

9. IMU-sensor na 10 stepeny svobody (Troyka-modul') [IMU-sensor for 10 degrees of freedom (Troyka-module)] Access mode: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:troyka-imu-10-dof> (Access date: 10.07.2020). (In Rus.)

Критерии авторства

Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 23.07.2020

Опубликована 30.10.2020

Contribution

V.V. Shutenko, N.V. Perevozchikova carried out theoretical studies, generalized the obtained results and wrote the manuscript. V.V. Shutenko, N.V. Perevozchikova have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on July 23, 2020

Published 30.10.2020

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 635.21:631.51:631.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20



СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

СТАРОВОЙТОВА ОКСАНА АНАТОЛЬЕВНА, канд. с.-х. наук¹

E-mail: agronir2@mail.ru

СТАРОВОЙТОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, докт. техн. наук¹

E-mail: agronir1@mail.ru

МАНОХИНА АЛЕКСАНДРА АНАТОЛЬЕВНА, докт. с.-х. наук²

E-mail: alexman80@list.ru

ЧАЙКА ВАЛЕРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА, аспирант¹

E-mail: agronir2@mail.ru

¹ Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В;

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

В условиях изменяющегося климата важной составляющей технологии возделывания картофеля становится создание устойчивого средообразующего пространства, в котором развивается клубневое гнездо за счет уплотнения верхнего слоя с сохранением оптимальной плотности внутри гряды. Предложено формирование многослойной разноплотностной гряды, устойчивой к разрушению при внешних и внутренних воздействиях в процессе возделывания картофеля. Гряда имеет плотный поверхностный слой и оптимальную плотность внутри гряды. При этом подразумевается использование влагосберегающих суперабсорбентов в качестве гасителей внутренних напряжений, возникающих при развитии клубневого гнезда, стеблей и корневой системы, приводящих к разрушению гряды и озеленению клубней. При решении поставленной задачи использовались методология системного анализа, классическая механика, теория механики грунтов, методы проведения лабораторно-полевых исследований. Сравнительные производственные испытания технологии возделывания картофеля по гребневым и грядовым технологиям показали, что качество уборки картофеля по основным показателям (чистота вороха, потери, повреждения и позеленевшие клубни) существенно превышает качество возделывания по гребневым технологиям. Конструирование многослойной гряды с демпфирующей средой, созданной за счет увеличения ширины междурядий, позволило выращивать более качественный картофель с низким содержанием позеленевших клубней.

Ключевые слова: картофель, гряда, устойчивость к разрушению, внутренние напряжения, действие сил, изменение климатических условий, суперабсорбенты, комбайновая уборка.

Формат цитирования: Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манокхина А.А., Чайка В.А. Создание устойчивой среды при выращивании картофеля // *Агроинженерия*. 2020. № 5(99). С. 15-20. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20.

ESTABLISHING SUSTAINABLE ENVIRONMENT FOR POTATO CULTIVATION

OKSANA A. STAROVOITOVA, PhD (Ag)¹

E-mail: agronir2@mail.ru

VIKTOR I. STAROVOITOV, DSc (Eng)¹

E-mail: agronir1@mail.ru

ALEKSANDRA A. MANOKHINA, DSc (Ag)²

E-mail: alexman80@list.ru

VALERIYA A. CHAYKA, postgraduate student¹

E-mail: agronir2@mail.ru

¹ Lorkh Potato Research Centre; 140051, Lorkh Str., 23, liter B, Kraskovo, Lyubertsy district, Moscow region, Russian Federation

² Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russian Federation

In changing climate conditions, an important component of potato cultivation technology is the establishing of a stable environment-forming space, in which the tuber bunch develops due to the compaction of the upper layer while maintaining the optimal density inside the ridge. The authors propose to form a multi-layer variable-density ridge that is resistant to internal and external destruction in the process of potato cultivation. The ridge has a dense surface layer and an optimal internal density. The technology implies the local use of moisture-saving superabsorbents as a dampener of internal stresses appearing during the development of tuber bunches, stems and root system, leading to the destruction of ridges and tuber greening. To solve this problem, the authors used the methodology of system analysis, classical mechanics, the theory of soil mechanics, and methods of laboratory and field research. Comparative production tests of a potato cultivation technology using ridge and seedbed technologies have shown that the quality of potato harvesting in terms of the main indicators: heap cleanliness, losses, damage and green tubers significantly exceeds the quality of cultivation using the ridge technologies. The formation of a multi-layer ridge with a damping environment caused by increased width of the rows allowed growing higher-quality potatoes with a low content of green tubers.

