

Научная статья

УДК 631.432.2

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22



АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ВАРЬИРОВАНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВДОЛЬ ФРОНТА ДОЖДЕВАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Зейлигер Анатолий Михайлович¹, д-р биол. наук, главный научный сотрудник

SPIN-код: 7478-4092; WoS ResesrcherID E-2657-2014; Scopus AuthorID6507949702; AuthorID e-library: 3272; ORCID0000-0002-9556-9966; azeyliguer@mail.ru

Затинацкий Сергей Викторович¹, канд. техн. наук, научный сотрудник

SPIN-код: 6895-7800; Scopus AuthorID57193998914; AuthorID e-library:173805; ORCID0000-0003-4697-8293; zatin_s@mail.ru

Ермолаева Ольга Сергеевна²✉, старший преподаватель

SPIN-код: 4968-6008; WoS ResesrcherID AAF-7952-2019; Scopus AuthorID56662032000; AuthorID e-library: 184893; ORCID0000-0003-4251-2402; ol_ermolaeva@rgau-msha.ru

Колганов Дмитрий Александрович¹, канд. техн. наук, доцент

SPIN-код: 2488-8359; WoS ResesrcherID AFD-8580-2022; Scopus AuthorID57218107579 AuthorID e-library: 918470; 0000-0001-9217-8989; ORCID0000-0001-9217-8989; dmi.kolg@mail.ru

¹ Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова; 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., 49, Россия

Аннотация. С целью выяснения пространственных связей между распределением влажности слоя почвенного покрова 0-5 см и распределением локальных поливных норм вдоль напорного фронта дождевальной машины были проведены исследования, включающие в себя измерение влажности вдоль этого фронта, с последующим анализом данных. Измерение влажности было произведено на участке посева сои, дождевание которого осуществлялось ДМ «Каскад». Анализ результатов включал в себя статистическую и геостатистическую обработку данных измерений, а также результаты компьютерного моделирования зональных поливных норм и их сопоставления с зональными значениями влажностей. В результате была выявлена связь влияния неравномерного распределения локальных поливных норм на формирование пространственных паттернов влажностей поверхностного слоя почвенного покрова 0-5 см. Показано, что несмотря на выявленную корреляционную связь между зональными значениями влажностей и зональными значениями поливных норм, существует ряд неопределенностей, которые могли играть значимую роль.

Ключевые слова: орошение, поливная норма, влажность почвы, пространственный паттерн, дождевальная машина «Каскад», цифровой двойник, геоданные, измерение влажности почвы

Формат цитирования: Зейлигер А.М., Затинацкий С.В., Ермолаева О.С., Колганов Д.А. Анализ пространственного варьирования влажности почвенного покрова вдоль фронта дождевальной машины // Природообустройство. – 2023. – № 3. – С. 15-22. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22.

© Зейлигер А.М., Затинацкий С.В., Ермолаева О.С., Колганов Д.А., 2023

Scientific article

ANALYSIS OF SPATIAL VARIATION OF SOIL COVER MOISTURE ALONG THE FRONT OF THE SPRINKLING MACHINE

Zeyliger Anatoly Mikhailovich², doctor of biological sciences, chief researcher

SPIN-код: 7478-4092; WoS ResesrcherID E-2657-2014; Scopus AuthorID6507949702; AuthorID e-library: 3272; ORCID0000-0002-9556-9966; azeyliguer@mail.ru

Zatinatsky Sergey Viktorovich¹, candidate of technical sciences, researcher

SPIN-код: 6895-7800; Scopus AuthorID57193998914; AuthorID e-library:173805; ORCID0000-0003-4697-8293; zatin_s@mail.ru

Ermolaeva Olga Sergeevna^{1✉}, senior lecturer

SPIN-код: 4968-6008; WoSRResearcherID AAF-7952-2019; Scopus AuthorID56662032000; AuthorID e-library: 184893; ORCID0000-0003-4251-2402; ol_ermolaeva@rgau-msha.ru

Kolganov Dmitry Aleksandrovich¹, candidate of technical sciences, associate professor

SPIN-код: 2488-8359; WoSRResearcherID AFD-8580-2022; ScopusAuthorID57218107579AuthorID e-library: 918470; 0000-0001-9217-8989; ORCID0000-0001-9217-8989; dmi.kolg@mail.ru

¹ Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after C.A. Timiryazev; Moscow, 127434, Timiryazevskaya, 49, Russian Federation

² Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov; Saratov, 410012, Teatralnaya square, 1, Russian Federation

Annotation. In order to study the spatial relationships between the distribution of moisture in the 0-5 cm layer of soil cover and the distribution of local irrigation rates along the pressure front of the sprinkler, a study was carried out, including the measurement of moisture along this front, as well as subsequent data analysis. Moisture measurement was carried out at the soybean sowing site, sprinkling of which was carried out by SM «Kaskad». The analysis of the results included statistical and geostatistical processing of measurement data, as well as analysis of the results of computer modeling of zonal irrigation norms and their comparison with zonal values of humidity. As a result of the analysis, the relationship between the influence of the uneven distribution of local irrigation norms on the formation of spatial patterns of moisture of the surface 0-5 cm layer of soil cover was revealed. At the same time, it was shown that, despite the revealed correlation between the zonal values of humidity and the zonal values of irrigation norms, there are still a number of factors and conditions that could have a significant impact.

