

УДК 004.65, 004.67

МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ СЛИЯНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА УЩЕРБА ОТ ЗАСУХИ

Б.Я. Яйлимов

*Институт космических исследований Национальной академии наук Украины
и Государственного космического агентства Украины*

yailymov@ikd.kiev.ua

У статті запропоновано інформаційна технологія визначення пошкоджених посівів внаслідок посухи на основі геопространственного аналізу і злиття даних. Джерелами даних про пошкодження служать супутникові знімки, отримані з різних космічних апаратів, векторні дані про межі полів і наземні вимірювання. Для ідентифікації пошкоджень на супутникових зображеннях запропонований метод злиття даних різного просторового розрізнення, який базується на інтелектуальних обчисленнях і геопросторовому аналізу інформації. Запропонований метод апробовано на одному з районів Автономної Республіки Крим.

Ключові слова: злиття даних, геопросторовий аналіз, класифікація, оцінка збитків.

In this paper we present a data fusion approach for assessment of crop damages caused by a drought using geospatial information. The following datasets are being used: remote sensing images acquired by different satellite instruments, field boundaries and ground observations of crop damages. Crop damage assessment is performed by fusing satellite images of various spatial resolution using intelligent computations and geospatial analysis techniques. The presented approach is validated for administrative districts of the Autonomous Republic of Crimea.

Keywords: data fusion, geospatial analysis, classification, damage assessment.

В статье предложена информационная технология определения поврежденных посевов в результате засухи на основе геопространственного анализа и слияния данных. Источниками данных о повреждениях служат спутниковые снимки, полученные с различных космических аппаратов, векторные данные о границах полей и наземные измерения. Для идентификации повреждений на спутниковых изображениях предложен метод слияния данных разного пространственного разрешения, базирующийся на интеллектуальных вычислениях и геопространственном анализе информации. Предложенный метод апробирован на одном из районов Автономной Республики Крым.

Ключевые слова: слияние данных, геопространственный анализ, классификация, оценка ущерба.

Введение

Одной из задач, решаемых с помощью спутниковых данных, является мониторинг засух. Являясь одним из крупнейших стихийных бедствий, затрагивающих жизнедеятельность человечества, засухи наносят колоссальный ущерб многим сферам экономики, экологии и т.д. [1, 2, 3]. Традиционно мониторинг засух осуществляется на основе данных об осадках, но получение этих данных зачастую оказывается проблематичным [4, 5]. Использование геопространственных данных позволяет повысить оперативность получения

оценочных характеристик сельскохозяйственных культур, а также обеспечить максимальный уровень объективности информации для своевременного выявления, мониторинга развития, оценки ущерба и смягчения последствий засухи [6, 7]. Существуют методы цифровой обработки космических изображений, позволяющие выделить территории, пострадавшие от засухи, и оценить связанной с нею ущерб [8, 9]. Большинство таких методов выявления засух и оценки ущерба с использованием спутниковых данных основаны на сравнении изображений за различные вегетационные периоды, но такой подход не совершенен, поскольку состояние растительности может ухудшаться по причинам, не связанным с засухой.

Для оценки ущерба от засухи, данных одного спутника может оказаться недостаточно, так как часть данных может быть скрыта или могут быть искажения, вызванные другими факторами. Таким образом, необходимо анализировать информацию, поступающую из различных источников с различным временным и пространственным разрешением. Основным источником объективной информации о состоянии посевов на большой площади являются спутниковые данные [10, 11].

В данной работе предлагается подход к оценке ущерба от засухи, основанный на технологии слияния спутниковых данных разного разрешения, векторных данных о границах полей и данных наземных измерений.

1. Используемые данные

Для снижения затрат решения задачи оценки состояния посевов предлагается использовать бесплатную спутниковую информацию MODIS, Landsat и EO-1. Для оценки площадей, пострадавших от засухи, необходимы также векторные геопространственные данные о границах полей, которые можно получить либо из открытых источников, либо путем оцифровки спутниковых снимков среднего и высокого разрешения [12, 13, 14]. Для формирования обучающей выборки при решении задачи классификации посевов и их повреждений необходима наземная информация о состоянии посевов на конкретных полях, для получения которой необходимо привлекать экспертов (агрономов).

