

Научная статья

УДК 631.334

doi: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-82-90

## Обоснование траектории движения частицы почвы при технологии внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений

Таслим Султанбекович Байбулатов<sup>✉1</sup>, Муслим Гайирбекович Абдулнатипов<sup>2</sup>,  
Юсуп Гишиевич Юсупов<sup>3</sup>, Тимур Таслимович Байбулатов<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup> Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джамбулатова,  
ул. М. Гаджиева, 180, Махачкала, Россия, 367032

<sup>3</sup> Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (Махачка-  
линский филиал), проспект А. Акушинского, 13, Махачкала, Россия, 367026

<sup>✉1</sup> baitaslim@yandex.ru

<sup>2</sup> abdulnatipovm@mail.ru

<sup>3</sup> yusup022777@mail.ru

<sup>4</sup> baibulatov001@mail.ru

**Аннотация.** В статье показана эффективность применения технологии внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений (ЖОУ), которая является перспективной и способствует лучшему размещению их в почве, расширению зоны и периода их действия и сохранению окружающей среды. Для реализации данной технологии предлагается использовать культиваторные лапы, под крыльями которых установлены распыливающие наконечники. Технологический процесс заключается в следующем: при движении культиваторной лапы слой почвы подрезается и временно поднимается, куда в этот момент впрыскивается раствор ЖОУ, после чего поднятый слой почвы опускается, насыщаясь распыленным раствором удобрений и закрывая его собой сверху. Теоретически обоснована траектория движения почвенной частицы, сходящей с крыла лапы, с учетом сопротивления воздуха и дополнительно установленной направляющей пластины при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений. Определены уравнения движения или математическая модель движения траектории движения частицы почвы, сошедшей с направляющей пластины, с учетом сопротивления воздуха. Полученные уравнения характеризуют величину зоны воздействия ЖОУ на почву при их подаче под поднятый слой почвы, по которым можем определить необходимые значения и параметры внесения жидких удобрений, которые обеспечат качественное и равномерное их распределение во временно незаполненной почвой зоне.

**Ключевые слова:** внутрипочвенное внесение, траектория, частица почвы, культиваторная лапа, жидкие органические удобрения, уравнение движения

**Для цитирования.** Байбулатов Т. С., Абдулнатипов М. Г., Юсупов Ю. Г., Байбулатов Т. Т. Обоснование траектории движения частицы почвы при технологии внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024. № 2 (44). С. 82–90. doi: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-82-90

Original article

## Justification of a soil particle trajectory in the technology of subsoil application of liquid organic fertilizers

Taslim S. Baybulatov<sup>✉1</sup>, Muslim G. Abdulnatipov<sup>2</sup>, Yusup G. Yusupov<sup>3</sup>,  
Timur T. Baybulatov<sup>4</sup>

<sup>1,2,4</sup>Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatova, 180 M. Gadzhieva Street,  
Makhachkala, Russia, 367032

<sup>3</sup>Moscow Automobile and Highway State Technical University (Makhachkala branch), 13  
A. Akushinsky Avenue, Makhachkala, Russia, 367026

<sup>✉1</sup>baitaslim@yandex.ru

<sup>2</sup>abdulnatipovm@mail.ru

<sup>3</sup>yusup022777@mail.ru

<sup>4</sup>baibulatov001@mail.ru

**Abstract.** The article shows the effectiveness of using the technology of subsoil application of liquid organic fertilizers (LOU), which is promising and contributes to their better distribution in the soil, expanding the zone and period of their action and preserving the environment. To implement this technology, it is proposed to use cultivator blades under which the pulverizers are installed. The technological process is as follows: when the cultivator blade moves, the soil layer is cut and temporarily raised, where at this moment the LOC solution is spread, after which the raised soil layer is lowered, saturated with the sprayed fertilizer solution and covering it from above. The trajectory of movement of a soil particle falling from the cultivator blade is theoretically justified, taking into account air resistance and an additionally installed guide plate, during subsoil application of liquid organic fertilizers. The equations of motion or a mathematical model of the motion of the trajectory of a soil particle falling from the guide plate are determined, taking into account air resistance. The resulting equations characterize the size of the zone of influence of liquid fertilizers on the soil when they are applied under a raised layer of soil, from which we can determine the necessary values and parameters for applying liquid fertilizers, which will ensure their high-quality and uniform distribution in a zone temporarily unfilled with soil.