Keywords: irrigation, irrigation rate, soil moisture, spatial pattern, sprinkling machine “Kaskad”, digital twin, geodata, soil moisture measurement

Format of citation: Zeyliger A.M., Zatinatsky S.V., Ermolaeva O.S., Kolganov D.A. Analysis of spatial variation of soil cover moisture along the front of the sprinkling machine // Prirodoobustrojstvo. 2023. № 3. P. 15-22. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-3-15-22.

Введение. Хорошо известно, что вода в зоне аэрации почвенного покрова является неотъемлемым компонентом гидрологического цикла суши. Ее запасы формируются в результате баланса приходных (осадки, орошение, капиллярное подпитывание и др.) и расходных статей (испарение с поверхности почвы, отбор влаги корневой системой растительного покрова, сток в нижележащие слои и др.). Данные о влагозапасах и связанная с ними неопределенность зависят от масштабов пространства и времени, на которых ведется мониторинг, а также от методики его ведения и технической реализации. Получаемые в результате мониторинга данные используются при решении разнообразных задач, связанных с прогнозом погоды [1], с оценкой поверхностного [2, 3] и речного стоков [4, 5], оценкой урожайности сельскохозяйственных посевов [6], оценкой многолетней динамики суммарного испарения [7], при оценке региональных флуктуаций климата [8] и пр. [9].

Одним из значимых приложений мониторинга влагозапасов почвенного покрова является использование его в управлении орошением агрофитоценозов, в частности, в интенсивно развиваемом орошении дождеванием [10]. Это обусловлено высоким уровнем технологичности дождевальных машин (ДМ), которая способствует

автоматизации производственных процессов, а также совершенствованию методов водоподачи и распределения поливной воды по пространству агрофитоценозов. Дождевание является распространенной технологией орошения, что подтверждается статистическими данными, согласно которым в России в 2020 г. эта технология применялась на 38% от площади ведения производственного орошения [11], в то время как в США, по данным на 2018 г., этот же показатель составлял 57% [12].

В настоящее время при переходе от традиционного орошаемого земледелия к точному имеют место значительные сложности, которые во многом связаны с отсутствием надежных, эффективных технологий мониторинга и контроля результатов поливов. Отсутствие методов мониторинга пространственного распределения влагозапасов не позволяет создавать технологические карты поливов с пространственным дифференцированием поливных норм. В свою очередь это не мотивирует производителей ДМ [13] вести их совершенствование с целью технической реализации поливов с пространственно-дифференцированной нормой.

Пространственное распределение влагозапасов корнеобитаемого слоя (КС) почвенного покрова агрофитоценоза (ППА) полностью

зависит от соответствующего пространственного распределения приходных и расходных статей водного баланса КС-ППА. В случае орошаемого агрофитоценоза приходную часть водного баланса КС-ППА составляют поливные нормы, формируемые в результате реализации орошения, а также нормы выпадающих дождевых осадков. При орошении агрофитоценозов дождеванием пространственное распределение первой из этих норм тесно связано с техническими характеристиками и техническим состоянием применяемых ДМ, которые влияют на качество выполнения предписаний по реализации поливов, а также зависят от скорости и направления ветра. На практике даже при относительно равномерном (униформном) распределении поливной воды по площади агрофитоценоза в силу разных обстоятельств образуются зоны с различной влажностью КС-ППА, что во многом связано с влиянием рельефа на гидравлические и инфильтрационные характеристики.

Обычно в зонах, где интенсивность инфильтрации меньше интенсивности дождевания, формируется поверхностный ирригационный сток [14]. Попадание соответствующих потоков в пониженные элементы рельефа приводит к образованию в них застойных зон с влажностью, близкой к предельной, в которых происходит формирование вертикально направленных преференциальных водных потоков, уходящих за нижнюю границу КС-ППА [15]. В тех же местах, где пополнение влагозапасов КС-ППА в результате орошения оказывается ниже необходимого, возникают ситуации водного стресса сельскохозяйственных растений, приводящие к их отставанию в росте и развитии. В результате сочетание такого перераспределения поливной нормы на пространстве агрофитоценоза приводит к снижению урожайности его культурной компоненты, а также к потерям поливной воды, что в итоге выражается в низких показателях эффективности орошения [14].