Оценку ущерба, причиненного засухой, предлагается решать в два этапа. Сначала по спутниковой информации разного разрешения с учетом векторных границ полей и наземных измерений необходимо построить цифровые карты повреждений. После того можно перейти к оценке площади поврежденных посевов и экономического ущерба.

2. Метод классификации повреждений на основе слияния данных

Для классификации повреждений предлагается подход, представленный на рис. 1. [15, 16]. Первым этапом обработки спутниковых изображений

является кластеризация, которую предлагается осуществить с помощью метода ISODATA (Итерационный метод анализа данных с самоорганизацией). Следующим этапом обработки является классификация. Для ее реализации используются кластеризованные пиксели исходного изображения с последующим отнесением группы кластеров к некоторому классу на основе наземной экспертной информации (обучающей выборки, сформированной в результате полевых исследований) [17, 18]. Классификация каждого из снимков осуществляется по видам культур и классам повреждений.

С учетом специфики задачи предлагается разделять посевы на четыре класса: озимые, яровые, летние культуры и необработанные поля. Степени повреждений предлагается разделить на три класса: неповрежденные посевы (к этому классу отнесем участки, на которых пострадало менее 30% посевов), пострадавшие (уничтожено 30-70% посевов) и погибшие (потери всходов составляют более 70%).



Рис. 1. Подход к построению карты повреждений

Для повышения точности классификации повреждений предлагается использовать ансамбль моделей, предназначенных для обработки данных разных спутников. В блоке слияния данных на рис. 1 выполняется геопространственный анализ информации, полученной в результате работы каждого конкретного классификатора. Опишем эту процедуру более подробно.

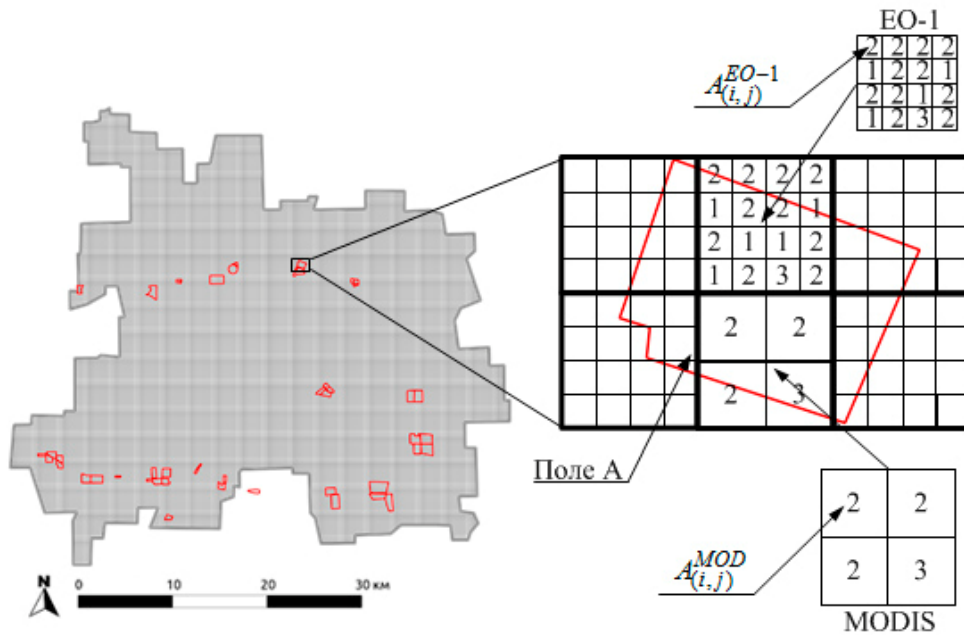


Рис. 2. Построение карты повреждений с использованием данных из разных источников

Рассмотрим карту повреждений, построенную на основе данных нескольких спутников $d, d = \overline{1, D}$. Процесс построения карты повреждений на основе слияния разнородных данных проиллюстрирован на рис. 2.

