

## МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.674.6

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-1-19-33

### Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе

Евгений Владимирович Кузнецов<sup>1</sup>, Харлампий Иванович Килиди<sup>2</sup>,  
Анна Евгеньевна Хаджиди<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,  
Краснодар, Российская Федерация

<sup>1</sup>dtn-kuz@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-8390>

<sup>2</sup>harlam\_one@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4561-7878>

<sup>3</sup>dtn-khanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1375-9548>

**Аннотация.** Цель: с использованием контуров увлажнения исследовать динамику влаги в почвогрунтах на дренажном слое при капельном орошении для экономии водных ресурсов и обеспечения равномерного полива культур. **Материалы и методы.** В основу исследования положена теория влагопереноса при воздействии капельного орошения на почвогрунт. Контуров увлажнения изучены в лабораторных условиях на почвенном лизиметре, с помощью которого выполнено моделирование геологического разреза орошаемой территории, представленной сформированными на галечнике аллювиальными луговыми почвами. Мощность галечникового слоя принята до 3 м. Выполнен регрессионный анализ движения влаги, и получена математическая модель, описывающая характер ее движения на дренажном слое. Расчетный объем влажного грунта определялся на основании контуров увлажнения как результат вычисления объема образованной фигуры вращения по картограммам на каждый час полива. **Результаты.** Получены данные о распространении влажности в почвенном профиле по часам полива, которые представлены на картограммах, построенных при помощи персонального компьютера. На картограммах выделены контуров с одинаковой влажностью – изолинии, на которых отображалась влажность: 5; 10; 40 %. Установлено, что вода при расходе капельницы 2,5 л/ч достигает дренажного слоя через 4 ч после начала полива. Построен график распределения влажности в объеме почвогрунта по часам, который отражает динамику распространения подаваемой из капельницы воды с постоянным ее расходом за 10 ч полива. **Вывод.** Исследована динамика распространения влаги при капельном поливе в условиях грунтов, расположенных на дренирующей подушке. В условиях опыта при продолжительности полива культур свыше 8 ч наблюдается неэффективное превышение поливных норм и увеличение проектной мощности системы капельного орошения.

**Ключевые слова:** капельное орошение, лизиметр, контуров увлажнения, эффективность полива, расход, поливная норма, коэффициент использования воды

**Для цитирования:** Кузнецов Е. В., Килиди Х. И., Хаджиди А. Е. Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 1. С. 19–33. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-19-33>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

### Study of soil moisture dynamics under drip irrigation

**Evgeny V. Kuznetsov<sup>1</sup>, Kharlampiy I. Kilidi<sup>2</sup>, Anna E. Khadzhidi<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

<sup>1</sup>dtn-kuz@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-8390>

<sup>2</sup>harlam\_one@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4561-7878>

<sup>3</sup>dtn-khanna@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1375-9548>

**Abstract. Purpose:** to study the dynamics of moisture in soils on the drainage layer during drip irrigation to save water resources and ensure uniform watering of crops using moisture contours. **Materials and methods.** The study is based on the theory of moisture transfer under the influence of drip irrigation on soil. Moisture contours were studied in laboratory conditions using a soil lysimeter, which was used to model the geological cross-section of the irrigated area, represented by alluvial meadow soils formed on pebbles. The pebble layer thickness was assumed to be up to 3 m. A regression analysis of moisture movement was carried out, and a mathematical model describing the nature of its movement on the drainage layer was obtained. The estimated volume of wet soil was defined on the basis of moisture contours as a result of calculating the volume of the formed lathe object using cartograms for each hour of irrigation. **Results.** Data on the moisture distribution in soil profile according to irrigation hours, presented on cartograms constructed using a personal computer, were obtained. The contours with the same humidity – isolines on which the humidity was displayed: 5; 10; 40 % are highlighted on the cartograms. It has been determined that water at an emitter discharge of 2.5 l/h reaches the drainage layer 4 hours after the beginning of irrigation. The graph for moisture distribution in soil volume by hour, reflecting the dynamics of water distribution supplied from an emitter with a constant discharge over 10 hours of irrigation has been constructed. **Conclusion.** The dynamics of moisture distribution during drip irrigation in soils located on a drainage bed was studied. Under experimental conditions, when crop irrigation lasts for more than 8 hours, an ineffective excess of irrigation rate and an increase in the design capacity of the drip irrigation system are observed.

**Keywords:** drip irrigation, lysimeter, moisture contours, irrigation efficiency, discharge, irrigation rate, water use coefficient

**For citation:** Kuznetsov E. V., Kilidi Kh. I., Khadzhidi A. E. Study of soil moisture dynamics under drip irrigation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(1): 19–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-1-19-33>.

