

СОГЛАСОВАНИЕ 2-Х И 3-Х КАНАЛЬНЫХ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА НА ЕСТЕСТВЕННЫХ ПАСТБИЩАХ

Зайтов Ш.Ш.

*Студент базовой докторантуры научно-исследовательского
гидрометеорологического института, Узбекистан*

Аннотация: Это исследование было проведено в целях изучения использования данных дистанционного зондирования для выделения особенностей различных индексов растительности, таких как NDVI, SAVI и EVI2 с учетом физико-географических и климатических условий Узбекистана. Нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) и почвенный скорректированный растительный индекс (SAVI) использовались для мониторинга растительности на территории Узбекистана. Индекс растительности (EVI) оказался полезным для улучшения линейности биофизических свойств растительности и снижения эффектов насыщения, обнаруженных на густорастительных поверхностях, обычно встречающихся в расчете при нормализованном разностном вегетационном индексе (NDVI). Тем не менее, EVI требует синей полосы и является чувствительным к изменениям, в синем канале отражательная способность полосы ограничивает согласованность EVI на разных датчиках. Цель этого исследования заключается в разработке 2-х полосных EVI2 без синей полосы, которое имеет лучшее сходство с 3-х полосным EVI.

Ключевые слова: индекс растительности, синяя полоса, дистанционное зондирование, MODIS, NDVI, SAVI, EVI2, ERDAS IMAGINE.

Annotation: This study was carried out in order to study the use of remote sensing data to highlight the features of various vegetation indexes, such as NDVI and EVI2, taking into account the physiographic and climatic conditions of Uzbekistan.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) were used to monitor vegetation in Uzbekistan.

The Vegetation Index (EVI) has been found to be useful in improving the linearity of vegetation biophysical properties and in reducing the saturation effects found on densely vegetated surfaces commonly encountered in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) calculations. However, EVI requires a blue band and is sensitive to change. In the blue band, the reflectivity of the band, which limits the consistency of EVI across different sensors. The aim of this study is to develop a 2-band EVI2 without blue band (EVI2) that has a better similarity to 3-band EVI.

Keywords: vegetation index, blue stripe, remote sensing, MODIS, NDVI, SAVI, EVA2, ERDAS IMAGINE.

Введение. Характерным признаком растительности и её состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся различием в отражении излучения в различных диапазонах длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с её отражательными способностями позволяют использовать космические снимки для идентификации типов растительности и их состояния на основе вегетационных индексов. Расчёт вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений – красной (0,62–0,75 мкм) и инфракрасной (ИК, 0,75–1,3 мкм). На красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. То есть, высокая фотосинтетическая активность, связанная с фитомассой растительности ведёт к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной, что положено в основу вычисления вегетационного индекса – отношение этих показателей

друг к другу позволяет отделять растительность от прочих природных объектов. В настоящее время разработано большое количество вегетационных индексов (более 160), из которых наиболее популярным является *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) – нормализованный вегетационный индекс:

$$NDVI = \frac{N-R}{N+R}, \quad (1)$$

где N, R – ближний инфракрасный и красный каналы соответственно.

По сути, этот индекс является фундаментальным, а все остальные – его модификации. Для растительности индекс *NDVI* принимает положительные значения, и чем больше зелёная фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет видовой состав растительности, её плотность, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Индекс принимает значения от -1 до +1. Для зелёной растительности значения индекса расположены в диапазоне от 0,2 до 0,8.

Целью разработки индекса нового поколения *EVI* (*Enhanced Vegetation Index* – улучшенный вегетационный индекс) являлось усиление сигнала от растительности в регионах с высокой биомассой, а также разделение сигнала от растительности и почвы и минимизация остаточного влияния аэрозолей в атмосфере [1].

Индекс *EVI* рассчитывается аналогично *NDVI*, но использует дополнительный синий канал:

$$EVI = G \frac{N-R}{N+C_1 R-C_2 B+L}, \quad (2)$$

где B – синий канал.

Параметры определяются индивидуально в зависимости от источника данных. В случае данных *MODIS* $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7,5$.