**Keywords:** subsoil application, trajectory, soil particle, cultivator blade, liquid organic fertilizers, equation of motion.

**For citation.** Baybulatov T.S., Abdulnatipov M.G., Yusupov Yu.G., Baybulatov T.T. Justification of a soil particle trajectory in the technology of subsoil application of liquid organic fertilizers. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2024;2(44):82–90. (In Russ.).  
doi: 10.55196/2411-3492-2024-2-44-82-90

**Введение.** Прикорневое внесение удобрений способствует обогащению почвы элементами питания, необходимыми для роста и развития картофеля, а также повышают выносливость и устойчивость растения к различным заболеваниям.

Для прикорневого внесения применяются органические и минеральные удобрения, а внесение проводится поверхностным и внутрипочвенным способами. Первое проводится разбрасыванием удобрений по поверхности почвы и применяется чаще всего для культур

сплошного сева (зерновых). Внутрипочвенное внесение осуществляется путем распределения удобрений в корнедоступный почвенный слой [1–5]

Поэтому внутрипочвенное внесение жидких удобрений, особенно в корнедоступный слой почвы, имеет огромное значение для получения высоких и качественных урожаев сельскохозяйственных культур, в частности, и для картофеля [6–8].

Как показывают результаты исследований многих ученых, совмещение агротехниче-

ских операций показывает высокую энергетическую и экономическую эффективность [3, 4, 9–14].

С учетом вышеизложенного, мы предлагаем совмещать внутрпочвенное внесение жидких органических удобрений с посадкой картофеля.

**Цель исследования** – обоснование траектории движения частицы почвы после схода с крыла культиваторной лапы с целью определения временно не заполненной почвой зоны для внесения жидких удобрений.

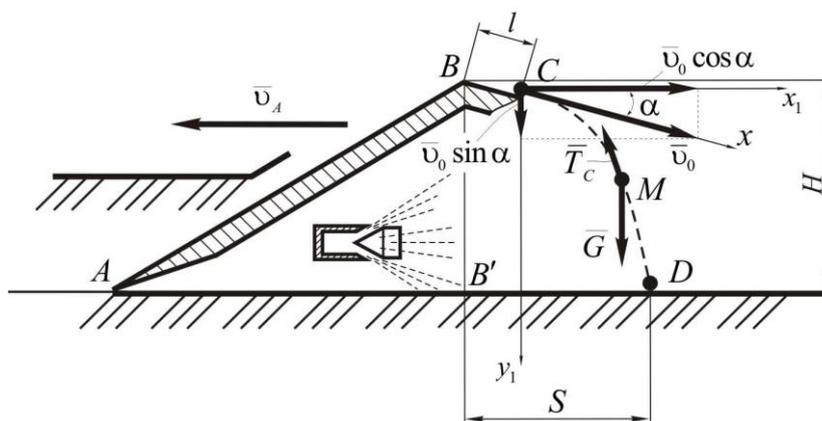
**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использована культиваторная лапа. При интегрировании дифференциальных уравнений использован метод Эйлера. Результаты расчета параметров траектории движения частицы почвы обработаны с помощью пакета прикладных программ «Statistica-5.0».

**Результаты исследования.** Технология прикорневого внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений (ЖОУ) является перспективным направлением, которое способствует лучшему размещению их в

почве, расширению зоны и периода действия ЖОУ, сохранению окружающей среды и, как следствие, повышению эффективности их применения.

Для реализации данной технологии мы предлагаем использовать культиваторные лапы, под крыльями которых установлены распыливающие наконечники. Технологический процесс заключается в следующем: при движении культиваторной лапы слой почвы подрезается и временно поднимается, куда в этот момент впрыскивается раствор ЖОУ, после чего поднятый слой почвы опускается, насыщаясь распыленным раствором ЖОУ и закрывая его собой сверху.

