

Научная статья

УДК 631.347.2

doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-102-112

Моделирование эрозионных процессов при искусственном дождевании

Аслан Каральбиевич Апажев¹, Юрий Ахметханович Шекихачев^{✉2},
Луан Мухажевич Хажметов³, Людмила Зачиевна Шекихачева⁴

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

³hajmetov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

⁴sh-ludmila-z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

Аннотация. В статье рассмотрена проблема снижения эрозионных процессов при проведении дождевания сельскохозяйственных культур с учетом того, что для каждой почвы существует предельно допустимая величина разового слоя осадков, при которой перерывы в дождевании приводят к увеличению поливной нормы по сравнению с позиционным непрерывным дождеванием. Существуют различные конструкции технических средств для мелкодисперсного дождевания. Наиболее эффективно синхронное импульсное дождевание, принцип которого заключается в накоплении в гидроаккумуляторах импульсных дождевателей определенного объема воды и последующего выброса его под действием сжатого воздуха. Принцип работы импульсных дождевателей и их конструктивные особенности предопределили не только надежность работы технологического оборудования, но и обеспечили одинаковые параметры работы: объем выплеска, верхний и нижний пределы давления. Для снижения эрозионных процессов, которые могут развиваться при проведении дождевания, необходимо исследовать кинематические параметры капель искусственного дождя. Исследования проведены с учетом того, что при движении капли воды в воздушной среде под влиянием сопротивления воздуха возникает давление, которое действует только на лобовую поверхность движущейся капли. Поскольку по закону Паскаля давление жидкости, находящейся в равновесии, передается во всех направлениях с одинаковой силой, то происходит деформация капли. Капля расплющивается вплоть до ее разделения. На основании проведенных исследований получено выражение для расчета максимального диаметра капли искусственного дождя. Расчеты показали, что при коэффициенте поверхностного натяжения 0,07286 Н/м и объемном весе воды 9810 Н/м³ он будет равен 6,67 мм, что согласуется с опытными данными (6-7 мм). Также установлена зависимость критической скорости капель дождя от диаметра капли и коэффициента сопротивления движению капли, а также допустимая интенсивность дождя при различных уклонах и для различных сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: орошение, дождевание, эффективность, интенсивность, эрозия, моделирование, капля, параметр, размер

Для цитирования. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Шекихачева Л. З. Моделирование эрозионных процессов при искусственном дождевании // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 3(41). С. 102–112.
doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-102-112

Original article

Simulation of erosion processes under artificial spinter

Aslan K. Apazhev¹, Yuri A. Shekikhachev^{✉2}, Luan M. Khazhmetov³,
Lyudmila Z. Shekikhacheva⁴

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik, Russia, 360030

¹kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

^{✉2}shek-fmep@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6300-0823>

³hajmetov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5830-4355>

⁴sh-ludmila-z@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

Abstract. The article considers the problem of reducing erosion processes during sprinkling of agricultural crops, taking into account the fact that for each soil there is a maximum allowable value of a single layer of precipitation, at which interruptions in sprinkling lead to an increase in the irrigation rate compared to continuous positional sprinkling. There are various designs of technical means for fine sprinkling. The most effective is synchronous pulse sprinkling, the principle of which is the accumulation of a certain volume of water in the accumulators of pulse sprinklers and its subsequent release under the action of compressed air. The principle of operation of pulse sprinklers and their design features predetermined not only the reliability of the process equipment, but also ensured the same operating parameters: splash volume, upper and lower pressure limits. To reduce erosion processes that may develop during sprinkling, it is necessary to investigate the kinematic parameters of artificial rain drops. The studies were carried out taking into account the fact that when a water drop moves in an air medium, pressure arises under the influence of air resistance, which acts only on the frontal surface of the moving drop. As according to Pascal's law, the pressure of a liquid in equilibrium is transmitted in all directions with the same force, the droplet is deformed. The drop is flattened until it separates. Based on the research, an expression was obtained for calculating the maximum diameter of an artificial rain drop. Calculations have shown that with a surface tension coefficient of 0.07286 N/m and a volumetric weight of water of 9810 N/m³, it will be equal to 6.67 mm, which is consistent with the experimental data (6-7 mm). The dependence of the critical speed of raindrops on the diameter of the drop and the coefficient of resistance to the movement of the drop, as well as the permissible intensity of rain at various slopes and for various crops, has also been established.

