

УДК 004.631.6: 004.626

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ БОГАРНЫХ И ОРОШАЕМЫХ АГРОЦЕНОЗОВ

Зейлигер А.М., Ермолаева О.С.

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»,
Москва, e-mail: azeiliger@mail.ru, ol_remolaeva@mail.ru*

Рассмотрены вопросы применения информационных технологий для оценки площадных значений эвапотранспирации агроценозов по данным тепловой аэрокосмической съемки поверхности суши и наземных точечных метеорологических наблюдений. Для расчета пространственно-распределенных потоков эвапотранспирации в программной геоинформационной среде ILWIS составлен компьютерный код расчета. Этот код, основанный на модели энергетического баланса подстилающего слоя SEBS, был использован для расчета растров суточной эвапотранспирации за период май – август 2012 г. по территории Приволжской оросительной системы, расположенной в Марковском районе Саратовской области. Для проведения расчетов были использованы данные спектрорадиометра MODIS и наземных метеорологических наблюдений на метеостанции г. Маркса. Анализ последовательных картограмм площадных агрегированных значений эвапотранспирации на экстенде проведения расчетов выявил закономерности одновременного формирования потоков эвапотранспирации на рядом расположенных богарных и орошаемых агроценозах в периоды, следующие за выпадением дождевых осадков, а также в засушливые периоды вегетации. Разработанный код может быть использован для оценки эффективности использования водных и земельных ресурсов при орошении посевов сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: информационные технологии, обработка данных, дистанционное зондирование Земли, эвапотранспирация, SEBS, MODIS

INFORMATION TECHNOLOGIES IN RAIN-FED AND IRRIGATED AGROCOENOSIS MONITORING

Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S.

*Federal Public Budgetary Educational Institution of the Higher Education Russian State Agrarian
University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow,
e-mail: azeiliger@mail.ru, ol_remolaeva@mail.ru*

Questions of information technology application to assess areal values of evapotranspiration of agrocoenosis in the base of both thermal remote sensing of land surface and ground meteorological data are considered. Computer code calculating daily space &-temporal evapotranspiration fluxes was developed in ILWIS geoinformation environment. This code based on SEBS model of energy balance of underlying layer was used to calculate raster of daily evapotranspiration fluxes for May – August time period for territory of Pryvolghskaya Irrigation System situated at Marks District of Saratov Region. Data of spectroradiometer MODIS and weather monitoring at Marks meteorological station was used for evapotranspiration calculation. Carried-out analysis of the followed cartogram of areal evapotranspiration fluxes values at extent of realized calculation showed up some consistent patterns of simultaneous development of evapotranspiration fluxes at neighboring rain-fed and irrigated agrocoenosis at time period following the rain events and during drought season of vegetation. Developed cod may be used to assess effectiveness of water and land resources using for agricultural crop irrigation.

Keywords: information technologies, data processing, remote sensing of The Earth, evapotranspiration, SEBS, MODIS

С физической точки зрения эвапотранспирация представляет собой процесс перехода воды из жидкой фазы в газообразную. В рамках круговорота воды на Земле этот процесс участвует в переносе воды с земной поверхности в атмосферу. Одними из важных продуцентов водяного пара на суше являются агроценозы, на которых выращиваются посевы сельскохозяйственных культур. Применяемые при этом агротехнические и мелиоративные методы и приемы направлены на создание оптимальных условий, необходимых для получения высоких и устойчивых урожаев. В повседневной практике для их планирования, реализации

и контроля используются данные точечных наземных наблюдений и обследований, которые зачастую не репрезентативны.

В последние десятилетия, технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) используются в научных и технологических исследованиях для мониторинга природных и антропогенных процессов [12, 14, 18], а также для контроля параметров агроценозов [13, 19]. Для этого рассчитываются картограммы биофизических показателей роста и развития посевов, которые используются в системах поддержки принятия решений при управлении орошением [19], мониторинге биофизических

показателей роста и развития посевов [4, 7], а также оценки их урожайности [4, 11, 19].

