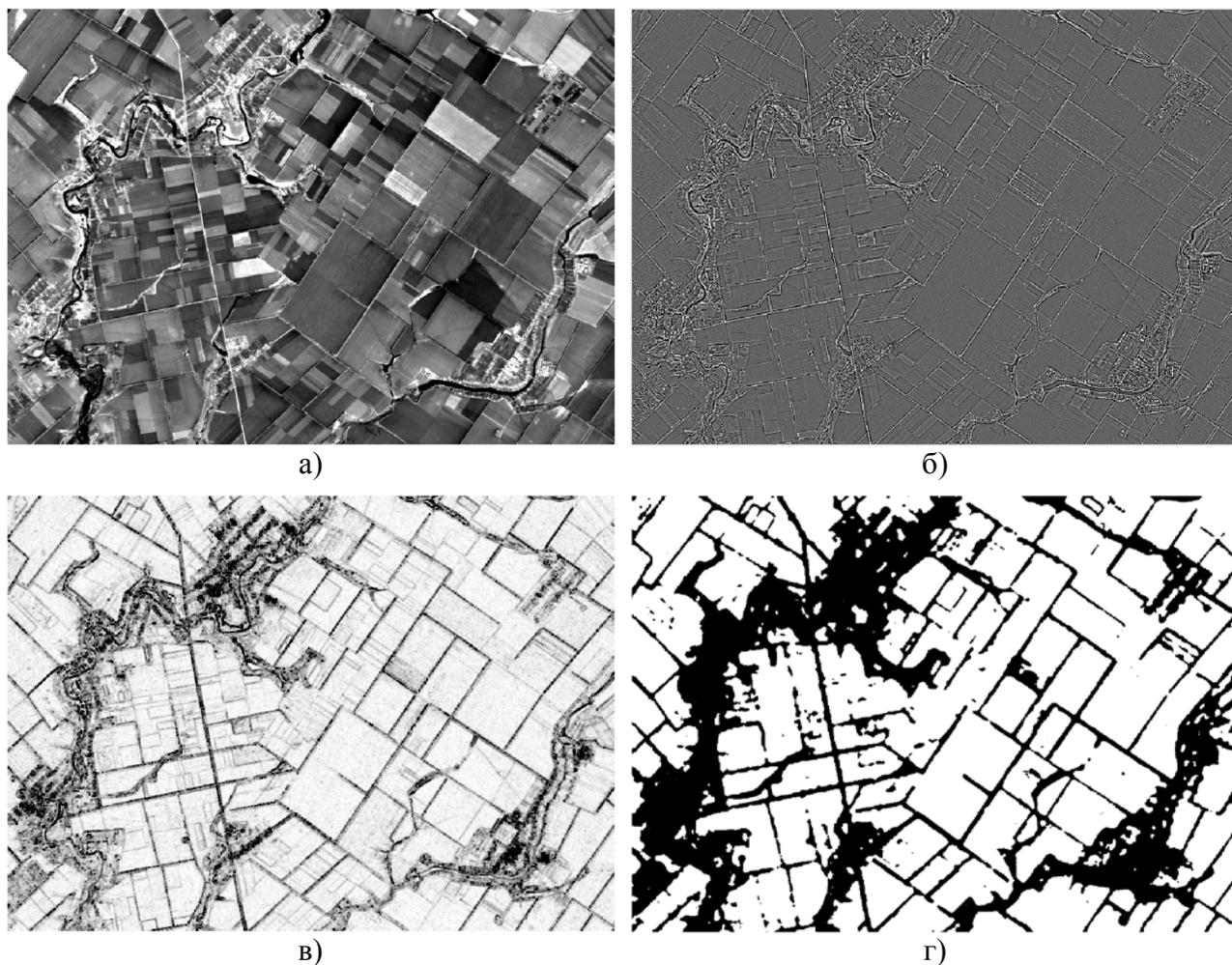


Рис. 2. Исходное панхроматическое изображение космоснимка (а) и его результаты обработки: б) – лапласиан с ядром свертки (1); в) – морфологический фильтр расширения; г) – медианная фильтрация

При помощи разработанных в среде Linux скриптов автоматизации на языке командного процессора Bash, инструментария SAGA GIS и утилит командной строки GDAL, получен специализированный инструментарий автоматизации выделения с\х полей предложенным методом комплексной фильтрации. Конечный результат обработки данных фрагмента панхроматического канала Landsat-8, представлен на рис. 3.