Key words: potato, ridge, resistance to destruction, internal stresses, force action, climate change, superabsorbents, combine harvesting.

For citation: Starovoitova O.A., Starovoitov V.I., Manokhina A.A., Chayka V.A. Establishing sustainable environment for potato cultivation. *Agricultural Engineering*, 2020; 5 (99): 15-20. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20.

Введение. Участвовавшие в последние годы климатические перепады с удлинившимися засухами и кратковременными ливневыми дождями в период вегетации растений приводят к снижению урожая и усложнению условий для уборки картофеля [1]. Например, только в 2019 г. ущерб от стихийных бедствий в сельском хозяйстве Российской Федерации составил более 13 млрд руб.

Исследования по разработке новых и совершенствованию существующих технологий возделывания картофеля являются актуальными и имеют большое народнохозяйственное значение. Однако в настоящее время недостаточно освещены вопросы влияния изменения климата на технологию и агротехнику возделывания картофеля.

Важной составляющей технологии возделывания картофеля в условиях изменений климата является устойчивость гряды как средообразующего пространства вокруг клубневого гнезда к внешним факторам. Основными параметрами устойчивости среды являются создание и поддержание рекомендуемых твердости, плотности, влажности и температуры почвы, оптимальное содержание питательных веществ в почве, защита от водной и ветровой эрозии.

Цель исследований: формирование многослойной разноплотностной гряды, устойчивой к разрушению

при внешних и внутренних воздействиях в процессе возделывания картофеля.

Материал и методы. При достижении поставленной цели использовались методология системного анализа, классическая механика, теория механики грунтов, методы проведения лабораторно-полевых исследований.

Теоретические исследования влияния технологических воздействий на почву. Культиватор формирует грядку узлом в виде плоского трапециевидного конического почвообрабатывающего органа. Преимущества заключаются в эффективном использовании трения скольжения, что на порядок снижает затраты на формирование гряды по сравнению с другими формователями. Культиватор-формователь при воздействии на почву перемещает ее и создает сформированную грядку, при этом по мере движения агрегата по грядке постепенно сжимает ее верхний слой, вытесняя воздушные полости и уплотняя поверхность почвы [2-4]. Обычно удельное сопротивление почвы относят к фронтальной проекции верхней части культиватора-формователя, соприкасающейся с формируемой поверхностью гряды на высоту гряды. Рассмотрим влияние сил на поверхностный слой почвы (рис. 1).

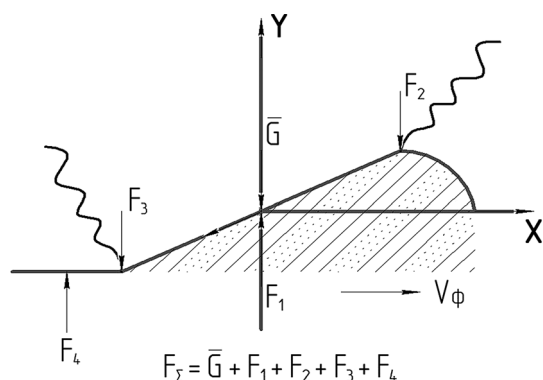


Рис. 1. Действие сил при формировании гряды:

G – вес культиватора, H ;

\bar{F}_1 – сила сопротивления перемещению лобовой части рабочей поверхности формирователя гребня/гряды, H ;

\bar{F}_2 – сила трения лобовой части формирователя гребня/гряды, H ;

\bar{F}_3 – сила сопротивления смятию почвы стабилизирующей рабочей поверхности формирователя гребня/гряды, H ;