Заметим, что для многих источников данных коэффициент спектральной яркости (КСЯ) в синем канале имеет существенные ограничения

(сигнал сильно зашумлён атмосферой или данные доступны только в грубом временном разрешении, как в случае *MODIS*), либо недоступен вообще (для данных *AVHRR*). Поэтому была разработана упрощённая версия индекса *EVI* (называемая *EVI2*), который рассчитывается на основе значений КСЯ в красном и ближнем ИК каналах:

$$EVI2 = G \frac{N-R}{N+CR+L}. \quad (3)$$

Временное разрешение данных *EVI2* составляет 8 дней, данных *EVI* – 16 дней. С целью использования данных более высокого временного разрешения путём оптимизации (минимизация разницы *EVI* и *EVI2*) были вычислены значения параметров для *EVI2*: $G = 2,5$, $C = 2,4$, $L = 1$ [2].

Индекс листовой поверхности *LAI* (*Leaf Area Index*) определяется как величина отношения суммарной площади односторонней поверхности листьев на участке земной поверхности к площади данного участка [$\text{м}^2/\text{м}^2$]. *LAI* является ключевым параметром, контролирующим потоки энергии и вещества (водяной пар и углекислый газ) между наземными экосистемами и атмосферой и используется во множестве моделей продуктивности экосистем, глобальных моделях климата, гидрологии, биогеохимии и экологии.

В работе [3] было предложено аппроксимировать изолинии *LAI* изолиниями *NDVI* со сдвинутым началом координат (l_1 , l_2). Арифметическое преобразование смещения центра координат эффективно сводится к добавлению слагаемого L в знаменателе. Для сохранения динамического диапазона индекса в интервале [-1, +1] в числитель вводится поправочный множитель $(1+L)$. Таким образом, был получен индекс *SAVI* (*Soil Adjusted Vegetation Index – Почвенный Скорректированный Индекс Растительности*):

$$SAVI = (1 + L) \frac{N-R}{N+R+L}. \quad (4)$$

Выражение (4) является аппроксимацией, в частности, поправочный коэффициент зависит от плотности растительного покрова (*LAI*, структуры), которые являются неизвестными. В работе [4] было показано, что значение $L = 0,5$ является оптимальным для минимизации влияния почвы. В

далее разработанный индекс стал основой для целого семейства параметрических индексов вида *SAVI*. В развитии идеи устранения влияния почвы на основе *SAVI* было предложено эмпирически найденное решение для неизвестного параметра *L* [5], которое было модифицировано в виде итеративного способа расчёта коэффициента *L*, дающего наиболее оптимальное решение задачи минимизации эффекта почвы:

$$L = 1 - \frac{2N+1-\sqrt{(2N+1)^2-8(N-R)}}{2}. \quad (5)$$

В данной работе выполнено согласование индекса *EVI* с индексами *NDVI* и *EVI2* для физико-географических условий растительности на территории Узбекистана, продиктованное необходимостью использования вегетационных индексов с большим временным разрешением в целях выполнения дальнейших исследований, связанных с диагнозом, классификацией, оценкой площадей и динамикой растительности на территории Узбекистана по данным дистанционного зондирования. Согласование выполнялось по данным прибора *MODIS*, установленного на спутниках *Terra* и *Aqua*, а также данным *AVHRR NOAA* с пространственным разрешением первого 250 м/п и второго – 1 км/п.

Данные и методы исследований. Далее спутниковые изображения, будем называть сценой. В базе данных *MODIS* каждая сцена приписана к соответствующему квадрату регулярной сетки с шагом $10 \times 10^{\circ}$, покрывающей планету (рис. 1).

