

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОРРЕКЦИИ ИНДЕКСА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
VCI СИСТЕМЫ ASIS FAO

S.S. Alieva, M.I. Kerimova

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR CORRECTION OF VEGETATION
CONDITION INDEX VCI OF ASIS FAO SYSTEM

Алиева С.С. – асп. Института космических исследований природных ресурсов Национального аэрокосмического агентства Азербайджана, Азербайджанская Республика, г. Баку. E-mail: sevdaaliyeva06.01@gmail.com

Керимова М.И. – ст. преп. Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности, Азербайджанская Республика, г. Баку. E-mail: sevdaaliyeva06.01@gmail.com

Alieva S.S. – Post-Graduate Student, Institute of Aerospace Researches of Natural Resources, National Aerospace Agency of Azerbaijan, Azerbaijan Republic, Baku. E-mail: sevdaaliyeva06.01@gmail.com

Kerimova M.I. – Asst, Azerbaijan State Oil and Industrial University, Azerbaijan Republic, Baku. E-mail: sevdaaliyeva06.01@gmail.com

В системе ASIS FAO используется индекс состояния растительности (VHI), вычисляемый на базе нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Значения ASI могут быть использованы для прогноза сельскохозяйственного урожая с помощью многофакторной регрессии. Для этого проводится регрессионный анализ между показателем урожайности (количеством урожая) и индексами VCI (индекс состояния вегетации) и TCI (индекс состояния температуры) и составляется регрессионное уравнение для региона. Несмотря на наглядность данных, приведенных на сайте Earth Observation, сформированные на базе индекса VHI эти данные имеют существенный недостаток, заключающийся в неучете эффекта насыщения индекса NDVI при высоком содержании хлорофилла в растениях. Целью проводимого исследования является разработка методики корректировки данных, приведенных на сайте EARTH OBSERVATION, базирующихся на основе вычисления индекса состояния растительности VCI системы ASIS FAO, применительно к конкретным регионам мира. В статье математически показано, что эффект насыщения в индексе VCI проявляется сильнее, чем у NDVI. Исследовано условие превышения относительной погрешности индекса VCI из-за насыщения соответствующей относительной погрешности индекса NDVI. Для этого исполь-

зован метод логарифмирования, взятия производной и замены дифференциала на приращение. Показано, что сделанный вывод верен как при нулевой, так и при ненулевой абсолютной погрешности насыщения NDVI. На основе полученных результатов дана рекомендация замены индекса VHI на ранее предложенный индекс TCIM. На основе проведенного исследования разработана методика корректировки данных системы ASIS FAO.

Ключевые слова: индекс состояния растительности, нормализованный разностный вегетационный индекс, эффект насыщения, погрешность, коррекция, методика.

In ASIS FAO system the index of the condition of vegetation (VHI) calculated on the basis of the normalized differential vegetative index (NDVI) is used. ASI values can be used for the forecast of an agricultural crop by means of multiple-factor regression. Regression analysis between the yield (the quantity of a crop) and the VCI indexes (vegetation condition index) and TCI (temperature condition index) is for this purpose carried out and regression equation for the region is worked out. Despite presentation of the data provided on the site Earth Observation, these data created on the basis of the VHI index have essential shortcoming consisting in not accounting of effect of saturation of the NDVI index at high maintenance of chlorophyll in plants. The purpose of conducted research is the

development of the technique of updating the data provided on the site EARTH OBSERVATION, based on the basis of calculation of the index of the condition of vegetation of VCI of ASIS FAO system in relation to concrete regions of the world. In the study it is shown mathematically that the effect of saturation in the VCI index is shown more strongly, than in NDVI. The condition of excess of relative error of the VCI index because of saturation of corresponding relative error of NDVI index is investigated. The method of logarithming, the capture of a derivative and the replacement of differential by increments is for this purpose used. It is shown that drawn conclusion is right both at zero, and at nonzero absolute error of NDVI saturation. On the basis of received results the recommendation of replacement of VHI index by earlier offered TCIM index is made. On the basis of conducted research the technique of updating of data of ASIS FAO system has been developed.

Keywords: vegetation condition index, normalized differential vegetation index, saturation effect, error, correction, methods.