Одним из значимых параметров, отражающих рост и развитие посевов сельскохозяйственных культур, является их эвапотранспирация. В противоположность многочисленным традиционным методам точечной оценки эвапотранспирации в настоящей работе использована методика, основанная на данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и данных метеорологических наблюдений [7]. Получаемые по этим данным временные картографические ряды эвапотранспирации позволяют оценивать водопотребление и его дефицит в границах посева, а также его отдельных контуров. Это открывает возможность применения инновационных технологий орошения, позволяющих получать высокие и устойчивые урожаи в поливном земледелии, а также эффективно использовать земельные и водные ресурсы.

Методы оценки эвапотранспирации по уравнению энергетического баланса

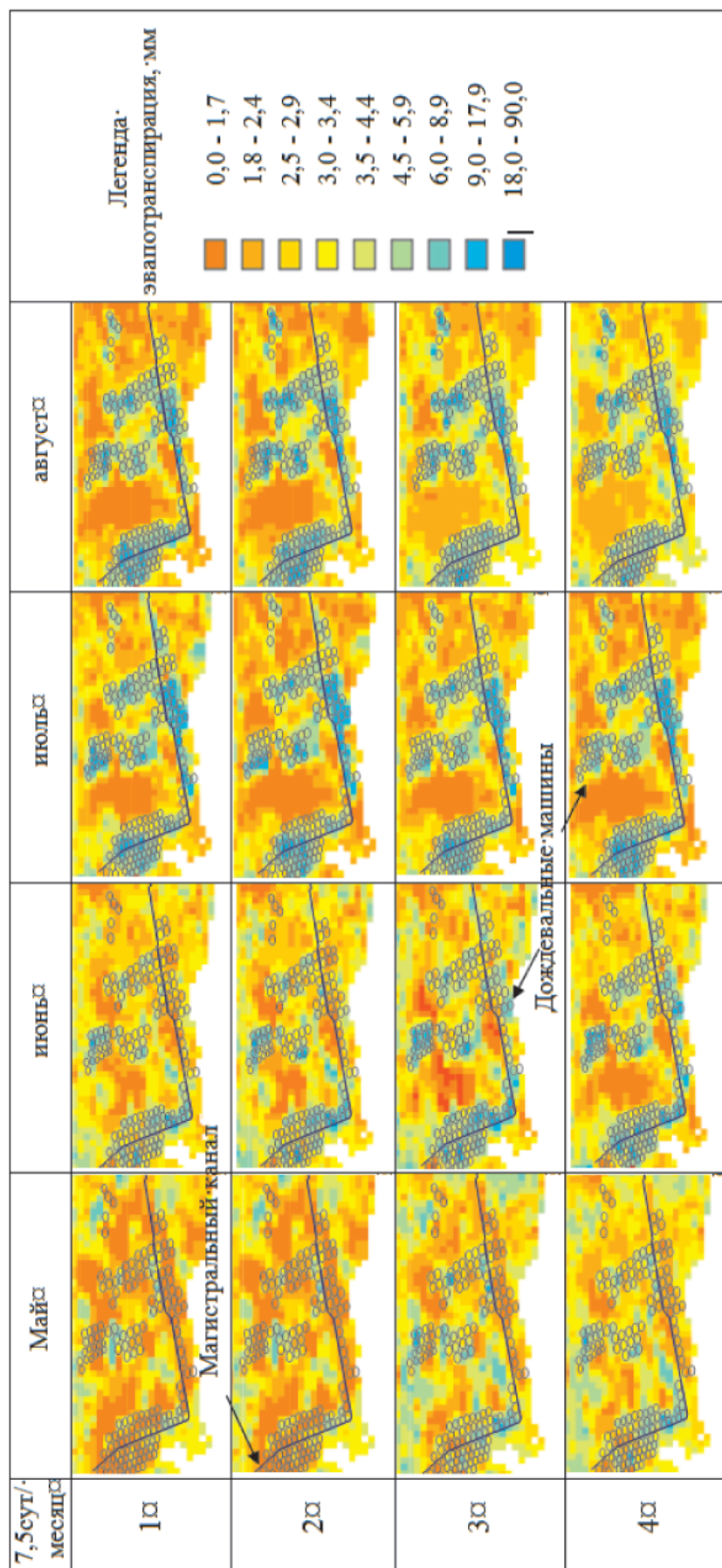
Для оценки эвапотранспирации по данным ДЗЗ ранее были разработаны методы SEBS [16] и SEBAL [2–4], основанные на решении уравнения энергетического баланса подстилающего слоя SEB. В этих методах для расчета эвапотранспирации используется ряд таких дистанционно измеряемых параметров, как альbedo, температура подстилающего слоя, удельная площадь листовой поверхности, нормализованный дифференцированный вегетационный индекс, а также данные наземных метеорологических наблюдений. В работе [8] приведены результаты анализа достоинств и недостатков указанных выше методов оценки эвапотранспирации по данным ДЗЗ. В результате был сделан вывод, что среди них нет универсального метода, который мог бы быть использован без соответствующей локализации к местным почвенно-климатическим условиям, а также применяемым технологиям ведения поливного земледелия. Так, проведенные в Зимбабве [13] исследования продемонстрировали высокий потенциал использования метода SEBS для оценки эвапотранспирации посевов кукурузы. Аналогичные исследования, проведенные в ЮАР [6], Китае [3, 17] и Иране [10], продемонстрировали, что порядка 85% результатов, полученных по методу SEBAL, воспроизводят данные полевых экспериментов. Результаты исследований, проведенных в Испании на взвешиваемых лизиметрах [11], показали, что метод SEBAL дает удов-

