

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.18>

УДК: 681.7.069.32

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ И ПРИКЛАДНОЙ ПОТЕНЦИАЛ СОВМЕЩЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ВЛАЖНОСТНО-ТЕМПЕРАТУРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ПОЧВЫ И ФОТОСЪЕМКИ В ФАЦИАЛЬНО- ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ АГРОГЕОСИСТЕМАХ

Е.П. Новичихин ^{1,4}, Н.Ф. Хохлов ^{1,2}, А.Г. Болотов ^{1,2}, И.А. Сидоров ¹, А.Г. Гудков ¹,
И.О. Порохов ⁵, С.В. Чижиков ^{1,3}

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5

²РГАУ МСХА им. К.А.Тимирязева, 127434, Москва, ул. Тимирязевская, 49

³ООО «НПИ ФИРМА «ГИПЕРИОН» 115201, Москва, Каширский пр., д. 13

⁴ИРЭ РАН, 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7.

⁵ЦНИРТИ имени академика А.И. Берга, 105066, Москва, ул. Новая Басманная, д.20

Статья поступила в редакцию 20 ноября 2022 г.

Аннотация. В работе обсуждаются биоценоотические условия, границы и преимущества дополнительного оснащения аэромобильной платформы (БПЛА) микроволновой радиометрической системой влажностно-температурного зондирования включаемых в оборот неоднородных пахотных угодий моренных равнинных ландшафтов с фотосъемкой. Теоретически обосновывается необходимость и приведен алгоритм получения и использования информации по проективному покрытию листовой поверхности для вычисления поправок результатов зондирования влажности почвы СВЧ-радиометром. Рассматриваются подходы к рационализации обследования, методы статистического анализа данных фотосъемки, позволяющих прогнозировать транслокальный вектор динамики сорного компонента вводимых в оборот земель. Приводятся агропроизводственные приложения совместного микроволнового зондирования и фотосъемки на плантациях многолетних технических культур. Цель работы – обсудить особенности условий и показать

открывающиеся возможности и перспективы агрономического приложения результатов совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и цифровой фотосъемки при освоении залежных фациально-дифференцированных земель, планируемых для закладки плантаций многолетних технических культур. Получены следующие новые результаты: проведен анализ влияния растительного покрова на результаты дистанционного определения влажности почвы с использованием двухполяризационного СВЧ-радиометра L-диапазона, предложен способ коррекции радиометрических данных о влажности почвы с использованием дополнительных данных фотосъемки при наличии поверхностной растительности, Приведена карта влажности поля, полученная в результате натурного эксперимента с последующей обработкой данных, показана возможность контролируемых агропроизводством предсказаний на основе совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и фотосъемки в фациально-дифференцированных агрогеосистемах повторения фитоценотической картины коренной фациальной неоднородности. Практическая значимость работы заключается во внедрении полученных новых алгоритмов учета экранирующего действия растительного покрова на поверхности почвы при микроволновом радиометрическом зондировании поверхности почвы с борта БПЛА в технологические процессы выращивания сельскохозяйственных культур обеспечивает устойчивое развитие технологий растениеводства, повышение урожайности и получение дополнительной прибыли предприятиям АПК.

Ключевые слова: СВЧ-радиометр, дистанционное зондирование, БПЛА, агрогеосистемы, влажность почвы, проективное покрытие поверхности почвы листьями.

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-19-00063, <https://rscf.ru/project/22-19-00063>

Автор для переписки: Новичихин Евгений Павлович, epnov@mail.ru

Введение

Значительная часть вновь вводимых в сельскохозяйственный оборот земель центрального Нечерноземья расположена на моренных и водно-ледниковых равнинах, отличающихся ландшафтно-фациальной раздробленностью, дифференциацией микрорельефа и микроклимата, определявших после прекращения сельскохозяйственной деятельности восстановительные сукцессии аборигенных древесно-травянистых сообществ [5,6,8,12]. Прикладная сторона прекращения досадного феномена многолетней постагрогенной динамики производных сообществ концептуально достаточно обстоятельно отработана и вошла в основы традиционной системы мероприятий освоения залежей [11,13]. С развитием инновационных разработок фундаментальных и инженерных наук наряду с использованием спутниковых снимков для инвентаризации культур-технического состояния (к примеру, облесенности) при возрождении бросовых земель появляются новые инструментально-технологические системы для реализации принципов точного земледелия: измерительные системы дистанционного мониторинга продуктивности, пораженности вредителями и болезнями, увлажненности почвы [16,19,26], включая системы микроволновой радиометрии [2,4,14,17,25]. Существенный прогресс в рамках широкого внедрения в производство научного обеспечения точного земледелия обещает установка приборов на БПЛА [24]. С ними появляется реальная возможность своевременного учета на больших массивах экологические и прежде всего ключевые влажностно-температурные условия фациально-структурной дифференциации. Поэтому задача создания и внедрения систем дистанционного зондирования влажности и температуры поверхности почвы при наличии растительного покрова с борта легкого беспилотного летательного аппарата является актуальной. Вместе с тем, для реализации технических характеристик беспилотной платформы с микроволновым радиометром желательно отсутствие растительного полога на поверхности или его калибровочная регистрация интегрированными с радиометрией фотосенсорами [20]. В Нечерноземной зоне освоение залежей

занимает 3-4 летне-осенних месяца, в течение которых поверхность занята отрастающей бурьянистой растительностью и лишь кратковременно после обработок почвы открываются «окна» идеальных условий для микроволновой радиометрии, но не всегда достаточных или подходящих для агрономического приложения. Иными словами, получение калибровочных поправок, не единственный целевой результат интегрирования фотосъемки и микроволновой радиометрии. Качественные цифровые снимки открывают возможность визуализации видового разнообразия отрастающих растений элементарных местообитаний [18,21], что в соединении с информацией увлажненности дает понимание и предсказание на ближайший среднесрочный период повторения фитоценотической картины коренной фациальной неоднородности. Для агропроизводства это значит, что при планировании осваиваемого участка под плантации многолетних полевых культур, не переносящих длительное переувлажнение, через несколько лет вновь осложниться проблема эффективной эксплуатации из-за внедряющейся на изреженные от вымочек места аборигенной растительности.

Цель настоящей работы – обсудить особенности условий и показать открывающиеся возможности и перспективы агрономического приложения результатов совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и цифровой фотосъемки при освоении залежных фациально-дифференцированных земель, планируемых для закладки плантаций многолетних технических культур.

При выполнении работы использовались следующие теоретические предпосылки и рассуждения. Поскольку модель объекта измерения влажностно-температурных характеристик идеальных (с чистой от растений дневной поверхностью) почвенных профилей микроволновой радиометрией разработана [5,6], но время нахождения механически обработанных почв повторно осваиваемых агрогеосистем в таком состоянии краткосрочно, допустимо рассмотреть, прежде всего, сорные растения (далее сорняки) в качестве приоритетно влияющей величины на результаты со случайными погрешностями.