Приведенное качественное описание влияния характеристик почвенного покрова на эффективность орошения агрофитоценозов демонстрирует актуальность и значимость задачи по мониторингу пространственной вариации влажностей КС-ППА, формируемых в результате орошения дождеванием.

В статье представлены результаты анализа пространственного распределения влажности поверхностного (0-5 см) слоя почвенного покрова одного из участков орошаемого посева сои, которое было сформировано при поливе ДМ «Каскад» 21 августа 2022 г. и измерено 22 августа 2022 г.

При проведении анализа особое внимание уделено сопоставлению рассчитанных значений зональных влажностей со значениями локальных поливных норм, рассчитанных по ранее разработанной компьютерной модели цифрового гидравлического двойника ДМ «Каскад» [16].

Объект, на котором было проведено измерение пространственного распределения влажности поверхностного (0-5 см) слоя, представлял собой контур, вытянутый вдоль дождевого фронта ДМ «Каскад». Посредством этой ДМ в 2022 г. проводилось орошение посева сои площадью 39,1 га, расположенного на орошаемом севооборотном участке УНПО «Поволжье» Вавиловского университета (Энгельский район, Саратовская область). Почвенный покров этого участка представлен комплексом среднемогучных и маломогучных темно-каштановых почв среднесуглинистого и легкосуглинистого гранулометрического состава, занимающих порядка 75-90% его площади, а также лугово-каштановых почв среднесуглинистого гранулометрического состава, приуроченных к ложбинообразным мезопонижениям и замкнутым микропонижениям, площадь которых варьирует в пределах 10-25%.

Материалы и методы исследований. Ранее при конструировании ДМ «Каскад» МДЭК 353-45-65 кругового действия была разработана компьютерная модель ее гидравлического двойника [16]. Модель позволяет рассчитывать локальные значения поливных норм в местах установки дефлекторных разбрызгивателей (ДР) с различным сочетанием типоразмеров, расположенных вдоль дождевого фронта этой ДМ.

На дату проведения дождевания 21 августа 2022 г. ДМ «Каскад» включала в себя 6 секций, расположенных на тележках, консольную секцию (КС) и концевую водометную пушку (КВП). При этом: а) секции 1 и 2 имели длину 48; б) секции 3-6 имели длину 59,5 м; в) длина консольной секции составляла 22 м; г) радиус разбрызгивания КВП составлял 15 м; д) расстояния между ДР секций 1-4 лежали в пределах 4,7-6,2 м; е) расстояния между ДР секций 5-6 и консоли варьировали в пределах 2,6-3,1 м; ж) высота расположения ДР над земной поверхностью составляла 1,0 м; з) типоразмеры дефлекторов имели радиусы разбрызгивания от 4,35 м до 11,8 м; и) положение КВП было фиксированным по отношению к дождевому фронту в направлении, составлявшем 30-40° по движению часовой стрелки, в результате чего основная часть расхода КВП попадала на полосу шириной порядка 10-15 м, проходящую на зону КС.

Измерение объемной влажности на экспериментальном контуре было реализовано 22 августа 2022 г. в интервале 7:00-9:00 (время саратовское). Для этого был использован прибор марки ML3-KIT (THEТАKIT) производства английской фирмы Delta с заявленной погрешностью измерения 1-2% объемной влажности. Для цифровой фиксации координат мест проведения измерений было использовано мобильное, свободно распространяемое программное приложение для смартфонов GPS MapCamera, устанавливаемое на платформы OS iPhone и Android. Пределы декларируемых погрешностей измерения координат на открытом пространстве при получении сигналов от спутниковых группировок ГЛОНАСС и/или GPS с помощью обычных смартфонов составляют порядка 3-4 м.

В процессе измерений влажности почвенного покрова была использована модифицированная версия ранее разработанной методики [17, 18]. С ее помощью в каждом месте измерения влажности почвы с помощью GPS MapCamera проводилась видеofиксация панели измерительного прибора ML3-KIT, отображающей время и дату, значения координат, а также величину измеренной влажности почвы. После всех запланированных измерений собранные видеоданные их были переведены в датасеты в формате шейп-файл ESRI и в формате MS Excel v.11. Датасеты в первом формате были использованы для картографической и геометрической интерпретации результатов измерений, а во втором формате – для статистического и корреляционного анализа.