**Введение.** В современном мире вопрос эффективного использования водных ресурсов становится все более актуальным. В условиях изменяющегося климата одной из приоритетных задач является повышение эффективности использования мелиорируемых земель и водных ресурсов. Капельный полив, как средство решения задачи по водосбережению при орошении сельскохозяйственных культур, привлекает особое внимание, являясь одним из ключевых методов оптимизации водопользования в сельском хозяйстве [1]. Однако в горных районах, в частности на Северном Кавказе, динамика влажности в почве при капельном поливе требует более детального исследования, поскольку она обусловлена такими факторами, как пе-

репады высот местности, микроклиматические особенности и природные условия [2]. Эффективность капельного полива тесно связана с водно-физическими и физико-химическими свойствами почвы [3, 4]. Различные текстурные классы почв (глинистые, суглинистые, песчаные) обладают разной влагоудерживающей способностью, проницаемостью и капиллярностью. Исследование влияния этих характеристик на распределение и движение влаги в почвенном профиле при капельном поливе представляет собой важный аспект. Для суглинистых почв, характерных для определенных регионов, важно изучить, как они удерживают влагу, как происходит ее распределение на различных глубинах. В почвах с высокой капиллярной активностью может возникнуть риск переноса влаги на поверхность, что может привести к потере воды из-за испарения и стока. В почвах с низкой проницаемостью важно изучить, как обеспечить равномерное проникновение воды на требуемую глубину [5, 6].

Однако остается недостаточно изученным вопрос динамики влаги в почвогрунте на дренажном слое, как зависит распределение влажности в самой почве от мощности слоя почвогрунта, а также от интенсивности подачи воды на орошение. Все эти факторы влияют на формирование локальных контуров увлажнения различной формы [7, 8]. Поэтому целью работы являлось исследование динамики влаги в почвогрунтах на дренажном слое при капельном орошении для экономии водных ресурсов и обеспечения равномерного полива культур.

**Материалы и методы.** Система капельного орошения, на примере которой выполнялись исследования, расположена в Майкопском районе Республики Адыгея на высоте более 336,00 м над уровнем Балтийского моря. По природно-сельскохозяйственному районированию земельного фонда участок входит в степную и лесостепную зону Предкавказской лесостепной провинции, для которой характерны аллювиальные луговые насыщенные слабогумусные средние суглинки, сформированные паводко-

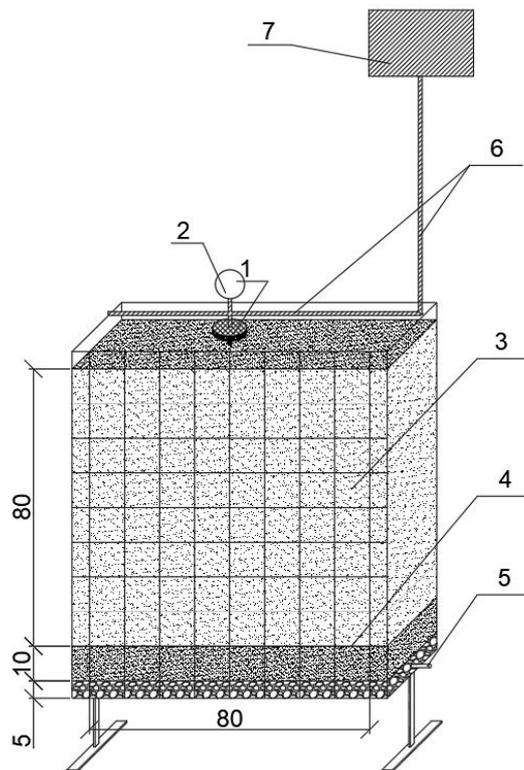
выми водами, послойным отложением на поверхности свежих слоев на галечнике. Мощность почвенного покрова составляет 80–85 см.

Исследование контуров увлажнения проводилось в лабораторных условиях на кафедре гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского государственного аграрного университета. Объектом исследования служила модель почвогрунта, доставленная с опытного поля оросительной системы.

Опытная установка позволяет исследовать динамику влаги под действием гравитационных сил на модельном почвогрунте, лежащем на фильтрующем слое толщиной 10 см, имитирующем дренажный слой. Это было достигнуто благодаря конструктивным особенностям лабораторной установки. Она состоит из прозрачного оргстекла толщиной 1 см размерами: длина 1,0 м, ширина 0,3 м и высота 1,0 м. Площадь изучения контура увлажнения до 1 м<sup>2</sup>, что позволяет визуально и инструментально исследовать контур увлажнения во времени. На 1 м<sup>2</sup> нанесена прямоугольная сетка с размерами 10 × 10 см, в вершинах квадратов сетки имеются отверстия диаметром 1 см. Уложенный в установку слоями по 10 см грунт уплотнялся трамбовками вручную. Контроль укладки слоя грунта осуществлялся динамическим плотномером. Значение исходной влажности – влажность завядания (ВЗ). Почвогрунт мощностью 0,8 м был расположен на песке и фильтрующем слое из гравия.

Почва в полевых условиях залегает на подушке из гравия, который дренирует выпадающие осадки и поданную при капельном орошении воду. На рисунке 1 представлена лабораторная установка с исследуемым почвогрунтом.

На поверхность почвогрунта подавался расход из капельницы 2,5 л/ч, который был установлен расчетным способом исходя из особенностей сложения почвогрунта для природно-климатической зоны района исследований (рисунок 2).