Сорняки – неизбежный атрибут пахотного земледелия. Экранируя почву, они прямо влияют на радиационные характеристики поверхности поля [7]. Всходы сорняков появляются на пашне из диаспор, корневищ, луковиц в теплый период и могут перезимовывать [11]. Их обилие (численность и масса и соответственно индекс площади листьев) минимальна непосредственно после сплошной механической обработки и без конкуренции с культурным растением или мер борьбы (механическая обработка, гербициды) со временем (увеличением суммы активных температур) возрастает [9,15]. Условия применения радиометра допускают наличие на поле «маломерные» всходы или единичные практически не экранирующие поверхность почвы сорных растений и не вызывающие необходимость корректировки данных о влажности почвы.

При количественном учете и статистическом анализе данных возрастающего обилия открывается возможность получения обоснованной поправки при нормальном или ином типе вероятностного распределения в границах технических возможностей радиометра в контролируемых условиях, обеспечивающих стационарность функции распределения. Температурно-влажностная микродифференциация является фундаментальным условием фациальной (в широком понимании, то есть почвы и с сорной растительности) неоднородности слабохолмистых морено-равнинных агроландшафтов [10]. При многолетнем прерывании агропроизводства локальные агрогеосистемы в той или иной степени возвращаются природное состояние. Биогенное давление в рамках восстановительных сукцессий увеличивает фитоценотическое разнообразие [8]. Отсюда следует предвидеть статистические особенности получаемой информации. В случаях совпадения масштабов фитоценотической дифференциации с другими базовыми компонентами фаций (материнской породы, литологией поверхностных отложений, рельеф, микроклимат и др.) в данных границах контура можно условно принять инвариантность результатов работы радиометра и ковариантность условий (результатов оценки обилия сорных растений). При наиболее распространенном нормальном распределении данных для поправки по локальной фациальной структурной единице (блюдца,

западины) с использованием статистических моделей адекватны регрессии на средние. В случаях смещения средней из-за «хвостов» (микрочастей с повышенной численностью растений), более адекватными будут регрессии на медианы. В практическом отношении важно оперативно и своевременно получить геореферентную информацию за минимальное число пролетов БПЛА. Однако динамика микроклиматических условий приземных слоев атмосферы опережает внутрпочвенную динамику, запуская, до диктуемого задачами глубинного зондирования понимания сформировавшихся латеральных потоков, уплотнения взрыхленной механической обработкой почвы, процесс прорастания семян и пробуждение почек корневищ сорных растений, что требует максимально коротких сроков на картографическое определение и при малых размерах фаций не реально для масштабов практики. Здесь мог бы помочь подход, основанный на анализе изображений параллельной фотосъемки и картографировании видового состава и обилия растений [18,22]. Так, осоковые и тростник хорошо идентифицируются на фотоснимках и позволяют с приемлемой точностью отграничить блюдцеобразные понижения. Из-за наличия на семенах «зацепов» ряд сорных растений (к примеру, подмаренник цепкий) группируются на склонах в аккумулятивно-элювиальных и трансэлювиальных фациях подурочища. Растения с гладкими семенами сосредоточатся в трансаккумулятивной фации. Наличие визуальной картографической информации растений индикаторов агроландшафтной обстановки позволило бы рационально (разномасштабные сетки, трансекты) проложить маршрут пролета БПЛА с акцентом (приоритетом) на зоны с критическими условиями для агропроизводства. Это места повышенного увлажнения, открытые суглинистые морены, песчаные линзы и др. [5,6]. В них буксуют и нарезают колею агрегаты, выпираются ближе к поверхности ледниковые валуны и т.п. В эвристическом плане по ряду сорных растений (раскрывается возможность индикации устойчивости динамики влажностных условий нижележащих горизонтов, и получить дополнительную информацию по латеральным внутрпочвенным потокам. Кроме того, наряду с выводами по ситуации с общей засоренностью в

статике, логически выводятся потенциальные следствия по динамике, что также может использоваться для содержательной интерпретации результатов нестационарности вероятности распределения влияющей величины (листового обилия сорных растений). В рамках задачи уместны следующие рассуждения: поверхностная потоковая миграция по - разному нарушает изначально равномерное или близкое к равномерному распределение сорных растений на преобладающих старопахотных полях равнинных ландшафтов с небольшими склонами, следовательно, она может быть выявлена мерами рассеивания и формой частотного распределения необходимого объема данных, полученных специальным образом. Случайное опробование не может полно дать картину пространственного распределения и соответственно выявить потоковую или локальную миграцию поверхностных отложений, но оно может быть достаточным для получения статистическими методами анализа информации об общем и специфичном рассеивании. Так, размах варьирования ($X_{\max} - X_{\min}$), квартильный размах ($L_{75} - L_{50}$), стандартное отклонение (S), коэффициент вариации ($V\%$) достаточны, чтобы в первом приближении обсуждать горизонтальную структуру сорного компонента на количественном уровне. Понятно, что исходным положением для видов сорных растений, семена которых имеют «летучки» и поступают с воздухом, на участках вне ветровых коридоров, в масштабах фаций будет допущение о нормальном распределении. Нарушить картину частотного распределения данных могут «выбросы», соответственно нетипично «длинные хвосты» по отдельным видам сорных растений от пустырей, прилежащих к полям, а также семян, попавших с неравномерно вносимым навозом. Для большей части земледельчески возрождаемых сельских территорий с низкой локальной антропогенной нагрузкой такая картина по «семенной» засоренности скорее будет исключением. Не вызывает возражения и то, что отклонение от нормального распределения данных будь, то в центральной части или на хвостах, может служить индикатором разноуровневой (речь идет о движении высоких и низких значений) сорной транслокации. Смещение в центральной тенденции

«купольной» части частотного распределения, вычисляемое по разности медианы и квартилей будет информировать о началах изменения (накопления, рассеивания) их обилия. Но при локальном (мозаики) или пространственно-закономерном засорении такого инструментария явно недостаточно, поскольку не ясно местоположение (топография) зон с «примедианным» (отражающих направленность динамики) обилием. В этом случае уместны регулярно-случайные схемы опробования (маршруты пролета БПЛА), позволяющие с помощью геостатического анализа данных фотоматериалов выявить мозаики или пространственно (направленно) ориентированные закономерности изменения. Следовательно, выбранный подход позволяет косвенно увидеть за статикой (характером пространственного распределения обилия сорных растений на момент времени) последующую динамику. Что касается образования выбросов (микрोगруппировок с повышенной численностью сорняков - мозаик), то эту информацию дают персентиля (L 90) с близкими к ним максимальными значениями. Таким образом, кроме возможности вычисления поправок к данным по влажностно-температурному зондированию, анализ новыми методами распознавания качественных снимков цифровыми аппаратами сорных растений с БПЛА дают дополнительную информацию по микроклиматической дифференциации, поверхностным и внутрипочвенным потокам. Информация по цифровым фотоснимкам, не только служит для расчета поправки на условия измерений (по доле пикселей), но и позволяет по идентифицируемым по цветным снимкам растениям и их состоянию более содержательно и надежно интерпретировать результаты. Так в задровых равнинах осоки показывают повышенные значения влажности почвы прохладных замкнутых блюдца, пырей и мята, освоит влажные, но более теплые «блюдца», рядом расположенные фации проточных микроложбин с меньшей устойчивой увлажненностью «привлекут» экологическими условиями конский щавель, лютик и подорожник [1].