летворительные результаты для люцерны и пшеницы. Аналогичные исследования на взвешиваемых лизиметрах на северо-востоке Китая [9] показали, что метод SEBS, использованный для оценки эвапотранспирации по данным MODIS/Terra хорошо воспроизводят экспериментальные данные, а также, что расхождения экспериментальных данных по эвапотранспирации с оцененными по модели SEBS лежат в пределах 10–15% [15]. В свою очередь исследования, проведенные в Иране на орошаемых сельскохозяйственных угодьях ряда поливных культур [1], продемонстрировали совпадение оценок эвапотранспирации с полевыми данными. Результаты исследований, проведенных на опытной станции USDA ARS Bushland в Техасе [5], показали, что максимальные расхождения значений суточной эвапотранспирации, измеренной на больших взвешиваемых лизиметрах и эвапотранспирации, рассчитанной методом SEBAL по данным тепловой съемки с беспилотной платформы, не превышает 11%.

Компьютерный код расчета растров суточной эвапотранспирации по методу SEBS с использованием данных спектрорадиометра MODIS

Для оперативного управления орошением посевами сельскохозяйственных культур требуются ряды данных потока суточной эвапотранспирации. Данные спектрорадиометров MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), размещенных на космических платформах Terra (1999) и Aqua (2002), являются наиболее подходящими для этих целей. Периодичность съемки территорий южных и центральных районов России, где ведется орошение, лежит в пределах от 2-х до 4-х раз в сутки. При незначительной облачности в моменты съемки этих данных вполне достаточно для проведения расчетов суточной эвапотранспирации.

Для практического использования данных MODIS разработаны и регулярно совершенствуются алгоритмы обработки первичных данных съемки. На основе обработанных данных формируется ряд тематических данных более высокого уровня обработки. Одним из них является продукт MOD16, рассчитываемый по модели SEBS и представляющий собой 8-суточный растр потоков эвапотранспирации с поверхности суши. Однако значительный интервал осреднения не позволяет использовать этот продукт для целей оперативного управления орошением [19].



Картограммы рассчитанных 7,5-суточных объемов эвапотранспирации за период май – август 2012 г. для территории Приволжской ОС (Марковский район, Саратовская область)

Для расчета суточных растров потоков эвапотранспирации по данным первого уровня обработки в геоинформационной среде ILWIS на основе метода SEBS [8] был разработан компьютерный код. На рисунке представлена серия картограмм в виде агрегированных (7,5 сут) потоков эвапотранспирации, рассчитанных по разработанному коду для части территории Марковского района Саратовской области за период 01.05 – 31.08.2012.