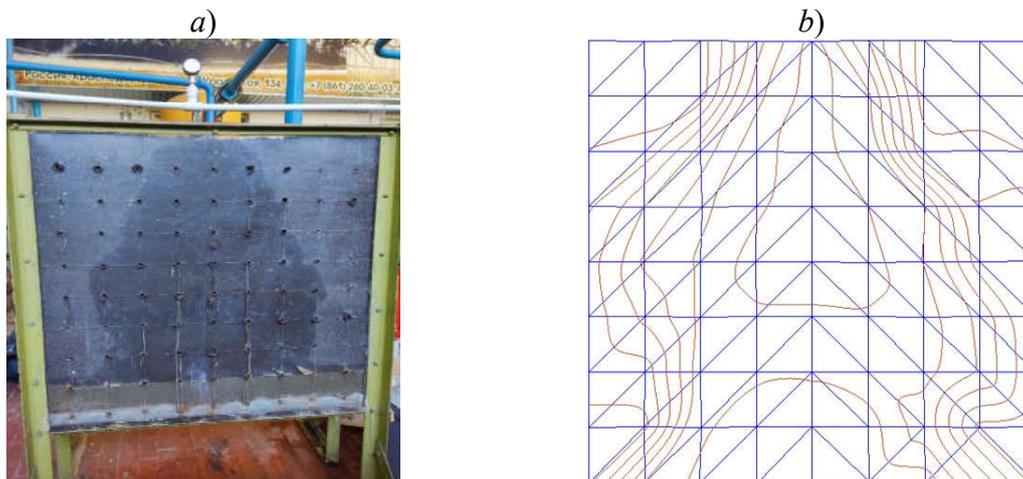


1 – капельница; 2 – манометр; 3 – слой почвогрунта; 4 – гравийная подушка (фильтрующий водоупор); 5 – дренаж; 6 – трубопроводы; 7 – напорная емкость

1 – emitter; 2 – pressure gauge; 3 – soil layer; 4 – gravel bed (filtering aquifer); 5 – drainage; 6 – pipelines; 7 – pressure tank

**Рисунок 1 – Опытная установка – почвенный лизиметр**

**Figure 1 – Pilot installation – soil lysimeter**



*a* – фото опытной установки на 8-й час полива; *b* – схема обработки контура увлажнения по методике триангуляции на 8-й час полива

*a* – photo of the experimental installation at the 8th hour of irrigation; *b* – scheme for moisture contour processing using the triangulation method at the 8th hour of irrigation

**Рисунок 2 – Контур увлажнения почвогрунта при капельном поливе(фото Х. И. Килиди)**

**Figure 2 – Soil moisture contour under drip irrigation (photo by H. I. Kilidi)**

При поливе формируются контуры в виде «елки», треугольника со рванными сторонами.

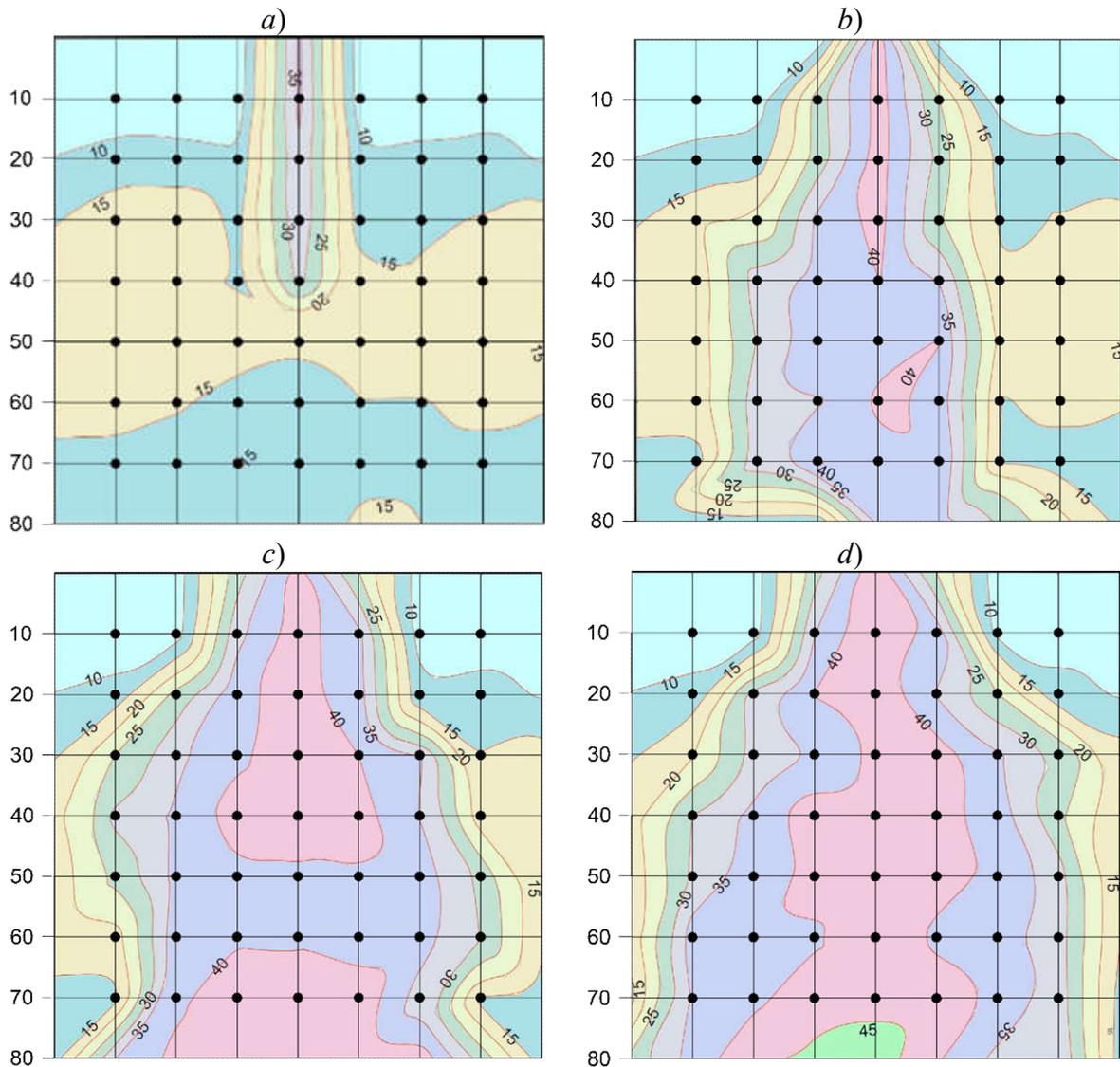
Измерения влажности выполнялись в вершинах квадратов сетки на лицевой стороне лизиметра с помощью электронного зондового влагомера ВИМС-1У по методике: до полива и далее через каждый час в течение 10 ч, далее через 3 дня и через 6 дней в 5-кратной повторности.