1. Объекты и методы.

Натурные эксперименты, выведшие на необходимость совмещения дистанционного определения влажности почвы и фотосъемки проводились в нескольких почвенно-климатических зонах европейской части РФ с использованием различных носителей, таких как БПЛА, наземных подвижных платформ и других.

1.1. СВЧ-радиометрическая системы на платформе БПЛА

Испытывали опытный образец двухполяризационной СВЧ-радиометрической системы включающей: двухполяризационную антенну, радиометрический приемник с двухпорной модуляцией, микроконтроллер для предварительной обработки данных, приемник спутниковой навигационной системы, трехосевой акселерометр, дистанционный датчик температуры инфракрасного диапазона, литий-полимерную батарею питания, систему регистрации данных на флеш-карте и выходной оптический интерфейс для передачи данных на персональный компьютер или для подключения фоторегистратора оптического диапазона. Основные характеристики радиометрической системы представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные параметры СВЧ-радиометрической системы.

Параметр	Значение
Центральная частота, МГц	1420
Ширина полосы приема, МГц	50
Количество приемных каналов Вертикальная и горизонтальная поляризации	2
Способ обзора	трассовый
Ширина обзора, разрешаемый элемент, Н-высота полета	1.0xH
Чувствительность, К	1.0
Тип регистратора	SD-Card
Время записи, не менее Час	3
Ширина главного лепестка диаграммы направленности антенны, град	±30
Коэффициент рассеяния антенны, %	73

Напряжение питания, В	12
Потребляемая мощность, Вт	5.8
Масса, кг	2,8
Габаритные размеры, мм	360X360X40

Радиометрическая система была разработана специально для использования на борту БПЛА, поэтому основными требованиями были уменьшение массы, габаритов и энергопотребления до приемлемого уровня. Габариты системы определяются размерами антенны, которые зависят от выбранного L-диапазона – длина волны 21 см. и заданной ширины главного лепестка диаграммы направленности антенны. Радиометрическая система размещается на БПЛА (квадрокоптере) так, чтобы ось главного лепестка диаграммы направленности составляла бы угол в 30 градусов по отношению к вертикали. Фото, размещенного на БПЛА СВЧ-радиометра, представлено на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид СВЧ-радиометра, размещенного на квадрокоптере

Для проведения летного эксперимента в систему управления БПЛА загружается полетное задание – траектория, по которой должен пролететь БПЛА. Как правило, траектория строится на основе нескольких параллельных линий,

отстоящих друг от друга на величину равную высоте полета, которая обычно выбирается на уровне 10 метров. Кроме летной части эксперимента, проводится и наземная часть с измерением влажности почвы на различных глубинах при помощи специализированных контактных измерителей, а также с помощью отбора проб. Дополнительно радиометрические измерения сопровождаются фотосъемкой, фоторегистратором, совмещенным с радиометром. В ходе полета данные со всех датчиков сохраняются на флеш-карте, с которой переносятся в персональный компьютер после завершения полета.

Оценка степени покрытия поверхности растительности по фотографии производится на основе цветового контраста по фотографии участка. Здесь представлены два способа.

1. Оценка величины покрытия производится на основе цветовой модели (цветового пространства) RGB (Red, Green, Blue). Каждая точка изображения является композицией этих трех величин, значения которых лежат в пределах 0-255. Растительность, как правило, имеет оттенки зеленого цвета, поэтому оценивается процентное содержание зеленого цвета в каждой точке изображения по формуле:

$$Gr = 100 * G / (R + G + B); \quad (1)$$

Если эта величина лежит в пределах $\min 1 - \max 1$, то считаем, что эта точка изображения принадлежит растительности и окрашивается зеленым цветом. Иначе это открытая поверхность, которая окрашивается синим цветом.

2. Отличие от первого способа заключается в использовании цветового пространства HSV (Hue, Saturation, Value — тон, насыщенность, значение).

Тон (H) определяет чистый цвет и лежит в пределах 0-360.

Насыщенность (S) - меняется в пределах 0-100. При $S=0$, изображение превращается в черно-белое. Значение (V) – яркость, в пределах 0-100. При $H=0$ – черный фон, при $H=100$ – белый. Нас интересует только тон (цвет) вне зависимости от насыщенности и яркости. В этом его отличие от первого способа. Также, как и в предыдущем случае, растительность определяется, если H лежит

в пределах \min_2 - \max_2 . Величины \min_1 , \max_1 , \min_2 , \max_2 определяются визуально, при помощи разработанной программы.