Keywords: irrigation, sprinkling, efficiency, intensity, erosion, modeling, drop, parameter, size

For citation. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Modeling of erosion processes during artificial sprinkling. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;3(41):102–112. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-102-112

Введение. Процесс эрозии почв как результат действия природно-антропогенных факторов приводит к деградации плодородного слоя, наносит значительный экологический и экономический ущерб. Чрезмерно интенсивное использование пахотных земель на склонах приводит к нарушению экологически сбалансированного соотношения площадей пашни, природных кормовых угодий, лесов и водоемов. Это негативно сказывается на устойчивости агроландшафтов и обуславливает значительную техногенную нагрузку на экосферу. Надежное количественное обоснование почвозащитного и противо-

эрозионного земледелия невозможно осуществить без детального определения параметров, влияющих на процессы эрозии с учетом фактической структуризации землевладений. Доминирующими факторами возникновения и интенсивности протекания водной эрозии являются свойства почв (структурно-агрегатное состояние, водопроницаемость, пористость) и морфологические характеристики рельефа (крутизна, кривизна, длина, форма, экспозиция склонов) [1–6].

Снижение качества почвы сельскохозяйственных земель и, как следствие, уменьшение количественных и качественных показате-

телей сельскохозяйственной продукции в значительной степени зависит от водно-эрозионных процессов. Сохранение и охрана почв, а также сбалансированное землепользование заключается в равновесии между антропогенной нагрузкой на почву и ее способностью к самовосстановлению [7].

Эрозионные процессы возникают и развиваются под влиянием как природных, так и социально-экономических факторов. Увеличение площадей эродированных земель является результатом роста антропогенной нагрузки на агроландшафты. В условиях интенсивного сельского хозяйства и повышенной распаханности сельскохозяйственных земель водная эрозия почв является одним из наиболее распространенных и опасных почвенно-деградационных процессов, что наносит большой экономический и экологический ущерб [8].

В связи с этим проблема водной эрозии почв исследуется многими учеными, что способствует разработке инновационных методов обработки и почвозащитных мер по снижению влияния эрозионных процессов на качество сельскохозяйственных земель и, как следствие, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и плодовых насаждений.

Для большинства плодовых пород содержание влаги в почве должно быть на уровне 70-80% НВ. Такое содержание влаги обеспечивается лишь в достаточно увлажненных районах с равномерным (оптимальным) распределением осадков в году или при искусственном орошении. При неравномерном выпадении осадков в году содержание влаги в почве резко снижается и потребность в орошении садов возникает даже в районах, где выпадает 650-750 мм осадков в год и более [9-12].

В садах с плотной посадкой требуется больше влаги, чем для обычных садов в связи с увеличением площади листовой поверхности и мелким залеганием корневой системы. Карликовые яблони расходуют 200-300 мм воды и столько же задерненные междурядья. Поэтому в течение вегетационного периода интенсивные сады требуют 600 мм воды и более.

Недостаток влаги во время цветения и завязывания плодов приводит к их сильному осыпанию, а летом и ранней осенью – к

преждевременному опаданию листьев. В результате уменьшения ассимилирующей площади листьев плоды не достигают оптимального размера и высокого качества [6-8]. Поэтому в интенсивных садах необходимо применять искусственное орошение.

Специфические условия склонов усложняют организацию и ведение орошаемого земледелия, прежде всего из-за водной эрозии почв [9-12]. Поэтому для предотвращения эрозии почв при дождевании склоновых земель большое значение имеет правильный подбор характеристик искусственного дождя.

Цель исследования – снижение эрозионных процессов при дождевании путем установления оптимальных характеристик искусственного дождя.