Критерием точности метода является разность площадей с\х полей, подсчитанных по пикселям множества эталонных полей и пикселей полей, выделенных методом обработки. С целью выполнения количественной оценки были определены границы эталонных полей (рис. 3, б), общая площадь которых

составила 1239,57 га. Разница между исходными и выделенными полями предложенным методом комплексной фильтрации, составила 70,3 га (5% от общей площади эталонных полей).

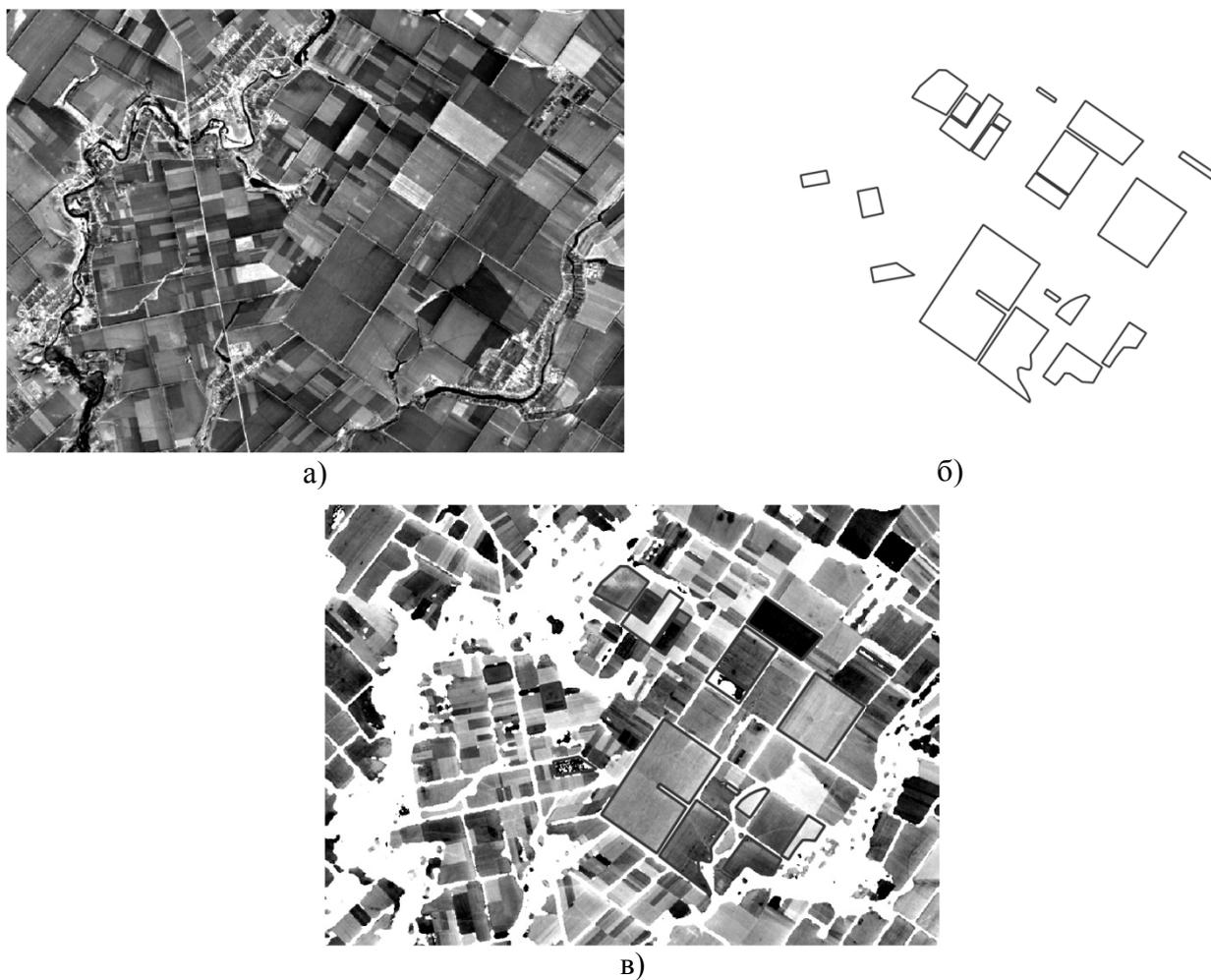


Рис. 3. Исходное панхроматическое изображение космоснимка (а), границы эталонных полей (б) и результат маскирования предложенным методом (в)

Кроме предложенного метода, с\х поля могут быть выделены при помощи различных методов классификации (кластеризации), а также при помощи методов, связанных с анализом коэффициентов спектрального отражения объектов территорий.