Введение. Как сообщается в работе [1], Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (в дальнейшем – FAO) разработала методику для осуществления мониторинга состояния засухи на сельскохозяйственных участках и управления соответствующих рисков на основе спутниковых данных. Специфическая для каждой из стран версия данного методического средства базируется на методологических принципах глобальной системы индекса стресса растительности (ASIS). ASIS является средством, используемым в штаб-квартире FAO для поддержания Глобальной системы информации и раннего предупреждения по проблемам продовольствия и сельского хозяйства (GIEWS). Основной задачей GIEWS является осуществление непрерывного мониторинга за продовольственным снабжением и спросом в масштабе всего мира, используя геопространственные данные для обнаружения проблем, возникающих из-за погодных условий.

В системе ASIS используется индекс состояния вегетации (VHI), вычисляемый на базе нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Этот индекс позволяет косвенно оценить первичную продукцию, так как в нем используются спектральные показатели, связан-

ные с фотосинтетически активной оптической радиацией. Индекс VHI был предложен в программе подготовки спутника США, предназначенного для исследования окружающей среды.

В качестве первого шага в ASIS вычисляется усредненная величина индекса VHI. При этом используются данные METOP – AVHRR с разрешением 1 км. В качестве второго шага вычисляется процент засушливых сельскохозяйственных участков, в которых VHI < 35.

Далее, значения ASI могут быть использованы для прогноза сельскохозяйственного урожая с помощью многофакторной регрессии. Для этого проводится регрессионный анализ между показателем урожайности (количеством урожая) и индексами VCI (индекс состояния вегетации) и TCI (индекс состояния температуры) и составляется регрессионное уравнение для региона. Полученные весовые коэффициенты a и b позволяют оценить индекс VHI в качестве

$$VHI = a \cdot VCI + b \cdot TCI. \quad (1)$$

При этом индексы VCI и TCI определяются следующим образом:

$$VCI_i = \frac{100 \cdot (NDVI_i - NDVI_{min})}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}, \quad (2)$$

где $NDVI_i$ – значение NDVI за десятидневный период; $NDVI_{max}$ – максимальная величина NDVI в серии вегетационных индексов; $NDVI_{min}$ – минимальная величина NDVI в серии вегетационных индексов.

$$TCI_i = \frac{100 \cdot (T_{max} - T_i)}{T_{max} - T_{min}}, \quad (3)$$

где TCI_i – индекс состояния температуры за 10-дневный период; T_i – температура за 10-дневный период; T_{max} – максимальная температура в серии измерений; T_{min} – минимальная температура в серии измерений.

Согласно [1, 2], в отличие от NDVI VCI позволяет регистрировать динамику осадков, оценить временную и пространственную изменчивость влияния климата растительности.

Отметим, что на сайте URL: http://www.fao.org/giews/earthobservation/asis/data/country/AZE/MAP_ASI/HR регулярно выставляются соответствующие карты различных стран,

включая Азербайджан, и отдельных их районов, отображающие значения ASI, графики годичной зависимости NDVI по районам, а также карты, отображающие декадные состояния VCI, а так-

же VHI. В качестве примера на рисунке 1 показаны графики временного измерения NDVI по районам Бейлаган, Белоканы и Билесувар Азербайджанской Республики.

