

МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИОННОГО ПОКАЗАТЕЛЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА БАЗЕ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Т.Н. Амирова

Институт экологии Национального аэрокосмического агентства,
Азербайджанская Республика, Баку
e-mail: stmz@list.ru

Разработан косвенный метод вычисления показателя эвапотранспирации на базе данных спутникового дистанционного зондирования. Учитывается, что усредненные данные различной растительности, полученные по существующей методике, с применением опорных данных ET_0 о эвапотранспирации травяного покрытия, содержат изменяющуюся случайную составляющую. Для уточнения предлагается использовать известную регрессионную зависимость ET_0 от номера дня года (DOY), представленную аналитически в виде суммы среднего значения и среднего квадратичного отклонения в виде случайной составляющей, изменяющейся во времени. Используя показатель DOY в качестве вспомогательного параметра для определения E , ставится задача определения DOY по дистанционно измеренным показателям $NDVI$ и F_c , учитывая известные регрессионные уравнения. Учет двух параллельно измеряемых показателей дистанционного зондирования позволяет значительно уменьшить случайную погрешность определения DOY по результатам зондирования. Далее указанная случайная составляющая используется взамен случайных составляющих погрешности базовых данных DOY в предположении того, что ET_{cp} и соответствующий показатель, полученный дистанционно, совпадают.

Ключевые слова: эвапотранспирация, дистанционное зондирование, ирригация, растительность, почва.

Введение

Объемы и качество сельскохозяйственной продукции в значительной степени зависят от таких комплексных факторов, как погодные условия, климат, влагосодержание почвы [1, 2]. Однако, эти факторы являются частично неуправляемыми процессами [3, 4]. Выходом из положения является использование ирригационных технологий в сельском хозяйстве, которые позволяют получить значительно лучшие результаты, чем при использовании неирригационных технологий [5-7]. В этом отношении эвапотранспирация является основным показателем, характеризующим потребление растительностью воды.

Как отмечается в [8], эвапотранспирация оценивается экспериментально, путем проведения полевых наблюдений растительности и почвы, включая влагосодержание почвы. Согласно [9, 10], эвапотранспирация в полуаридных регионах предопределяет наивысший показатель водных потерь. Такая определяющая роль эвапотранспирации растительности привела к широкому использованию методов и средств дистанционного зондирования для изучения и прогнозирования этого процесса. Дистанционные методы оценки эвапотранспирации в основном основываются на модели площади поверхности больших листьев [11, 12], а также уравнении Пенмана-Монтиза. Как отмечается в работе [13], для дистанционного определения эвапотранспирации используются в основном следующие три подхода: (1) изучение энергобаланса поверхности; (2) использование такого показателя, как «коэффициент культуры k_{cb} », с использованием отражательных спектров; (3) технология внесения дистанционных показателей в уравнение Пенмана-Монтиза.

Как нам представляется, с точки зрения наиболее полного использования потенциальных возможностей дистанционных технологий, второй подход является более перспективным. В настоящей статье обсуждаются возможности развития данного подхода путем более полного использования соответствующих технологий дистанционного зондирования. Целью настоящего исследования является разработка нового метода для определения эвапотранспирации конкретных видов сельскохозяйственной продукции и алгоритма его реализации

Материалы и методы

Как отмечается в работе [14], коэффициент культуры k_{cv} определяется в качестве эвапотранспирации растительности без стресса, находящейся на сухой поверхности почвы. Максимальная величина k_{cv} для каждого вида растительности определена в спецификациях ФАО.

Предлагаемый метод определения эвапотранспирации основывается на экспериментально определенной характеристике зависимости эвапотранспирации от порядкового номера суток года для конкретного вида растительности. На рисунке 1 приведена кривая зависимости средней опорной величины эвапотранспирации ET_0 в зависимости от номера суток дня (DOY) для травяного типа растительности, полученной из базы данных Управления Ирригации штата Мичиган [14].