\bar{F}_4 – сила трения стабилизирующей рабочей поверхности формирователя гребня/гряды, H

Fig. 1. The action of forces during the ridge formation:

G – the cultivator weight, N ;

\bar{F}_1 – movement resistance force of the frontal part of the working surface of a ridge/seedbed former, N ;

\bar{F}_2 – friction force of the frontal part of a ridge/seedbed former, N ;

\bar{F}_3 – resistance force to soil crushing of the stabilizing working surface of a ridge/bed former, N ;

\bar{F}_4 – friction force of the stabilizing working surface of a ridge/seedbed former, N

Поскольку почва обладает упругостью, целесообразно применить принцип Сен-Венана, согласно которому уравновешенная система сил, приложенная к некоторой части твердого тела, вызывает в нем появление неравномерности распределения напряжений, быстро уменьшающейся по мере удаления от этой части. На расстояниях, которые больше максимального линейного размера зоны приложения нагрузок, неравномерность распределения напряжения и деформации оказывается пренебрежительно малой [5-7]. Строгого доказательства этого принципа нет, но существует подтверждение экспериментами, численными методами решения задач и точными аналитическими решениями частных случаев. В процессе формирования гряды этот принцип можно использовать для уплотнения поверхностного слоя почвы. Регулируя давление на грядку и угол атаки культиватора-формирователя, можно создать необходимую плотность поверхности гряды, сохранив низкую (оптимальную согласно агротехническим требованиям) плотность внутри гряды [8-10].

В задаче исследований входили создание устойчивой среды при внешних и внутренних воздействиях на грядку, теоретическое исследование, а затем экспериментальное обоснование многослойной структуры почвы в грядке, соответствующей техническим требованиям, а именно: быть устойчивой конструкцией снаружи, в то же время иметь низкую плотность внутри гряды и защищать ее от потери влаги. Решается эта задача в два этапа.

Первый этап – конструирование (создание) гряды. В формировании структуры почвы важными являются

такие составляющие, как влажность, достаточная для развития растений; плотность не выше $0,9 \dots 1,2$ г/см³; питательные вещества; устойчивость гряды к разрушению во время роста растений и во время ливней. Исследования показали, что более плотная почва является более устойчивой к водной и ветровой эрозии, но в то же время при увеличении плотности почвы урожайность картофеля значительно снижается. Возникает техническое противоречие: с одной стороны, грядка должна быть плотной, а с другой стороны, она должна быть рыхлой. Чтобы снять это противоречие, при формировании гряды с оптимальной плотностью в зоне клубневого гнезда необходимо создавать поверхностный каркас жесткости, устойчивый к размыванию, с высокой плотностью и твердостью.

Для облегчения уборки картофеля толщина каркаса жесткости должна составлять не более 2,7 см, так как твердые комки почвы, образуемые при формировании каркаса, проще отсепарировать, чем разрушить. Известно, что лучшим способом уборки картофеля является уборка картофелеуборочными комбайнами, которые в процессе сепарации выделяют клубни из почвы по размеру. При этом почвенные комки размером менее 2,7 см будут сыпаться через прутковые элеваторы комбайна. Почва в зоне клубневого гнезда внутри гряды должна иметь низкую плотность $1,0 \dots 1,1$ кг/см³ и твердость $2 \dots 4$ кг/см², что в $2 \dots 10$ раз ниже, чем в поверхностном каркасном слое гряды. Поэтому для создания геометрически наиболее устойчивой конструкции необходимо проводить рыхление почвы с формированием гряды трапециевидной формы с одновременным сжатием и уплотнением поверхностного слоя для вытеснения воздушных полостей, за счет чего создается «жесткий каркас» определенной толщины.

