Оригинальная статья
https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-129-133
УДК 581.543:712

МЕТОДИКА ОБНАРУЖЕНИЯ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЛАНДШАФТНЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ

Х.Г. Асадов✉, Е.Дж. Сулейманова, Н.Х. Мустафазаде
Национальное Аэрокосмическое Агентство; г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация. Целью работы является исследование возможности разработки нового метода и соответствующей методики для обнаружения сезонных изменений в водонасыщенных и прибрежных ландшафтных образованиях. Для оценки сезонных изменений природных зон предложен интегрально-мультипликативный критерий в качестве альтернативы существующему векторному критерию, используемому в технологии обработки спектральных данных «Tasseled Cap». Определено, что предлагаемый метод по сравнению с известным аналогом предусматривает использование дополнительного экстремального признака для подтверждения выявления характерных природных зон при мониторинге земной поверхности.

Ключевые слова: ландшафтные образования, оптимизация, сезонные изменения, водонасыщенные зоны, экосистема, урбанизация

Формат цитирования: Асадов Х.Г., Сулейманова Е.Дж., Мустафазаде Н.Х. Методика обнаружения сезонных изменений в ландшафтных образованиях // Природообустройство. 2025. № 1. С. 129-133. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-129-133

Scientific article

THE METHOD OF DETECTING SEASONAL CHANGES IN LANDSCAPE FORMATIONS

H.G. Asadov✉, E.J. Suleymanova, N.H. Mustafazade
National Aerospace Agency; Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The aim of the study is to investigate the possibility of developing a new method and an appropriate technique for detecting seasonal changes in water-saturated and coastal landscape formations. To assess seasonal changes in natural areas, an integral multiplicative criterion is proposed as an alternative to the existing vector criterion used in the technology of processing spectral data "Tasseled Cap". It is determined that the proposed method, in comparison with the known analogue, provides for the use of an additional extreme feature to confirm the identification of characteristic natural zones when monitoring the Earth's surface.

Keywords: landscape formations, optimization, seasonal changes, water-saturated zones, ecosystem, urbanization

Format of citation: Asadov H.G., Suleymanova E.J., Mustafazade N.H. Methodology for detecting seasonal changes in landscape formations // Prirodoobustrojstvo. 2025. No. 1. P. 129-133. https://doi.org/10.26897/1997-6011-2025-1-129-133

Введение. Антропогенная деятельность (включая процессы урбанизации и развития сельского хозяйства) привела к значительным потерям водонасыщенных и прибрежных территорий [1]. Как результат, уменьшились экосистемы, зависящие от указанных водных ресурсов [2, 3]. Подобные изменения регулярно фиксируются спектрометрической аппаратурой, установленной на таких спутниках дистанционного зондирования, как Landsat, Spot, IRS и др. Количественная оценка происходящих изменений традиционно осуществляется путем анализа спектральных данных используемых средств дистанционного зондирования. При этом широко применяется метод индексной оценки с использованием таких индексов, как NDVI, LAI и др. [4-6]. Вместе с тем существует метод анализа векторных изменений (CVA), который позволяет определить направление и величину изменений в многомерном спектральном пространстве [7, 8]. Метод CVA позволяет определить пороговые значения изменений в земляном покрове и отличить их от тех незначительных изменений, которые формируются ввиду влияния

© Асадов Х.Г., Сулейманова Е. Дж., Мустафазаде Н.Х., 2025

атмосферных воздействий или по причине несовершенства измерительной аппаратуры [8]. Для реализации метода CVA используются различные процедуры обработки спектральных данных – такие, как (a) – ортогональная трансформация спектральных данных [6, 9]; (b) – метод Tasseled Cap (TC).