При движении культиваторной лапы на глубине  $H$  со скоростью  $v_A$  частица почвы, сходящая с крыла, совершает траекторию, образуя между основанием почвы и траекторией полета временно незаполненную зону, в которую необходимо подавать раствор ЖОУ (рис. 1). С целью увеличения зоны воздействия ЖОУ на почву, на тыльных обрезках лап нами приварены направляющие пластины с шириной  $l$ , под углом к горизонту  $\alpha = \varphi$ , где  $\varphi$  – угол трения почвы по стали ( $\varphi = 20 - 42^\circ$ ) [15].



**Рисунок 1.** Схема определения траектория полета частицы почвы, сходящей с культиваторной лапы с направляющей пластиной  
**Figure 1.** Scheme for determining the flight path of a soil particle falling from the cultivator blade with a guide plate

Длина зоны воздействия  $B'D$  ЖОУ на почву определяется построением траектории движения частицы почвы, находящейся в свободном падении при сходе с наклонной направляющей пластины.

Пусть вектор скорости частицы почвы, сходящей по направляющей пластины, –  $\bar{v}_x$  и отклонен на угол  $\alpha = \varphi$  от горизонтали. Конечное значение скорости  $v_x = g (\sin \alpha - f \cos \alpha) t$  принимаем как на-

чальную скорость частицы почвы при свободном падении  $v_0$ : при  $t = 0$ ;  $v_0 = v_x$ .

Для определения свободного падения частицы почвы принимаем систему координат  $x_1Cy_1$  (рис. 1).

Проекция начальной скорости частицы  $v_0$  будут:

$$v_{0x_1} = v_0 \cos \alpha \text{ и } v_{0y_1} = v_0 \sin \alpha.$$

Представим частицу почвы  $M$  во время её свободного движения, в промежуточном положении, условно изобразив её на траектории движения.

К частице  $M$  приложим силу тяжести  $\bar{G}$  и силу сопротивления воздуха  $\bar{T}_C$ , направив её по касательной к траектории в сторону, противоположную движению. В рассматриваемом случае скорость лапы сравнительно незначительна (до 10 м/с), поэтому принимаем линейный закон сопротивления воздуха:

$$T_C = -k_{\pi} m v,$$

где:

$k_{\pi}$  – постоянный коэффициент с размерностью  $c^{-1}$ ;

$m$  – масса частицы, кг;

$v$  – скорость частицы, м/с.

Составим дифференциальное векторное уравнение движения частицы почвы после схода с крыла лапы:

$$m\bar{a} = \bar{G} + \bar{T}_C$$

Проецируем на оси  $x_1$  и  $y_1$ :

$$m\ddot{x}_1 = -mk_{\pi}v_{x_1} \quad (1)$$

$$m\ddot{y}_1 = mg - mk_{\pi}v_{y_1} \quad (2)$$

Решаем уравнение (1), освободившись от  $m$ :

$$\ddot{x}_1 = -k_{\pi}v_{x_1} \quad (3)$$

Заменяем  $\ddot{x}_1$  через  $\frac{dv_{x_1}}{dt}$ , тогда уравнение

(3) примет вид:

$$\frac{dv_{x_1}}{dt} = -k_{\pi}v_{x_1} \text{ или } dv_{x_1} = -k_{\pi}v_{x_1} dt.$$

Перегруппировав переменные, интегрируем:

$$\int \frac{dv_{x_1}}{v_{x_1}} = -\int k_{\pi} \cdot dt,$$

$$\ln v_{x_1} = -k_{\pi}t + C_1 \quad (4)$$

Определяем постоянную интегрирования  $C_1$ , приняв начальные условия: при  $t=0$ ,  $v_{0x_1} = v_0 \cos \alpha$ . Тогда  $C_1 = \ln v_0 \cos \alpha$  и уравнение (4) примет вид:

$$\ln v_{x_1} = -k_{\pi}t + \ln v_0 \cos \alpha \text{ т.е.}$$

$$\ln v_{x_1} - \ln v_0 \cos \alpha = -k_{\pi}t$$

или

$$\ln \frac{v_{x_1}}{v_0 \cos \alpha} = -k_{\pi}t \quad (5)$$

Потенцируя выражение (5) получаем:

$$e^{-k_{\pi}t} = \frac{v_{x_1}}{v_0 \cos \alpha} \text{ или}$$

$$v_{x_1} = v_0 \cos \alpha \cdot e^{-k_{\pi}t}. \quad (6)$$

Преобразуя выражение (6) и вторично интегрируя, получим:

$$\begin{aligned} x_1 &= -\frac{v_0 \cos \alpha}{k_{\pi}} e^{-k_{\pi}t} + \frac{v_0 \cos \alpha}{k_{\pi}} = \\ &= \frac{v_0 \cos \alpha}{k_{\pi}} (1 - e^{-k_{\pi}t}) \end{aligned} \quad (7)$$