Второй этап – создание устойчивой среды при конструировании гряды. В процессе развития растения в почве происходят изменения напряжения внутри гряды по причине развития клубневого гнезда, стеблей и корневой системы, что приводит к разрушению гряды и озеленению клубней. Для снижения данных напряжений в почве при уходе за посадками закладывают с двух сторон от клубневого гнезда «питательные ленты», состоящие из смеси почвы, органико-минеральных удобрений и влагоудерживающих суперабсорбентов, которые удерживают и питают влагу, в то же время являясь демпфером, снижающим внутренние напряжения во время быстрого роста клубневого гнезда. Влагоудерживающие суперабсорбенты, или почвенные гели, являясь системообразующим компонентом почвы, превращают смесь частиц в единую почвенную структуру, обладающую низкой плотностью, высокой пластичностью и вязкостью, что позволяет снизить напряжение в почве. Суперабсорбенты удерживают не только влагу почвы, но и минеральное питание, находящееся в ней, и таким образом влияют на технологические параметры почвы [11-14].

Расчеты целесообразно начинать с определения параметров гряды, необходимых для качественной комбайновой уборки. Ширина подкапывания гряды (L_x) определяется по формуле:

$$L_x = L_1 + 2X; X = \{(L_3 - L_1)/2H\} \cdot (H - \Delta), \quad (1)$$

где L_1 – ширина гряды по верхнему основанию, м; L_3 – ширина борозды, м; H – высота гребня, м; Δ – защитный слой почвы снизу при уборке, м.

Площадь сечения гряды (S_c), направляемая на сепарацию при уборке клубней, рассчитывается по формуле:

$$S_c = (L_1 + 2X) \cdot H. \quad (2)$$

Высота гребня определяется из формулы:

$$H \geq D + \Delta 1 + \Delta, \quad (3)$$

где D – высота клубневого гнезда, м; $\Delta 1$ – защитный слой почвы сверху при уборке, м.

Для создания гряды с заданными размерами необходимо рассчитать глубину обработки почвы перед посадкой.

Эффективным приемом снижения содержания комков в почве является фрезерная обработка почвы. Но это энергоемкий процесс, особенно при увеличении глубины обработки: чем глубже обработка, тем больше затраты энергии. С другой стороны, сепарация почвы при уборке картофеля зависит от структуры почвы в гряде, поэтому почва в гряде должна быть мелкокомковатой и хорошо сепарируемой. Такую структуру почвы можно создать с помощью фрезы.

Глубина сплошного предпосадочного фрезерования (h) рассчитывается по формуле:

$$h \geq k \cdot S_c / (L_1 + L_2), \quad (4)$$

где k – коэффициент усадки почвы; L_2 – ширина основания, м.

Выполняя фрезерные междурядные обработки, можно уменьшить глубину сплошной обработки. Такой прием позволяет снизить энергоемкость всей технологии в целом.

Для проведения испытаний были созданы макет сажалки и фрезерный культиватор, особенностью которого является достаточно высокая унификация с серийно выпускаемыми машинами.

Результаты и обсуждение. Исследование было проведено на легких супесчаных и среднесуглинистых почвах. Определены параметры твердости гряды (рис. 2). Установлено, что после формирования гряды твердость супесчаных почв составила 1,2 МПа в поверхностном слое и 0,1...0,4 МПа в слое глубже 25 мм. На суглинках твердость почвы поверхностного слоя составила 19 МПа, а внутри гряды в зоне клубневого гнезда – 0,3...0,6 МПа.

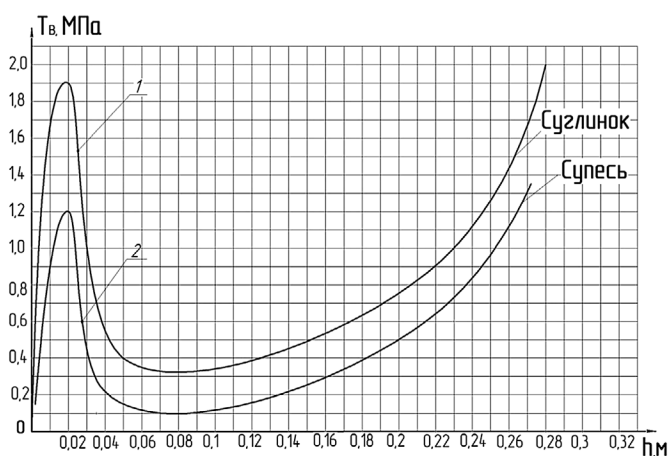


Рис. 2. Твердость почвы в центре гряды, сформированной фрезерным орудием, в зависимости от глубины