Моделирование распространения влажности в почвогрунте проводилось по картограммам на базе эмпирических данных о влажности в различные интервалы времени с использованием метода триангуляции в каждом квадрате (см. рисунок 2*b*).

Выделялись два смежных треугольника на сетке, далее каждая сторона, образованная треугольниками, разбивалась на равные отрезки, а через величины, равные 5 % шагу, проводились кривые в программном комплексе IndorCAD [9].

Обработка результатов измерений осуществлялась в комплексе Statistica на персональном компьютере методом множественной регрессии. Данный метод лучше всего подходит для подгонки прямой линии, описывающей изменение исследуемых параметров, по набору точек, полученных по результатам опытов [10].

**Результаты и обсуждения.** Стояла задача: установить, в каком часу после полива вода достигает дренажного слоя и когда требуется прекращать полив, чтобы обеспечить рациональное использование воды при капельном орошении культур. Имея промачиваемый капельницей с расходом 2,5 л/ч слой почвогрунта и измеренные величины влажности в вершинах сетки, при помощи персонального компьютера выполняли построение картограммы распространения влажности в почвенном профиле по фиксированному времени по часам полива. На картограммах выделялись контуры с одинаковой влажностью – изолинии, на которых отображалась влажность 5, 10, 40 %. На рисунке 3 дается распределение изолиний для почвогрунта в лизиметре.



*a* – через 1 ч полива; *b* – через 4 ч полива;  
*c* – через 8 ч полива; *d* – через 10 ч полива

*a* – after 1 hour of irrigation; *b* – after 4 hours of irrigation;  
*c* – after 8 hours of irrigation; *d* – after 10 hours of irrigation

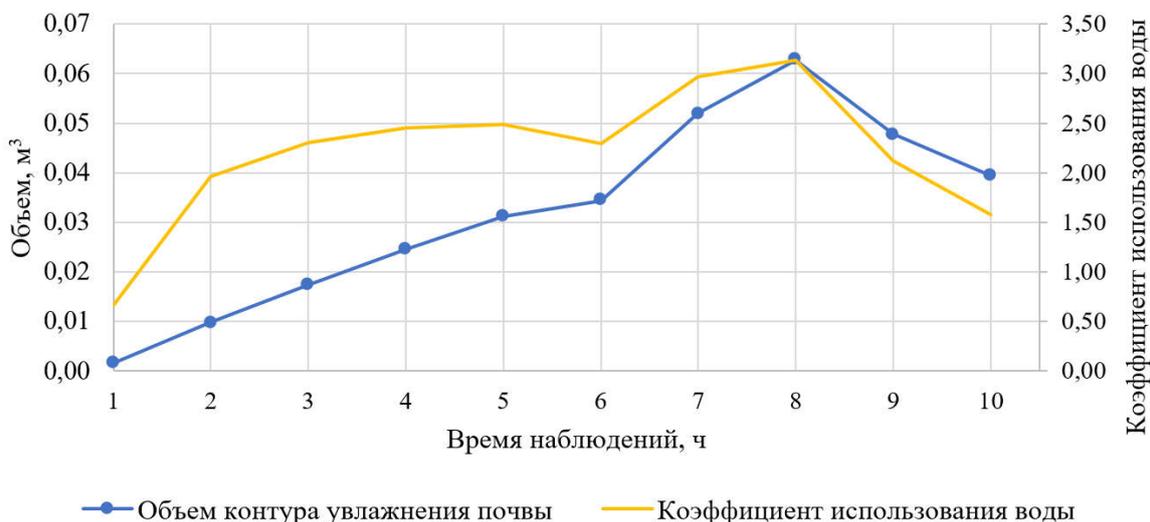
**Рисунок 3 – Распределение влажности в почвенном лизиметре**  
**Figure 3 – Moisture distribution in soil lysimeter**

Результаты, полученные по картограммам, показывают динамику распространения влаги в почвогрунте на дренажном слое во времени. Полная влагоемкость соответствует 40 % влажности почвогрунта, что видно по данным картограммам. Из опыта можно заключить, что вода при расходе капельницы 2,5 л/ч достигает дренажного слоя через 4 ч после начала полива.

