

DOI:

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА КОМПЛЕКСНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ И НАЗЕМНОЙ КАЛИБРОВКИ

И. Л. Максенкова, Л. В. Козырева, А. В. Доброхотов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

В настоящей работе предложен способ мониторинга комплексного показателя агрометеорологических ресурсов, или система методов и моделей, основанная на использовании дистанционных данных и наземной калибровки. Совместное использование дистанционных данных и наземной калибровки позволяет получить оценку пространственной изменчивости показателя. Комплексным и информативным агрометеорологическим показателем в современных исследованиях является суммарное испарение (эвапотранспирация).

MODELS AND TECHNIQUES FOR MONITORING OF COMPLEX INDICATOR OF AGROMETEOROLOGICAL RESOURCES OF AGRICULTURAL FIELD USING REMOTE SENSING DATA AND GROUND CALIBRATION

I. L. Maksenkova, L. V. Kozyreva, A. V. DobrokhotoV

Agrophysical Research Institute

The paper proposes the complex monitoring of complex indicator of agrometeorological resources (territory climatic abilities for receiving an agricultural production). The complex monitoring represents the system of techniques and models that use remote sensing data and ground calibration. The information that is necessary for consumers (agrofirm, farms, agroholdings) is based on monitoring data.

The evapotranspiration is complex and informative agrometeorological indicator in contemporary researches. The synergy of remote sensing data and ground calibration provides an estimate of the spatial variability of the indicator.

The spatial distribution of energy balance parts above the agricultural field obtains using the information from the satellite LandSat-8 pictures and special models like SEBAL and SVAT.

The ground calibration includes modern automated methods of information collecting and treatment over a specific study location of an agricultural field. It also contains techniques of evapotranspiration calculation above crops and models of evapotranspiration partitioning on transpiration and on evaporation from soil. The data more precisely input meteorological parameters are collected from the automatic mobile field agrometeorological equipment (AMFAE) created in the Agrophysical Research University. The technique of potential and actual evapotranspiration determination is based on the heat balance equation, the Penman – Monteith equation and the FAO-56 technology. The evapotranspiration is found as a residual term in the energy balance equation. The partitioning of evapotranspiration to transpiration and evaporation from the soil is carried out with the TSEB model.

The AquaCrop model allows conducting monitoring of a canopy growth and developing in specific soil and ecologic conditions with day time interval in field scale using the agrometeorological index of relative cumulative transpiration.

Введение. В настоящее время сельское хозяйство является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей экономики страны. Качество сельскохозяйственной продукции существенно зависит от климата территорий. Погодные факторы оказывают влияние на формирование продуктивности культурных растений и обуславливают в значительной степени величину урожая, качество продукции, её стоимость, а также производительность труда. В связи с этим целесообразно введение термина «агрометеорологический ресурс», под которым понимается система климатических возможностей территорий для получения сельскохозяйственной продукции. В качестве основных агроклиматических ресурсов выступают количество солнечной радиации и влагообеспеченность. Именно они обеспечивают рост и развитие растений.

Для наиболее эффективного ведения сельского хозяйства необходимо совершенствовать не только современные технологии внесения удобрений и орошения, но также повышать уровень передачи потребителям необходимой информации о климатических особенностях региона.

В настоящей работе предложен способ комплексного мониторинга агрометеорологических ресурсов. Под комплексным мониторингом понимается система методов и моделей, основанных на использовании данных дистанционного зондирования и наземной калибровки. На основе данных, полученных при мониторинге, потребителю предоставляется важная информация (агрофирмы, фермерские хозяйства, агрохолдинги).

На начальном этапе исследований агрометеорологические ресурсы оценивались по климатическим показателям, таким как сумма среднесуточной температуры воздуха, суммы осадков за разные временные периоды, величина ФАР. Наибольшее распространение получили комплексные показатели, например, гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Селяниновым. В исследовании (Сепп, Тооминг, 1991) установлено, что коэффициент корреляции данного показателя с урожайностью зерновых достигает 0.4–0.6.