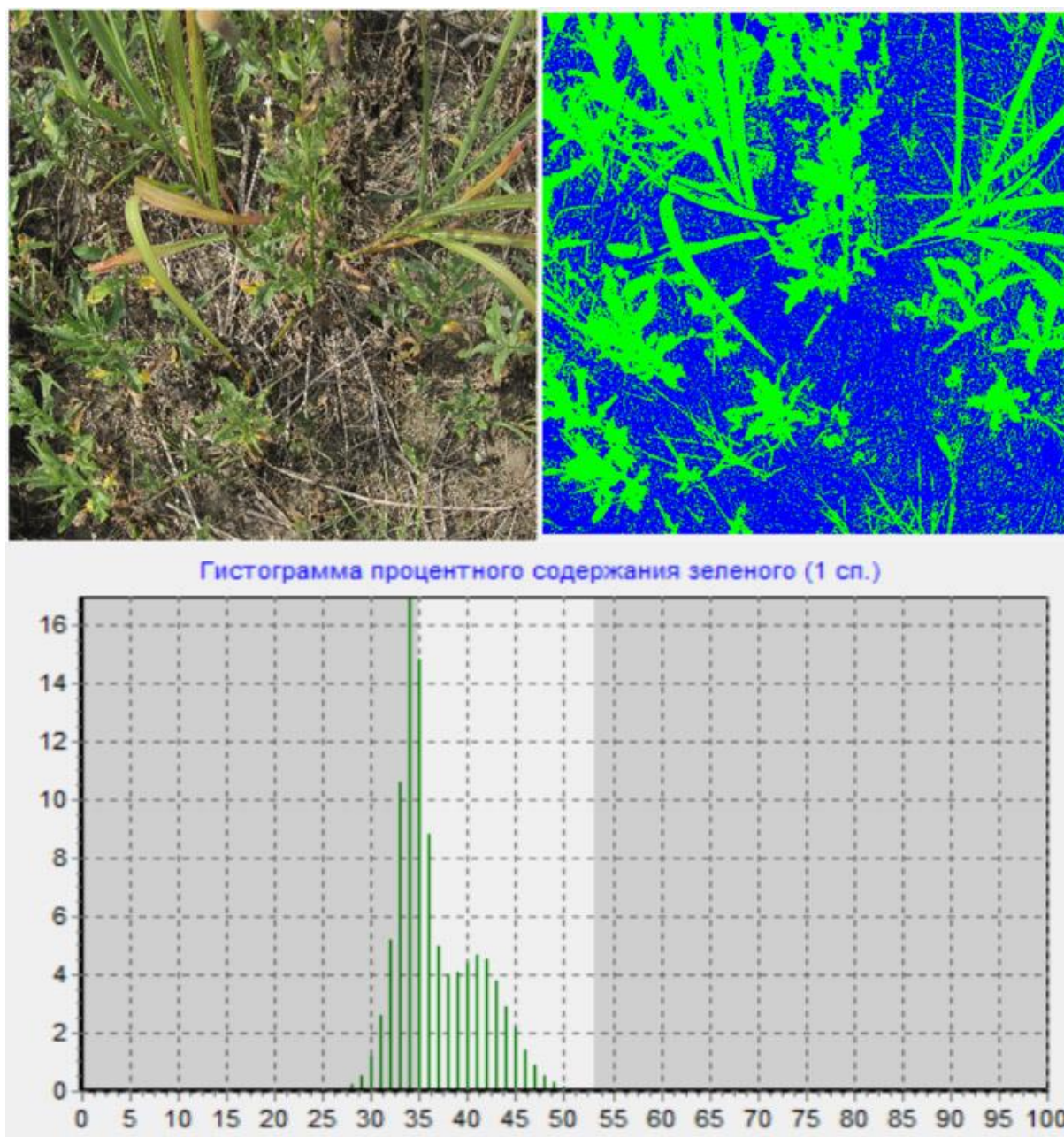


Рис. 2. Выбор \min_1 , \max_1 в первом способе. Покрытие в первом способе (48%)

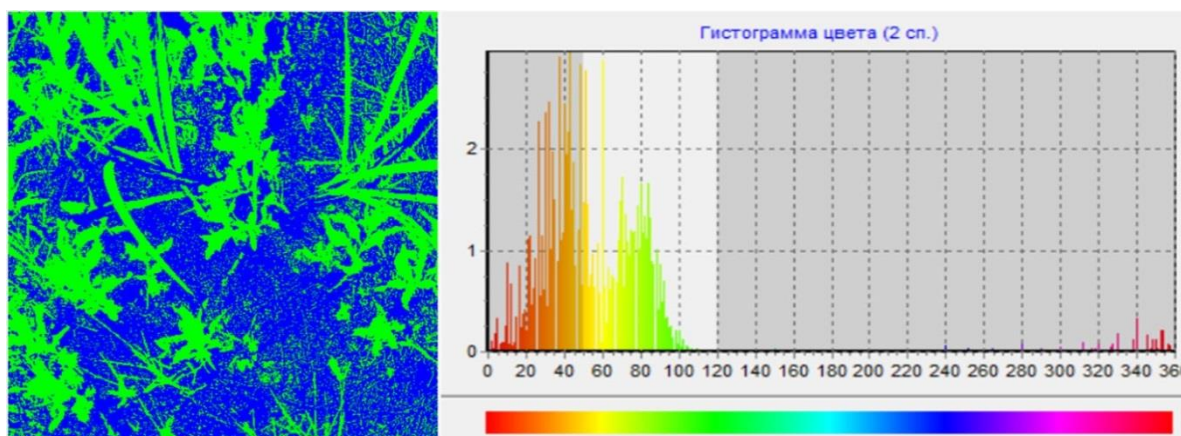


Рис. 3. Выбор min2, max2 во втором способе. Покрытие во втором способе (47%)

1.2. Натурный полигон

Экспериментальную практико-ориентированную информацию СВЧ-радиометра, размещенного, на квадрокоптере получали на участке вводимой в сельскохозяйственный оборот долголетней, периодически выборочно косимой, местами закустаренной залежи, расположенного в Шатурском районе Московской области (55.556282, 39.728275). С южной стороны участок примыкает к деревне, на противоположной (северной) - к заросшей березой опушке (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид тестового поля (Шатурский район, МО)

Участок расположен на краю Мещерской низменности с высотами 134-135 м. над уровнем моря. В геоморфологическом отношении это очень (0,1-0,2°) пологий склон северо-восточной экспозиции. При общем перепаде высот 40-50 см. имеет сформированные временным смывом, а также антропогенным

фактором, резко выраженные флювиальные микроложбины, депрессионные блюдца и другие разнообразные элементы микро и нано рельефа. Почвообразующие породы - валунно-галечниковые флювиогляциальные пески от красноватого до белого цвета. Почвенный покров представлен песчаными почвами. На большей части поля гумусовый слой фаций больше пахотного, мало содержит органического вещества, песчаный по гранулометрическому составу. На нижней части участка ложбины и блюдца имели более гумусированные профили и отличались белым цветом подстилаемого песка (рис. 5).



Рис.5.Профили почвы участка (пологие склоны слева, ложбины справа)

Под микроскопом заметных различий по цвету и размеру песчаных частиц по участку до глубины 20–22 см. не обнаружены. В вымочках с глубины 22–24 см. заметны следы периодического перевлажнения. По данным агрохимического обследования содержание органического вещества в объединенной пробе составило 1,5%. Варьирование показателей по контурам с частичным охватом близлежащей территории составило: рН 5,4–5,7, подвижного фосфора 193–243 г/ кг, обменного калия 66-84 г/ кг. По результатам рекомендуемого агрохозяйственного обследования: численности составу и возрасту древесно-

кустарниковой растительности (отдельные деревья березы, мозаики ив) данное поле было первоочередным объектом для возвращения в специальный оборот: создание маточной плантации многолетней технической культуры - мискантуса. До зондирования участок обработали мульчером, вспахали и продисковали.

В ходе предварительного осмотра поля было отмечено, что навалы из кустов и дерна, имевшие место после первичного оборота пласта отсутствовали. Вырванные и раздробленные отмершие остатки древесно-кустарниковой растительности (преимущественно ив) в трудно поддающихся обороту пласта в прилегающих в лесу сырых блюдцах, в незначительном количестве находились на поверхности.