Результаты и их обсуждение. В результате предварительной обработки данных измерений был сформирован геодатасет (в формате шейп-файла), включивший в себя 101 запись по маршруту в направлении от центра ДМ к ее периферии, а также 100 записей по маршруту в обратном направлении. Пространственная интерполяция его значений была реализована в среде ПО ArcGISPro 3.0 с помощью инструмента пространственной интерполяции Natural Neighbor. Ее результаты представлены на рисунке 1 – на подложке отображения локаций мест измерений, а также круговых траекторий опор шести секций ДМ «Каскад».

При визуальном анализе картограммы пространственной интерполяции геодатасета измеренных влажностей (рис. 1) прослеживается чередование контуров с уменьшением их значений от высоких, соответствующих первой и частично второй секциям, до низких, соответствующих четвертой секции, а далее – в обратном

порядке с увеличением по мере приближения к внешней границе зоны, обслуживаемой разбрызгивателями на навесной ферме, с последующим резким уменьшением в зоне КВП. При этом значения влажности в зонах с высокими значениями в ряде мест превышают характерную для почв этого участка величину ППВ (25-26%). В зоне, находящейся за пределами консоли, эти значения меньше такой же характерной величины ВЗ (12-13%), а в пределах остальных секций лежат между указанными значениями ППВ и ВЗ.

На рисунке 2 представлено отображение значений сформированного слоя геоданных влажностей в виде функции расстояний от центральной опоры ДМ «Каскад» до мест их измерений. На этом же рисунке, помимо значений измеренных влажностей, отражены 2 аппроксимационные функции, соответствующие каждому из двух маршрутов, полученные в среде MS Excel v.11 с помощью шаблона полиномиальной функции.

Вид датасета массива измеренных значений влажности почвы, представленный на рисунке 2, в целом соответствует отмеченным результатам пространственной интерполяции. При этом дополнительно была отмечена достаточно высокая вариабельность близких по месторасположению локальных значений влажностей в пределах границ секций ДМ, а также ее консоли. Для проведения анализа этой вариабельности весь датасет влажности был разделен на восемь подмассивов. Каждый из этих подмассивов

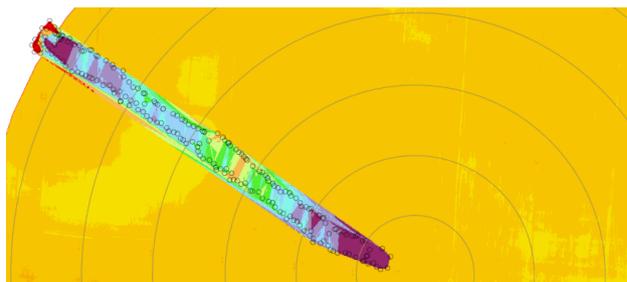


Рис. 1. Картограмма локаций мест измерений влажности (0-5 см) слоя почвенного покрова, результатов пространственной интерполяции измеренных значений влажности слоя, а также круговых траекторий перемещения опор шести секций ДМ «Каскад»

Fig. 1. Cartogram of the locations of the places of measurement of moisture 0-5 cm of the soil cover layer, the results of spatial interpolation of the measured values of the moisture content of the layer, as well as circular trajectories of the movements of the supports of the six sections of the SM “Kaskad”

включал в себя члены с местами расположения измерений внутри границ шести секций ДМ «Каскад» и консоли, а также зоны, расположенной за ее внешней границей. Вид и характеристики полученных при этом статистических функций распределения этих восьми подмассивов отображены с помощью шаблона «Коробка» MS Excel v.11 (рис. 3).

Визуальный анализ представленного на рисунке 3 графического отображения характеристик функций статистического распределения влажностей восьми подмассивов свидетельствует

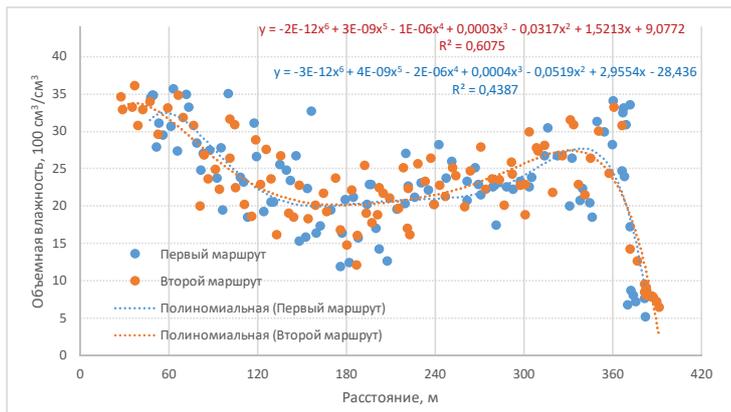


Рис. 2. Распределение значений влажности слоя (0-5 см) почвенного покрова двух маршрутов измерений на поле с посевом орошаемой сои вдоль дождевого фронта ДМ «Каскад», соответствующих: а) набору первого маршрута – ; б) набору второго маршрута –