Материалы, методы и объекты исследования. Объекты исследования – почвы Кабардино-Балкарской Республики, технические средства для дождевания. Исследования базируются на результатах анализа методов оценки экологического состояния почв, результатов агроэкомониторинга на основе изучения и обобщения статистических материалов. Исследования проведены на фильтрационных площадках в полевых и лабораторных условиях.

Результаты исследования. На основе математической обработки экспериментальных данных для легких песчано-глинистых почв при среднем слое дождя 0,28-0,35 мм на покрытом травой участке установлена следующая зависимость:

$$z = 0,5x + 6,1y + 0,2i - 4,3, \quad (1)$$

где:

z – поверхностный сток, мм;

x – увлажнение почвенного слоя 0-20 см, %;

y – интенсивность дождя, мм/мин;

i – уклон поверхности участка, град.

Зависимость действительна в пределах $4\% < x < 16\%$, $0,1 \text{ мм/мин} < y < 1,3 \text{ мм/мин}$, $0,5^\circ < i < 17,5^\circ$.

Результаты исследований подтверждают значительную почвозащитную роль многолетних трав на склонах. Если на засеянных травами участках количество вымываемой почвы не превышало 0,06-0,1 т/га, то на незасеянных оно достигало 18,8 т/га.

На основе проведенных исследований установлена допустимая интенсивность искусственного дождя (табл. 1).

На величину допустимой интенсивности дождя оказывают влияние несколько факто-

ров: структура, влажность и механический состав почвы, растительный покров, обработка почвы, техника и технология орошения, уклон поливного участка, диаметр капель, продолжительность дождевания и др.

Таблица 1. Допустимая интенсивность дождя в зависимости от уклона, вида почвы и наличия сельскохозяйственных культур, мм/мин

Table 1. Permissible rain intensity for various slopes and for various crops, mm/min

Уклон поверхности		Песчаные почвы		Глинисто-песчаные почвы	
градусы	%	с культурой	без культуры	с культурой	без культуры
0,1-1	0-2	1,2-0,8	0,8-0,5	0,36-0,45	0,42-0,2
1,1-3,0	2-5	0,75-0,42	0,5-0,32	0,42-0,35	0,2-0,17
3,0-6,0	5-10	0,42-0,25	0,32-0,2	0,35-0,2	0,17-0,1
6,0-9,0	10-16	0,25-0,2	0,2	0,2-0,12	0,1
9,01-12,0	16-21	0,2-0,1	–	0,12-0,08	–
св. 12,0	св. 21	0,1	–	–	–

На основе анализа экспериментальных данных в [9] установлена зависимость для определения допустимой интенсивности дождя в соответствии с почвенными условиями и с уклоном орошаемого участка:

$$K_t = \frac{K_p K_o (1 - \sin^\gamma \beta)}{t^\alpha}, \quad (2)$$

где:

K_t – коэффициент, характеризующий скорость впитывания, соответствующую интенсивности дождя и продолжительности полива без стока;

K_p – коэффициент, характеризующий интенсивность дождя (0,85-1,25);

K_o – скорость впитывания в конце первой минуты при уклоне 0^0 (7,2-12,0);

α и γ – степенные показатели, полученные экспериментальным путем и характеризующие водно-физические свойства почвы ($\alpha = 0,7 - 0,84$; $\gamma = 0,46 - 0,66$);

β – уклон поливного участка, град.

Исследования показали, что при прекращении дождевания через 10 мин скорость впитывания воды увеличивается, по меньшей мере, в 1,25 раза, а при прекращении через 60 мин – в 2 раза.

Для оценки качества искусственного дождя вводится еще одна характеристика: коли-

чество капель в единице объема, занимаемого искусственным дождем. Отсюда выводится основной закон дождевания, в котором взаимодействуют основные параметры искусственного дождя: объем дождевого облака V , объем воды, содержащейся в этом облаке V_e , интенсивность искусственного дождя i_d и скорость падения дождевых капель V_k , т. е.

$$\frac{V_e}{V} = \frac{i_d}{V_k}. \quad (3)$$

Скорость падения капель дождя у струйных аппаратов определяется по методике [13]. В данной работе приводится графическая зависимость относительной скорости падения капли $\frac{V_k}{V_n}$ от относительной высоты

$\frac{y'}{H_n}$ для различных чисел Рейнольдса (или диаметра капель), с использованием которой определяется скорость падения капель для струйных насадок в трех точках: в начале, середине и в конце радиуса действия.