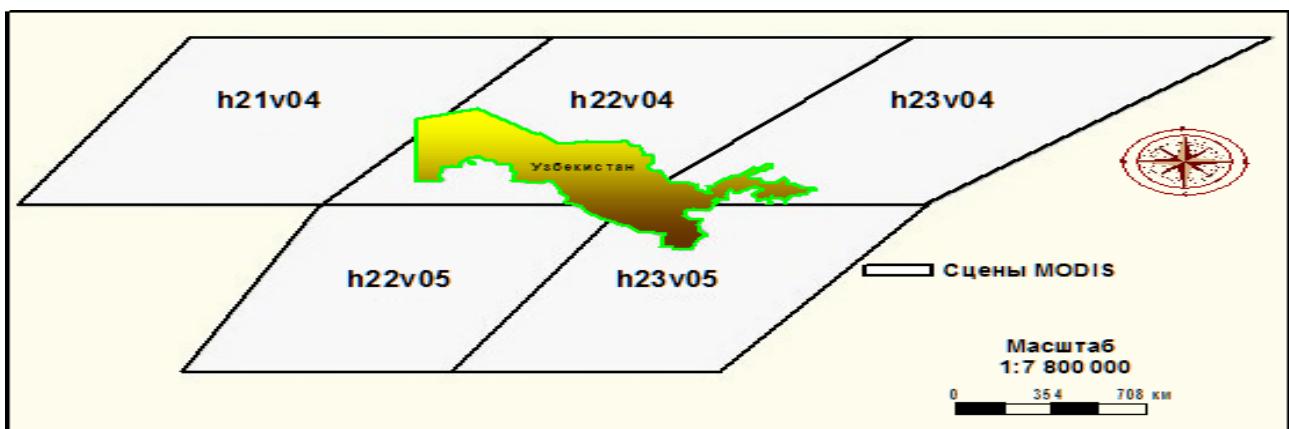


Рис. 1. Сцены *MODIS*, охватывающие территорию Узбекистана

Необходимый набор данных *MODIS* и *AVHRR* для проведения исследований был сформирован с использованием интерфейса *WIST-10.12.2 (Warehouse Inventory Search Tool)* [6], предназначенный для поиска и заказа данных дистанционного зондирования, хранящихся в архивах *NASA*. Поскольку в исследованиях использовался неготовый продукт – вегетационные индексы, а скачивались первичные спутниковые изображения, то данные *MODIS*, представленные в формате «.Hdf», трансформированные в синусоидальную проекцию (равновеликая проекция Меркатора) и данные *AVHRR* в формате «.l1» конвертировались в рабочий формат изображения с использованием пакета *ENVI 5.1*.

Согласование индексов *EVI*, *EVI2 SAVI* и *NDVI*, рассчитанных по формулам (2), (3), (1) и (4), соответственно, выполнялось на основе аппроксимации зависимостей полиномом заданной степени, коэффициенты которого определялись методом наименьших квадратов из условия минимизации квадрата ошибки аппроксимации, а точность аппроксимации характеризовалась коэффициентом детерминации. Порядок полинома определялся итерационным методом по достижению минимальной ошибки.

На основе сцен (рис. 2) были выбраны снимки по разным продуктам *MODIS*, один из которых *MOD09Q1*, другой *MOD13Q1* и выполнен анализ их согласованности.

Продукт *MOD09Q1* версии 6 предоставляет оценку спектральной отражательной способности поверхности полос 1 и 2 спектрального изображения с средним разрешением (*MODIS*) *Terra* с коррекцией на атмосферные искажения (газы, аэрозоли, рэлеевское рассеяние). Значения *EVI* рассчитывались согласно (2) за 8-дневный период. При этом расчеты выполнялись для пикселей, свободных от облачности и с минимальным значением синего диапазона длин волн.

Продукт *MOD13Q1* обеспечивает два основных состояния растительности, характеризуемые нормализованным индексом *NDVI*,

полученный с помощью радиометра высокого разрешения (NOAA-AVHRR) и индексом *EVI* с улучшенной чувствительностью в регионах с высокой биомассой. Алгоритм выбирает наилучшее доступное значение пикселя из всех поступлений за 16-дневный период. Блок-схема алгоритма выбора данных MOD09Q1 и MOD13Q1 и расчёта вегетативных индексов приведена на рисунке 2, включающая конвертацию формата HDF в формат Geotiff с использованием программного продукта QGIS 2.12.