Fig. 2. Distribution of moisture values of the 0-5 cm layer of the soil cover of two measurement routes in the field with sowing of irrigated soybeans along the rain front of the SM “Kaskad”, corresponding:

a) to the set of the first route – ; b) a set of the second route – :

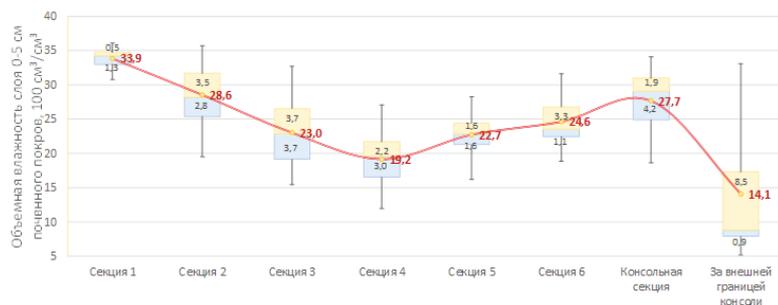


Рис. 3. Гистограммы характеристик функций статистического распределения восьми подмассивов геоданных влажности слоя (0-5 см) почвенного покрова, соответствующие границам шести секций, консоли, а также участка, увлажняемого КВП

Fig. 3. Histograms of the characteristics of the functions of the statistical distribution of eight subarrays of the geodata of the moisture content layer of 0-5 cm of the soil cover, corresponding to the boundaries of six sections, the console, as well as the area moistened by the KVP

об их разделении на 3 основных вида статистических функций. Так, функции, соответствующие секциям 2, 3 и 5, имеют достаточно симметричную форму, схожую с видом нормальной функции распределения. В то же время функции секций 1, 4 и консоли имеют асимметричную форму с более распластанной областью низких значений влажностей. Функции же секции 6, а также зоны за пределами внешней границы консоли имеют асимметричную форму с более распластанной областью высоких значений влажностей. По результатам этого анализа на последнем его шаге

для эффективного представления наборов данных восьми подмассивов влажностей были использованы их медианные значения.

Результаты компьютерных расчетов распределения локальных поливных норм ДМ «Каскад» с использованием модели цифрового гидравлического двойника (рис. 4) были получены для условий ее полного 24-часового оборота, что соответствовало скорости движения внешней опоры секции 6 порядка 1,45 м/мин с расчетным значением напора воды на входе 0,35 МПа. При этом объем поданной за полный оборот ДМ поливной воды составил 5544 м³ при соответствии величине средней по площади поливной нормы слоем 17 мм.

По результатам вычислений по модели цифрового двойника ДМ «Каскад» для каждой ее секции, а также ее КС с повернутой внутрь КВП были рассчитаны зональные значения поливных

норм, соответствующие восьми выделенным зонам. Эти значения были использованы для оценки корреляционной связи между медианными значениями влажностей зон (зональными влажностями), обслуживаемых секциями ДМ и ее КС, с рассчитанными для этих зон зональными поливными нормами. Результаты корреляционного анализа ряда, состоящего из значений зональных поливных норм, и ряда с соответствующими этим зонам медианными значениями зональных влажностей представлены на рисунке 5.

Представленные на рисунке 5 результаты корреляционного анализа ряда зональных значений влажности шести секций и консоли с рядом зональных значений поливных

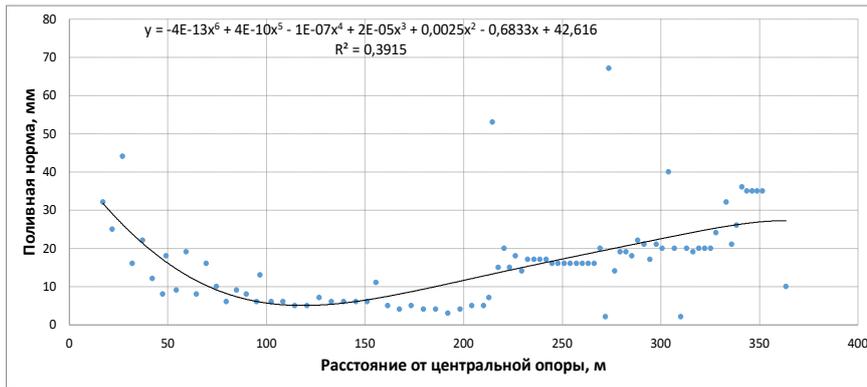


Рис. 4. Профиль распределения локальных поливных норм в местах расположения 86 отводов по состоянию на 22 августа 2022 г., расположенных вдоль дождевого фронта ДМ «Каскад» (□●), и аппроксимационная полиномиальная функция 6 порядка (—)