В современных исследованиях в качестве комплексного показателя используется суммарное испарение (эвапотранспирация). Испарение с подстилающей поверхности является связующей составляющей водного и теплового балансов сельскохозяйственного поля, поэтому данная величина является весьма значимой для сельского хозяйства. Кроме того, испарение тесно связано с суммой приходящей радиации, температурой, влажностью и скоростью приземного слоя воздуха, а также с влажностью корнеобитаемого слоя почвы.

Модели и методы мониторинга суммарного испарения. Структура предложенного мониторинга включает современные автоматизированные методы расчета суммарного испарения на конкретных посевах с совместным использованием дистанционных данных и наземной калибровки. Это позволяет получить оценку пространственного распределения агрометеорологического показателя.

Наземная калибровка основывается на использовании современных автоматизированных методов сбора и обработки информации в конкретной точке сельскохозяйственного поля и расчета суммарного испарения на конкретных посевах. Сбор информации, а точнее входных метеорологических параметров, осуществляется при помощи созданного в Агрофизическом НИИ автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса (АМПАК) (Ефимов, Козырева, 2009). АМПАК осуществляет расчет суммарного испарения на основе уравнения теплового баланса с учетом аэродинамических характеристик подстилающей поверхности. Входными данными являются метеорологические параметры, сбор которых осуществляется АМПАКом в автоматическом режиме, а также параметры растительного покрова, которые вносятся пользователем в компьютер с помощью клиентского приложения (Ефимов, Козырева, 2010). Клиентское приложение содержит таблицы экспериментальных метеорологических данных, параметров эксперимента, коэффициентов развития культур, которые объединяются в специальной базе данных эксперимента (рис. 1) (Козырева и

др., 2016). В настоящее время комплекс технически модернизируется, а также расширяются возможности сопутствующего программного обеспечения.

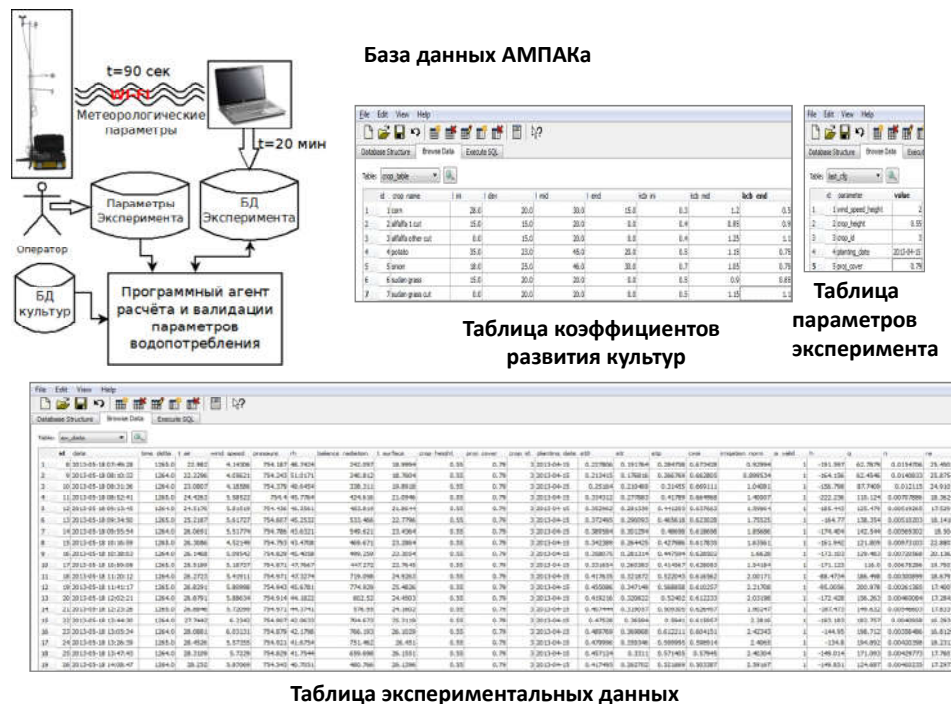


Рис. 1. База данных АМПАКа с результатами каждого проведенного полевого эксперимента