Диаметр капли и высота ее падения определяются опытным путем. Предельная скорость свободного падения капель находится в зависимости от диаметра капли:

- при $d_k = 0,1$ мм:

$$V_n = 3,2 \cdot 10^5 d_k; \quad (4)$$

- при $0,1 < d_k < 0,15$ мм:

$$V_n = 3,9 \cdot 10^3 d_k; \quad (5)$$

- при $0,5 < d_k < 3,0$ мм:

$$V_n = 4 \cdot 10^3 d_k. \quad (6)$$

Предельная высота падения определяется по формуле:

$$H_n = \frac{V_n^2}{2g}, \quad (7)$$

где:

g – ускорение свободного падения, м/с².

Для капель, падающих в начале радиуса орошаемого круга, скорость падения равна скорости витания и определяется по выражениям (4)-(6).

Скорость падения в конце струи можно рассчитать на основе графической зависимости:

$$\frac{V_o}{V_k} = f\left(\frac{H_o}{D_o}\right), \quad (8)$$

где:

V_o – скорость струи в сжатом сечении, м/с;

V_k – скорость падения концевых капель дождя, м/с;

H_o – напор в сжатом сечении струи, м;

D_o – диаметр струи в сжатом сечении, м.

Диаметр сжатого сечения струи находится по формуле:

$$D_o = D_c \left(1 - 0,16 \sin \frac{\alpha}{2}\right), \quad (9)$$

где:

D_c – диаметр сопла дождевального аппарата, м;

α – угол конусности сопла, град.

Напор в сжатом сечении струи рассчитывается по формуле:

$$H_o = \frac{2}{g} \left(\frac{2Q}{\pi D_c^2}\right)^2, \quad (10)$$

где:

Q – расход воды дождевального аппарата, м³/с.

Скорость струи в сжатом сечении определяется по напору:

$$V_o = \sqrt{2gH_o}. \quad (11)$$

Для оценки качества дождя необходимо знать давление дождя по напору. Его можно рассчитать по выражению:

$$P = i_o \frac{\gamma_{воды}}{g} V_k, \quad (12)$$

где:

$\gamma_{воды}$ – удельная масса воды, кг/(с²·м²).

Динамическое воздействие капель дождя оценивается критерием силы удара капель:

$$P_k = \rho_{воды} \frac{\pi V_3}{6} V_k d_k, \quad (13)$$

где:

$\rho_{воды}$ – плотность воды, кг/м³;

V_3 – скорость распространения звука в воде, м/с.

Важным параметром являются максимальные возможные размеры капель дождя, образующихся при распаде дождевальной струи.

Всякое тело, падая в атмосфере, движется сначала с ускорением, а затем с постоянной скоростью. Движение с постоянной скоростью начинается с того момента, когда сила сопротивления воздуха становится равной весу тела. Пусть мы имеем каплю радиусом r (рис. 1).

Дадим радиусу капли приращение dr , и тогда можно записать уравнение равновесия в виде:

$$PdV = \alpha dS, \quad (14)$$

где:

P – давление внутри капли, Н/м²;

dV – приращение объема капли, м³;

dS – приращение поверхности капли, м²;

α – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Объем капли, имеющей шарообразную форму, равен:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3. \quad (15)$$