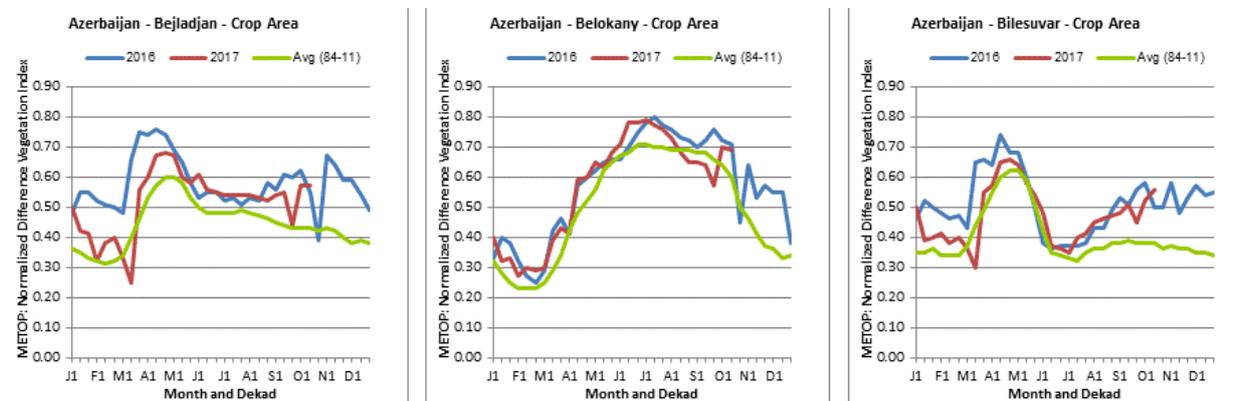


Рис. 1. Графики временных изменений NDVI в течение года по годам 2016, 2017 и в среднем за 1984–2011 гг.

На том же сайте приведены карты индекса VCI, вычисленные на основе значений NDVI, приведенных в графиках, показанных на рисун-

ке 1. В качестве примера на рисунке 2 приведены карты Азербайджана за август, июль 2017.

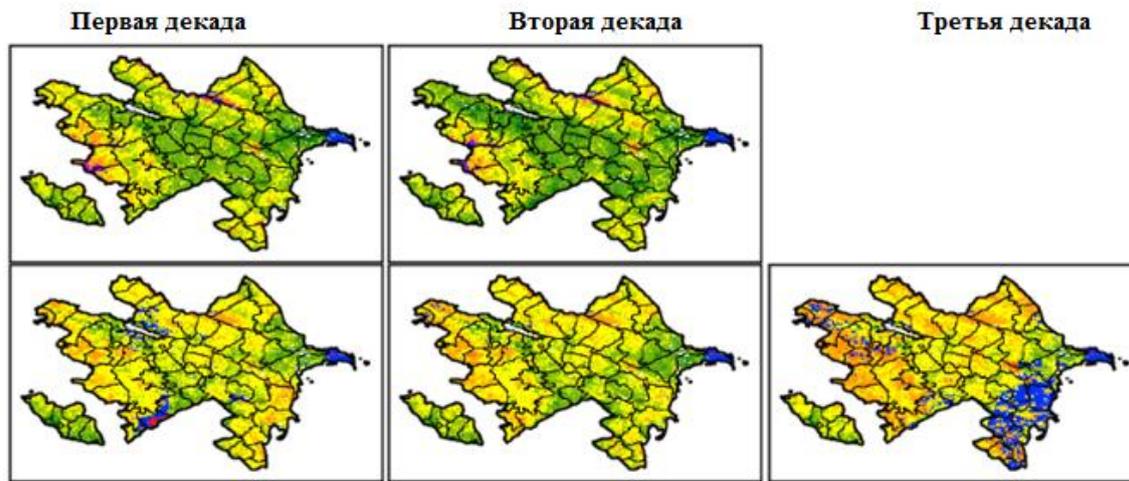


Рис. 2. Карты распределения VCI на территории Азербайджана за август, июль 2017

Несмотря на наглядность данных, приведенных на сайте Earth Observation, они имеют существенный недостаток, заключающийся в неучете эффекта насыщения индекса NDVI при высокой содержимости хлорофилла в растениях [2]. Указанное обстоятельство обуславливает некоторую неточность количественных и графических данных, приведенных на сайте EARTH OBSERVATION, и вызывает необходимость разработки методических мер по их устранению.

В настоящей статье рассмотрена возможность разработки методики корректировки указанных данных.

Цель исследования: разработка методики корректировки данных, приведенных на сайте EARTH OBSERVATION и базирующихся на основе вычисления индекса состояния растительности VCI системы ASIS FAO применительно к конкретным регионам мира.

Объекты, методы и результаты исследования. Основопологающим принципом предлагаемой методики корректировки указанных данных является необходимость учета свойства насыщения индексов NDVI и VCI при высоких значениях хлорофилла в растениях.