Fig. 4. Distribution profile of local irrigation norms at the locations of 86 branches as of 08.22.2022, located along the rain front of the SM "Kaskad" (□●) and approximation polynomial function of the 6th order (—)

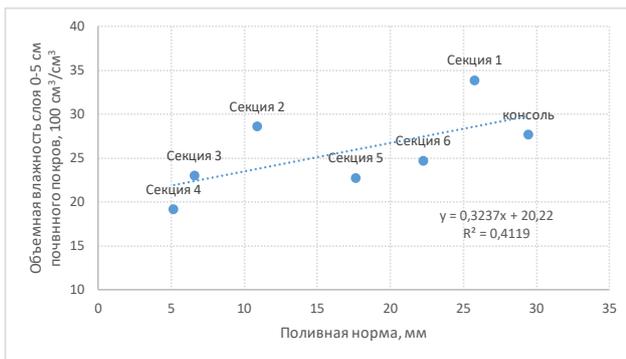


Рис. 5. Диаграмма попарного представления зональных значений поливных норм и значений зональных влажностей слоя (0-5 см) почвенного покрова, а также аппроксимационной линейной функции

Fig. 5. Diagram of pairwise representation of zonal values of zonal irrigation norms and values of zonal moisture of a layer of 0-5 cm of soil cover, as well as an approximation linear function

норм свидетельствуют о наличии статистической связи, объясняемой на 41% в соответствии с полученным значением квадрата коэффициента корреляции. Относительно невысокое значение этой метрики, по всей видимости, связано с наличием ряда неопределенностей, вызванных проявлением иных факторов, влияние которых отсутствует в использованной 2-параметрической линейной корреляционной функции.

Факторы и условия, воздействие которых могло оказать влияние на представленные результаты корреляционного анализа, можно условно подразделить на две группы. К первой

группе относятся влияние погодных условий в период прохождения ДМ «Каскад» над контуром мониторинга влажности, а также характеристики ДМ, использованные при проведении расчетов. Ко второй группе можно отнести характеристики почвенного покрова на участке мониторинга.

Период проведения дождевания участка измерений влажности характеризовался восточным ветром со скоростью 1-1,5 м/сек., направление которого по отношению к направлениям маршрутов составляло порядка 25-30°. С большой долей вероятности воздействие этого ветра

могло привести к частичному наложению дождевых облаков, ДМ "Каскад", что могло привести к пространственному перераспределению поливных норм, а также соответствующих им влажностей почвенного покрова. Примером этого может служить вторая секция, где на участке ее примыкания к первой секции влажность оказалась несколько выше, чем на остальной ее части. Отмеченное вероятное наложение облака первой секции на часть зоны второй секции могло привести к изменению статистической функции распределения этой секции за счет значений с более высокими значениями влажности и таким образом сдвинуть оценку медианы в сторону завышения.

Другой фактор из первой группы может быть связан с рядом ограничений компьютерной модели, использованной для расчетов локальных поливных норм. Одним из таких ограничений является локально-точечный характер расчета локальной поливной нормы, который соответствует местам расположения отводов без учета характеристик формируемого факела распыла.

При анализе факторов второй группы обратили внимание в первую очередь на высокие значения зональных поливных норм на участках первой и второй секций, а также консоли с повернутой внутрь КВП, что приводило к 1,5-2-кратному превышению значения поливной нормы в зоне, обслуживаемой КС. Также заслуживает внимание тот факт, что в быстро иссушаемом поверхностном слое почвенного покрова указанных зон медианные значения зональных влажностей превысили значения ППВ в 1,2-1,3 раза. Одно из возможных объяснений этого основано

на предположении о формировании в почвенно-грунтовой толще этих зон переувлажненного слоя и/или верховодки за счет предыдущих поливов, что в итоге могло послужить препятствием для сброса избыточной почвенной влаги.

Выводы

В результате анализа экспериментальных рядов влажностей поверхностного (0-5 см) слоя почвенного покрова вдоль дождевого фронта ДМ «Каскад» было выявлено влияние неравномерного распределения локальных поливных норм на формирование зон с различной влажностью. При этом показано, что несмотря на выявленную корреляционную связь между зональными значениями влажностей и соответствующими значениями зональных поливных норм, имеется еще ряд дополнительных неопределенностей, которые

могли оказать значимое влияние на полученные результаты.