Как отмечается [10], метод CVA был разработан с использованием таких компонент TC анализа данных Landsat, как яркость, зеленость и влажность с целью интерпретации специфических биофизических изменений. В общем случае TC является линейной трансформацией данных шести спектральных каналов Landsat 8 (синий, зеленый, красный, NIR, SWIR1, SWIR2) в шесть композитных спектральных параметров, первыми тремя из которых являются яркость (B), зеленость (G) и влажность (W). Такая трансформация позволяет уменьшить обьем требуемых данных и оценить важнейшие физические параметры обьектов на поверхности Земли [11]. Указанные три компоненты позволяют осуществить не только мониторинг растительных участков, но и состояние опустыненных каменистых участков. Согласно [12] B, G, W компоненты TC преобразования определяются по формулам:

$$B = 0,3521 \cdot B2 + 0,3899 \cdot B3 + 0,3825 \cdot B4 + \\ +0,6985 \cdot B5 + 0,2343 \cdot B6 - 0,1867 \cdot B7; \quad (1)$$

$$G = -0,3301B2 + 0,3455 \cdot B3 - 0,4505 \cdot B4 + \\ +0,6970 \cdot B5 - 0,0448 \cdot B6 - 0,2840 \cdot B7; \quad (2)$$

$$W = 0,2651B2 + 0,2367 \cdot B3 + 0,1296 \cdot B4 + \\ +0,0590 \cdot B5 - 0,7506 \cdot B6 + 0,5386 \cdot B7, \quad (3)$$

где $B1$-$B7$ указывают на значения данных, имеющихся на выходах вышеуказанных спектральных каналов.

Согласно [10] метод CVA основан на вычислении Эвклидовой дистанции между приращениями показателей B, G, W по формуле:

$$C_m = \sqrt{(B_1 - B_2)^2 + (G_1 - G_2)^2 + (W_1 - W_2)^2}, \quad (4)$$

где C_m – величина результирующего изменения, индексы 1, 2 определяют значения показателей в моменты t_1 и t_2, где $t_2 > t_1$.

Вместе с тем показатели B, G, W формируются согласно (1)-(3) на базе единого множества спектральных показателей, и между ними существуют определенное скрытие связи. Критерий (4), на наш взгляд, позволяет определить эти скрытые связи. В проведенных исследованиях вместо векториального показателя C_m предлагается определенный скалярный показатель, вычисляемый по методике определения геометрического среднего приростов $\Delta B, \Delta G, \Delta W$.

Цель исследований: изучение возможности разработки нового метода и соответствующей методики для обнаружения сезонных изменений в водонасыщенных и прибрежных ландшафтных образованиях.

Материалы и методы исследований. Вместо линейного показателя C_m для оценки изменений, происходящих в различных ландшафтах, предлагается следующий обьемный показатель V_m, определяемый как

$$V_m = \sqrt{(B_1 - B_2)^2 \cdot (G_1 - G_2)^2 \cdot (W_1 - W_2)^2}. \quad (5)$$

Обозначив

$$B_1 - B_2 = \Delta B; \quad (6)$$

$$G_1 - G_2 = \Delta G; \quad (7)$$

$$W_1 - W_2 = \Delta W \quad (8)$$

и далее для удобства записи, выполнив введение обозначения

$$\Delta B = x;\ \Delta G = y;\ \Delta W = z, \quad (9)$$

получим:

$$V_m^2 = x^2 \cdot y^2 \cdot z^2. \quad (10)$$

В качестве исходного предположения примем существование следующих функциональных зависимостей:

$$x = f(z); \quad (11)$$

$$x = \varphi(y); \quad (12)$$

$$y = \psi(z). \quad (13)$$

С учетом выражений (10)-(13) можно сформулировать следующие оптимизационные задачи:

1) поиск оптимального вида функции $f(z)$, при которой интегральный показатель

$$F_1 = \int_{z_{min}}^{z_{max}} f(z)^2 \cdot y^2 \cdot z^2 dz \quad (14)$$

достигает экстремума;

2) поиск оптимального вида функции $\varphi(y)$, при которой интегральный показатель

$$F_2 = \int_{y_{min}}^{y_{max}} \varphi(y)^2 \cdot y^2 \cdot z^2 dy \quad (15)$$

достигает экстремума;

3) поиск оптимального вида функции $\psi(z)$, при которой интегральный показатель

$$F_3 = \int_{z_{min}}^{z_{max}} x^2 \cdot \psi(z)^2 \cdot z^2 dz \quad (16)$$

достигает экстремума.