В уравнении (2), сокращаем на массу  $m$  и заменяем  $\ddot{y}_1$  выражением  $\frac{dv_{y_1}}{dt}$ , тогда получим:

$$\frac{dv_{y_1}}{dt} = g - k_{\pi}v_{y_1}$$

Разделим переменные и перегруппируем:

$$\frac{dv_{y_1}}{v_{y_1} - \frac{g}{k_{\pi}}} = -k_{\pi} dt \quad (8)$$

Проинтегрировав и преобразовав выражение (8), получим:

$$\begin{aligned} v_{y_1} - \frac{g}{k_{\pi}} &= \left( v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}} \right) e^{-k_{\pi} t} \text{ или} \\ v_{y_1} &= \frac{g}{k_{\pi}} + \left( v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}} \right) e^{-k_{\pi} t}. \end{aligned} \quad (9)$$

Заменяем  $v_{y_1}$  на  $\frac{d y_1}{d t}$ :

$$\frac{d y_1}{d t} = \frac{g}{k_{\pi}} + \left( v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}} \right) e^{-k_{\pi} t}. \quad (10)$$

Преобразуем уравнение (10) и, интегрируя, получим:

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{g}{k_{\pi}} t - \left( v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}} \right) \frac{1}{k_{\pi}} e^{-k_{\pi} t} + \\ &+ \left( v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}} \right) \frac{1}{k_{\pi}} \end{aligned} \quad (11)$$

или

$$y_1 = \frac{g}{k_{\pi}} t + \frac{v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}}}{k_{\pi}} \left( 1 - e^{-k_{\pi} t} \right). \quad (12)$$

Извлечем из уравнения (7) обозначим  $\left( 1 - e^{-k_{\pi} t} \right) = \frac{x_1 k_{\pi}}{v_0 \cos \alpha}$  и подставим в уравнение (12). В итоге получим:

$$y_1 = \frac{g}{k_{\pi}} t + \frac{v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}}}{k_{\pi}} \frac{k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} \quad (13)$$

Определим время полета  $t$  из уравнения (7), для чего выполним его перегруппировку:

$$\begin{aligned} e^{-k_{\pi} t} &= 1 - \frac{k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} = \frac{v_0 \cos \alpha - k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} = \\ &= \ln \frac{v_0 \cos \alpha - k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha}, \end{aligned}$$

отсюда:

$$t = -\frac{1}{k_{\pi}} \ln \frac{v_0 \cos \alpha - k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha}. \quad (14)$$

Подставив  $t$  из (14) в (13) получим:

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{g}{k_{\pi}} \left( -\frac{1}{k_{\pi}} \ln \frac{v_0 \cos \alpha - k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} \right) + \\ &+ \frac{v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}}}{k_{\pi}} \frac{k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} \end{aligned} \quad (15)$$

или

$$\begin{aligned} y_1 &= -\frac{g}{k_{\pi}^2} \ln \frac{v_0 \cos \alpha - k_{\pi} x_1}{v_0 \cos \alpha} + \\ &+ \frac{v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}}}{v_0 \cos \alpha}. \end{aligned} \quad (16)$$

Зависимость (16) представляет собой математическую модель траектории движения частицы почвы, сошедшей с направляющей пластины с учетом сопротивления воздуха.

Для определения уравнения, описывающего зону воздействия ЖОУ на почву по оси  $x_1$  при условии свободного падения частицы почвы с направляющей пластины, извлекаем из уравнений (7) и (12) скобку  $\left( 1 - e^{-k_{\pi} t} \right)$  и приравняем правые части:

$$\frac{x_1 k_{\pi}}{v_0 \cos \alpha} = \frac{\left( y_1 - \frac{g}{k_{\pi}} t \right) k_{\pi}}{v_0 \sin \alpha - \frac{g}{k_{\pi}}},$$

получим:

$$x_1 = \frac{v_0 \cos \alpha (k_{\pi} y_1 - g t)}{k_{\pi} v_0 \sin \alpha - g}.$$

При полном падении частицы почвы  $y_1 = h$ , где  $h = H - l \sin \alpha$ .