Продифференцируем объем капли по радиусу и после несложных преобразований получим:

$$\frac{dV}{dr} = 4\pi r^2. \quad (16)$$

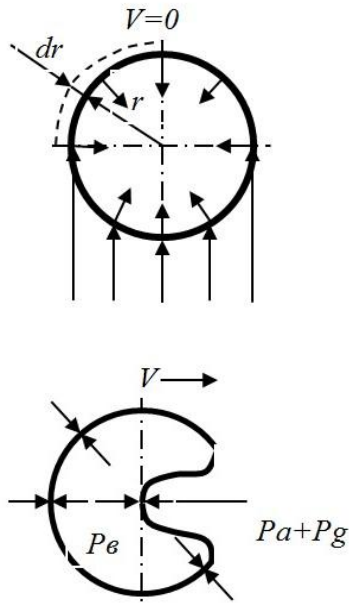


Рисунок 1. Схема сил, действующих на каплю
Figure 1. Scheme of forces acting on a drop

Следовательно,

$$dV = 4\pi r^2 dr. \quad (17)$$

Лобовая поверхность капли равна:

$$S = 4\pi r^2. \quad (18)$$

Продифференцируем лобовую поверхность по радиусу капли и после несложных преобразований получим:

$$\frac{dS}{dr} = 8\pi r. \quad (19)$$

Отсюда

$$dS = 8\pi r dr. \quad (20)$$

Подставим полученные приращения капли по объему dV и лобовой поверхности dS из уравнений (17) и (20) в уравнение (14) и после несложных математических преобразований получим:

$$P = \frac{2\alpha}{r}. \quad (21)$$

При движении капли воды в воздушной среде под влиянием сопротивления воздуха возникает давление, которое действует только на лобовую поверхность движущейся капли. Поскольку по закону Паскаля давление

жидкости, находящейся в равновесии, передается во всех направлениях с одинаковой силой, то происходит деформация капли. Капля расширяется в сторону, вдавливаясь своей передней частью, вплоть до ее разделения (рис. 1).

После образования двух новых капель можно записать зависимость:

$$P_g \geq P_в - P_a = \frac{2\alpha}{r}, \quad (22)$$

где:

P_g – действующее на каплю динамическое давление, Н/м², равно

$$P_g = \frac{R}{S}, \quad (23)$$

здесь

R – сопротивление воздуха, Н;

S – площадь лобовой поверхности, м²;

$P_в$ – внутреннее напряжение, Н/м²;

P_a – давление, вызванное сопротивлением воздуха, Н/м².

По закону Ньютона сопротивление воздуха равно

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho_{возд} V_k^2 S, \quad (24)$$

где:

C_x – коэффициент сопротивления движущейся капли;

$\rho_{возд}$ – плотность воздуха, кг/м³;

V_k – скорость движения капли, м/с.

Из приведенных уравнений (22)-(23) после некоторых математических преобразований получим:

$$V_k = \sqrt{\frac{4\alpha}{r\rho_в C_x}}. \quad (25)$$

Плотность воздуха можно рассчитать по формуле:

$$\rho_в = \frac{\gamma_{возд}}{g}, \quad (26)$$

где:

$\gamma_{возд}$ – объемный вес воздуха, Н/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с².

С учетом (26) выражение (25) примет окончательный вид:

$$V_k = \sqrt{\frac{8g\alpha}{d_k \gamma_{\text{возд}} C_x}} \quad (27)$$

Кроме того, скорость движения капли определяется из равенства

$$G = R, \quad (28)$$

где:

G – вес капли, Н, рассчитываемый по выражению

$$G = \frac{4}{3} \pi r^3 \gamma_{\text{воды}}, \quad (29)$$

где:

$\gamma_{\text{воды}}$ – объемный вес воды, Н/м³;

R – сопротивление воздуха, Н, рассчитываемое по выражению

$$R = \frac{1}{2} \pi r^2 \gamma_{\text{возд}} C_x V_k^2 \quad (30)$$

Из выражения (30) имеем

$$V_k = \sqrt{\frac{4\gamma_{\text{воды}} d_k g}{3\gamma_{\text{возд}} C_x}} \quad (31)$$

Из выражений (27) и (31) получим выражение для расчета максимального диаметра капли дождя:

$$d_{k,max} = \sqrt{\frac{6\alpha}{\gamma_{\text{воды}}}} \quad (32)$$

Если принять, что $\alpha = 0,07286$ Н/м, $\gamma_{\text{воды}} = 9810$ Н/м³ из выражения (32) получим, что $d_{k,max} = 6,67$ мм.