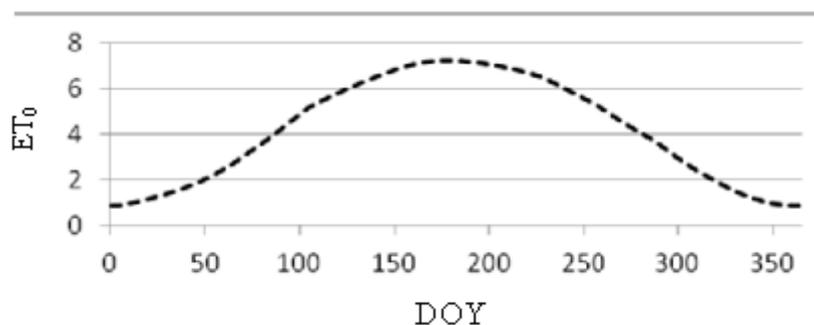


Рисунок 1 – График зависимости опорной средней величины ET_0 от номера суток года $ET_0 = f(DOY)$

Предлагаемый метод вычисления показателя эвапотранспирации основывается на следующих предположениях:

1. Зависимость $ET_0 = f(DOY)$ считается достоверно определенной в усредненном смысле, т.е. ось DOY , показанная на рисунке 1, фактически может смещаться влево или вправо в зависимости от конкретных погодных-климатических условий. Следовательно, можно предположить, что реальный показатель DOY_p на рисунке 1 задан с погрешностью, равной $\sigma(DOY_p)$, т.е. имеем:

$$DOY_p = M(DOY_p) \pm \sigma(DOY_p), \quad (1)$$

где $M(DOY_p)$ – математическое ожидание DOY_p ; $\sigma(DOY_p)$ – среднеквадратическое отклонение DOY_p .

2. Показатель $M(DOY_p)$ рассматривается в качестве параметра, определяющего среднюю величину ET_0 . Из этого следует, что для параметрического определения текущей величины ET_0 должны существовать косвенные методы, позволяющие с какой-то точностью установить реальную величину $\sigma(DOY_p)$.

3. В качестве косвенных методов для определения величины $M(DOY_p)$ используются методы дистанционного зондирования, базирующиеся на оценке отражательных спектров растительных полей.

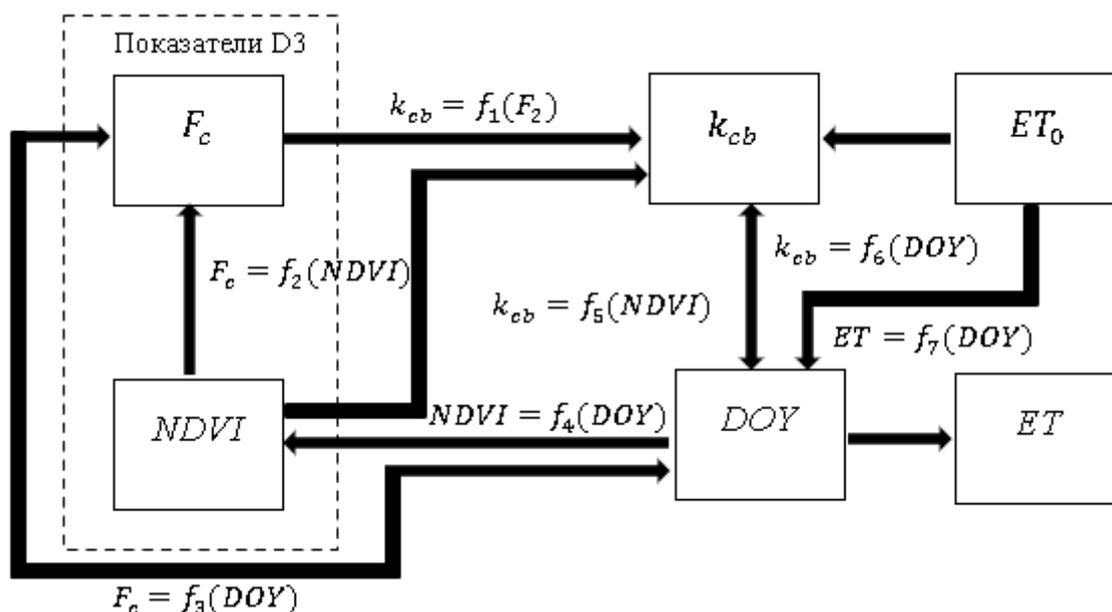


Рисунок 2 – Схематическое представление регрессионных связей основных показателей, используемых для определения ET

Приведем реально существующие регрессионные зависимости f_i .