Одной из самых распространенных методик для определения величины эвапотранспирации является методика FAO-56, разработанная на основе модернизированного уравнения Пенмана-Монтейса. В данной методике используется три типа суммарного испарения (эвапотранспирации) – эталонное, потенциальное и реальное. В ней также предусмотрено представление величины испарения в разных временных масштабах: мгновенные, часовые и суточные (Allen et al., 1998).

Данные дистанционного зондирования получают со спутника LandSat-8. При помощи специальных моделей, таких как SEBAL и METRIC, информация со спутниковых снимков обрабатывается, и в результате устанавливается пространственное распределение составляющих энергетического баланса на сельскохозяйственном поле.

По энергобалансовой модели (SEBAL) (Allen et al., 2007; Козырева и др., 2015) суммарное испарение рассчитывается как остаточный член в энергетическом уравнении, а для сельскохозяйственного поля с конкретной

культурой проводится калибровка с использованием модели METRIC (Akylas, Tombrou, 2005).

В алгоритме модели (SEBAL) используется разница радиационной температуры и температуры воздуха для каждого пикселя спутникового снимка поверхности Земли. Разница температур необходима для расчета явного потока тепла в каждом пикселе снимка. В модели используются входные данные, полученные со спутникового снимка (температура поверхности, альbedo, NDVI), а также данные наземных измерений (скорость, влажность воздуха, радиационный баланс). Мгновенные потери скрытого потока тепла для каждого пикселя вычисляются как остаточный член в уравнении теплового баланса. Во время пролета спутника по модели мгновенно устанавливается пространственное распределение всех составляющих энергетического баланса. Основная составляющая (эвапотранспирация) определяется для каждого пикселя методом остаточного члена в энергетическом балансе. На рис. 2 представлена тематическая карта суточного суммарного испарения.