По данным опытов, максимальные диаметры капель дождя варьируют в пределах 6-7 мм, что хорошо согласуется с полученными результатами. На основании этого можно отметить, что принятое допущение о равенстве давления в капле давлению встречного потока воздуха при ее падении является верным.

Построен график зависимости критической скорости капель дождя от диаметра капли и коэффициента сопротивления движению капли, который приведен на рисунке 2.

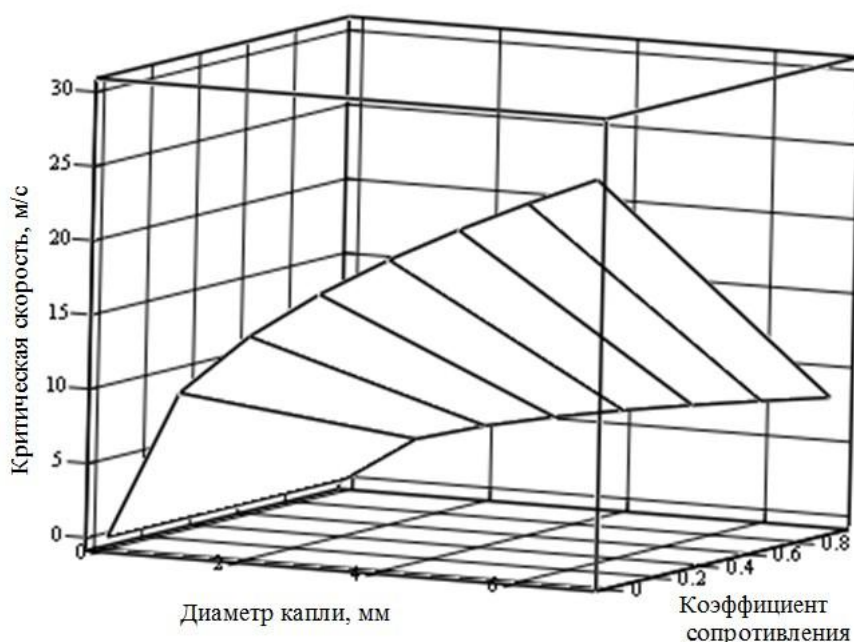


Рисунок 2. Зависимость критической скорости капель дождя от диаметра капли и коэффициента сопротивления движению капли

Figure 2. Dependence of the critical speed of raindrops on the diameter of the drop and the coefficient of resistance to the movement of the drop

Выводы. На основании проведенных исследований получено выражение для расчета максимального диаметра капли искусственного дождя. Расчеты показали, что при ко-

эффициенте поверхностного натяжения 0,07286 Н/м и объемном весе воды 9810 Н/м³ он будет равен 6,67 мм, что согласуется с опытными данными (6-7 мм).