Получим общую длину зоны воздействия:

$$x_{1\max} = S_1 = \frac{v_0 \cos \alpha [k_{\pi} (H - l \sin \alpha) - g t]}{k_{\pi} v_0 \sin \alpha - g}.$$

Если учесть отклонение крыла лапы от осевой линии (направления движения) и ширину направляющей пластины  $l$ , то общая длина зоны воздействия будет:

$$S = S_1 \sin \gamma + l \cos \alpha$$

или

$$S = \frac{\nu_0 \cos \alpha [k_n (H - l \sin \alpha) - gt]}{k_n \nu_0 \sin \alpha - g \sin \gamma + l \cos \alpha} \quad (17)$$

где:

$\gamma$  – угол отклонения крыла лапы сошника от осевой линии, град.

**Заключение.** Полученные в результате проведенных исследований выражения (16) и (17) характеризуют величину зоны воздействия ЖОУ на почву при их подаче под поднятый слой почвы. По этим выражениям можем определить необходимые значения и параметры подачи ЖОУ, которые обеспечат качественное и равномерное их распределение во временно незаполненной почвой зоне.

### Список литературы

1. Технология внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений / М. Д. Абдулаев, М. Г. Исламов, Б. Г. Магарамов, Т. С. Байбулатов // Научное обозрение. 2015. № 24. С. 119–122. EDN: VOGMQP
2. Обоснование и результаты исследований технологии внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений / Т. С. Байбулатов [и др.] // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 1(33). С. 109–113. EDN: YTHUNDU
3. Результаты исследований прикорневого внесения жидких органических удобрений совместно междурядной обработкой картофеля / Т. С. Байбулатов, Б. И. Хамхоев, А. Х. Цечоева, З. Х. Хамхоева // Проблемы развития АПК региона. 2022. № 1(49). С. 15–22. DOI: 10.52671/20790996\_2022\_1\_15. EDN: YRIAFG
4. Совершенствование технологии внесения жидких органических удобрений. / Ш. Р. Гаджиев, А. М. Убайсов, М. Г. Исламов, Т. С. Байбулатов // Актуальные проблемы развития овощеводства и картофелеводства: сб. науч. тр. по материалам Региональной научно-практической конференции. Махачкала, 2017. С. 88–90. EDN: ZTFZZF
5. Хамхоев Б. И., Байбулатов Т. Т. Обоснование значения корневой подкормки при возделывании картофеля. // Инновационное развитие АПК: проблемы и перспективы кадрового обеспечения отрасли и внедрения достижений аграрной науки: сб. науч. тр. по материалам Международной научно-практической конференции. – Махачкала, 2021. С. 115–117. EDN: FAAHFL
6. Результаты внутрпочвенного внесения удобрений совместно с культивацией картофеля / Т. С. Байбулатов, Б. И. Хамхоев, М. Т. Цуров, Р. М. Байбулатова // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. №1 (17). С. 16–22. DOI: 10.52671/26867591\_2023\_1\_16. EDN: HLAWZD
7. Магомедов Н. Р., Сердеров В. К., Абдулаев М. Д. Эффективность применения минеральных удобрений под картофель в высокогорной провинции Дагестана // Проблемы развития АПК региона. 2016. № 3(27). С. 55–57. EDN: WXIQHD
8. Обоснование способов и качества внесения органических удобрений / А. М. Убайсов, М. Д. Абдулаев, М. Г. Абдулнатипов, Т. С. Байбулатов // Сборник материалов научных трудов Всероссийской научно-практической конференции. Махачкала, 2018. С. 226–230. EDN: YNTQAX
9. Baibulatov T.S. [et al.]. Justification of an effective method of potatoes harvesting. International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research. E3S Web of Conferences 285, 07031 (2021) July 06, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128507031>
10. Гаджиев Ш. Р., Байбулатов Т. С. Результаты влияния внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений на морфологические показатели развития растений картофеля. // Основные направления развития науки и образования в АПК: сб. науч. тр. Международной научно-практической конференции. Махачкала, 2018. С. 155–159. EDN: XRSHVR
11. Мусаев М.Р., Исаева А.Р. Влияние способов и доз внесения органических удобрений на биоресурсный потенциал картофеля в условиях предгорного Дагестана // Актуальные проблемы развития регионального АПК: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти профессора Джабаева Б. Р. Махачкала, 2014. С. 92–95.
12. Сердеров В.К., Ханбабаев Т.Г., Атамов Б.К., Алибулатов А.М. Инновационная технология возделывания картофеля в горной Провинции Дагестана // Инновационные технологии в АПК: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Махачкала, 2017. С. 115–120. EDN: ZDKVZZ