Отмеченная неравномерность распределения поливной нормы вдоль дождевого фронта может приводить к неблагоприятным последствиям, влияющим на эффективность пополнения запасов почвенной влаги в корнеобитаемом слое почвенного покрова, а также на потери поливной воды. В конечном счете это может оказывать влияние на формирование биомассы орошаемых агрофитоценозов и урожая зерна. Из этого следует, что на стадии подготовки ДМ к эксплуатации в целях предупреждения неблагоприятных последствий необходимо проводить компьютерное моделирование пространственных характеристик дождевания, а в процессе эксплуатации ДМ проводить регулярный мониторинг этих характеристик, по результатам которого вносить соответствующие изменения.

Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-27-00438. URL: <https://rscf.ru/project/23-27-00438/>

The research was carried out supported by a grant of the Russian scientific fund № 23-27-00438, <https://rscf.ru/project/23-27-00438/>

Список использованных источников

1. **Koster R.D.** et al. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation // Science. Science. 2004. Vol. 305, № 5687. Pp. 1138-1140.
2. **Corradini C., Morbidelli R., Melone F.** On the interaction between infiltration and Hortonian runoff // J Hydrol (Amst). Elsevier, 1998. Vol. 204, № 1-4. Pp. 52-67.
3. **Beck H.** et al. Improving curve number based storm runoff estimates using soil moisture proxies // IEEE Journal of Selected Topics in Earth Observations and Remote Sensing. IEEE Geoscience & Remote Sensing Society. 2009. Vol. 2, № 4. Pp. 250-259.
4. **Komma J., Blöschl G., Reszler C.** Soil moisture updating by Ensemble Kalman Filtering in real-time flood forecasting // J Hydrol (Amst). Elsevier, 2008. Vol. 357, № 3-4. Pp. 228-242.
5. **Hirschi M.** et al. Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe // Nat Geosci. 2010. Vol. 4, № 1. Pp. 17-21.
6. **Зейлигер А.М., Ермолаева О.С.** Информационные технологии в мониторинге богарных и орошаемых агроценозов // Современные наукоемкие технологии. 2016. Т. 10, № 1. С. 62-66.
7. **Зейлигер А.М., Ермолаева О.С., Кричевцова А.Н.** Результаты пространственно-временного анализа наборов данных ДЗЗ по испарению с поверхности суши MOD16 et за 2000-2009 годы для территории Палласовского района Волгоградской области РФ // Экология. Экономика. Информатика: Сборник статей: В 3 т. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2015. С. 35-48.
8. **Ермолаева О.С., Зейлигер А.М.** Анализ трендов потоков суммарного испарения (за 2003-2017 гг.) по данным продукта MOD16A2 для территории Марксовского района Саратовской области // Природообустройство. 2021. № 2. С. 16-25.

References

1. **Koster R.D.** et al. Regions of strong coupling between soil moisture and precipitation // Science. Science, 2004. Vol. 305, № 5687. P. 1138-1140.
2. **Corradini C., Morbidelli R., Melone F.** On the interaction between infiltration and Hortonian runoff // J Hydrol (Amst). Elsevier, 1998. Vol. 204, № 1-4. P. 52-67.
3. **Beck H.** et al. Improving curve number based storm runoff estimates using soil moisture proxies // IEEE Journal of Selected Topics in Earth Observations and Remote Sensing. IEEE Geoscience & Remote Sensing Society, 2009. Vol. 2, № 4. P. 250-259.
4. **Komma J., Blöschl G., Reszler C.** Soil moisture updating by Ensemble Kalman Filtering in real-time flood forecasting // J Hydrol (Amst). Elsevier, 2008. Vol. 357, № 3-4. P. 228-242.
5. **Hirschi M.** et al. Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe // Nat Geosci. 2010. Vol. 4, № 1. P. 17-21.
6. **Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S.** Information technologies in monitoring rainfed and irrigated agrocenoses // State-of-the-art high-tech technologies. 2016. Vol. 10, № 1. P. 62-66.
7. **Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S., Krichevctsova A.N.** Results of spatial-temporal analysis of remote sensing data sets on evaporation from the land surface MOD16 et for 2000-2009 for the territory of the Pallasovsky district of the Volgograd region of the Russian Federation. Ecology. Economics. Informatics: collection of articles in 3 volumes. R/onDon: Southern Federal University, 2015. P. 35-48.
8. **Ermolaeva O.S., Zeyliger A.M.** Analysis of trends in total evaporation flows (for 2003-2017) according to the MOD16A2 product for the territory of the Marksovsky district of the Saratov region. 2021. № 2. P. 16-25.
9. **Li J., Islam S.** On the estimation of soil moisture profile and surface fluxes partitioning from sequential

9. Li J., Islam S. On the estimation of soil moisture profile and surface fluxes partitioning from sequential assimilation of surface layer soil moisture // *J Hydrol (Amst)*. Elsevier. 1999. Vol. 220, № 1-2. Pp. 86-103.

