

ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата географических наук, Юровой Аллы Юрьевны на диссертационную работу Доброхотова Алексея Вячеславовича «Пространственное распределение составляющих энергетического баланса растительного покрова по данным дистанционного зондирования земли и стандартных метеорологических измерений», представленную на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 06.01.03 – агрофизика.

Актуальность исследования

В России задача устойчивой интенсификации земледелия решается на фоне общемирового тренда к цифровизации сельского хозяйства. В связи с этим актуальным для планирования размещения культур и технологических операций является развитие автоматизированной методологии и технологии оценки урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от их влагообеспеченности, а также выявление устойчивых зон плодородия. Связь между влагообеспеченностью и продукционным процессом напрямую выявляется через эвапотранспирацию, т.к. устьичная проводимость определяет, как поступление в лист растения углекислого газа, так и потерю воды. В связи с этим работа А.В. Доброхотова, посвященная оценке эвапотранспирации на основе физически-обоснованной энергобалансовой модели по общедоступным данным ДЗЗ в видимом и тепловом диапазоне спектра, является крайне актуальной и выгодно отличается среди массы работ, использующих эмпирические вегетационные индексы.

Научная новизна

В России модели METRIC и SEBAL, оценивающие эвапотранспирацию как остаточный член энергетического баланса с оценкой явного потока тепла через градиент температуры поверхность-воздух, на уровне освоения и адаптации программного кода используются впервые. Помимо технических задач, адаптация моделей к особенностям собираемой в России

метеорологической информации (ее частоте сбора, набору измеряемых параметров) потребовала от автора и развития новых методов. Особо хочется отметить эмпирический метод учета форм и количества облачности при расчете приходящей кратительности коротковолновой радиации, который позволяет использовать богатый качественный материал об облачности в количественной форме, что в энергобалансовых моделях сделано впервые.

Также новым является учет микроклиматических особенностей, связанных с рельефом, при расчете радиационного баланса – основной входной величины модели SEBAL. Это позволит в будущем изучить роль структурной организации ландшафта в пространственной неоднородности урожайности.

Практическая значимость результатов исследования не вызывает сомнения и относится к таким отраслям как ландшафтно-адаптивное земледелие, планирование мероприятий по регулированию водного баланса, интродукция новых культур и сортов с отличными ходом и характеристиками влагопотребления, минимизация рисков от экстремальных погодных явлений и др.

Общая характеристика работы

Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы (138 источников, из них 118 иностранных), 5 приложений. Диссертация изложена на 158 страницах, иллюстрирована 40 рисунками и 15 таблицами.

Во введении приводится актуальность темы исследования в сельском хозяйстве, мониторинге роста и развития растительности, объектом исследования является растительный покров, а предметом моделирование пространственного распределения составляющих энергетического баланса. Создание метода автоматизированного расчета пространственного распределения составляющих энергетического баланса растительного покрова с применением данных ДЗЗ и стандартных метеорологических

измерений является целью исследования. Приводятся основные задачи исследования для достижения поставленной цели, научная новизна, практическая значимость работы, личный вклад автора и апробация результатов. Представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе работы рассматриваются уравнения водного баланса, энергетического баланса растительного покрова, их связь через эвапотранспирацию. Рассматриваются различные типы эвапотранспирации, такие как эталонная, потенциальная и реальная эвапотранспирации.

Во второй главе приводятся методика расчета эвапотранспирации и составляющих энергетического баланса: радиационного баланса, турбулентного потока тепла, потока тепла в почву по данным дистанционного зондирования Земли в совокупности со стандартными метеорологическими измерениями. Рассматривается расчет прямой и рассеянной радиации для безоблачного неба в зависимости от географического положения, времени, параметров рельефа, состояния атмосферы. По данным прямой и рассеянной радиации для безоблачного неба рассчитывается суммарная радиация в зависимости от типов и количества облачности, метод основан на модели Cloud Layer Sunshine (CLS). Далее рассматриваются такие составляющие радиационного баланса как отраженная коротковолновая радиация и противоизлучение атмосферы. Рассматривается метод расчета турбулентного потока тепла по данным дистанционного зондирования Земли. В основе метода лежит энергобалансовая модель METRIC, использующая референсные точки "горячего" и "холодного" пикселей для оценки приземного градиента температуры воздуха. Рассматривается итерационный метод учета стратификации приземного слоя атмосферы с применением масштаба Монино-Обухова и универсальных функций. Приводится метод автоматизированного поиска точек "горячего" и "холодного" пикселей. Рассматривается метод расчета потока тепла в почву по данным

радиационного баланса, температуры поверхности растительности, проективного покрытия и вегетационных индексов. Приводятся методы расчета эвапотранспираций: мгновенной эвапотранспирации по данным спутниковой съемки и метеорологических наземных измерений; суточной эвапотранспирации по данным части энергии, затрачиваемой на испарение и данным расчета эталонной эвапотранспирации люцерны по наземным метеорологическим измерениям; сезонной эвапотранспирации с использованием интерполяции части энергии, затрачиваемой на испарение за весь вегетационный период развития растительности.