Качественный анализ картограмм эвапотранспирации

Пространственный экстенд представлен на рисунке картограмм включает р. Волгу, населенные пункты и приусадебные хозяйства, дорожно-транспортную сеть, а также земли богарного и орошаемого земледелия. Там же линиями показана трасса магистрального канала 1-й очереди Приволжской оросительной системы, а овалами показаны контуры, полей, орошение на которых ведется дождевальными машинами кругового действия. Цветовое отображение значений эвапотранспирации основано на единой классификации. С помощью единой классификации прослеживается пространственно-временная зависимость эвапотранспирации от метеорологических условий, роста и развития растительного покрова, орошения, а также запасов влаги в корнеобитаемом слое почвы. В результате наложения слоя эвапотранспирации на слой контуров орошаемых полей отмечается совпадение контуров наибольших значений эвапотранспирации в поливной период с расположением этих полей. Аналогично (для середины июня, всего июля и первой половины августа) прослеживаются контуры с низкими значениями эвапотранспирации, расположенные в центральной части картограмм, между орошаемыми землями. Эти контуры расположены на землях богарного земледелия, а также деградированных землях, и по этой причине выведенных из сельскохозяйственного оборота. Деградация этих земель была вызвана неэффективным орошением, которое вызвало подъем минерализованных грунтовых вод, повлекший за собой засоление и осолонцевание почвенно-грунтовой толщи. Значения потоков эвапотранспирации на этих землях последовательно снижаются с середины мая после выпадения обильных осадков, вплоть до середины августа,

когда снова выпали обильные осадки. Между этими эпизодами на картограммах прослеживается некоторое увеличение эвапотранспирации после выпадения небольших по объему осадков в конце июня и середине июля.

Заключение

Разработанный компьютерный код оценки эвапотранспирации агроценозов основан на методе SEBS и использовании данных наземного метеорологического мониторинга и данных первичной обработки изображений, получаемых со спектрорадиометра MODIS.

Тестирование разработанного компьютерного кода было реализовано на примере части территории Марковского р-на Саратовской обл., где расположены богарные и орошаемые земли. Поливная вода на последние подается из магистрального канала 1-й очереди Приволжской оросительной системы. Полученные результаты свидетельствуют о чувствительности модели SEBS для оценки потоков эвапотранспирации агроценозов в виде:

а) увеличения их интенсивности при пополнении запасов влаги корнеобитаемого слоя почвы после выпадения осадков;

б) снижения их интенсивности по мере расходования запасов влаги корнеобитаемого слоя почвы;

в) поддержания их высоких интенсивностей в засушливый период на полях, где пополнение запасов влаги корнеобитаемого слоя почвы осуществлялось искусственным орошением.

Разработанный компьютерный код может быть использован в системах поддержки принятия решений для оценки эффективности использования земельных и водных ресурсов в орошаемом земледелии.

Авторы выражают благодарность РФФИ (грант № 16-05-01097 А) за финансовую поддержку проведенного исследования.

Список литературы

1. Bahman Farhadi Bansouleh, Ali Reza Karimi and Homayoun Hesadi Evaluation of SEBAL and SEBS Algorithms in the Estimation of Maize Evapotranspiration // International Journal of Plant & Soil Science – 2015. – Vol. 6. – № 6. – P. 350–358.
2. Bastiaanssen W.G.M., Menenti M., Feddes R.A., Holtslag A.A.M., The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 1 formulation // J. Hydrol. – 1998. – Vol. 212–213. – P. 198–212.