Следует отметить, что решения сформированных выше оптимизационных задач

идентичны, и приведем решение только первой задачи.

Для получения решения первой задачи в явном виде применительно к искомой функции $f(z)$ примем следующее ограничительное условие:

$$\int_{z_{min}}^{z_{max}} f(z)\,dz = C_1. \qquad (17)$$

Возможный вид функций $f(z)$, отвечающих условию (17), показан на рисунке 1.

Математически условие (17) означает, что поиск вида оптимальной функции $f(z)$ должен быть осуществлен в таком подклассе непрерывных и дважды дифференцируемых функций, которые отвечают этому условию. С учетом выражений (16) и (17) составим целевой функционал безусловной вариационной оптимизации F_{10}, где

$$F_{10} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} f(z)^2 \cdot y^2 \cdot z^2 dz + \lambda\left[\int_{z_{min}}^{z_{max}} f(z)\,dz - C_1\right], \qquad (18)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Согласно методу Эйлера решение задачи (18) должно ответить условию:

$$\frac{d\left\{f(z)^2 \cdot y^2 \cdot z^2 + \lambda f(z)\right\}}{df(z)} = 0. \qquad (19)$$

Из выражения (19) получаем

$$2f(z)\,y^2 \cdot z^2 + \lambda = 0. \qquad (20)$$

Из выражения (20) находим:

$$f(z) = -\frac{\lambda}{2y^2z^2}. \qquad (21)$$

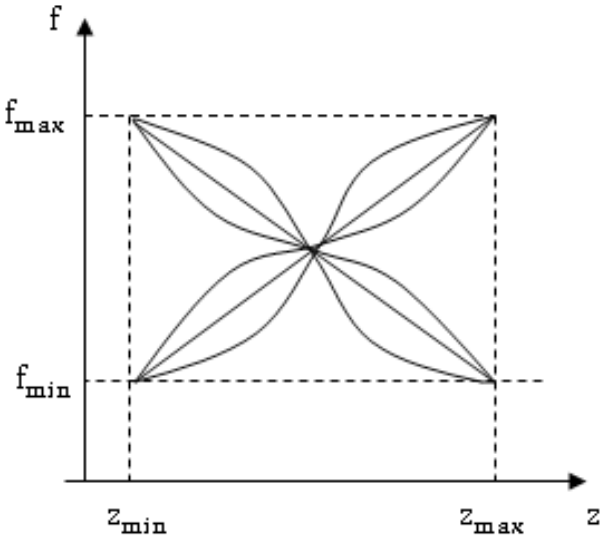

Рис. 1. **Общий вид некоторых возможных функций *f* = *f*(*z*), отвечающих условию** (17)

Fig. 1. **General view of some possible functions *f* = *f*(*z*), meeting the condition** (17)

С учетом выражений (17) и (21) имеем

$$-\int_{z_{min}}^{z_{max}} \frac{\lambda}{2y^2z^2}\,dz = C_1. \qquad (22)$$

Из выражения (22) находим:

$$\lambda = -\frac{2C_1y^2}{\int_{z_{min}}^{z_{max}} \frac{dz}{z^2}}. \qquad (23)$$

С учетом выражений (21) и (23) окончательно получаем:

$$f(z)_{opt} = \frac{C_1 z_{min} z_{max}}{z^2 \Delta z_{max}}, \qquad (24)$$

где $\Delta z_{max} = z_{max} - z_{min}$.

При решении (24) целевой функционал F_{10} достигает минимума, так как производная выражения (20) по искомой функции всегда является положительной величиной.

Вычислим минимальную величину F_{10} с учетом решения (24).