Fig. 2. Soil hardness in the center of the ridge formed by a rotary potato ridger, depending on the depth

Твердость и плотность почвы зависят от изменения ее влажности. Оптимальные значения твердости почвы при выращивании картофеля составляют 5...15 кг/см² [15]. Отмечено, что при снижении влажности и высокой температуре поверхностного уплотненного слоя гряды твердость почвы увеличивается, при этом происходит своеобразная «цементация верхнего слоя». Данный процесс повышает устойчивость гряды под воздействием водной и ветровой эрозии и уменьшает испарение влаги из внутренней части гряды.

По мере уплотнения поверхностного слоя гряды, уменьшения объема возрастает доля твердой фазы, следовательно, возрастает и объемная плотность. Экспериментальные исследования показывают, что при плотности почвы 1,6...1,8 г/см³ создается конструкция поверхности, устойчивая к разрушению ливнями. Рабочие органы, формирующие грядку, можно установить так, чтобы верхнее основание оказалось выгнутым в виде желоба, в который смогут набираться осадки. При повышении поверхностного уплотнения усиливаются явления набухания и усадки. При усадке почвы вследствие высыхания объемное сжатие составляет до 30%. В итоге уплотненный поверхностный слой гряды также может привести к разрыву корневых систем сорных растений, что снизит их количество.

Регулировать толщину каркаса гряды можно изменением давления на кожу, формирующий грядку. Для свободной сепарации через элеваторы комбайна во время уборки величина уплотненных комков почвы не должна превышать 25 мм, следовательно, при выращивании картофеля наибольшая толщина каркаса составляет 25 мм. При влажности 15% от ППВ плотность почвы поверхностного слоя составляет 1,6 г/см³; твердость суглинистых почв – более 18 кг/см²; плотность супесчаных почв – более 11 кг/см². Ниже глубины 25 мм плотность почвы не должна превышать 0,8...0,9 г/см³ на суглинках; 1,0...1,1 г/см³ на супесях; твердость – не более 4,0 кг/см². В смеси с удобрениями, вносимыми с двух сторон гряды на глубину ниже клубневого гнезда, вносят суперабсорбенты, которые обладают высокими показателями текучести и вязкости и, следовательно, снижают внутреннее напряжение.

При выполнении данных условий можно избежать переувлажнения гребней, приводящего к удушью клубней, развитию фитофтороза. В то же время влага не теряется безвозвратно, поскольку аккумулируется в нижележащих горизонтах почвы и при наступлении засухи может быть мобилизована для корневой системы растений. Поле с посадками картофеля необходимо располагать на низких или умеренных склонах с хорошо дренированными рыхлыми почвами и глубоким пахотным горизонтом, высокой водоудерживающей способностью.

Производственная проверка грядовой технологии возделывания картофеля проведена в специализированных хозяйствах Московской области осенью 2016 г. В таблице представлены результаты производственных испытаний уборки картофеля комбайном DR1500 при возделывании по грядовой и гребневой технологии. При уборке на грядах на картофелеуборочном комбайне переоборудовали входную часть: переставили диски и использовали сплошной каток, что повысило степень сепарации почвы.

**Результаты производственных испытаний уборки картофеля комбайном
при возделывании по грядовой и гребневой технологии**

**Production test results of mechanized potato harvesting under the cultivation technique based
on the seedbed and ridge making technology**

Показатель <i>Index</i>	Уборка картофеля по технологии <i>Potato harvesting using a technology</i>	
	гребневая (ширина междурядий 75 см)* <i>Ridge (row spacing of 75 cm)*</i>	грядовая (ширина междурядий 150 см)* <i>Seedbed (row spacing of 150 cm)*</i>
Производительность, га/ч <i>Productivity, ha/h</i>	0,32	0,48
Урожайность картофеля, т/га <i>Potato yield, t/ha</i>	36,1	35,6
Чистота клубней картофеля в таре, % <i>Purity of potato tubers in containers, %</i>	94,1	97,8
Повреждения клубней в пробе, % <i>Tuber damage in the sample, %</i>	8,4	4,6
Потери клубней при уборке, % <i>Loss of tubers during harvesting, %</i>	0,1	0,1
Наличие позеленевших клубней, % <i>Presence of green tubers, %</i>	6,1	0,06

* МТА: трактор МТЗ-1221, комбайн DR1500.