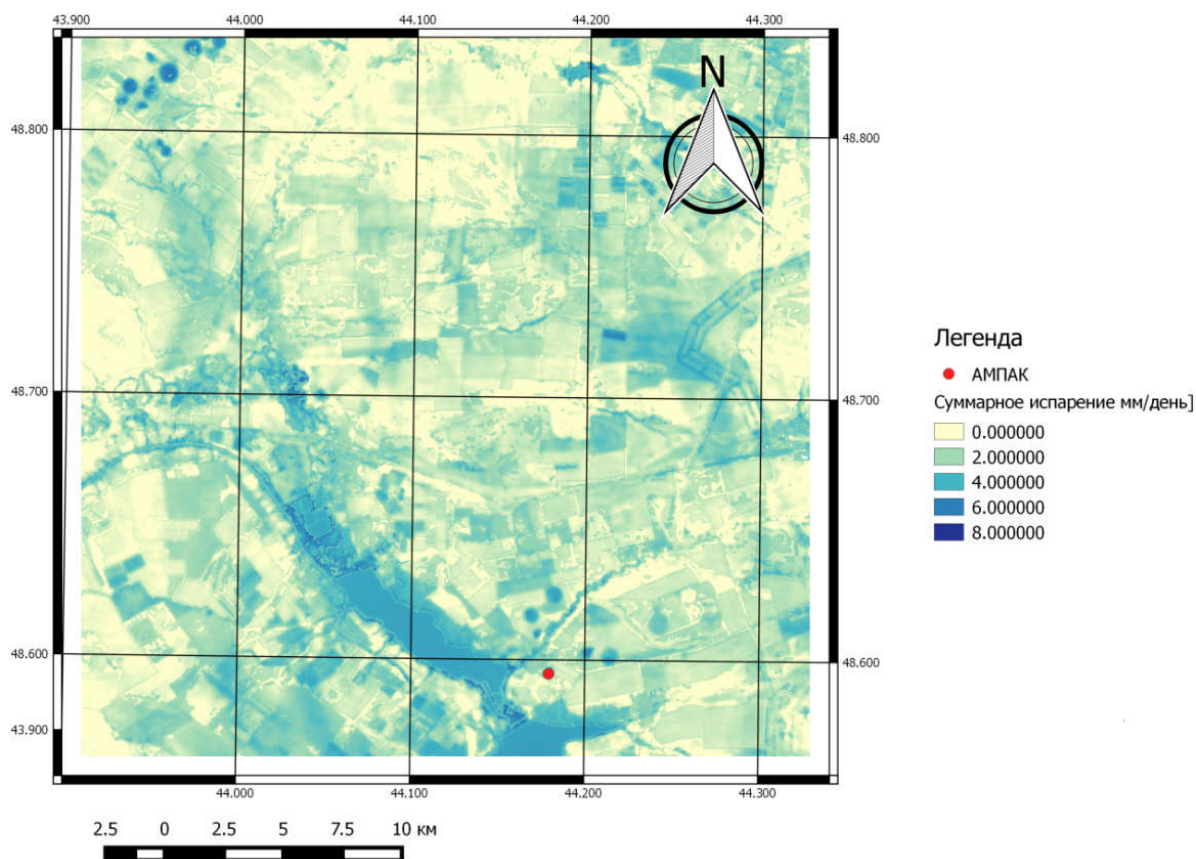


Рис. 2. Карта суточного суммарного испарения на участке п. Водный Волгоградской области (48°58' с.ш.; 44°16' в.д.).

АМПАКом осуществлена наземная калибровка в точке п. Водный (48°58' с.ш.; 44°6' в.д.), обозначенной на карте красным цветом. Карты построены по данным, полученным путем пересчета мгновенных наземных и спутниковых данных в суточные.

Для определения величины продуктивности через суммарное испарение используются современные модели, такие как AquaCrop. Модель AquaCrop позволяет проводить мониторинг роста и развития конкретных посевов в определенных почвенно-экологических условиях с суточным временным интервалом в масштабе поля с использованием агрометеорологического показателя относительной кумулятивной транспирации.

По данной модели для конкретных культур в определенных почвенно-экологических условиях с суточным временным интервалом в масштабе поля определяется зависимость величины сухой надземной биомассы от кумулятивной относительной транспирации (Steduto et al., 2009):

$$B = WP^* \left(\sum \frac{T_r}{ET_0} \right),$$

где WP^* – продуктивность транспирации, выражающая взаимосвязь между ростом сухой надземной биомассы и транспирацией в региональных климатических условиях, $г \cdot м^{-2}$; $\sum(T_r/ET_0)$ – суммарная суточная нормализованная транспирация в вегетационный период (от начала посева до уборки урожая); B – надземная сухая биомасса, $г \cdot м^{-2}$; T_r – транспирация, $мм \cdot сут^{-1}$; ET_0 – эталонная эвапотранспирация, $мм \cdot сут^{-1}$.

Калибровка модели AquaCrop проведена на рапсе сорта Оредеж-4 в пос. Дивенский (59°11' N, 30°00' E) с использованием данных наблюдений регулярной метеорологической сети в комплексе с данными автоматизированного метеорологического комплекса (АМПАК) и дистанционного зондирования на территории Ленинградской области (Максенкова и др., 2018).