Имеем

$$F_{1min} = \int_{z_{min}}^{z_{max}} \left(\frac{C_1 z_{min} z_{max}}{z^2 \Delta z_{max}}\right)^2 y^2 z^2 dz = \frac{y^2 C_1^2 z_{min} z_{max}}{\Delta z_{max}}. \qquad (25)$$

С учетом идентичности сформулированных выше трех задач, для второй и третьей задач, сформулировав дополнительные условия:

$$\int_{y_{min}}^{y_{max}} \varphi(y)\,dy = C_2 \qquad (26)$$

$$\text{и} \quad \int_{z_{min}}^{z_{max}} \psi(z)\,dz = C_3, \qquad (27)$$

решение этих оптимизационных задач по аналогии с (24) запишем в виде:

$$\varphi(y)_{opt} = \frac{C_2 y_{min} y_{max}}{y^2 \Delta y_{max}}; \qquad (28)$$

$$\psi(z)_{opt} = \frac{C_3 z_{min} z_{max}}{z^2 \Delta z_{max}}. \qquad (29)$$

Можно показать, что при решениях (28) и (29) целевые функционалы соответствующих оптимизационных задач достигают минимума.

Результаты и их обсуждение. Основное преимущество предложенного критерия (5) по сравнению с векторным критерием (4) заключается в том, что предлагаемый метод позволяет выработать некоторый экстремальный показатель (в данном случае F_{01}), который, достигая минимума, подтверждает наличие оптимальной взаимосвязи таких композитных показателей технологии Tasseled Cap (TC), как B, G и W.

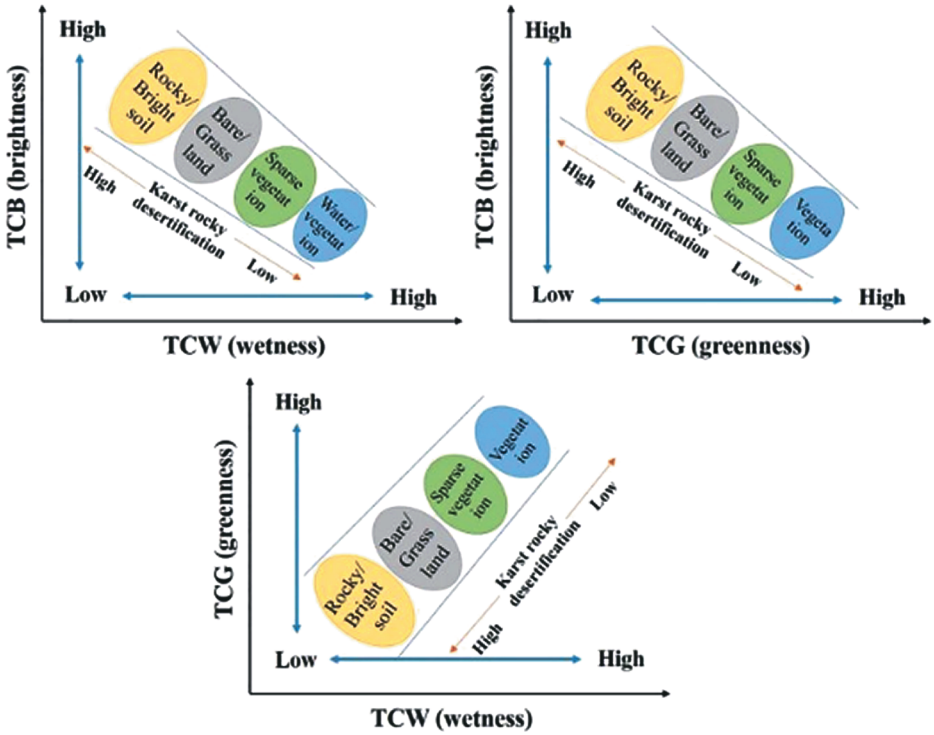

Рис. 2. **Функциональная взаимосвязь показателей технологии Tasseled Cap при переходе с одной природной зоны в другую** [13]

Fig. 2. **Functional relationship of Tasseled Cap technology indicators during the transition from one natural zone to another** [13]

Если учесть, что взаимосвязи этих показателей для различных природных сред уже известны и представлены графически (рис. 2) [13], то предлагаемый интегральный показатель может быть использован в качестве дополнительного экстремального показателя перехода соответствующих композитного показателя на оси абсцисса.