На связных суглинистых почвах гряда более устойчива к внешним и внутренним воздействиям, на супесчаных почвах гряда слабо устойчива, следовательно, элементы технологии сохранения гряды следует определять в зависимости от типа почв [16].

Выводы

1. В условиях изменяющегося климата важной составляющей технологии возделывания становится создание устойчивого средообразующего пространства, в котором развивается клубневое гнездо за счет уплотнения

верхнего слоя с сохранением оптимальной плотности внутри гряды.

2. Сравнительные производственные испытания технологии возделывания картофеля по гребневым и грядовым технологиям показали, что качество уборки картофеля по основным показателям (чистота вороха, потери, повреждения и позеленевшие клубни) существенно превышает качество возделывания по гребневым технологиям.

3. Конструирование многослойной гряды с демпфирующей средой, созданной за счет увеличения ширины междурядий, позволило выращивать более качественный картофель с низким содержанием позеленевших клубней.

Библиографический список

1. FAOSTAT. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (дата обращения: 20.03.2019).
2. Абуханов А.З. Механика грунта. М.: Феникс, 2006. 352 с.
3. Кезди А. Руководство по механике грунтов. Будапешт: Изд. Академии наук Венгрии, 1974. С. 294.
4. Исаев А.Ю. Исследование воздействия движителей машин на почву // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2014. № 2 (62). С. 48-50.
5. Горячкин В.П. Земледельческая механика. Ч. 1. Основы теории земледельческих машин и орудий. М.: Кн. изд-во студ. Петр. с.-х. акад., 1919. 200 с.
6. Тимошенко С.П., Гуд'ер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. 560 с.
7. Большая советская энциклопедия: В 30 т. / Гл. ред. А.М. Прохоров. Изд. 3-е. М.: Советская энциклопедия, 1976. Т. 23. 249 с.
8. Левшин А.Г., Зубков В.В., Хлепиться М.Н. Организация и технология испытаний сельскохозяйственной техники. Ч. 2. Оценка условий испытаний. М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. 92 с.

References

1. FAOSTAT. [Electronic resource] <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (Access date: 20.03.2019).
2. Abukhanov A.Z. Mekhanika grunta [Soil mechanics]. Moscow, Feniks. 2006: 352. (In Rus.)
3. Kezdi A. Rukovodstvo po mekhanike gruntov [Guidance on soil mechanics]. Budapesht, Izd. Akademii nauk Vengrii, 1974: 294. (In Rus.)
4. Isaev A.Yu. Issledovanie vozdeystviya dvizhiteley mashin na pochvu [Study of the impact of machine propellers on the soil]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2014; 2 (62): 48-50. (In Rus.)
5. Goryachkin V.P. Zemledel'cheskaya mekhanika. Ch. 1. (Osnovy teorii zemledel'cheskikh mashin i orudij) [Agricultural mechanics. Part 1. (Fundamentals of the theory of agricultural machines and tools)]. Moscow Kn. izd-vo stud. Petr. s.-h. akad, 1919: 200. (In Rus.)
6. Timoshenko S.P., Gud'er Dzh. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity]. Moscow, Nauka, 1979: 560. (In Rus.)
7. Bol'shaya Sovetskaya entsiklopediya (v 30 tomakh) [Great Soviet Encyclopedia (in 30 vol.)]/Ed. By A.M. Prokhorov. 3rd ed. Moscow, Sovetskaya entsiklopediya, 1976, T. 23: 249. (In Rus.)

9. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв: Монография. К.: Феникс, 2008. 266 с.
10. Левшин А.Г., Ерохин М.Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 6 (82). С. 28-33.
11. Hou X., Li R., He W., Dai X., Ma K., Liang Y. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region // *Journal of Soils and Sediments*. 2018. 18 (3). С. 816-826.
12. Lü S., Feng C., Gao C., Wang X., Xu X., Bai X., Gao N., Liu M. Multifunctional Environmental Smart Fertilizer Based on L-Aspartic Acid for Sustained Nutrient Release // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. 64 (24). С. 4965-4974.
13. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А. Возделывание картофеля с использованием водных абсорбентов // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2016. № 2 (72). С. 28-34.
14. Chen J., Lü S., Zhang Z., Zhao X., Li X., Ning P., Liu M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment // *Science of the Total Environment*. 2018. 613-614. С. 829-839.
15. Кушнарев А., Кравчук В., Кушнарев С., Дюжаев В. Мониторинг плотности почвы пахотного горизонта в системе точного (управляемого) земледелия // *Техника і технології АПК / вересень / 2010 р. № 9 (12). С. 12-16.*
16. Старовойтова О.А. Инновационная грядковая технология выращивания топинамбура и картофеля // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. № 1 (65). С. 11-14.

8. Levshin A.G., Zubkov V.V., Khlepit'ko M.N. Organizatsiya i tekhnologiya ispytaniy sel'skohozyaystvennoy tekhniki. Ch. 2. Otsenka usloviy ispytaniy. [Organization and technology of agricultural machinery testing. Part 2. Assessment of test conditions]. Moscow, FGOU VPO MGAU, 2004: 92. (In Rus.)

9. Panov I.M., Vetohin V.I. Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv: Monografiya [Physical foundations of soil mechanics: Monograph]. K., Feniks, 2008: 266. (In Rus.)

10. Levshin A.G., Erohin M.N. Nauchno-metodicheskie osnovy formirovaniya normirovannoy shkaly tverdosti pochvy [Scientific and methodological foundations of the formation of the normalized scale of soil hardness]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2017; 6 (82): 28-33. (In Rus.)

11. Hou X., Li, R., He, W. et al. Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region. *J Soils Sediments* 18, 816-826 (2018). <https://doi.org/10.1007/s11368-017-1818-x>

12. Lü S., Feng C., Gao C., Wang X., Xu X., Bai X., Gao N., Liu M. Multifunctional Environmental Smart Fertilizer Based on L-Aspartic Acid for Sustained Nutrient Release. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016; 64 (24): 4965-4974.

13. Starovoytova O.A., Starovoytov V.I., Manokhina A.A. Vozdelывание kartofelya s ispol'zovaniem vodnykh absorbentov [Potato cultivation using water absorbents]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2016; 2 (72): 28-34. (In Rus.)

14. Chen J., Lü S., Zhang Z., Zhao X., Li X., Ning P., Liu M. Environmentally friendly fertilizers: A review of materials used and their effects on the environment. *Science of the Total Environment*, 2018; 613: 829-839. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.186

15. Kushnarev A., Kravchuk V., Kushnarev S., Dyuzhaev V. Monitoring plotnosti pochvy pahotnogo gorizonta v sisteme tochnogo (upravlyаемого) zemledeliya [Monitoring the soil density of the arable horizon in the system of precision (controlled) farming]. *Tekhnika i tekhnologii APK / September / 2010; 9 (12):12-16. (In Rus.)*

16. Starovoytova O.A. Innovatsionnaya gryadovaya tekhnologiya vyrashchivaniya topinambura i kartofelya [Innovative bed technology for growing Jerusalem artichoke and potatoes]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2015; 1 (65): 11-14. (In Rus.)

Критерии авторства

Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Чайка В.А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Старовойтова О.А., Старовойтов В.И., Манохина А.А., Чайка В.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 15.07.2020

Опубликована 30.10.2020

Contribution

O.A. Starovoytova, V.I. Starovoytov, A.A. Manokhina, V.A. Chayka carried out theoretical studies, generalized the obtained results and wrote the manuscript. O.A. Starovoytova, V.I. Starovoytov, A.A. Manokhina, V.A. Chayka have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on July 15, 2020

Published 30.10.2020