Для проверки возможности предсказательной агрономической интерпретации данных совместного с фотосъемкой радиометрического влажностно-температурного зондирования при отведении участка для возделывания полевых культур с многолетним жизненным циклом через два года на заложенной плантации мискантуса в режиме фотограмметрии получены дополнительные результаты.

Маршрут обследования включал три трансекты, представляющие основные формы микрорельефа и ландшафтно-фациального разнообразия. На каждой трансекте располагались по 5 фотоплощадок отграниченных рамкой размером 0,75x0.75м. Чтобы исключить влияние синатропной засоренности от огородов, площадки располагались на противоположной стороне от деревни и соседствовали с аборигенами залежи. На момент исследований сложились экстремально-засушливые условия. Возраст посадок мискантуса составлял более 1, 2 года.

2. Обсуждение и результаты

2.1. Влажностно-температурное зондирование с платформы БПЛА и корректирующие поправки на растительный покров

На рис. 6 представлены графики предварительно обработанных данных по вертикальной (зеленая линия) и горизонтальной (коричневая линия)

поляризациям, позволяющие заключить приемлимую чувствительность сенсора и устойчивость показаний прибора. Проведенный содержательный анализ показал отсутствие явных оснований необходимости браковки перед обработкой данных. Что позволило использовать все даты для построения карты влажности.

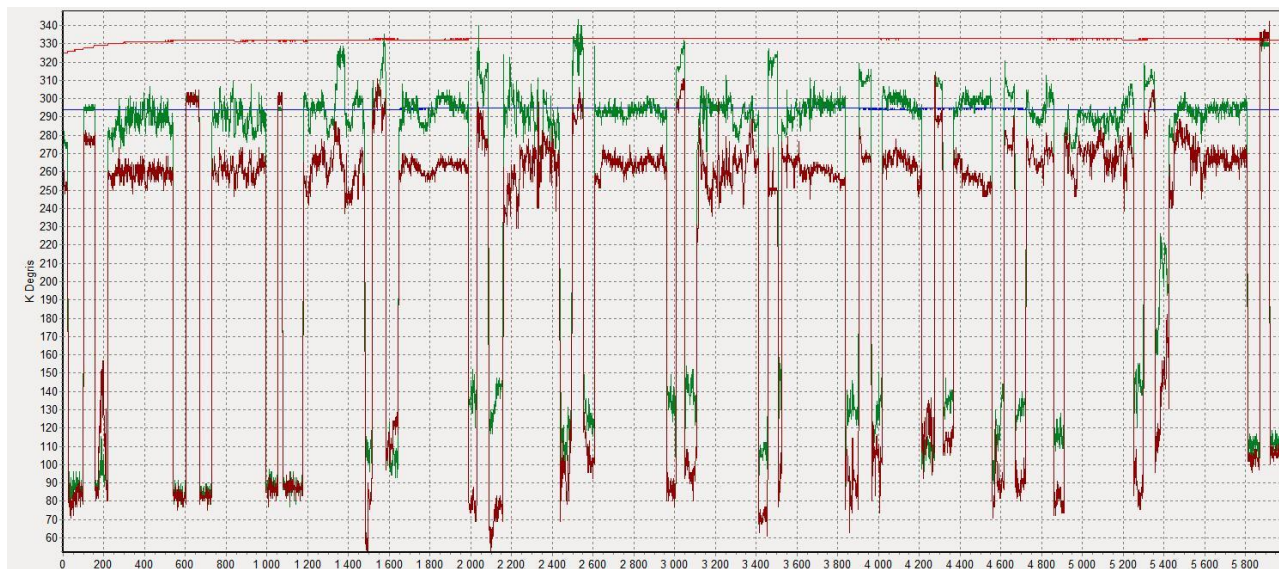


Рис. 6. Экспериментальные данные по вертикальной и горизонтальной поляризациям

На рис. 7 показана карта влажности почвы, полученная в результате обработки данных радиометрической съемки. Точками на карте обозначены места отбора проб почвы для определения влажности термостатно - весовым методом. Выбранный участок (объект) с позиции довольно большого разброса показателей влажности пахотного слоя физического пространства (более 20%), условия и время зондирования (пасмурный безветренный день в конце сентября) оказались оптимальными для испытания прибора. Но следовало убедиться, что масштабы изменчивости данных прибора связаны скорее с рельефно-гидрологическими и почвенными особенностями участка, а не с наличием окончательно не уничтоженной первичной обработкой почвы, неравномерно отрастающей по элементам микро и нанорельефа (линзы, свальные гребни, кучинавалы и др.) бурьянистой (преимущественно вейник, бодяк полевой, щавель малый) растительности. Чтобы подтвердить данное предположение, были статистически обработаны данные проективного покрытия растениями поверхности почвы случайно выбранных фотоплощадок, полученные на момент

испытаний (табл. 2). Большинство видов находились фазе всходов и на ранних этапах отрастания. Результаты статистической обработки показали, что при близком к среднему относительному варьированию (21,2%), в диапазоне проективного покрытия поверхности почвы листьями сорных растений с разбросом 19-34 % прибор позволяет надежно выделить зоны влажности почвы с разбросом более 20%. С увеличением значений проективного покрытия потенциально потребуется поправка.