В работе выделены структуры полей при помощи методов кластеризации, как наименее затратных по времени, поскольку они не требуют предварительного составления эталонов для процесса идентификации полей, как и предложенный метод комплексной фильтрации. Цифровые карты распределения кластеров различных типов земного покрытия были построены в программе MultiSpec двумя методами – Single Pass и ISODATA. Выбранное количество кластеров – 4-е из расчета выделить на снимке такие участки

земного покрытия, как "открытая почва", "растительность", "вода", "дороги (искусственные объекты местности)". Следует отметить, что поскольку был выбран космоснимок от 16.03.2015 и территория на нем не покрыта снежным покровом, то на нем очень хорошо при цветовом синтезе каналов 5-4-2 Landsat-8 OLI фиксируются поля, покрытые озимыми с/х культурами. Результирующие карты кластеризации представлены на рис. 4.

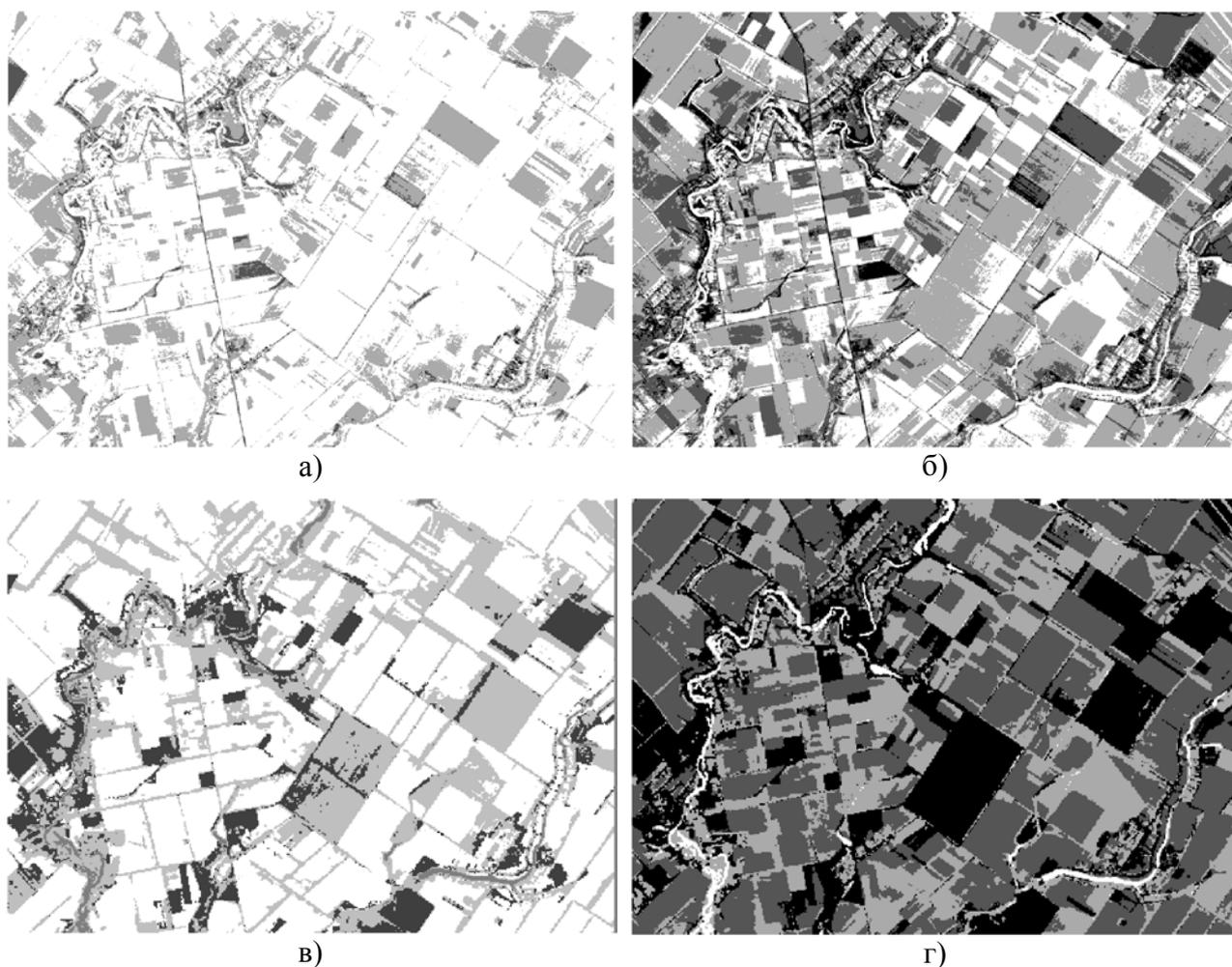


Рис. 4. Результаты кластеризации методами Single Pass (а, в) и ISODATA (б, г) изображений панхроматического канала 8 сканера OLI (а, б) и мультиспектрального изображения (в, г) – использованы каналы 2 – 7 сканера OLI