Функция f_1 , определяющая регрессионную зависимость k_{cb} от F_c согласно [14], для группы растительности имеет вид:

$$k_{cb} = -a_1 F_c^2 + a_2 F_c + a_3, \quad (7)$$

где $a_i = const$; $i = \overline{1,3}$ – индивидуально определяемые коэффициенты для каждого типа растения.

Функция f_2 , определяющая регрессионную зависимость F_c от $NDVI$ согласно [14] для некоторого множества растений имеет вид:

$$F_c = b_1 \cdot NDVI - b_2, \quad (8)$$

где b_i ; $i = \overline{1,2}$ – индивидуально определяемые коэффициенты для каждого типа растений.

Функция f_3 , определяющая регрессионную зависимость F_c от DOY , имеет вид, похожий на кривую, показанную на рисунке 1 [14].

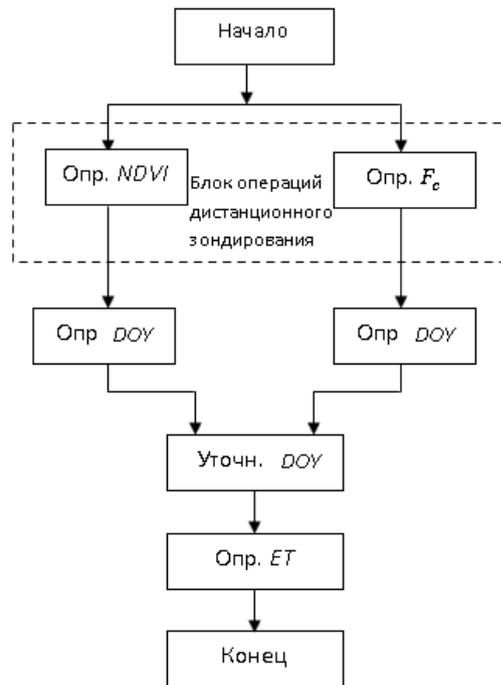
Функция f_4 , определяющая регрессионную зависимость $NDVI$ от DOY , для некоторой группы растительности также имеет вид, похожий на кривую, показанную на рисунке 1 [13].

Функция f_5 , показывающая регрессионную зависимость k_{cb} от $NDVI$, также имеет вид функции (7) со своими специфическими весовыми коэффициентами [13].

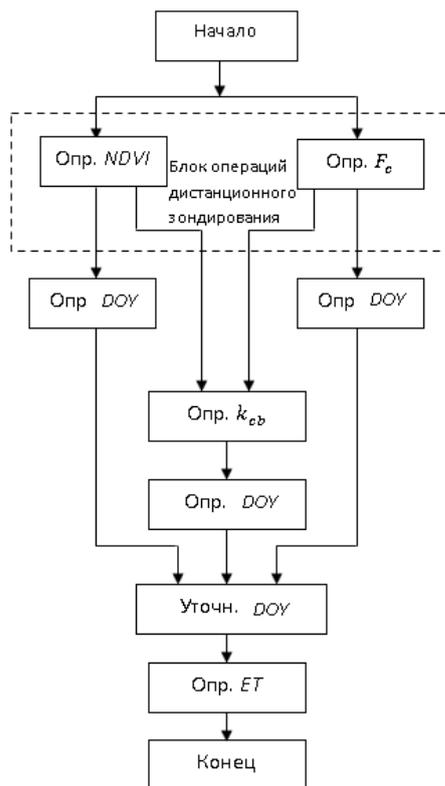
Функция f_6 , показывающая регрессионную зависимость k_{cb} от DOY , имеет вид, похожую на кривую, приведенную на рисунке 1.

Функция f_7 , показывающая регрессионную зависимость ET от DOY , также имеет вид, похожую на кривую, приведенную на рисунке 1.

С учетом вышеизложенного можно предложить два алгоритма для реализации предложенного метода (рис. 3 а, б). На рисунке 3 (а) показана блок-схема первого алгоритма реализации предложенного метода, где должны быть параллельно выполнены такие операции дистанционного зондирования, как измерения F_c и $NDVI$.



a – блок-схема первого алгоритма реализации предложенного метода



b – блок-схема второго алгоритма реализации предложенного метода

Рисунок 3– Блок-схемы первого (a) и второго (b) алгоритмов реализации предложенного метода

Как видно из блок-схем алгоритмов реализации предложенного метода, во втором алгоритме в отличие от первого дополнительно выполняется операция определения k_{cb} , а уточнение значения DOY осуществляется с учетом регрессионной взаимосвязи DOY с $NDVI$, k_{cb} и F_c . В этом случае за счет учета показателя k_{cb} , являющегося в данном случае производным от показателей F_c и $NDVI$ параметром, может быть достигнуто некоторое увеличение точности вычисления ET . Применительно к алгоритмам, показанным на рисунке 3 (а и б), формула (6) может быть переписана с учетом $n = 2$ и $n = 3$ соответственно.