В третьей главе приводятся основные источники данных для проведения валидации расчета составляющих энергетического баланса. Рассматриваются спутниковые данные дистанционного зондирования спутника Landsat в видимом, ближнем и дальнем ИК диапазонах; данные цифровой модели рельефа ASTER GDEM; актинометрические измерения проекта World Bank; массивы срочных метеорологических измерений станций стандартной сети; данные потоковых станций глобальной сети FluxNet.

В четвертой главе рассматриваются основные результаты работы. Приводятся результаты расчета суммарной радиации по данным актинометрических измерений проекта World Bank's ESMAP Solar Resource Mapping. Представлены диаграммы рассеяния и данные статистического анализа для измеренных значений и рассчитанных по предложенному автором методу. Также представлены карты пространственного распределения суммарной радиации. Приводятся результаты расчета составляющих радиационного баланса растительного покрова с использованием спутниковых данных Landsat. Представлена статистическая оценка результатов расчета. Приводятся результаты расчета составляющих энергетического баланса и эвапотранспирации. Представлена карта пространственного распределения мгновенного скрытого потока тепла, турбулентного потока тепла, потока тепла в почву, радиационного баланса

рассчитанных по данным спутника Landsat. Представлен график эталонной эвапотранспирации люцерны и изменения за вегетационный период части энергии, затрачиваемой на испарение, интерполированной между значениями, полученными в даты пролета спутника Landsat. Приводятся статистические оценки результатов расчета и гистограмма суммарных значений рассчитанной и измеренной на потоковой станции эвапотранспирации.

В пятой главе рассматриваются варианты практического применения методики автоматизированного расчета эвапотранспирации и составляющих энергетического баланса. Рассматривается апробация модели роста и развития AquaCrop в экспериментах на полях рапса в Ленинградской области. Представлен автоматизированный мобильный полевой агрометеорологический комплекс (АМПАК) для получения наземной метеорологической информации и данных дистанционных измерений радиационной температуры поверхности. Приводятся графики измеренной и рассчитанной по модели AquaCrop сухой биомассы растений, регрессионная модель сухой надземной биомассы и суммированной транспирационной воды, статистический анализ полученных результатов. Представлено исследование взаимосвязи транспирации и ассимиляции CO_2 в посевах C_3 и C_4 культур. Эксперименты проводились на полях ячменя и амаранта на опытных участках Агрофизического института. Представлены графики изменения эвапотранспирации над участками ячменя и амаранта, устьичного сопротивления растительного покрова ячменя и амаранта, накопление углерода (отношение C/CO_2), эвапотранспирация и их отношение для ячменя и амаранта. Приводится апробация методики разделения эвапотранспирации на транспирацию и физическое испарение с поверхности почвы по двухуровневой энергобалансовой модели TSEB (Two Source Energy Balance). Рассматривается блок-схема алгоритма разделения составляющих энергетического баланса над посевами кукурузы и почвой. Эксперимент проводился над участком кукурузы на полях ОАО «Приневский» во

Всеволожском районе Ленинградской области. Приводится график транспирации, физического испарения и эвапотранспирации на опытном участке с посевами кукурузы. Рассматривается модельная оценка пространственного распределения устьичной проводимости растений на полях кормовых трав в пос. Бугры Ленинградской области. Устьичная проводимость определялась по модели Кэмбелла с использованием спутниковых данных Landsat, наземных подступниковых измерений прибора АМПАК. Рассматривается технология рационального использования водных ресурсов автоматизированным расчетом норм и сроков полива посевов сельскохозяйственных культур на орошаемом поле. Индикатором полива в предложенной технологии является индекс водного стресса растительности CWSI, для расчета поливной нормы предлагается использовать разницу между потенциальной, или максимально возможной для данной культуры при наблюдаемых погодных условиях, эвапотранспирацией и реальной эвапотранспирацией.