Таким образом, получен набор данных MOD13Q1 и MOD13Q1 одной и той же территории за восьми- и шестнадцатидневные периоды в апреле месяце 2019 года с показателями состояния растительности.

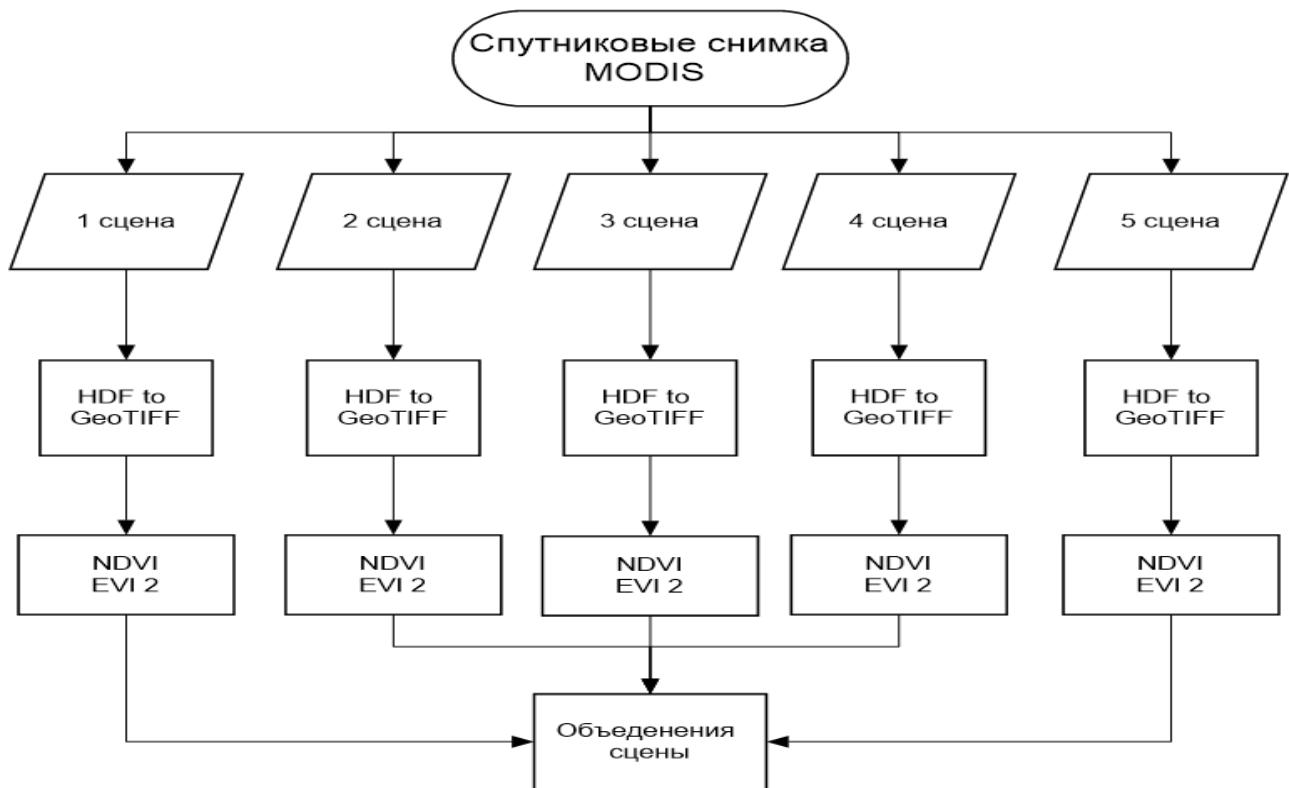


Рис. 2. Блок-схема алгоритма выбора данных и расчёта вегетационных индексов

Синусоидальная проекция *MODIS* была конвертирована в проекцию геодезической системы *WGS*, представляющая стандарт в картографии, геодезии и спутниковой навигации, включая *GPS*. Далее по формулам (1-4) были рассчитаны соответствующие индексы.

Результаты и обсуждение

В результате мы получили три вычисленные растительные индексы по снимкам MOD09Q1, которая дает возможность получить снимки каждые 8 дней.