Выводы

Предложен метод, в котором учитывается, что усредненные данные о эвапотранспирации различной растительности содержат случайную составляющую, которая должна быть уточнена. Для такого уточнения ставится задача определения DOY по дистанционно измеренным показателям $NDVI$ и F_c . Это позволяет значительно уменьшить случайную погрешность определения DOY . Далее указанная составляющая используется в качестве скорректированной величины DOY в предположении того, что ET_{cp} и соответствующий показатель, полученный дистанционно, совпадают. Следовательно, предложенный косвенный метод вычисления показателя эвапотранспирации позволяет повысить точность такого вычисления путем использования технологий дистанционного зондирования.

Список литературы

1. Wanniarachchi S., Sarukkalige R. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present and future // Hydrology. 2022. vol. 9. no. 7. 123. DOI: 10.3390/hydrology9070123.
2. Isgandarov M.Y. Melioration and ecological state of soils, based on draining degree of Kura-Aras lowland // Scientific Journal "ScienceRise". 2015. no 2. pp. 91-93 DOI: 10.15587/2313-8416.2015.37212.
3. Maina M., Amin M., Rowshon M., Aimrun W., Samsuzana A., Yazid M. Effects of crop evapotranspiration estimation techniques and weather parameters on rice crop water requirement // Aust. J. Crop Sci. 2014. no. 8. pp. 495-501.
4. Van M.S., Tol R., Linker R., Reyes-Lastiri D., Kootstra G., Koerkamp P.G., Henten E.G. Introductory overview: systems and control methods for operational management support in agricultural production systems // Environ. Model. Softw. 2021. vol. 139. 105031.
5. Vanschoenwinkel J., Van Passel S. Climate response of rainfed versus irrigated farms: The bias of farm heterogeneity in irrigation // Clim. Chang. 2018. vol. 147. pp. 225-234.
6. Jaramillo S., Graterol E., Pulver E. Sustainable transformation of rainfed to irrigated agriculture through water harvesting and smart crop management practices // Front. Sustain. Food Syst. 2020. no. 4. 437086.
7. Water in agriculture. Available online. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture#1> (дата обращения: 04.10.2022).
8. Altobelli F., Meybeck A., Gitz V. Accounting for water use in agriculture // In knowledge and information for sustainable food Systems. Rome, Italy. 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/328773127> (дата обращения: 04.10.2022).
9. Liou Y.A., Kar S.K. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms – A review // Energies. 2014. vol. 7. pp. 2821-2849.
10. Eliades M., Bruggeman A., Djuma H., Christofi C., Kuells C. Quantifying evapotranspiration and drainage losses in a semi-arid nectarine Field with a dynamic crop coefficient (KC) derived from leaf area index measurements // Water. 2022. vol. 14. pp. 734.

11. Shuttleworth W. Evaporation models in hydrology // In land surface evaporation measurement and parameterization. NY, USA. 1991. pp. 93-120.
12. Monteith J.L., Unsworth M.H. Principles of environmental physics. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford, 1990. 291 p.
13. Calera A., Campos I., Osaan A., Durso G., Menenti M. Remote sensing for crop water management: from ET modelling to services for the end users // Sensors. 2017. vol. 17. 1104. DOI: 10.3390/s17051104.
14. Johnson L.F., Trout T.J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin Valley // Remote Sens. 2012. no. 4. pp. 439-455. DOI: 10.3390/rs4020439.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 10.04.2023

Принята к публикации 19.06.2023

THE METHOD OF CALCULATING THE EVAPOTRANSPIRATION INDEX OF VEGETATION ON THE BASIS OF SATELLITE REMOTE SENSING DATA

T. Amirova

Institute of Ecology of the National Aerospace Agency, Republic of Azerbaijan, Baku
e-mail: stmz@list.ru