Пусть имеем некоторое поле A , которое состоит из пикселей нескольких спутников с различным пространственным разрешением. Чтобы определить, к какому классу относится поле, подсчитаем количество пикселей, что относится к каждому классу повреждений с учетом данных различных спутников. Тогда, для поля A присваиваем тот класс повреждений, пикселей которого больше.

Рассмотрим более подробно процесс классификации с использованием разнородных данных.

Предположим, на карте классификации выделены L классов. Для поля A на карте классификации, построенной для спутника $d, d = \overline{1, D}$, каждая точка на снимке характеризуется дискретными координатами (i, j) и классом, которому принадлежит пиксель — $C_{(i,j)}^{(d)}$.

$$A_{(i,j)}^{(d)} = \{(i, j), C_{(i,j)}^{(d)}\}. \tag{1}$$

Количество пикселей поля A , отнесенных на карте к каждому из классов $l, l = \overline{1, L}$, можно определить следующим образом:

$$K_l^{(d)} = \sum_{(i,j) \in A} \mathbf{1}(C_{(i,j)}^{(d)} = l). \tag{2}$$

Выполним слияние данных карт классификации, построенных для различных спутников. Общее число пикселей поля A , отнесенных на каждой

карте $d, d = \overline{1, D}$ к каждому из классов $l, l = \overline{1, L}$, можно определить следующим образом:

$$K_l = \sum_{d=1}^D W_d \cdot K_l^{(d)}, \quad l, l = \overline{1, L}, \quad (3)$$

где W_d — весовой коэффициент, учитывающий различное пространственное разрешение разных спутников.

Для определенности, с учетом специфики изображений предлагается определять W_d в формуле (3) следующим соотношением:

$$W_d = \left[\frac{S_d}{\min_{\alpha} S_d} \right], \quad d = \overline{1, D}, \quad (4)$$

где S_d — площадь пикселя каждого из спутников $d = \overline{1, D}$, α — количество всех спутников, используемых для определения весовых коэффициентов, $[\cdot]$ — операция вычисления целой части.

Поле A отнесем к тому классу повреждений c , к которому относится максимальное количество пикселей, принадлежащих этому полю, согласно взвешенной сумме (3).

$$c = \arg \max_l K_l. \quad (5)$$

3. Оценка ущерба по картам классификации

Экономический ущерб, причиненный засухой на некоторой территории, можно представить следующим образом:

$$L = Y \cdot P \cdot S_{dm}, \quad (6)$$

где L — финансовый ущерб; Y — урожайность сельскохозяйственной культуры на данной территории (получаемая по данным статистики и измеряемая в тонн/га); P — цена данной сельскохозяйственной культуры (например, оценка снизу за прошлый год, измеряемая в грн./тонну), S_{dm} — площадь поврежденных (погибших) посевов сельскохозяйственной культур с учетом степени повреждения.

Для оценки площадей S_{dm} гибели посевов сельскохозяйственной культур в (6) на основе спутниковых данных можно воспользоваться следующей формулой:

$$S_{dm} = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot S_i, \quad (7)$$

где N — число градаций повреждений (в рассмотренном случае — 3); $\alpha_i, i = \overline{1, N}$ — коэффициент повреждения; $S_i, i = \overline{1, N}$ — сумма площадей поврежденных посевов для каждого α_i .

4. Реализация и экспериментальная проверка предложенного подхода

Экспериментальная проверка предложенного метода определения ущерба выполнялась для Красногвардейского района АР Крыма, на долю которого приходятся самые высокие показатели по объему сельскохозяйственного производства на полуострове, в 2013 году этот район пострадал от засухи больше всего.

С помощью Регионального центра поддержки программы UN-SPIDER оперативно была организована космическая съемка указанного района и получены спутниковые снимки EO-1 с разрешением 30 м.

Определение степени повреждения заключается в визуальной оценке количества поврежденных органов растений [19]. Зависимость между NDVI и степенью повреждений можно аппроксимировать регрессионной зависимостью, которая получена с использованием наземных данных.

$$Damage = -0.0416 \cdot NDVI + 237.26, \quad (8)$$

Достоверность модели (8) подтверждается коэффициентом детерминации $R^2 = 0.6687$.