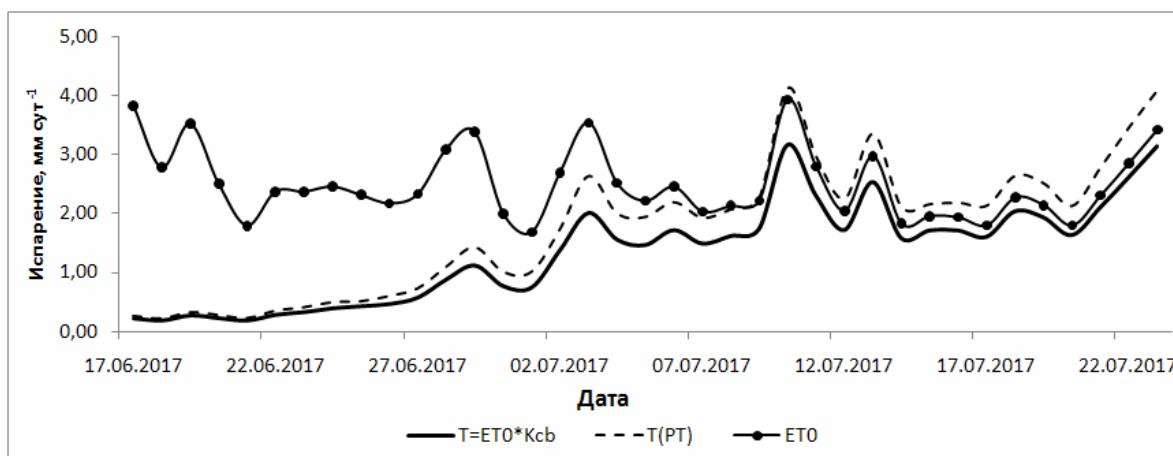


Рис. 3. График значений транспирации (T_r), рассчитанной двумя методами, и эталонной эвапотранспирации (ET_0) над участком рапса в пос. Дивенский за исследуемый период с суточным временным шагом.

Список литературы

1. Сепп Ю. В., Тооминг Х. Г. Ресурсы продуктивности картофеля. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 264 с.
2. Ефимов А. Е., Козырева Л. В. Мобильный агрометеорологический информационно-измерительный комплекс. АГРОИНФО – 2009. Новосибирск, 2009.
3. Ефимов А. Е., Козырева Л. В. Программа для обработки экспериментальных полевых данных и вычисления агрометеорологических параметров фитолимата сельскохозяйственного поля. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2010616625. 5 октября 2010 г.
4. Козырева Л. В., Доброхотов А. В., Ефимов А. Е., Максенова И. Л., Бартенев Д. Л. Информационная база данных автоматизированного мобильного полевого агрометеорологического комплекса для модельных расчетов энерго- и массообмена на сельскохозяйственном поле. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS. № 201760487. 05.12.2016.
5. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements // FAO Irrigation and Drainage Paper. № 56. Rome, 1998.
6. Allen R. G., Tasumi M., Trezza R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (metric)–model // J. of irrigation and drainage engineering. № 133(4). 2007. pp. 380–393.
7. Козырева Л. В., Доброхотов А. В., Ситдикова Ю. Р., Ефимов А. Е. Методика оценки составляющих водного и теплового балансов в системе «почва – растение – приземный слой воздуха» с учетом стратификации приземного слоя, неоднородности подстилающей поверхности с использованием данных дистанционного зондирования Земли и наземной калибровки автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом (АМПАК). СПб.: АФИ, 2015. 48 с.
8. Akylas E., Tombrou M. Interpolation between Businger-Dyer formula and free convection forms: a revised approach // Boundary-Layer Meteorology. № 115. 2005. pp. 381–398.
9. Steduto P., Hsiao T. C., Raes D., Fereres E. AquaCrop – The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles // Agronomy Journal. № 101(3). 2009. pp. 426–437.
10. Максенова И. Л., Доброхотов А. В., Козырева Л. В. Параметрическая идентификация модели роста и развития AQUACROP на посевах рапса в Ленинградской области // Агрофизика. 2018. № 1. С. 44–53.