13. Убайсов А.М., Исламов М.Г., Байбулатов Т.С. Обоснование факторов, влияющих на ресурсосбережение при внесении жидких органических удобрений // Пути повышения эффективности аграрной науки в условиях импортозамещения: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Дагестанского государственного аграрного университета имени М. М. Джембулатова. Махачкала, 2017. С. 289–293. EDN: ZQZEZT

14. Хамхоев Б. И., Байбулатов Т. Т. Результаты исследований влияния давления на равномерность распределения жидких органических удобрений по ширине распыла // Инновационное развитие АПК: проблемы и перспективы кадрового обеспечения отрасли и внедрения достижений аграрной науки: материалы международной научно-практической конференции. Махачкала, 2021. С. 205–208. EDN: GAIGSC

15. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1977. 328 с.

### References

1. Abdulaev M.D. [et al.]. Technology of subsurface application of liquid organic fertilizers. *Scientific review*. 2015;24:119–122. (In Russ.). EDN: VOGMQP

2. Baibulatov T.S. [et al.]. Justification and results of research into the technology of subsurface application of liquid organic fertilizers. *Problemy razvitiya APK regiona*. – 2018;1(33):109–113. (In Russ.). EDN: YTUH DU

3. Baibulatov T.S. [et al.]. Results of studies of root application of liquid organic fertilizers together with inter-row processing of potatoes. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2022;1(49):15–22. (In Russ.). DOI: 10.52671/20790996\_2022\_1\_15. EDN: YRIAFG

4. Gadzhiev Sh.R., [et al.]. Improving the technology of applying liquid organic fertilizers. *Aktual'nyye problemy razvitiya ovoshchevodstva i kartofelevodstva: sbornik nauchnykh trudov po materialam Regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Current problems in the development of vegetable and potato growing: a collection of scientific papers based on the materials of the Regional Scientific and Practical Conference]. Makhachkala, 2017. Pp. 88–90. (In Russ.). EDN: ZTFZZF

5. Khamkhoev B.I., Baybulatov T.T. Rationale for root feeding in potato cultivation. *Innovatsionnoye razvitiye APK: problemy i perspektivy kadrovogo obespecheniya otrasli i vnedreniya dostizheniy agrarnoy nauki: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Innovative development of the agro-industrial complex: problems and prospects for staffing the industry and the introduction of achievements of agricultural science: a collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference]. Makhachkala, 2021. Pp. 115–117. (In Russ.). EDN: FAAHFL

6. Baibulatov T.S. [et al.]. Results of intersoil fertilization together with potato cultivation. *Dagestan GAU Proceedings*. 2023;1(17):16–22. (In Russ.). DOI: 10.52671/26867591\_2023\_1\_16. EDN: HLAWZD

7. Magomedov N.R., Serderov V.K., Abdulaev M.D. Efficiency of using mineral fertilizers for potatoes in the high-mountainous province of Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2016;3(27):55–57. (In Russ.). EDN: WXIQHD

8. Ubaisov A.M. [et al.]. Justification of methods and quality of applying organic fertilizers. *Sbornik materialov nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Collection of materials of scientific papers of the All-Russian Scientific-Practical Conference.]. Makhachkala, 2018. Pp. 226–230. (In Russ.). EDN: YNTQAX

9. Baibulatov T.S. [et al.]. Justification of an effective method of potatoes harvesting. *International Conference on Advances in Agrobusiness and Biotechnology Research*. E3S Web of Conferences 285, 07031 (2021) July 06, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128507031>