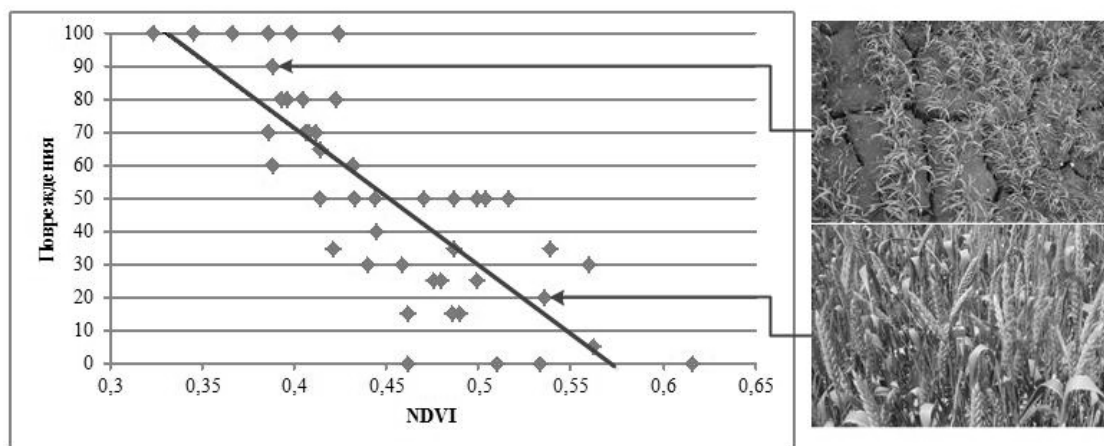


Рис. 3. Зависимость значения NDVI от повреждений

Наличие выбросов на рис. 3. можно объяснить субъективностью мнения эксперта, проводившего оценку состояния посевов с использованием одного из трех возможных состояний посевов (неповреждённые, пострадавшие, погибшие), что не позволяет корректно классифицировать промежуточные состояния (переходы из одного состояния в другое) посевов, а также усложняет точную количественную оценку. Так как линейная модель, построенная с использованием вышеописанных субъективных экспертных оценок, плохо описывает имеющиеся данные, принято решение использовать нелинейную модель, а именно применить классификатор.

Поскольку карты повреждений в данном случае строились по данным 2 спутников (EO-1 и Aqua (MODIS)), соотношение (3) имеет вид

$$K_l = W_{d^{EO}} \cdot K_l^{EO} + W_{d^{MOD}} \cdot K_l^{MOD}.$$

Применение предложенной технологии слияния данных, описываемой формулами (1)-(5), позволило повысить точность классификации до 95% за счет привлечения данных из других источников для покрытия частей снимка где нет данных. Отдельные классификаторы выступают в такой схеме в качестве частных экспертов, обеспечивающих переход от анализа отдельных признаков к оценке ситуации в целом [20].

Итоговая карта повреждений представлена на рис. 4. На основе полученной геопространственной информации о повреждениях посевов можно вычислить оценку экономического ущерба от засухи для Красногвардейского района по формулам (6)-(7). А именно, вычислим площади посевов, отнесенные к каждому из трех рассматриваемых классов повреждений (см. рис. 4). Для соотношения (7) получим:

$$S_1 = 8695 \text{ га (площадь посевов, поврежденных на 0-30\%);}$$

$$S_2 = 57250 \text{ га (площадь посевов, поврежденных на 31-70\%);}$$

$$S_3 = 25690 \text{ га (площадь посевов, поврежденных на 71-100\%).}$$

Введем коэффициенты повреждения для каждого из выделенных классов. Будем считать, что в (7) $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 0.5$ (посевы повреждены наполовину), $\alpha_3 = 1$ (урожай уничтожен полностью). Тогда, согласно (7), площадь поврежденных посевов с учетом степени повреждений составляет

$$S_{dm} = 8695 \cdot 0 + 57250 \cdot 0.5 + 25690 \cdot 1.0 = 54315.0 \text{ га.}$$



Рис. 4. Тематическая карта состояния посевов озимых и яровых зерновых культур в АР Крым Красногвардейского района, 27 мая 2013 г.