Выводы

1. Для оценки характера временных изменений природных зон предложен интегрально-мультипликативный критерий в качестве альтернативы существующему векторному критерию, определяющему длину вектора изменений специфических композитных показателей технологии «Tasseled Cap».

2. Показано, что предлагаемый метод по сравнению с известным аналогом позволяет выработать дополнительный экстремальный признак для подтверждения характерных природных зон при мониторинге земной поверхности.

Список использованных источников / References

1. Syphard A.D. and Garcia M.W. 2001. Human and beaver induced wetland changes in the Chickahominy River watershed from 1953 to 1994. Wetlands. 21:342-53.

2. Ehrenfeld J.G. 2000. Evaluating wetlands within an urban context. Ecological Engineering. 15:253-65.

3. Winter T.C., Rosenberry D.O., Buso D.C. and Merk D.A. 2001. Water source to four U.S. Wetlands: implications for wetland management. Wetlands. 21:462-73.

4. Coppin P., Jonckheere I., Nackaerts K., Muys B. and Lambin E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring; a review. International Journal of Remote Sensing. 25:1565-96.

5. Hayes D.J. and Sader S.A. 2001. Comparison of changedetection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 67:1067-75.

6. Dymond C.C., Mladenoff D.J. and Radeloff V.C. 2002. Phenological differences in Tasseled Cap indices improve deciduous forest classification. Remote Sensing of Environment. 80:460-72.

7. Houhoulis P.F. and Michener W.K. 2000. Detecting wetland change: a rule-based approach using NWI and SPOT-XS data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 66:205-11.

8. Civco D.L., Hurd J.D., Wilson E.H., Song M. and Zhang Z. 2002. A comparison of land use and land cover change detection methods. American Congress on Surveying & Mapping – American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 2002. Annual Conference Proceedings.

9. Parmenter A.W., Hansen A., Kennedy R., Cohen W., Langner U., Lawrence R., Maxwell B., Gallant A. and Aspinall R. 2003. Land use and land cover change in the Greater

Yellowstone Ecosystem: 1975-1995. Ecological Applications. 13:687-703.

10. Baker C., Lawrence R.L., Montagne C., Patten D. 2007. Change detection of wetland ecosystems using landsat imagery and change vector analysis // Wetlands. Vol. 27, № 3. Pp. 610-619.

11. Li D. and Tang P. A sensor specified method based on spectral transformation for masking cloud in landsat data // IEEE J Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens. 2013. № 6. Pp. 1619-1627.

12. Li B., Li C., Ti X. Yan. Study of derivation of tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI images Sci. Surv. Mapp. 2016. № 41. Pp. 102-107.

13. Zhang J., Liu M., Liu X., Luo W., Wu L., Zhu L. Spectral analysis of seasonal rock and vegetation changes for detecting karst rocky desertification in southwest China // International journal of applied observations and geoinformation. 2021. 100.

Об авторах

Хикмет Гамидович Асадов, д-р техн. наук, профессор; SKOPUS 26640187800, asadzade@rambler.ru

Сулейманова Егане Джалал гызы, канд. техн. наук; suleymanovayegane1964@gmail.com

Мустафазаде Наира Хансувар гызы, канд. техн. наук; nm_609@mail.ru

About the authors

Hikmet G. Asadov, DSc (Eng), professor; SKOPUS 26640187800, asadzade@rambler.ru

Erane J. Suleymanova, CSs (Eng); suleymanovayegane1964@gmail.com

Naira H. Mustafazade, CSs (Eng); nm_609@mail.ru

Критерии авторства / Criteria of authorship

Асадов Х.Г., Сулейманова Е,Д., Мустафазаде Н.Х. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись, имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Asadov H.G., Suleymanova E.D., Mustafazade N.H. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляет об отсутствии конфликтов интересов / The authors declare that there are no conflicts of interests

Поступила в редакцию / Received at the editorial office 16.09.2024

Одобрена после рецензирования / Approved after peer review 11.12.2024

Принята к публикации / Accepted for publication 11.12.2024