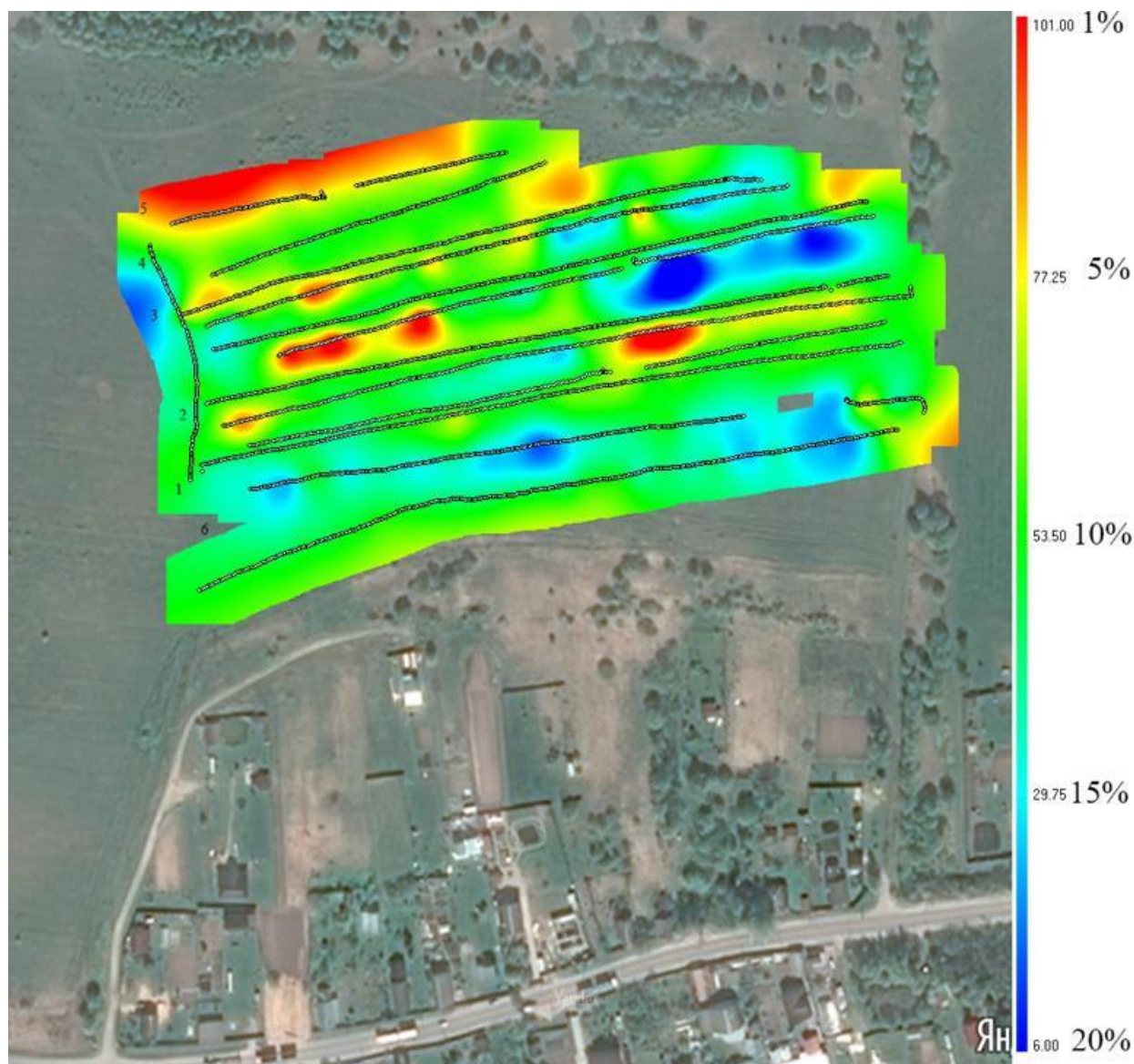


Рис. 7 Карта влажности поля

Табл.2. Результаты статистической обработки данных фотоплощадок участка

Показатель	Проективное покрытие, %*
Среднее арифметическое	27,0
Минимальное значение	19
Максимальное значение	34

Стандартное отклонение	5,7
Первый квартиль (25)	24
Второй квартиль (50)	26
Третий квартиль (75)	31,7

*Долю чистой поверхности почвы (%) находят по разности 100- X

По причине отсутствия надежной геопривязки фотоплощадок и незначительного объема дат вычисление конкретных параметров уравнений не осуществлялось.

2.2. Эвристический и прикладной потенциал интеграции микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и фотосъемки

Основной неожиданностью, открывающейся при совмещении влажностно-температурной и цифровой фото информации, оказалась возможность предсказания для ряда систем агропроизводства возобновления на локальных участках идентифицированных доминант растительных сообществ, максимально искореняемых в начале процесса освоения залежей. Это менее актуально для традиционных систем земледелия, использующих и после коренного освоения ежегодные сплошные обработки почвы и другие средства устранения или ослабления сорняков, но важно при планировании выращивания многолетних полевых культур (в нашем случае, мискантус), для которых в из-за переувлажненности почвы локальных низинных участков своевременные качественные механические и химические прополки фактически исключена, к тому же с образованием сплошного полога меры борьбы заканчиваются на второй год.

Диагностировав, на недостаточно качественно разделанных дисковыми орудиями увлажненных линзах будущих «агровымочек», к примеру, корневища мяты, разумно не тратить на эти участки дорогостоящий посадочный материал, оставив их под контролируемое в рамках точного земледелия чужеродное освоение (рис.8). Аналогичные, но конечно по иному адаптированные, практико-ориентируемые следствия вытекают и по результатам визуализации остатков отрастающих корневищ сорной аборигенной растительности на более сухих приподнятых пологих участках.



Рис. 8. Фотоплощадка с мискантусом (ложбина стока слева, замкнутые блюдца справа)

Увидеть потенциальные доминанты будущих сообществ фаций возможно по снимкам на соседствующих с полем опушках - типичных местах аборигенной растительности. В наших исследованиях хорошо зарекомендовавшего методом фотоплощадок [3] уже на второй год после освоения многолетние сорные растения практически полностью адаптивно доминировали в сообществах по выделенным элементам микрорельефа на поле (Табл. 3).

Табл. 3. Основные доминанты сорного компонента фитоценоза мискантуса 2 года

Пологие, слегка приподнятые участки	Ложбины стока	Замкнутые блюдца	Опушка леса
Пижма обыкновенная- <i>Tanacetum vulgare</i> (L.) Бодяк полевой – <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. Тысячелистник - <i>Achillea millefolium</i> (L.)	Горец почечуйный- <i>Polygonum persicaria</i> Пырей ползучий- <i>Elytrigia rehens</i> (L.) Подорожник большой- <i>Plantago major</i> Щавель кислый – <i>Rumex acetosella</i> (L.)	Мята перечная- <i>Menta piperita</i> Осока дернистая- <i>Carex serpitosa</i> Лютик ползучий - <i>Ranunculus repens</i> (L.) Черда трехраздельная - <i>Bidens tripartite</i> (L.)	Пижма обыкновенная <i>-Tanacetum vulgare</i> (L.) Бодяк полевой - <i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. Тысячелистни к- <i>Achillea millefolium</i> (L.) Вейник Лангсдорфа – <i>Calamagrostis</i>

			Langsdorffi (link) Щавель кислый- <i>Rumex</i> <i>acetosella</i> (L.) Мелколепестн ик канадский - <i>Erigeron</i> <i>canadensis</i>
--	--	--	---

Продолжительный засушливый и жаркий период, предшествовавший дню обследования, ускорил созревание и отмирание малолетников, поэтому до половины площади поверхности почвы у большинства площадок не были покрыты пологом зеленых листьев, как на сухих приподнятых участках, так и ложбинах (рис. 9). Во всех замкнутых микропонижениях открытой поверхности почвы не установили.