Вода в почвогрунте имеет инертность движения к дренажному слою

из-за различных причин, к которым можно отнести фильтрацию, поровое пространство почвогрунта (плотность) и ряд других.

На рисунке 4 приводится график распределения влажности в объеме почвогрунта для 10 ч подачи расхода капельницей 2,5 л/ч.



**Рисунок 4 – Распределение влажности в объеме почвогрунта по часам**  
**Figure 4 – Moisture distribution in soil volume by hour**

Измерялись площади контуров увлажнения и линейные изменения радиусов распространения контуров с шагом 5 %, таким образом получены данные для обработки.

Объем влажного грунта определялся на основании контуров увлажнения как объем образованной фигуры вращения по картограммам (см. рисунок 3) на каждый час полива. Для получения объемной фигуры произведен расчет суммарной величины отдельных объемов, сформированных площадями контуров между образовавшимися изолиниями. Для наблюдения за динамикой объема производили расчет за каждый час полива и сравнивали результат с предполивным состоянием. График распределения влажности в объеме почвогрунта по часам отражает динамику распространения подаваемой из капельницы с постоянным расходом воды (как математическая прогрессия) за 10 ч полива. Суммарный объем использованной воды на капельницу составляет 25 л, и при делении объема смоченного грунта на объ-

ем использованной воды по результатам каждого часа получаем вторую линию, называемую коэффициентом использования воды. Данный коэффициент отражает более наглядно, как влажность изменяется во времени [11, 12], на это указывает неравномерность и угловатость очертания графика.

Анализируя полученные зависимости, делаем следующий вывод: при увеличении продолжительности полива после 8 ч наступает процесс автономности потерь воды в дренажный слой и вода расходуется не продуктивно. При этом нерациональном использовании воды на системах наблюдается завышение поливных норм, рост непродуктивных объемов воды на поливы культур и, как следствие, увеличение мощностей оросительных систем капельного орошения. Поэтому в эксперименте для получения оптимального увлажнения почвогрунта в пределах 0,7–0,8 наименьшей влагоемкости достаточно проводить полив культур не более 8 ч с периодичностью в зависимости от температурных условий.

Статистическая обработка данных из таблицы 1 выполнена для контура увлажнения, соответствующего полной влагоемкости почвогрунта (40 %).

**Таблица 1 – Обработка данных за поливной период**

**Table 1 – Data processing for the irrigation period**

Время опыта, ч	Площадь контура увлажнения, м <sup>2</sup>	Объем контура увлажнения, м <sup>3</sup>	Расход использованной воды, м <sup>3</sup> /ч
1	0,0012500	0,0000083	0,0025
2	0,0332670	0,0017128	0,005
3	0,0709480	0,0055380	0,0075
4	0,1219720	0,0145982	0,01
5	0,1198930	0,0141048	0,0125
6	0,1349490	0,0178698	0,015
7	0,1986450	0,0387200	0,0175
8	0,1557600	0,0238063	0,02
9	0,1320400	0,0171077	0,0225
10	0,1471300	0,0212414	0,025

Математический анализ основан на множественной регрессии, так как при планировании эксперимента выявлена зависимость (уравнение регрессии) распределения расхода воды внутри почвенного слоя как линейно, так и с образованием объема смоченного грунта:

$$m = 0,0043 - 1,4988 \cdot W + 45,5638 \cdot S - 19,6421 \cdot W^2 - \\ - 123,9528 \cdot W \cdot S + 183,3974 \cdot S^2,$$