Учитывая минимальную цену озимой пшеницы и среднюю урожайность для данного района, по формуле (6) можно вычислить оценку экономического ущерба по Красногвардейскому району. Так, минимальная цена озимой пшеницы в 2012 году составляла 1700 грн./тонну [21], а согласно данным сайта Главного управления статистики в Автономной республике Крым урожайность озимой пшеницы в Красногвардейском районе зафиксирована на уровне 1,5 тонн/га [22]. Тогда в соответствии с (6) получим

$$L = 1.5 \text{ тонн/га} \cdot 1700 \text{ грн/тонну} \cdot 54315.0 \text{ га} = 138.5 \text{ млн. грн.}$$

Таким образом, в результате неблагоприятных погодных условий экономический ущерб по Красногвардейскому району от гибели посевов зерновых в 2013 году составляет порядка 138.5 млн. грн., что согласуется с оценками других экспертов.

Заключение

Таким образом, применение спутниковой информации и автоматизированных геоинформационных технологий слияния данных позволяет эффективно решать оперативные задачи агромониторинга для больших территорий и получать объективные оценки и ущерба для поддержки принятия управленческих решений [2].

В статье предложена информационная технология оценивания ущерба от засух на основе использования разнородной, в том числе, спутниковой информации. Определение поврежденных в результате засухи посевов выполняется на основе геопространственного анализа и слияния данных. Источниками данных о повреждениях служат спутниковые снимки, полученные с различных космических аппаратов, векторные данные о границах полей и наземные измерения. Для идентификации повреждений на спутниковых изображениях предложен метод слияния данных разного пространственного разрешения, базирующийся на интеллектуальных вычислениях и геопространственном анализе информации. Предложенный метод апробирован на одном из районов Автономной Республики Крым, который в 2013 году пострадал в результате длительной засухи.

Анализ тематической карты показал, что в результате неблагоприятных погодных условий (продолжительной засухи) в Красногвардейском районе пострадали 54315 га посевов зерновых (озимой пшеницы и ярового ячменя), при этом экономический ущерб от гибели посевов зерновых по Красногвардейскому району в результате неблагоприятных погодных условий составил порядка 138.5 млн. грн.

В дальнейшем представленные методы и результаты планируется использовать для создания системы поддержки принятия решений регионального уровня.

Литература

1. Kravchenko A. Water resource quality monitoring using heterogeneous data and high-performance computations / Kravchenko A., Kussul N., Lupian E., Savorsky V., Hluchy L., Shelestov A. // *Cybernetics and Systems Analysis*. — 2008. — 44 (4), P. 616–624.
2. Kussul N. Disaster Risk Assessment Based on Heterogeneous Geospatial Information / Kussul N., Sokolov B., Zyelyk Y., Zelentsov V., Skakun S., Shelestov A. // *Journal of Automation and Information Sciences*. — 2010, Volume 42, Issue 12, P. 32–45.
3. Kussul N. High-performance intelligent computations for environmental and disaster monitoring / Kussul N., Shelestov A., Skakun S., Kravchenko O. // *Int. J. Information Technologies & Knowledge*. — 2009, — 3, P. 135–156.
4. Ji L. Assessing vegetation response to drought in the northern Great Plains using vegetation and drought indices / Ji L., Peters A. J. // *Remote Sensing of Environment*, 87(1). □ 2003, P. 85–98.
5. Kussul N. Grid technologies for satellite data processing and management within international disaster monitoring projects / Kussul N., Shelestov A., Skakun S. // *Grid and Cloud Database Management*. — 2011. P. 279–305.
6. Getachew Berhan. Using Satellite Images for Drought Monitoring: A Knowledge Discovery Approach / Getachew Berhan, Shawndra Hill, Tsegaye Tadesse, Solomon Atnafu // *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*. — 2011. Vol. 7, P. 135–153.
7. Zhang X. Drought-induced vegetation stress in southwestern North America / Zhang, X., Goldberg M., Tarpley D., Friedl M., Morisette J., Kogan F., Yu Y. // *Environmental Research*, — 2010. Vol - 5(2), P. 511–538.
8. Щербенко Е.В. Мониторинг засухи по данным космических съемок / Щербенко Е.В // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: сб. ст. М: ООО «Азбука», 2007. — Т.2, С. 395–407.*
9. Bayarjargal Y. A comparative study of NOAA-AVHRR derived drought indices using change vector analysis / Bayarjargal Y., Karnieli A., Bayasgalan M., Khudulmur S., Gandush C., and Tucker C. // *Remote Sens. Environ.* — 2006. Vol. 105, P. 9–22.
10. H. B. Mitchell. *Multi-sensor Data Fusion – An Introduction* (2007) Springer-Verlag, Berlin, ISBN 9783540714637.
11. Kussul N. Crop area estimation in Ukraine using satellite data within the MARS project / Kussul N., Skakun S., Shelestov A., Kravchenko O., Gallego J., Kussul O. // *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 22-27 July. — 2012, P. 3756–3759.
12. Kussul N. Crop state and area estimation in Ukraine based on remote and in-situ observations / N. Kussul, A. Shelestov, S. Skakun, O. Kravchenko, B.