Управляющие параметры кластеризации в MultiSpec выбраны следующие:

– Single Pass (панхроматическое изображение) – минимальный размер кластера: 6, критическое расстояние 1: 0,04, критическое расстояние 2: 0,07;

– Single Pass (мультиспектральное изображение) – минимальный размер кластера: 6, критическое расстояние 1: 0,09, критическое расстояние 2: 0,18;

– ISODATA (панхроматическое изображение, мультиспектральное изображение) – минимальный размер кластера: 6, количество кластеров: 4, сходимость: 99%.

К полученным результатам кластеризации была также применена маска эталонных полей (рис. 3, б), а затем выполнены подсчеты площадей участков, которые не были соотнесены с типами земного покрытия "вода" и "дорога". Результаты количественной оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количественная оценка результатов
использования методов для выделения с\х полей

<i>№ п/п</i>	<i>Метод</i>	<i>Разница между площадью эталонных и выделенных полей, га</i>	<i>Ошибка, %</i>
1.	Комплексная фильтрация панхроматического канала	70,3	5
2.	Кластеризация ISODATA панхроматического канала	446,04	35
3.	Кластеризация Single Pass панхроматического канала	953,08	76
4.	Кластеризация ISODATA мультиспектрального изображения (каналы 2 – 7 OLI)	561,6	45
5.	Кластеризация Single Pass мультиспектрального изображения (каналы 2 – 7 OLI)	604,71	48

Выводы. Представленный метод комплексной фильтрации показал достаточно неплохие результаты по выделению с\х полей на тестовом наборе данных, дав ошибку отнесения пикселей с\х полей к другим типам земного покрытия в 5%. Эксперименты над мультиспектральными данными показали, что достаточно сложно выделить с\х поля зная только информацию об их спектральных особенностях или значениях NDVI. В значительной степени играют роль такие дешифровочные признаки, как текстура, тон и структура. Учитывая их, возможно добиться и более меньшей ошибки. Однако, предложенный метод прост в реализации и эффективен.

В дальнейших исследованиях планируется использование предложенных скриптов автоматизации в процессах прогнозирования урожайности с\х культур по данным мультиспектральных сканеров ДЗ.

Список литературы

1. Rouse, J.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering // Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I. – 1973. P. 309-317.

2. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. № 3. – С. 28-32.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
4. L. Yan, D.P. Roy. Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data // Remote Sensing of Environment. – 2014. № 144. – P. 42-64.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бусигінім Б.С.
Надійшла до редакції 15.01.15*

УДК 622.457:519.6

© Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ТУПИКОВОЙ ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ

Разработана численная модель на базе многомерных уравнений аэродинамики и уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Численное интегрирование моделирующих уравнений проводится с помощью метода Либмана и неявной разностной схемы. Представлены результаты практического применения разработанной CFD модели, позволяющие оценить эффективность проветривания выработки при заданных параметрах вентиляции. Рассчитаны значения концентрации пыли в исследуемой области выработки. Проведен сравнительный анализ изменения концентрации по данному загрязнителю с течением времени.

Розроблено чисельну модель на базі багатовимірних рівнянь аеродинаміки і рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Чисельне інтегрування моделюючих рівнянь проводиться за допомогою методу Лібмана і неявної різницевої схеми. Представлено результати практичного застосування розробленої CFD моделі, що дозволяють оцінити ефективність провітрювання виробки при заданих параметрах вентиляції. Розраховано значення концентрації пилу в досліджуваній області виробки. Проведено порівняльний аналіз зміни концентрації за даним забруднювачем з часом.

A numerical model is based on the multi-dimensional equations of aerodynamics and the equation of convection-diffusion pollutant transfer. Numerical integration of modeling equations is performed using the method of Libman and implicit difference schemes. The results of the practical application of the developed CFD model is represented to assess the effectiveness of ventilation in the production of the given parameters of ventilation. The values of dust concentration in the study area were calculated. A comparative analysis of concentration changes of this pollutant in the time were done.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Развитие горнодобывающей промышленности основано на повышении интенсивности работ в выработках, что приводит к увеличению пыле- и газовыделений. Это предъявляет высокие требования к эффективности работы вентиляционной системы. Рост объема очистного пространства и интенсивности ведения горных