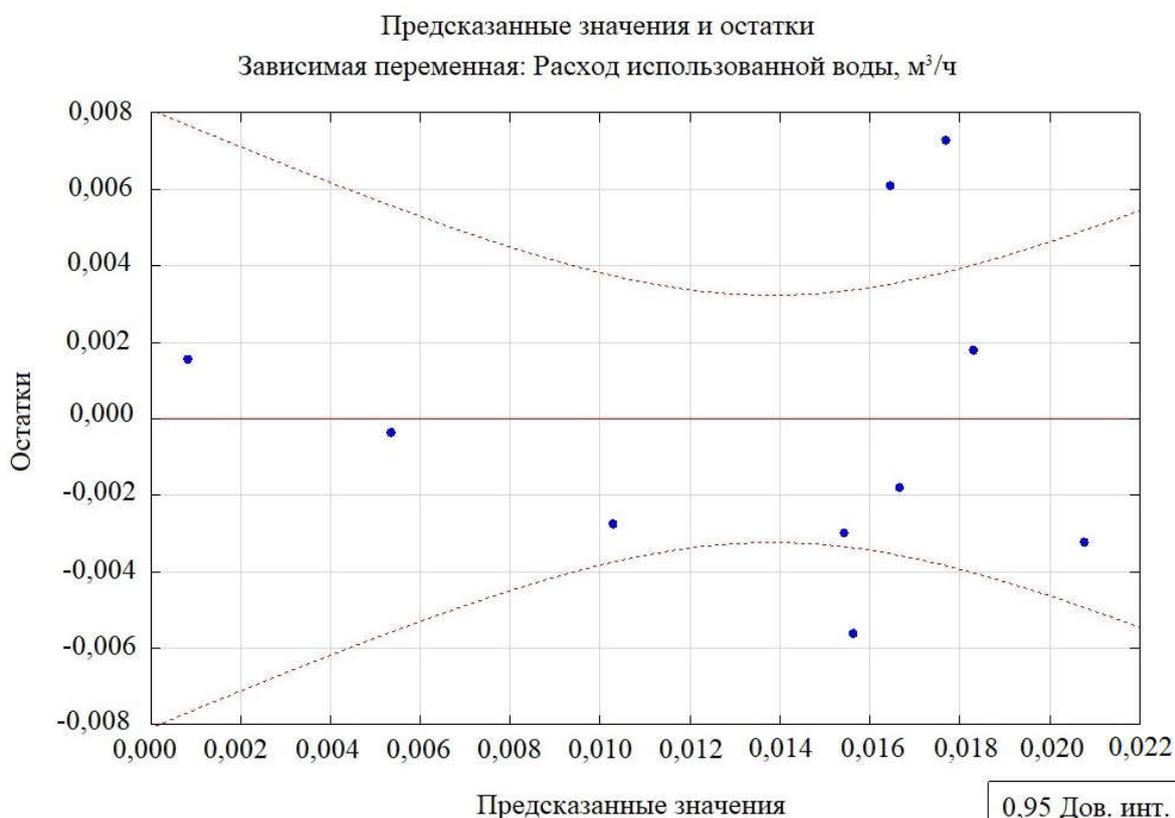
где  $m$  – поливная норма, м<sup>3</sup>/ч;

$W$  – объем контура увлажнения, м<sup>3</sup>;

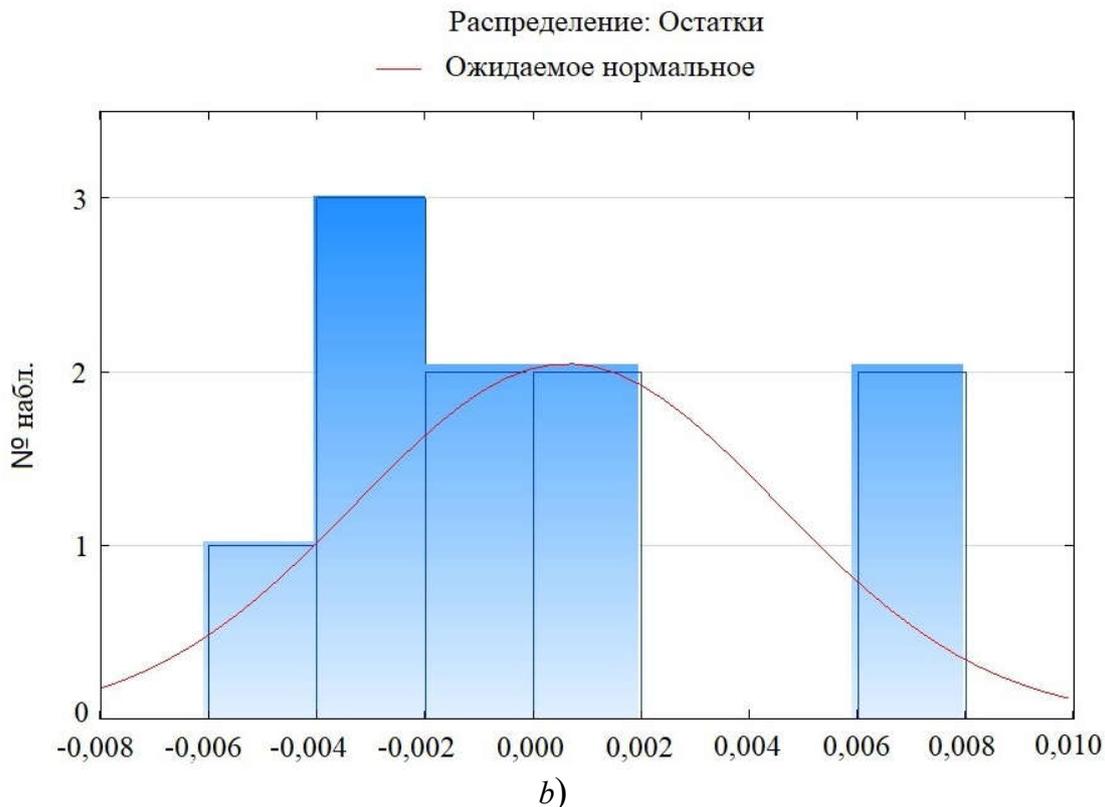
$S$  – площадь контура увлажнения, м<sup>2</sup>.