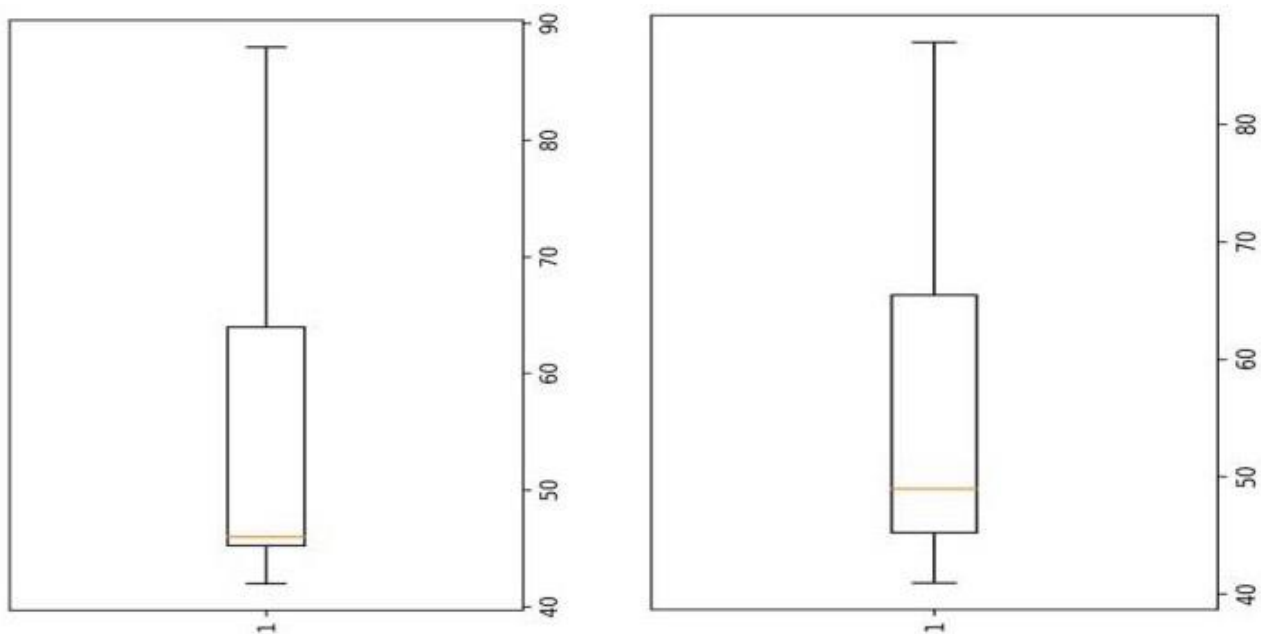


Рис.9. Боксы проективного покрытия (%) поверхности почвы листьями (слева пологие слегка приподнятые участки, справа-ложбины)

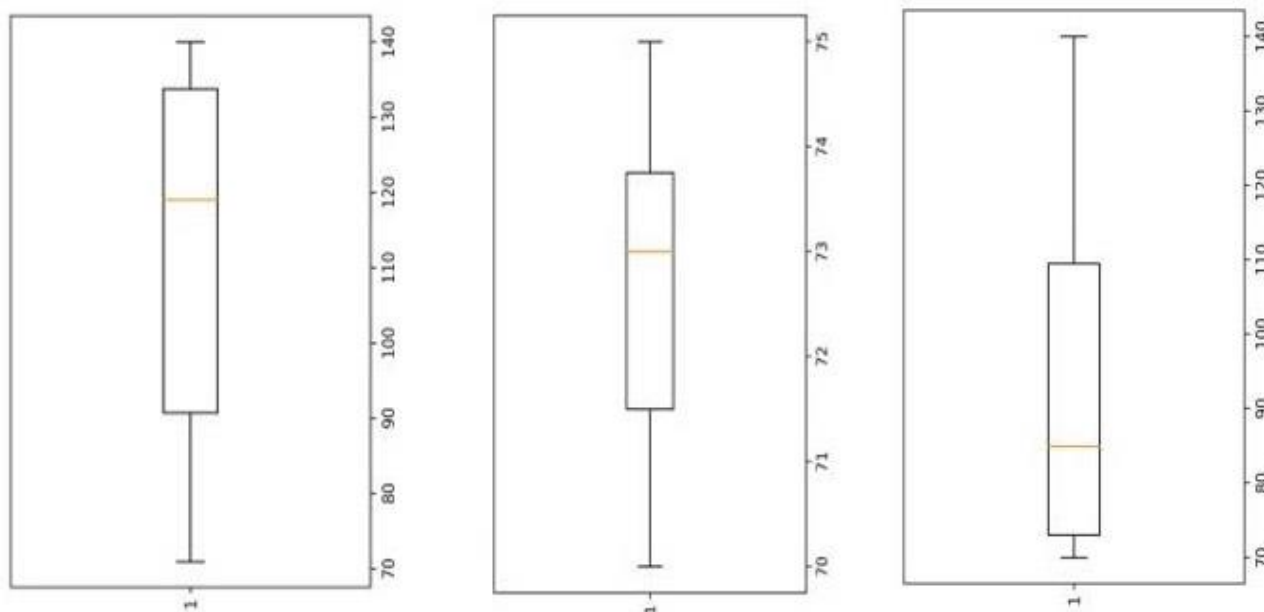


Рис.10. Боксы высоты растений мискантуса (весь участок слева, пологие участки в середине, ложбины справа)

Результаты сопряженного с фотоснимками определения высоты растений мискантуса практически совпало с картиной влажности участка, построенной по результатам микроволнового зондирования. Как и следовало ожидать, в условиях лучшего увлажнения ложбин растения мискантуса в два раза были выше, чем на сухих пологих участках агроландшафта (рис.10). По варьированию данных высоты растений картина была обратной. Оценка стандартного отклонения высоты в ложбинах в более чем 10 раз превышало оценку стандартного отклонения на пологих участках.

Заключение

В результате проведенных теоретических исследований и экспериментальных работ можно сделать следующие выводы:

- проведен анализ влияния растительного покрова на результаты дистанционного определения влажности почвы с использованием двухполяризационного СВЧ-радиометра L-диапазона;

- предложен способ коррекции радиометрических данных о влажности почвы с использованием дополнительных данных фотосъемки при наличии поверхностной растительности;

- приведена карта влажности поля, полученная в результате натурального эксперимента с последующей обработкой данных;

- показана возможность контролируемых агропроизводством предсказаний на основе совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и фотосъемки в фациально-дифференцированных агрогеосистемах повторения фитоценотической картины коренной фациальной неоднородности.

Финансирование: исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-19-00063. <https://rscf.ru/project/22-19-00063>

Литература

1. База данных «Флора сосудистых растений Центральной России». [web]. www.impb.ru. Дата обращения: 15.11.2022. www.impb.ru/https://www.impb.ru/eco/show_info.php?id=2148.
2. Белов С.Г., Белуга Г.И., Верба В.С., Сидоров И.А., Веснин С.Г., Гуляев Ю.В., Гудков А.Г., и др. всего 49 авторов. *Информационно-измерительные и управляющие радиоэлектронные системы и комплексы*. Москва, Радиотехника. 2020. 490 с
3. Бузулук Г.Н., Созинов О.В. Методы учета проективного покрытия растений с использованием фотоплощадок. *Известия Самарского научного центра российской академии наук*. 2014. Т.16. № 5(5). С.1644-1649
4. Гуляев Ю.В., Шутко А.М., Сидоров И.А. и др. *СВЧ-радиометрия земной и водной поверхностей: от теории к практике*. София, Академическое издательство имени проф. Марина Дринова. 2014.
5. Еременко Е.А. , Панин А.В. *Ложбинный мезорельеф Восточно-Европейской равнины*. Москва, МИРОС. 2010. 192 с.
6. Иванов Д. А. Разработка ландшафтно-адаптивного землепользования Верхневолжья на основе геостатистических методов. *Вестник Брестского государственного технического университета*. 2019. №2. С.14-23.