An indirect method for calculating the evapotranspiration index based on satellite remote sensing data has been developed. It is taken into account that the averaged data of various vegetation obtained using the existing methodology, using ET_0 reference data on the evapotranspiration of grass cover, contain a variable random component. For clarification, it is proposed to use the well-known regression dependence ET_0 on the number of the day of the year (DOY), presented analytically as the sum of the mean value and the mean square deviation in the form of a random component that varies over time. Using the DOY indicator as an auxiliary parameter for determining E , the task of determining DOY by remotely measured $NDVI$ and F_c indicators is set, taking into account the known regression equations. Taking into account two parallel measured indicators of remote sensing can significantly reduce the random error in determining DOY based on the results of sensing. Further, the specified random component is used instead of the random components of the error of the basic DOY data, assuming that ET_{cp} and the corresponding indicator obtained remotely coincide.

Key words: evapotranspiration, remote sensing, irrigation, vegetation, soil.

References

1. Wanniarachchi S., Sarukkalige R. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present and future. Hydrology. 2022. vol. 9. no. 7. 123. DOI: 10.3390/hydrology9070123.
2. Isgandarov M.Y. Melioration and ecological state of soils, based on draining degree of Kura-Aras lowland. Scientific Journal "ScienceRise". 2015. no 2. pp. 91-93 DOI: 10.15587/2313-8416.2015.37212.
3. Maina M., Amin M., Rowshon M., Aimrun W., Samsuzana A., Yazid M. Effects of crop evapotranspiration estimation techniques and weather parameters on rice crop water requirement. Aust. J. Crop Sci. 2014. no. 8. pp. 495-501.

4. Van M.S., Tol R., Linker R., Reyes-Lastiri D., Kootstra G., Koerkamp P.G., Henten E.G. Introductory overview: systems and control methods for operational management support in agricultural production systems. *Environ. Model. Softw.* 2021. vol. 139. 105031.
5. Vanschoenwinkel J., Van Passel S. Climate response of rainfed versus irrigated farms: The bias of farm heterogeneity in irrigation. *Clim. Chang.* 2018. vol. 147. pp. 225-234.
6. Jaramillo S., Graterol E., Pulver E. Sustainable transformation of rainfed to irrigated agriculture through water harvesting and smart crop management practices. *Front. Sustain. Food Syst.* 2020. no. 4. 437086.
7. Water in agriculture. Available online. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture#1> (data obrashcheniya: 04.10.2022).
8. Altobelli F., Meybeck A., Gitz V. Accounting for water use in agriculture // In knowledge and information for sustainable food Systems. Rome, Italy. 2014. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.researchgate.net/publication/328773127> (data obrashcheniya: 04.10.2022).
9. Liou Y.A., Kar S.K. Evapotranspiration estimation with remote sensing and various surface energy balance algorithms – A review. *Energies.* 2014. vol. 7. pp. 2821-2849.
10. Eliades M., Bruggeman A., Djuma H., Christofi C., Kuells C. Quantifying evapotranspiration and drainage losses in a semi-arid nectarine Field with a dynamic crop coefficient (KC) derived from leaf area index measurements. *Water.* 2022. vol. 14. P. 734.
11. Shuttleworth W. Evaporation models in hydrology. In land surface evaporation measurement and parameterization. NY, USA. 1991. pp. 93-120.
12. Monteith J.L., Unsworth M.H. Principles of environmental physics. 2nd Edition. Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford, 1990. 291 p.
13. Calera A., Campos I., Osaan A., Durso G., Menenti M. Remote sensing for crop water management: from ET modelling to services for the end users. *Sensors.* 2017. vol. 17. 1104. DOI: 10.3390/s17051104.
14. Johnson L.F., Trout T.J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin Valley. *Remote Sens.* 2012. no. 4. pp. 439-455. DOI: 10.3390/rs4020439.

Сведения об авторах:

Туркан Назим гызы Амирова
 Старший научный сотрудник, Институт экологии Национального аэрокосмического агентства
 ORCID 0009 0008 7057 7805
 Turkan Amirova
 Senior Researcher, Institute of Ecology of the National Aerospace Agency

Для цитирования: Амирова Т.Н. Метод вычисления эвапотранспирационного показателя растительности на базе данных спутникового дистанционного зондирования // Вопросы степеведения. 2023. № 2. С. 83-90. DOI: 10.24412/2712-8628-2023-2-83-90