10. Gadzhiev Sh.R., Baybulatov T.S. Results of the influence of intrasoil application of liquid organic fertilizers on the morphological indicators of potato plant development. *Osnovnyye napravleniya razvitiya nauki i obrazovaniya v APK: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Main directions of development of science and education in the agro-industrial complex: collection of scientific papers of the International Scientific and Practical Conference]. Makhachkala, 2018. Pp. 155–159. (In Russ.). EDN: XRSHVR

11. Musaev M.R., Isaeva A.R. The influence of methods and doses of organic fertilizers on the bioresource potential of potatoes in the conditions of foothills of Dagestan. *Aktual'nyye problemy razvitiya regional'nogo APK: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora Dzhabayeva B.R.* [Current problems of development of the regional agro-industrial

complex: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference dedicated to the memory of Professor Dzhabaev B.R.]. Makhachkala, 2014. Pp. 92–95. (In Russ.)

12. Serderov V.K., Khanbabaev T.G., Atamov B.K., Alibulatov A.M. *Innovatsionnyye tekhnologii v APK: sbornik nauchnykh trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Innovative technology for cultivating potatoes in the mountainous Province of Dagestan] // Innovative technologies in the agro-industrial complex: collection of scientific papers of the All-Russian scientific and practical conference with international participation]. Makhachkala, 2017. Pp. 115–120. (In Russ.). EDN: ZDKVZZ

13. Ubaisov A.M., Islamov M.G., Baybulatov T.S. Justification of factors influencing resource saving when applying liquid organic fertilizers. *Puti povysheniya effektivnosti agrarnoy nauki v usloviyakh importozameshcheniya: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu Dagestanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni M. M. Dzhambulatova* [Ways to increase the efficiency of agricultural science in conditions of import substitution: collection of scientific papers of the International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov]. Makhachkala, 2017. Pp. 289–293. (In Russ.). EDN: ZQZEZT

14. Khamkhoev B.I., Baibulatov T.T. Results of studies of pressure effects on uniformity of distribution of liquid organic fertilizers over spray width. *Innovatsionnoye razvitiye APK: problemy i perspektivy kadrovogo obespecheniya otrasli i vnedreniya dostizheniy agrarnoy nauki: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative development of the agro-industrial complex: problems and prospects for staffing the industry and the introduction of achievements of agricultural science: materials of the international scientific and practical conference]. Makhachkala, 2021. Pp. 205–208. (In Russ.). EDN: GAIGSC

15. Sineokov G.N., Panov I.M. *Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin* [Theory and calculation of soil-cultivating machines]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1977. 328 p. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

**Байбулатов Таслим Султанбекович** – доктор технических наук, профессор кафедры технических систем и цифрового сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джембулатова», SPIN-код: 5745-5120

**Абдулнатипов Муслим Гайирбекович** – кандидат технических наук, доцент кафедры сельскохозяйственных машин и технологии конструкционных материалов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джембулатова», SPIN-код: 7139-2512

**Юсупов Юсуп Гишиевич** – аспирант, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта и дорожного хозяйства, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет» (Махачкалинский филиал), SPIN-код: 5327-1539

**Байбулатов Тимур Таслимович** – аспирант кафедры сельскохозяйственных машин и технологии конструкционных материалов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный аграрный университет имени М. М. Джембулатова»

#### Information about the authors

**Taslim S. Baybulatov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Systems and Digital Service, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, SPIN-code: 5745-5120

**Muslim G. Abdulnatipov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Machines and Technology of Structural Materials, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov, SPIN-code: 7139-2512

**Yusup G. Yusupov** – Post graduate, Senior Lecturer at the Department of Automotive Transport and Road Facilities, Moscow Automobile and Highway State Technical University (Makhachkala branch), SPIN-code: 5327-1539

**Timur T. Baybulatov** – Post graduate student of the Department of Agricultural Machines and Technology of Structural Materials, Dagestan State Agrarian University named after M.M. Dzhambulatov

---

**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 19.04.2024;  
одобрена после рецензирования 06.05.2024;  
принята к публикации 16.05.2024.*

*The article was submitted 19.04.2024;  
approved after reviewing 06.05.2024;  
accepted for publication 16.05.2024.*