Подробно проанализируем влияние вышеуказанного недостатка на результаты исследований, приведенные на сайте EARTH OBSERVATION. Как было отмечено выше, индекс VCI формируется на базе нормализованной величины NDVI на основе формулы (2). Согласно работе [1], такое формирование вегетационного индекса имеет ряд преимуществ по отношению

к NDVI. VCI позволяет проследить динамику осадков, изучать влияния климата на растительность, исследовать временную и пространственную изменчивость роста растений. Вместе с тем, можно показать, что эффект насыщения в индексе VCI проявляется сильнее, чем у NDVI. Покажем это математически. Для сравнения соответствующих относительных погрешностей прежде всего отметим, что согласно [3, 4] погрешность NDVI из-за насыщения может достигать 20 % при $NDVI=0,4 \div 0,8$.

На рисунке 3 приведена кривая NDVI, показывающая насыщение NDVI по сравнению с индексом LAI [3].

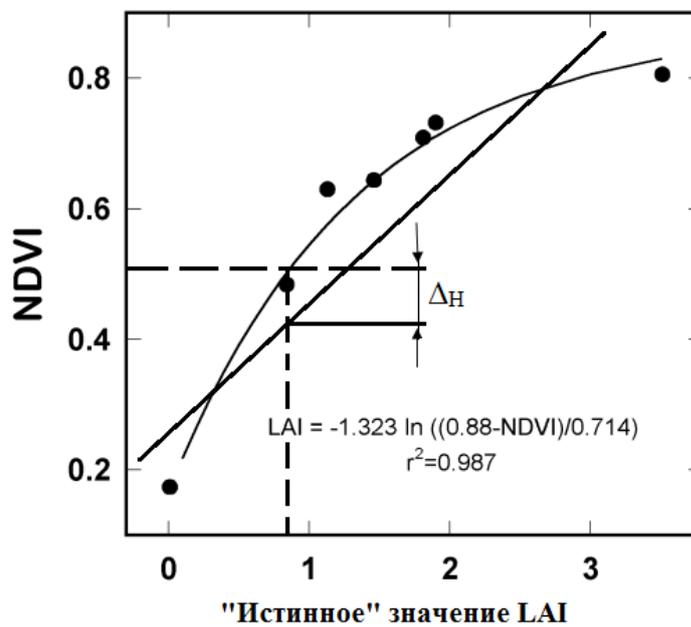


Рис. 3. Формирование погрешности насыщения у индекса NDVI и Δ_H при сравнении индексов NDVI и LAI. Показан случай формирования Δ_H при $NDVI=0,5$ [3]

Условие превышения относительной погрешности индекса VCI из-за насыщения соответствующей относительной погрешности индекса NDVI имеет следующий вид:

$$\lg(NDVI) < \lg\left(\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}\right). \quad (4)$$

Условие (4) переписем в следующем виде:

$$\lg(NDVI) < \lg(NDVI - NDVI_{\min}) - \lg(NDVI_{\max} - NDVI_{\min}). \quad (5)$$

Применив к условию (5) известное правило взятия производных и замены дифференциала на приращение, получим

$$\frac{\Delta NDVI_H}{NDVI} < \frac{\Delta NDVI_H}{NDVI - NDVI_{\min}} - \frac{\Delta NDVI_H}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}, \quad (6)$$

где $\Delta NDVI_H$ – абсолютная погрешность насыщения $NDVI$; $\Delta NDVI_{\max}$ – абсолютная погрешность насыщения $NDVI_{\max}$.

Отметим, что при выводе выражения приняты два предположения:

1. Абсолютная погрешность насыщения $NDVI_{\min}$ равна нулю.

2. Абсолютная погрешность насыщения $NDVI_{\max}$ равна $\Delta NDVI$.

При этом оба предположения не влияют на достоверность приводимого доказательства неравенства (4).

Из выражения (6) нетрудно получить следующее неравенство:

$$\frac{1}{NDVI} < \left(\frac{1}{NDVI - NDVI_{\min}} + \frac{1}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right). \quad (7)$$

Проведя дальнейшие преобразования, неравенство (7) можно привести к следующему виду:

$$NDVI_{\min} (NDVI_{\min} - NDVI_{\max}) < NDVI (NDVI - NDVI_{\min}). \quad (8)$$

Несложный логический анализ полученного условия (8) дает основание утверждать, что это неравенство выполняется всегда, т. е. $NDVI$ менее подвержен эффекту насыщения, чем VCI .