Для сравнения значений по EVI и EVI2 использованы наземные данные по проекту ФАО, называемое “CADI – Central Asian Desert Initiative” – Инициатива по пустыне в Центральной Азии – Сохранение и адаптивное использование холодных зимних пустынь в Центральной Азии. На основе этих данных извлечены нижеприведимые цифры по индексам. Эти точки собраны в Карманинском районе Навоийской области в полупустынной зоне (рис. 2). Каждая из точек равномерно распределена на каждый пиксель снимка MODIS.

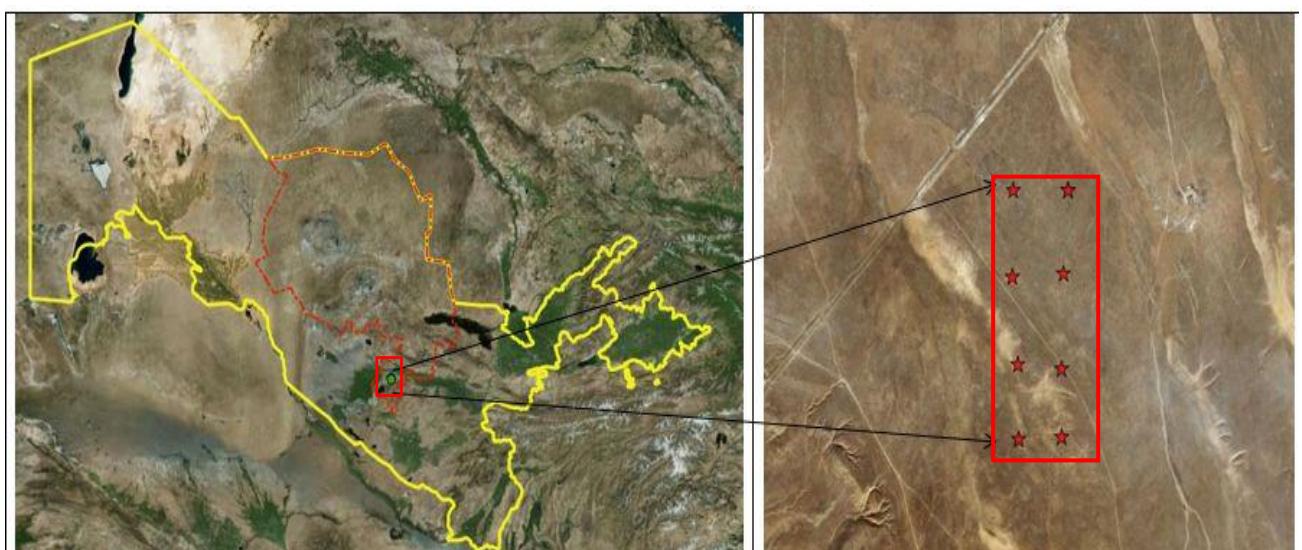


Рис. 3. Валидация растительного индекса

В таблице 1 показаны значения из 8 пикселей от индексов EVI и EVI2 и на основе этих значений построен график. Исходя из графика на рисунке 4, можно сделать вывод и использовать 8-дневный продукт MODIS даже при вычислении EVI2 без участия синего канала.

Таблица 1

Сравнение EVI и EVI2

№	evi_mod13	evi2_mod09
1	0.27	0.22
2	0.24	0.24
3	0.24	0.25
4	0.24	0.25
5	0.24	0.23
6	0.22	0.22
7	0.27	0.23
8	0.22	0.22