10. Зейлигер А.М. и др. Компьютерный анализ режимов водного стресса орошаемых агроценозов с использованием SWAP-модели, а также данных наземного и космического мониторинга // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16, № 3. С. 33-43.

11. Мелиоративный комплекс Российской Федерации: Информационное издание / Г.В. Ольгаренко, С.С. Турапин, В.И. Булгаков и др. Москва: Российский научно-исследовательский институт информатики и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2020. 304 с.

12. Perdue S., Hamer H. Irrigation and Water Management Survey. Vol. 3, Special Studies, Part 1 United States Department of Agriculture. 2017. Census of Agriculture Contents III. 2019. Pp. 1-269.

13. Зейлигер А.М. Точное (дифференцированное) орошаемое земледелие – технология повышения эффективности орошения и снижения нагрузки на окружающую среду // *Сборник статей ВИМ*. 2010. С. 633-638.

14. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. Water Stress Regime of Irrigated Crops Based on Remote Sensing and Ground-Based Data // *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 6. P. 1117.

15. Затинаяцкий С.В. и др. Исследование предпочтительных потоков влаги в лугово-Черноземной почве Саратовского Заволжья // *Почвоведение*. 2007. № 5. С. 585-598.

16. Abdrazakov F.K. et al. Hydrodynamic model of watering of the Fregat sprinkling system equipped with deflector nozzles // *International journal of pharmacy and technology*. 2016. Vol. 8, № 4. Pp. 27063-27071.

17. Зейлигер А.М. и др. Полевое тестирование метода картографического моделирования влагозапасов поверхностного слоя почвенного покрова, основанного на данных радарной съемки Sentinel-1 и цифровой модели рельефа // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2020. Т. 17, № 4. С. 113-128.

18. Zeyliger A.M. et al. Field Test of the Surface Soil Moisture Mapping Using Sentinel-1 Radar Data // *Science of the Total*. 2022. Vol. 807. P. 2, 151121.

Критерии авторства

Зейлигер А.М., Затинаяцкий С.В., Ермолаева О.С., Колганов Д.А. выполнили практические и теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Зейлигер А.М., Затинаяцкий С.В., Ермолаева О.С., Колганов Д.А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Статья поступила в редакцию: 21.02.2023

Одобрена после рецензирования 23.05.2023

Опубликовано 23.05.2023

assimilation of surface layer soil moisture // *J Hydrol (Amst)*. Elsevier, 1999. Vol. 220, № 1-2. P. 86-103.

10. Zeyliger A.M. and others. Computer analysis of water stress regimes of irrigated agroecosystems using the SWAP model, as well as ground and space monitoring data // *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2019. Vol. 16, № 3. P. 33-43.

11. Reclamation complex of the Russian Federation: information publication / G.V. Olgarenko, S.S. Turapin, V.I. Bulgakov [and others]. M.: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2020. 304 p. – ISBN978-5-7367-1593-0.

12. Perdue S., Hamer H. 2018 Irrigation and Water Management Survey Volume 3 • Special Studies • Part 1 United States Department of Agriculture 2017 Census of Agriculture Contents III. 2019. 1-269 p.

13. Zeyliger A.M. Precision (differentiated) irrigated agriculture – technology for improving the efficiency of irrigation and reducing the load on the environment. Collection of articles VIM. 2010. P. 633-638.

14. Zeyliger A.M., Ermolaeva O.S. Water Stress Regime of Irrigated Crops Based on Remote Sensing and Ground-Based Data // *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 1117. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2021. Vol. 11, № 6. P. 1117.

15. Zatinatsky S.V. and others. Study of preferred moisture flows in the meadow-Chernozem soil of the Saratov Trans-Volga region // *Soil Science*. 2007. № 5. P. 585-598.

16. Abdrazakov F.K. et al. Hydrodynamic model of watering of the fregat sprinkling system equipped with deflector nozzles // *International journal of pharmacy and technology*. 2016. Vol. 8, № 4. P. 27063-27071.

17. Zeyliger A.M., et al. Field testing of the method of cartographic modeling of moisture reserves of the surface layer of the soil cover, based on the data of the Sentinel-1 radar survey and the digital relief model. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2020. V. 17, No. 4. P. 113-128.

18. Zeyliger A.M., et al. Field Test of the Surface Soil Moisture Mapping Using Sentinel-1 Radar Data // *Science of the Total*. 2022, Vol. 807, part 2, 151121.

Criteria of authorship

Zeyliger A.M., Zatinatsky S.V., Ermolaeva O.S., Kolganov D.A. carried out practical and theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. They have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflicts of interest.

The article was submitted to the editorial office 21.02.2023

Approved after reviewing 23.05.2023

Accepted for publication 23.05.2023