3. Bastiaanssen W.G.M., Pelgrum H., Wang J., Ma Y., Moreno J., Roerink G.J., and van der Wal T. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 2 validation // *J. Hydrol.* – 1998. – Vol. 212–213. – P. 213–229.
4. Bastiaanssen W.G.M., Noordman E.J.M., Pelgrum H., Davids G., Thoreson B.P., and Allen, R.G., SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions // *J. Irrig. and Drain. Eng.* – 2005. – Vol. 131. – № 1. 85–93.
5. Elhaddad A, Garcia A, Chavez JL. Using a surface energy balance model to calculate spatially distributed actual evapotranspiration // *Journal of Irrigation and Drainage Engineering.* 2011. – Vol. 137. – № 1. – P. 17–26.
6. Gibson L., Jarman C., Su Z., Eckardt F. Review: Estimating evapotranspiration using remote sensing and the Surface Energy Balance System—A South African perspective // *Water SA.* – 2013. – Vol. 39. – № 4. – P. 477–484.
7. Jackson R., Reginato R. and Idso S.B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements // *Water Resources Research.* – 1977. – Vol. 13. – P. 651–656.
8. Li Z-L, Tang R, Wan Z, Bi Y, Zhou C, Tang B, et al. A review of current methodologies for regional evapotranspiration estimation from remotely sensed data // *Sensors.* – 2009. – Vol. 9. – № 5. – P. 3801–3853.
9. Lin W., van de Velde R., Su Z. Satellite based regional scale evapotranspiration in the Hebei Plain, Northeastern China // *Proceedings of Dragon.* – 2006. – Vol. 1. – P. 2004–2007.
10. Muthuwatta L., Ahmad M.D., Bos M., Rientjes T.H.M. Assessment of water availability and consumption in the Karkheh River basin, Iran using remote sensing and geostatistics // *Water Resources Management.* – 2010. – Vol. 24. – № 3. – P. 459–484.
11. Ramos J.G., Cratchley C.R., Kay J., Casterad M.A., Martínez-Cob A., and Dominguez R., Evaluation of satellite evapotranspiration estimates using ground-meteorological data available for the Flumen District into the Ebro Valley of NE Spain // *Agricultural water management.* – 2009. – Vol. 96. – № 4. – P. 638–652.
12. Oberg JW, Meless AM. Evapotranspiration dynamics at an ecohydrological restoration site: An energy balance and remote sensing approach. *JAWRA // Journal of the American Water Resources Association.* – 2006. – Vol. 42. – № 3. – P. 565–582.
13. Rwasoka DT, Gumindoga W, Gwenzi J, Estimation of actual evapotranspiration using the surface energy balance system (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe // *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* – 2011. – Vol. 36. – № 14–15. – P. 736–746.
14. Startseva, Z., Muzylev, E., Volkova, E., Uspensky, A., Uspensky, S. Water and heat regimes modelling for a vast territory using remote-sensing data // *Int. J. Rem. Sens.* – 2014. – Vol. 35. – № 15. – P. 5775–5799.
15. Su H, McCabe M, Wood E, Su Z, Prueger J. Modeling evapotranspiration during SMACEX: Comparing two approaches for local-and regional-scale prediction // *Journal of Hydrometeorology.* – 2005. – Vol. 6. – № 6. – P. 910–922.
16. Su Z The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes// *Hydrol Earth Syst Sci.* – 2002. – Vol. 6. – № 1. – P. 85–99.
17. Tang R., Li Z.L., Jia Y., Li C., Sun X., Kustas W.P. An intercomparison of three remote sensing-based energy balance models using Large Aperture Scintillometer measurements over a wheat–corn production region // *Remote Sensing of Environment.* – 2011. – Vol. 115. – № 12. – P. 3187–3202.
18. Zeiliger A.M., Ermolaeva O.S., Krichevtsova A.N. The results of the spatial-temporal analysis of remote sensing data sets by evaporation from the earth's land surface MOD16 ET for 2000–2009 for the territory Pallasovsky district of the Volgograd region of the Russian Federation // In: *Ecology economy informatics geoinformation technologies and space monitoring.* – Rostov on Don: Southern federal university Publishers. 2015. – Vol. 1–3/Vol. 3. – P. 35–47.
19. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. SEBAL Model Using to Estimate Irrigation Water Efficiency & Water Requirement of Alfalfa Crop // sb. st. EGU General Assembly. Vienna, Austria. 07–12 April. – 2013. – Vol. 15. – P. 12671.