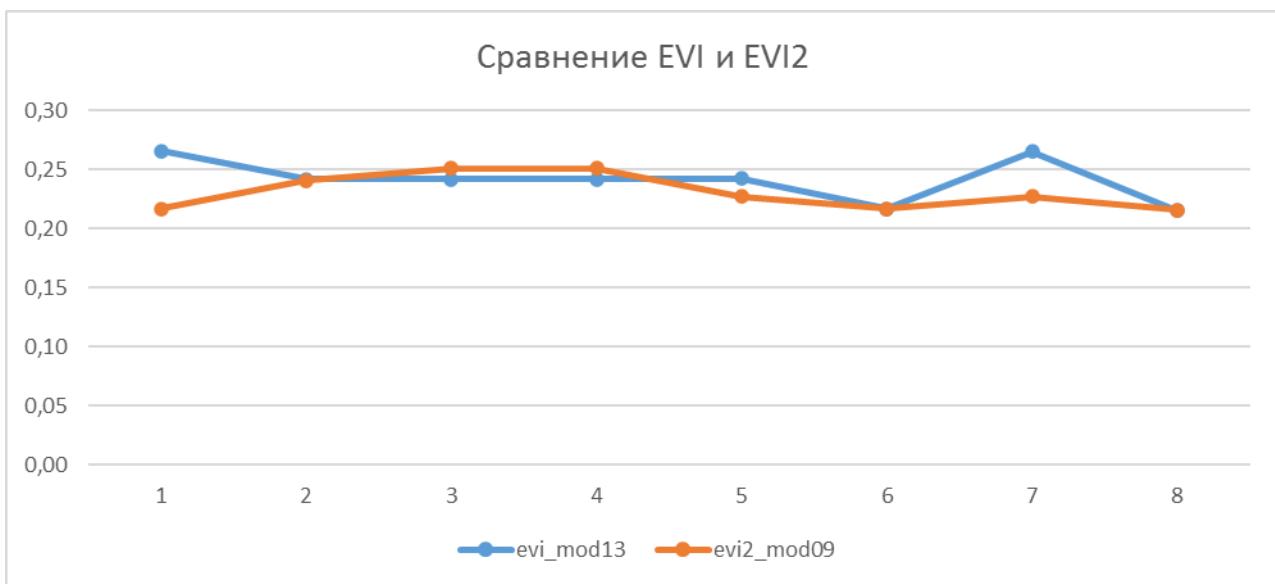


Рис.4. График сравнения EVI с EVI2

Вывод. В этом исследовании были рассчитаны растительные индексы NDVI и разработан двухполюсный EVI2 без синего канала. Кроме этого, отображены индексы по втором продукту MODIS которое называется MOD13Q1, где снимки поступают каждый 16 дней.

Еще один хороший вывод из этой статьи состоит в том, что показатели двух продуктов одинаковы, но время между ними значимо, так как, если MOD13Q1 прибывает каждые 16 дней, то MOD09Q1 прибывает каждые 8 дней. Однако использование 8-дневных снимков при наблюдении за естественными пастбищами является очень хорошим решением

в зависимости от климатических условий. EVI2 может быть использован в качестве замены EVI для извлечения значений пикселей QA, которые не содержат облаков или снега и небольшое количество аэрозоля.

Литература

1. Amanda Heemann Junges, Carolina Bremm, Denise Cybis Fontana, Carlos Alberto Oliveira de Oliveira, Laura Pigatto Schaparini, Paulo César de Faccio Carvalho “Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on naturalgrasslands in Pampa biome” (Sci. Agric. v.73, n.4, p.332-337, July/August 2016)
2. Fernandes, J.L.; Rocha, J.V.; Lamparelli, R.A.C. 2011. Sugarcane yield estimates using time series analysis of spot vegetation images. Scientia Agricola 68: 139-146.
3. Qi J., A. Chehbouni, A. R. Huete, Y. H. Kerr, S. Sorooshian, 1994. *A Modified Soil Adjusted Vegetation Index*. REMOTE SENS. ENVIRON. 48:119-126
4. Huete, A. R. (1988), A soil-adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sens. Environ. 25:295-309
5. Zhangyan Jiang*, Alfredo R. Huete, Youngwook Kim, Kamel Didan “2-band Enhanced Vegetation Index without a blue band and its application to AVHRR data” (Proceedings Volume 6679, Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability IV; 667905 (2007) <https://doi.org/10.1117/12.734933> Event: Optical Engineering + Applications, 2007, San Diego, California, United States)
6. И.А.Хасанов, Х.Б.Никадамбаева “Физическая география Узбекистана”.