Установлена зависимость критической скорости капель дождя от диаметра капли и коэффициента сопротивления движению капли, а также допустимая интенсивность дождя при различных уклонах и для различных сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Бербеков В. Н., Бакуев Ж. Х., Бишенов Х. З., Канаметова А. В., Кучмезов Х. И. Интенсивные сады яблони на террасированных склонах // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России: сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2019. С. 375–377.
2. Бербеков В. Н., Бакуев Ж. Х., Бишенов Х. З., Кучмезов Х. И. Продуктивность интенсивных садов яблони различных конструкций в Кабардино-Балкарской Республике // Центральный научный вестник. 2018. Т. 3. № 6(47). С. 38–41.
3. Сатибалов А. В., Бакуев Ж. Х., Бишенов Х. З., Кучмезов Х. И. Продуктивность интенсивных садов яблони на террасированных склонах // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник докладов по Материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 60-летию ФГБНУ «Адыгейский НИИСХ». Адыгейский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. Майкоп, 2021. С. 466–468.
4. Бакуев Ж. Х., Быстрая Г. В., Бишенов Х. З., Шидакова З. М. Элементы органического сельского хозяйства в садоводстве для получения экологически чистой плодовой продукции // Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность: материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Заслуженного деятеля науки РФ, КБР, Республики Адыгея, профессора Б. Х. Фиапшева. 2020. С. 6–12.
5. Бакуев Ж. Х., Сатибалов А. В., Алиев И. Н. Эффективность возделывания интенсивных шпалерно-карликовых садов яблони в Кабардино-Балкарской Республике // Актуальные проблемы и перспективы развития сельского хозяйства Юга России: сборник докладов по материалам Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). Майкоп, 2019. С. 372–375.
6. Апажев А. К., Шогенов Ю. Х., Шекихачев Ю. А. Основные направления инновационного развития садоводства в Кабардино-Балкарской Республике // Разработка и применение наукоемких технологий в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2022. С. 118–121.
7. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Разработка альтернативных экологически безопасных энерго-сберегающих механизированных технологий выращивания сельскохозяйственных культур // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2022. С. 113–115.
8. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 81–89.
9. Apazhev, A.K., Shekikhachev, Y.A., Hazhmetov, L.M., Shekikhacheva, L.Z. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1889(3), 032033. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/3/032033/pdf>.
10. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Инновационные технологии и техника орошения садов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2021. № 1(31). С. 73–79.
11. Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Губжоков М. А. Организация поливных работ в садах // Интеграция научных исследований в решении региональных экологических и природоохранных проблем: материалы научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. Рязань. 2020. С. 133–138.
12. Хажметов Л. М., Фиапшев А. Г., Шекихачева Л. З. Анализ способов орошения плодовых насаждений // Актуальные вопросы современных исследований: материалы Международной (заочной) научно-практической конференции. Научно-издательский центр «Мир науки». 2018. С. 107–110.

13. Рыжко Н. Ф., Гуркин Е. И., Емельянов Ю. А. Оценка и расчет равномерности полива дождевальных аппаратов и дефлекторных насадок // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2009. № 3. С. 41–45.

References

1. Berbekov V.N., Bakuev Zh.Kh., Bishenov Kh.Z., Kanametova A.V., Kuchmezov Kh.I. Intensive apple orchards on terraced slopes. *Aktual'nyye problemy i perspektivy razvitiya sel'skogo khozyaystva Yuga Rossii. Sbornik dokladov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [In the collection: Actual problems and prospects for the development of agriculture in the South of Russia. Collection of reports based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)]. Maykop, 2019. Pp. 375–377. (In Russ.)

2. Berbekov V.N., Bakuev Zh.Kh., Bishenov Kh.Z., Kuchmezov Kh.I. Productivity of intensive gardens of yabloni of various structures in the Kabardino-Balkarian Republic. *Central science bulletin*. 2018;3(6):38–41. (In Russ.)

3. Satibalov A.V., Bakuev Zh.Kh., Bishenov Kh.Z., Kuchmezov Kh.I. Productivity of intensive apple orchards on terraced slopes. *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu. Sbornik dokladov po Materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem), posvyashchennoy 60-letiyu FGBNU «Adygeyskiy NIISKh»*. Adygeyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva [In the collection: Agrarian science for agriculture. Collection of reports based on the Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation), dedicated to the 60th anniversary of the Adyge Research Institute of Agriculture. Adyge Research Institute of Agriculture]. Maykop, 2021. Pp. 466–468. (In Russ.)

4. Bakuev Zh.Kh., Bystraya G.V., Bishenov Kh.Z., Shidakova Z.M. Elements of organic agriculture in horticulture for obtaining environmentally friendly fruit products. *Selskokhozyaystvennoe zemlepolzovanie i prodovolstvennaya bezopasnost. Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati Zasluzhennogo deyatelya nauki RF, KBR, Respubliki Adygeya, professora B.Kh. Fiapsheva* [In the collection: Agricultural land use and food security. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the Honored Scientist of the Russian Federation, the KBR, the Republic of Adygea, Professor B.Kh. Fiapshev]. 2020. Pp. 6–12. (In Russ.)