Лучше всего зависимую переменную предсказывает линия регрессии. Для получения предсказуемой ее траектории учтены предсказания значений и остатков, которые отражают незначительное отклонение отдельной точки линии регрессии (рисунок 5а).

Распределение остатков в полученных данных опытов нормальное, так как линия ожидаемого симметрична (рисунок 5b). Из вышесказанного следует сделать вывод, что уравнение регрессии для расхода использованной воды является верным и позволяет получить заданную величину поливной нормы на одно дерево при орошении садов в условиях расположения почвогрунта на дренажном слое.



a)



**Рисунок 5 – Предсказанные значения и остатки для расхода использованной воды**

**Figure 5 – Predicted values and excesses for used water discharge**

**Выводы.** Исследование динамики влажности почвы при капельном поливе в условиях горной зоны Северного Кавказа проведено с целью повышения эффективности сельского хозяйства и устойчивого использования водных ресурсов. Для этого в основу положена обработка данных о контурах увлажнения почвы в процессе полива. Анализ динамики объема почвы позволил выявить особенности распределения влаги и эффективность использования воды в системах капельного орошения.

Рациональное распределение во времени воды в системе капельного орошения было оценено с применением коэффициента использования воды. Этот коэффициент наглядно отображает, как влажность изменяется во времени, указывая на неоднородность процесса перемещения воды в течение всего срока полива. Полученные зависимости позволили сделать вывод о неэффективном использовании воды при продолжительном поливе

свыше 8 ч. Процесс потерь воды в дренажном слое после данного времени приводит к неудовлетворительным результатам, а также к завышению поливных норм и увеличению мощности систем капельного орошения. Для обеспечения оптимального увлажнения почвогрунта в пределах 0,7–0,8 наименьшей влагоемкости рекомендуется проводить полив культур не более 8 ч с учетом температурных условий.

Математический анализ, основанный на множественной регрессии, подтвердил линейную зависимость расхода воды в почвенном слое и позволяет предсказывать поливные нормы для оптимального использования воды в системах капельного орошения.

### Список источников

1. Семерджян А. К., Бень А. В. Опыт проектирования и строительства систем капельного орошения в Краснодарском крае // Природообустройство. 2018. № 4. С. 85–88. DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-85-88. EDN: YMBOJF.
2. Васильев С. М., Шкура В. Н., Штанько А. С. Локальные контуры капельного увлажнения почв, формирующиеся на склоновых землях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1(57). С. 279–289. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-28. EDN: EDFSMG.
3. Кузнецов Е. В., Алматар А., Новиков А. Е. Оценка влияния водного режима почвы на продуктивность сои при внутрпочвенном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2(70). С. 451–458. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-53. EDN: NTJEPА.
4. Кузнецов Е. В., Хаджиди А. Е., Куртнезирова А. Н. Повышение эффективности орошения в составе инвестиционного проекта адаптированной земельно-охранной системы // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 52. С. 206–211. EDN: TWPKVR.
5. Шуравилин А. В., Кучер Д. Е., Сурикова Т. И. Экспериментальные исследования по формированию увлажняемой зоны на системах капельного орошения // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2015. № 9(128). С. 66–72. EDN: UMZPTN.
6. Ахмедов А. Д., Галиуллина Е. Ю. Контуры увлажнения почвы при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2012. № 3(27). С. 183–188. EDN: PCXLGR.
7. Штанько А. С., Глущенко Ю. Ю., Воронов О. В. Оценка точности аппроксимации положения изоплет локальных контуров увлажнения при капельном поливе // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2017. № 2(26). С. 69–86. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=316> (дата обращения: 01.12.2023). EDN: YNWTDN.
8. Штанько А. С., Шкура В. Н. Способ графоаналитического построения очертания контуров капельного увлажнения почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 1(29). С. 67–85. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=914> (дата обращения: 01.12.2023). EDN: YOTSKC.

9. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В. Компьютерное моделирование и параметризация в среде MathCad контуров увлажнения при капельном орошении // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4(64). С. 367–378. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37. EDN: VBOPAO.

10. Васильев С. М., Штанько А. С. Геометрические и влажностные параметры контуров капельного увлажнения суглинистых черноземов // Мелиорация и водное хозяйство. 2019. № 1. С. 16–19. EDN: SXSYLX.

11. Patel N., Rajput T. B. S. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion // Agricultural Water Management. 2008, Dec. Vol. 95, iss. 12. P. 1335–1349. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.002>.

12. Karimi R., Appels W. M. Soil moisture dynamics in a new indoor facility for subsurface drip irrigation of field crops // Irrigation Science. 2021. 39(4). P. 715–724. <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00741-3>.

## References

1. Semerdzhyan A.K., Ben A.V., 2018. *Opyt proektirovaniya i stroitel'stva sistem kapel'nogo orosheniya v Krasnodarskom krae* [The experience of designing and construction of drip irrigation systems in the Krasnodar territory]. *Prirodoobustroystvo* [Environmental Engineering], no. 4, pp. 85-88, DOI: 10.26897/1997-6011/2018-4-85-88, EDN: YMBOJF. (In Russian).