<https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/3742/14-23.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

7. Кирюшин В.И. *Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов*. Москва, Колосс. 2013. 443 с.
8. Лиханова И. А., Железнова Г. В. Синтаксономия производных сообществ на залежах средней и южной тайги европейского северо-востока России. *Turczaninowia*. 2021. Т.24. №4. С.140-156. <http://turczaninowia.asu.ru/article/view/10796>.
9. Малышкин Н.Г. *Эффективность химической борьбы с сорняками в посевах яровой пшеницы в условиях Северного Зауралья*. Автореф. Канд.наук. Тюмень. 2008.
10. Марков М.В. *Агрофитоценология*. Казань, Из-во Казанского Университета. 1972. 226 с.
11. Матюк Н.С., Рассадин А.Я., Полин В.Д., Солдатова С.С. Обработка и окультуривание залежных земель в Центральном Нечерноземье. *Земледелие*. 2010. №4. С.26-29. <https://cyberleninka.ru/article/n/obrabotka-i-okulturivanie-zaleznyh-zemel-v-tsentralnom-nechernozemie>
12. Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Графов В.П. Фациальная дифференциация земельных ресурсов на основе повышения экологизации агроландшафта. *Земледелие*. 2018. №1. С.10-15.
13. Мутиков В.М. *Рекомендации по введению залежных земель в оборот*. Чебоксары. 2008. 8 с.
14. Плющев В.А., Сидоров И.А., СВЧ-радиометрические системы с синтезированной апертурой. *Российский технологический журнал*. 2014. №1(2). С.119-127.
15. Фисюнов А.В. *Сорные растения*. Москва, Колосс. 1984. 320 с.
16. Якушев В.П. *На пути к точному земледелию*. Санкт-Петербург, Издательство ПИЯФ. 2002. 458 с.
17. Archer F., Shutko A., Coleman T., Haldin A., Sidorov I., Novichikhin E. Microwave Remote Sensing of Land Surface from Mobile Platform: The Alabama

- 2003-2005 Experiment. *Abstract. To be presented at "The Int 7IEEE 2006 Geoscience & Remote Sensing Symposium (IGARSS'06)". Denver, CO, USA. 31 July-04 August. 2006.*
18. Dammer K.H., Schirman M. Primarily tests of a optoelectronic in-canopy sensor for evaluation of vertical disease infection in cereals. *Pest management Science*. 2022. V.78. P.143-149. <https://doi.org/10.1002/ps.6623>
 19. Jackson T.J., Schmugge T.J. Vegetation effects on the microwave emission of soils, *Remote Sensing of Environment*. 1991. V.36. P.203-212. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90057-D](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90057-D)
 20. Katterer T. and Andren O. Predicting daily soil temperature profiles in arable soil in cold temperature regions from air temperature and leaf area index. 2009. *Acta Agricultural Scandinavica, Section B-Plant soil, Science*. V.59. №1. P.77-86
 21. Ustyuzhanin A., Schirmann J.I., Chochlov N., Dammer K.-H. Identifizierung von Beifußblättriger Ambrosie (*Ambrosia artemisiifolia*) mittels Bildverarbeitung in einem Winterroggenfeld. *Gesunde Pflanzen*. 2015. V.67. P.165-173
 22. Natalie R., Bumgarner, Whitney S. Miller, and Matthew D., Kleinhenz I. Digital Image Analysis to Supplement Direct Measures of Lettuce Biomass Hortechonology. *Hort-Technology*. 2012. V.22(4) P.547-555 https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/u.osu.edu/dist/9/24091/files/2015/10/Bumgamer_DigitalImageAnalysis-2eoibo2.pdf
 23. Khokthong W., Zemp D.C., Irwan B. et al. Drone-Based Assesment of Canopy Cover for Analysing Tree Morttality in an Oil Palm Agroforest. *Front. For. Glob. Change*. 2019. V.30. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00012>
 24. UAVs in Agriculture. [web]. <https://www.fas.scot> Дата обращения: 15.11.2022. <https://www.fas.scot>
 25. Sidorov I.A., Gudkov A.G., Agasieva S.V., Khokhlov N.F., Chernikov A.S., Vagapov Y. A portable microwave radiometer for proximal measurement of soil permittivity. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. V.198. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922003933?via%3Dihub#:~:text=https%3A//doi.org/10.1016/j.compag.2022.107076>

26. Wigneron J.-P., Jackson T.J., O'Neill P., Lannoy G. De, Rosnay P., Walker J.P., Ferrazzoli P., Mironov V., Bircher S, Grant J.P., Kurum M., Schwank M., Munoz-Sabater J., Das N., Royer A., Al-Yaari A., Al Bitar A., Fernandez-Moran R., Lawrence H., Mialon A., Parrens M., Richaume P., Delwart S., Kerr Y., Modelling the passive microwave signature from land surfaces: A review of recent results and application to the L-band SMOS & SMAP soil moisture retrieval algorithms. *Remote Sensing of Environment*. 2017. V.192. P.238-262. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.024>
27. Болотов А.Г., Шеин Е.В., Сидоров И.А. Метод определения влажности почвы в системе адаптивного-ландшафтного земледелия. *Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век*. 2021. Т.13. №4. С.10-14. <https://doi.org/10.18127/j22250980-202104-02>
28. Сидоров И.А. Методы определения влажности почвы для системы точного земледелия. *Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век*. 2018. Т.10. №4. С.44-50
29. Сидоров И.А., Гудков А.Г., Шашурин В.Д., Чижиков С.В., Новичихин Е.П., Хохлов Н.Ф., Порохов И.О., Пчелинцев В.Э., Агандеев Р.В. Дистанционное определение влажностного портрета дамбы СВЧ-радиометром с борта беспилотного летательного аппарата. *Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век*. 2022. Т.14. №3. С.5-13. <https://doi.org/10.18127/j22250980-202203-01>

Для цитирования:

Новичихин Е.П., Хохлов Н.Ф., Болотов А.Г., Сидоров И.А., Гудков А.Г., Порохов И.О., Чижиков С.В. Эвристический и прикладной потенциал совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и фотосъемки в фациально-дифференцированных агрогеосистемах. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2022. №11. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2022.11.18>