5. Bakuev Zh.Kh., Satibalov A.V., Aliev I.N. Efficiency of cultivation of intensive trellis-dwarf apple orchards in the Kabardino-Balkarian Republic. *Aktualnye problemy i perspektivy razvitiya sel'skogo khozyaystva Yuga Rossii. Sbornik dokladov po materialam Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem)* [In the collection: Actual problems and prospects for the development of agriculture in the South of Russia. Collection of reports based on the materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation)]. Maykop, 2019. Pp. 372–375. (In Russ.)

6. Apazhev A.K., Shogenov Yu.Kh., Shekikhachev Yu.A. The main directions of innovative development of horticulture in the Kabardino-Balkarian Republic. *Razrabotka i primeneniye naukoemkikh tekhnologiy v stroitelstve, prirodoobustroytve i mekhanizatsii selskokhozyaystvennogo proizvodstva. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [In the collection: Development and application of high technologies in construction, environmental management and mechanization of agricultural production. Collection of scientific works of the All-Russian (national) scientific-practical conference]. Nalchik, 2022. Pp. 118–121. (In Russ.)

7. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Development of alternative environmentally safe energy-saving mechanized technologies for growing agricultural crops. *Innovatsionnye resheniya v stroitelstve, prirodoobustroytve i mekhanizatsii selskokhozyaystvennogo proizvodstva. Sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii* [In the collection: Innovative solutions in construction, environmental management and mechanization of agricultural production. Collection of scientific works of the All-Russian (national) scientific-practical conference]. Nalchik, 2022. Pp. 113–115. (In Russ.)

8. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Optimizing the functioning of agricultural production systems. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):81–89. (In Russ.)

9. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1889(3), 032033. DOI: 10.1088/1742-6596/1889/3/032033.

URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1889/3/032033/pdf>.

10. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Innovative technologies and garden irrigation technology. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2021;1(31):73–79. (In Russ.)

11. Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Gubzhokov M.A. Organization of irrigation work in gardens. *Integratsiya nauchnykh issledovaniy v reshenii regionalnykh ekologicheskikh i prirodookhrannykh problem. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [In the collection: Integration of scientific research in solving regional environmental and environmental problems. Materials of the scientific-practical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]. Ryazan. 2020. Pp. 133–138. (In Russ.)

12. Khazhmetov L.M., Fiapshev A.G., Shekikhacheva L.Z. Analysis of irrigation methods for fruit plantations. *Aktualnye voprosy sovremennykh issledovaniy. Materialy Mezhdunarodnoy (zaочноy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Nauchno-izdatelskiy tsentr «Mir nauki»* [In the collection: Topical issues of modern research. Materials of the International (correspondence) scientific-practical conference. Scientific Publishing Center «World of Science»]. 2018. Pp. 107–110. (In Russ.)

13. Ryzhko N.F., Gurkin Ye.I., Yemelyanov Yu.A. Valuing and calculation of the watering steadiness of the sprinkler and deflector nozzles. *Bulletin of Saratov state agrarian university in honor of N.I. Vavilov*. 2009;(3):41–45. (In Russ.)

Сведения об авторах

Апажев Аслан Каральбиевич – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Хажметов Луан Мухажевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522, Researcher ID: AAU-4007-2019

Шекихачева Людмила Зачиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 6853-7172, Author ID: 480041, Scopus ID: 57211228810, Researcher ID: AAF-8391-2019

Information about the authors

Aslan K. Apazhev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959, Researcher ID: H-4436-2016

Yuri A. Shekikhachev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 4107-1360, Author ID: 480039, Scopus ID: 57205029899, Researcher ID: AAE-3244-2019

Luan M. Khazhmetov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 6145-0808, Author ID: 728417, Scopus ID: 57205436522 Researcher ID: AAU-4007-2019

Ludmila L. Shekikhacheva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 6853-7172, Author ID: 480041, Scopus ID: 57211228810, Researcher ID: AAF-8391-2019

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 11.07.2023;
одобрена после рецензирования 21.07.2023;
принята к публикации 28.07.2023.*

*The article was submitted 11.07.2023;
approved after reviewing 21.07.2023;
accepted for publication 28.07.2023.*