- Moloshnii // Int. J. on Information Models and Analyses, 2012, vol. 1, no. 3, P. 251–259.
13. Kussul N. Flood Monitoring from SAR Data / Kussul N., Shelestov A., Skakun S. F. Kogan, A. Powell, O. Fedorov // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security, Springer. – 2011. P. 19–29.
 14. Kussul N. Interoperable Infrastructure for Flood Monitoring: SensorWeb, Grid and Cloud / N. Kussul, D. Mandl, K. Moe, J.P. Mund, J. Post, A. Shelestov, S. Skakun, J. Szarzynski, G. Van Langenhove, M. Handy // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2012. Vol. 5. No. 6. P. 1740–1745.
 15. Галлего Х. Анализ эффективности различных подходов для классификации посевов на основе спутниковой и наземной информации / Галлего Х., Кравченко А., Куссуль Н., Скакун С., Шелестов А., Грипич Ю. // Проблемы управления и информатики. – 2012. № 3. – С. 123–134.
 16. Gallego J.F. Efficiency Assessment of Different Approaches to Crop Classification Based on Satellite and Ground Observations / J.F. Gallego, O. Kravchenko, N. Kussul, S. Skakun, A. Shelestov, Y. Gripich // Journal of Automation and Information Sciences. – 2012. Vol. 44. No. 5. P. 67–80.
 17. Плющиков В.Г. Методы управления сельскохозяйственными рисками: учебно-методическое пособие / В.Г. Плющиков, Э.А. Довлетярова, Н.И. Ильясова // Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования "Рос. ун-т дружбы народов". – Москва: Изд-во Российского ун-та дружбы народов. – 2006. – С. 70.
 18. Memarsadeghi N. Fast Implementation of the ISODATA Clustering Algorithm / Memarsadeghi N., Netan-yahu. N., LeMoignc J. // International Journal of Computational Geometry and Applications. – 2007. Vol. 17, P. 71–103.
 19. Настанова гідрометеорологічним станціям і постам. – Вип. 11. Агрометеорологічні спостереження. – К. : Державна гідрометеорологічна служба України, 2007. – 303 с.
 20. Tommi Jaakkola, course materials for 6.867 Machine Learning, Fall 2006. MIT OpenCourseWare (<http://ocw.mit.edu/>), Massachusetts Institute of Technology.
 21. Центр «АГРО ПЕРСПЕКТИВА». Информационно-аналитический центр по вопросам аграрного и химического бизнесов // Средние закупочные цены по Украине на зерновые. 2012. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://www.agroperspectiva.com/ru/price/?d=:20-08-2012>.
 22. Главное управление статистики в Автономной Республике Крым. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.sf.ukrstat.gov.ua/2013Zexp45.pdf>.