В шестой главе приводятся компоненты программы для автоматизированного расчета эвапотранспирации. Для создания программы автоматизированного расчета эвапотранспирации были использованы язык программирования Python и его библиотеки, геоинформационная система GRASS. Рассматриваются основные пакеты программы.

В заключении представлены основные результаты и выводы представленной диссертационной работы.

Общая оценка работы и полученных результатов

Результаты исследования получены на независимом, собранном самим автором или осознанно подобранном материале и полностью являются оригинальными. Содержание работы содержит все необходимые компоненты – последовательный теоретический обзор всех членов уравнения энергетического баланса (главы 1-2), презентацию адаптации моделей (гл. 3), ход и результаты верификации (4), применения для решения конкретных

научных задач (5) и программные особенности разработанного кода (6). Исследование в подготовленной форме является завершенным, но имеет перспективы дальнейшего развития в применении к более широким задачам, а также другим географическим регионам.

Диссертационная работа А.В. Доброхотова представляет собой ценное научное исследование, хорошо продуманное и логично обоснованное, выполненное на высоком научно-методическом уровне. Выводы четко и логично сформулированы. В каждом тематическом разделе приводится сопоставление полученных результатов с выводами, полученными другими исследователями. Диссертация не содержит некорректно заимствованных материалов, имеются все ссылки на использованные сведения других авторов. Личное участие автора на всех этапах выполнения диссертационной работы не вызывает сомнений. Содержание диссертации в полной мере отражено в автореферате.

Замечания и пожелания

- 1) В работе наблюдается некоторый «перевес» в сторону описания методов за счет краткости и порой слишком неявной аргументации в обсуждении полученных результатов. Так на рис. 4 автореферата (рис 4.16 диссертации) показан результат перехода от мгновенных значений оценки эвапотранспирации к сезонным путем временной интерполяции отношения реальной и эталонной эвапотранспирации (E_{Trf}). Виден минимум E_{Trf} в середине вегетационного периода. В этот период значения вегетационного индекса максимальны в сезонном ходе, что дает при расчете большее отношение испарения с «холодного» пикселя к эталонной эвапотранспирации (часть процедуры калибровки с. 56), а следовательно большее E_{Trf} . Уменьшение E_{Trf} может быть лишь результатом сильного физиологического стресса растений за счет недостатка влаги, но на основании 1 точки в этом временном отрезке,

обеспеченной космическим снимком, этот результат является спорным и требовал бы дальнейшей проработки.

- 2) Для каждой из решаемых практических задач автор предлагает отдельный математический метод (модели SEBAL, METRIC, AquaCrop, TSEB), не сравнивая или подготавливая комплементарные модели. Однако, все представленные модели являются родственными, и наиболее глубоко проработанная автором модель METRIC могла бы при некоторой адаптации быть использована как для интерпретации данных мобильного полевого агрометеорологического комплекса АМПАК, так и для оценки вклада в суммарную эвапотранспирацию транспирации растений и испарения с поверхности почвы. Данные АМПАК- уникальная возможность увидеть как работает модель METRIC при регулярном сборе входной информации по радиационной температуре, искусственное же прореживание данных позволило бы автору оценить ошибку, связанную с временной интерполяцией. Также было бы полезно оценить, корректно ли работает модель при отсутствии или малом проективном покрытии растительности.

Отмеченные недостатки не снижают высокой научной и практической ценности работы.

Заключение

Диссертация Доброхотова Алексея Вячеславовича «Пространственное распределение составляющих энергетического баланса растительного покрова по данным дистанционного зондирования земли и стандартных метеорологических измерений» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям п.9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой



степени кандидата биологических наук по специальности 06.01.03 –
Агрофизика.

Официальный оппонент,
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
отдела агроэкологической оценки
почв и проектирования агроландшафтов
ФГБНУ «Почвенный институт им.
В.В. Докучаева»


Юрова Алла Юрьевна

«25» Октябрь 2019 г.

Сведения об официальном оппоненте:

1. Юрова Алла Юрьевна
2. PhD in ecosystem modeling
3. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
"Почвенный институт им. В.В. Докучаева"
4. Старший научный сотрудник
5. Шифр специальности в дипломе PhD и документе ВАК о признании
эквивалентности степени не указан
6. 119017, Москва, Пыжевский переулок, д.7, стр.2
7. + 
8. а  1

Получил руки Юровой А.
заверяю Зав. канцелярией ИУЗ (Суздальского З.М.)