2. Vasiliev S.M., Shkura V.N., Shtanko A.S., 2020. *Lokal'nye kontury kapel'nogo uvlazhneniya pochvy, formiruyushchiesya na sklonovykh zemlyakh* [Local contours of drip soil moistening formed on slope lands]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 1(57), pp. 279-289, DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-28, EDN: EDFSMG. (In Russian).

3. Kuznetsov E.V., Almatar A., Novikov A.E., 2023. *Otsenka vliyaniya vodnogo rezhima pochvy na produktivnost' soi pri vnutripochvennom oroshenii* [Evaluation of the influence of soil water regime on soybean productivity under subsurface irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 2(70), pp. 451-458, DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-53, EDN: NTJEPА. (In Russian).

4. Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Kurtnezirov A.N., 2015. *Povyshenie effektivnosti orosheniya v sostave investitsionnogo proekta adaptirovannoy zemel'no-okhrannoy sistemy* [Irrigation efficiency improvement as part of the investment project of adapted land protection system]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proc. of Kuban State Agrarian University], no. 52, pp. 206-211, EDN: TWPKVR. (In Russian).

5. Shuravilin A.V., Kucher D.E., Surikova T.I., 2015. *Eksperimental'nye issledovaniya po formirovaniyu uvlazhnyayemy zony na sistemakh kapel'nogo orosheniya* [Experimental studies on the formation of a wetted zone on drip irrigation systems]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel'* [Land Management, Monitoring and Cadastre], no. 9(128), pp. 66-72, EDN: UMZPTN. (In Russian).

6. Akhmedov A.D., Galiullina E.Yu., 2012. *Kontury uvlazhneniya pochvy pri kapel'nom oroshenii* [Contours of soil moisture during drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 3(27), pp. 183-188, EDN: PCXLGR. (In Russian).

7. Shtanko A.S., Glushchenko Yu.Yu., Voronov O.V., 2017. [Accuracy evaluation of approximation of isopleths position of local moisture contours under drip irrigation]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 2(26), pp. 69-86, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=316> [accessed 01.12.2023], EDN: YNWTDN. (In Russian).

8. Shtanko A.S., Shkura V.N., 2018. [Method of graphic-analytical construction of the of drip soil moisture contours]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, no. 1(29), pp. 67-85, available: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=914> [accessed 01.12.2023], EDN: YOTSKC. (In Russian).

9. Rogachev A.F., Melikhova E.V., 2021. *Komp'yuternoe modelirovanie i parametriczatsiya v srede MathCad konturov uvlazhneniya pri kapel'nom oroshenii* [Computer modeling and parameterization in the MathCad environment of humidification contours for drip irrigation]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Proc. of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education], no. 4(64), pp. 367-378, DOI: 10.32786/2071-9485-2021-04-37, EDN: VBOPAO. (In Russian).

10. Vasiliev S.M., Shtanko A.S., 2019. *Geometricheskie i vlazhnostnye parametry konturov kapel'nogo uvlazhneniya suglinistykh chernozemov* [Geometric and moisture parameters of drip irrigation contours of loamy chernozems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 1, pp. 16-19, EDN: SXSYLE. (In Russian).

11. Patel N., Rajput T.B.S., 2008. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. *Agricultural Water Management*, Dec., vol. 95, iss. 12, pp. 1335-1349, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.06.002>.

12. Karimi R., Appels W.M., 2021. Soil moisture dynamics in a new indoor facility for subsurface drip irrigation of field crops. *Irrigation Science*, 39(4), pp. 715-724, <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00741-3>.

---

#### **Информация об авторах**

**Е. В. Кузнецов** – профессор кафедры строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов, доктор технических наук, профессор, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, [dtm-kuz@rambler.ru](mailto:dtm-kuz@rambler.ru), AuthorID: 176848, ORCID ID: 0000-0003-0524-8390;

**Х. И. Килиди** – старший преподаватель кафедры гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, [harlam\\_one@mail.ru](mailto:harlam_one@mail.ru), AuthorID: 672032, ORCID ID: 0000-0002-4561-7878;

**А. Е. Хаджиди** – исполняющая обязанности заведующего кафедрой гидравлики и сельскохозяйственного водоснабжения, доктор технических наук, доцент, Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация, [dtm-khanna@yandex.ru](mailto:dtm-khanna@yandex.ru), AuthorID: 509767, ORCID ID: 0000-0002-1375-9548.

#### **Information about the authors**

**E. V. Kuznetsov** – Professor of the Department of Construction and Operation of Water Management Facilities, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, [dtm-kuz@rambler.ru](mailto:dtm-kuz@rambler.ru), AuthorID: 176848, ORCID ID: 0000-0003-0524-8390;

**Kh. I. Kilidi** – Senior Lecturer of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, [harlam\\_one@mail.ru](mailto:harlam_one@mail.ru), AuthorID: 672032, ORCID ID: 0000-0002-4561-7878;

**A. E. Khadzhidi** – Acting Head of the Department of Hydraulics and Agricultural Water Supply, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation, [dtm-khanna@yandex.ru](mailto:dtm-khanna@yandex.ru), AuthorID: 509767, ORCID ID: 0000-0002-1375-9548.

*Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.*

*Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.  
All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 05.02.2024;  
принята к публикации 08.02.2024.  
The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for  
publication 08.02.2024.*