Следует отметить, что вышеуказанный факт является еще одним подтверждением целесообразности замены индекса VHI на предложенный автором индекс $TCIM$ в работе [5].

Таким образом, актуальным можно считать задачу корректировки численных и графических данных, приводимых на сайте EARTH OBSERVATION.

На основе вышеизложенного можно предложить следующую методику предлагаемой корректировки данных системы ASIS FAO:

1. На основе экспериментальных данных, приведенных в [3, 4], определяется погрешность насыщения $NDVI$.

2. Осуществляется соответствующая корректировка графических данных зависимости $NDVI$ от времени, приведенных на сайте EARTH OBSERVATION для изучаемого региона.

3. Определяются контуры изучаемого региона на карте соответствующей страны, где показаны значения VCI для всех регионов, и в соответствии с легендой указанной карты определяется VCI данного региона.

4. Вычисляется реальная величина VCI_p для исследуемого региона.

5. При значительном превышении VCI_p величины VCI , указанной на карте, осуществляется соответствующая корректировка карты.

Выводы. Таким образом, показано, что явление насыщения индекса $NDVI$, указанное в работах [3, 4], приводит к относительно неточной оценке состояния стресса растительности, для устранения которой необходимо проведение вышеописанных корректировочных процедур. Основными выводами проводимого исследования являются следующие:

1. В системе ASIS FAO в качестве базового используется индекс состояния вегетации VCI , формируемый на базе индекса $NDVI$. Указанное обстоятельство указывает на то, что индекс VCI также подвержен эффекту насыщения.

2. Проведенные исследования показали, что степень подверженности насыщению у индекса VCI больше, чем у $NDVI$.

3. Разработана методика корректировки количественных и графических данных системы ASIS FAO, представленных на сайте EARTH OBSERVATION.

Литература

1. Rojas O. Protocol for Country – Level ASIS. Calibration and national adaptation process. FAO UN. Panama city, 2015. URL: <http://www.fao.org/gIEWS/eartobservation>.

2. *Gommes R., Kaitakire F.* The challenges off index – based insurance for food security. European Commission. – URL: <http://www.fao.org/gIEWS/eartobservation>.
3. *Pontailier J., Hymus G.J., Drake B.G.* Estimation of leaf area index using ground – based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 29, no. 3, pp. 381–387, 2003.
4. *Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Pattey E., Vigneault P.* Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops^ prediction capability assessment of optical indices. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.432.7669&rep=rep1&type=pdf>.
5. *Алиева С.С.* Разработка универсального комбинированного индекса засухи влажности почвы // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 8. – С. 136–141.
2. *Gommes R., Kaitakire F.* The challenges off index – based insurance for food security. European Commission. – URL: <http://www.fao.org/gIEWS/eartobservation>.
3. *Pontailier J., Hymus G.J., Drake B.G.* Estimation of leaf area index using ground – based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Canadian Journal of Remote Sensing. Vol. 29, no. 3, pp. 381–387, 2003.
4. *Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Pattey E., Vigneault P.* Estimation of leaf area index using ground spectral measurements over agriculture crops^ prediction capability assessment of optical indices. – URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.432.7669&rep=rep1&type=pdf>.
5. *Алиева С.С.* Razrabotka universal'nogo kombinirovannogo indeksa zasuhi vlazhnosti pochvy // Vestn. KrasGAU. – 2017. – № 8. – С. 136–141.

Literatura

1. *Rojas O.* Protocol for Country – Level ASIS. Calibration and national adaptation process.



УДК 502(574.12)

*С.В. Соболева, И.С. Почекутов,
Л.И. Ченцова*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.) В РАЗНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

S.V. Soboleva, I.S. Pochekutov, L.I. Chentsova

THE STUDY OF MORPHOLOGIC AND PHYSIOLOGIC INDICATORS OF *PINUS SYLVESTRIS* L. PLANTINGS IN DIFFERENT ECOLOGICAL CONDITIONS

Соболева С.В. – канд. техн. наук, доц. каф. промышленной экологии, процессов и аппаратов химических производств Сибирского государственного университета науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru

Soboleva S.V. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Industrial Ecology, Processes and Devices of Chemical Production, M.F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technologies, Krasnoyarsk. E-mail: swet.soboleva2011@yandex.ru