

Методы и средства управления режимами влагообеспечения в технологии возделывания оригинальных семян картофеля в условиях глобального изменения климата

Андрей Борисович Калинин, Игорь Зиновьевич Теплинский, Павел Михайлович Шпиганович
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Санкт-Петербург – Пушкин, Россия
e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Аннотация. Получение высококачественного семенного материала в почвенно-климатических зонах, благоприятных для производства оригинального и элитного семеноводства требует размещать производство на чистых фитосанитарных территориях в высокогорных, Северо-Западных и Арктических регионах РФ, где наблюдается минимальное количество переносчиков болезней картофеля, умеренные температуры, достаточный уровень влагообеспечения растений. Статистика погодных наблюдений показывает устойчивое повышение средних температур воздуха, а также повышение суммы среднегодовых осадков при неравномерном их выпадении. В применяемых для производства семян картофеля интенсивных технологиях происходит значительное переуплотнение поверхностного и подпахотного горизонтов почвы, которые приводят к ухудшению режима влагообеспечения растений, существенно влияющего на урожайность и качество семенного материала. Решение данной задачи требует совершенствования технологических приемов и технических средств, применяемых при возделывании семенного картофеля.

Ключевые слова: изменение климата; семенной картофель; обработка почвы; влагообеспечение; пропашной культиватор-глубокорыхлитель.

Для цитирования: Калинин А. Б., Теплинский И. З., Шпиганович П. М. Методы и средства управления режимами влагообеспечения в технологии возделывания оригинальных семян картофеля в условиях глобального изменения климата // Аграрный научный журнал. 2023. № 4. С. 112–118. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp112-118>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Methods and means for managing moisture supply regimes during original potato seed growing in the context of global climate change

Andrey B. Kalinin, Igor Z. Teplinsky, Pavel M. Shpiganovich
St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg – Pushkin, Russia
e-mail: andrkalinin@yandex.ru

Abstract. Obtaining high-quality seed material in soil-climatic zones favorable for the production of original and elite potato seed production requires placing production on clean phytosanitary territories in the high-mountainous, North-Western and Arctic regions of the Russian Federation, where there is a minimum number of carriers of potato diseases, moderate temperatures, and a sufficient level of moisture supply to plants. The statistics of weather observations show a steady increase in average air temperatures, as well as an increase in the amount of average annual precipitation with uneven precipitation. In intensive technologies used for the production of potato seeds, there is a significant over compaction of the surface and subsurface horizons of the soil, which leads to a deterioration in the moisture supply regime for plants, which significantly affects the yield and quality of seed material. The solution of this problem requires the improvement of technological methods and technical means used during potato seed production.

Keywords: climate change; seed potatoes; tillage; moisture supply; inter row cultivator-subsoiler.

For citation: Kalinin A.B., Teplinskiy I.Z., Shpiganovich P.M. Methods and means for managing moisture supply regimes during original potato seed growing in the context of global climate change // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(4):112–118. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i4pp112-118>.





Введение. Основой для стабильного производства картофеля является получение высококачественного семенного материала в почвенно-климатических зонах, благоприятных для производства оригинального и элитного семеноводства. К таким зонам относятся чистые фитосанитарные территории высокогорных, Северо-Западных и Арктических регионов РФ. На этих территориях наблюдается минимальное количество переносчиков болезней картофеля, умеренные температуры, достаточный уровень влагообеспечения растений. В связи с глобальными изменениями климата, статистика погодных наблюдений показывает устойчивое повышение средних температур воздуха, а также повышение суммы среднегодовых осадков. Эта тенденция подтверждается результатами исследований погодных явлений в Московской области, зафиксированных с 1881 по 2010 г. [1].

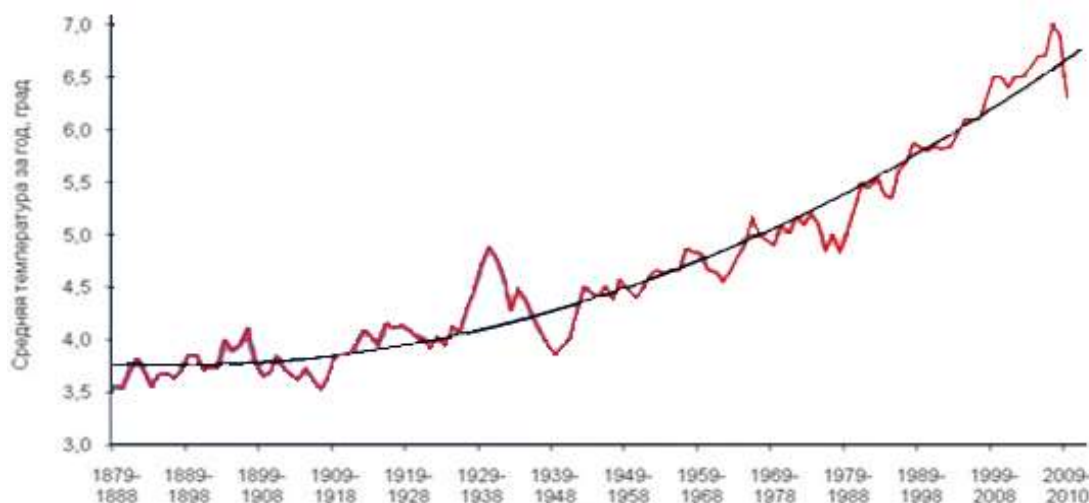


Рис. 1. Тренд годовых температур воздуха по скользящим десятилетиям (1879–2009 гг.)

Анализ данных, приведенных на рис. 1, показал наметившуюся стабильную тенденцию к устойчивому повышению среднегодовых температур воздуха за исследуемый период на 3,5 °С. При этом за тот же период отмечается устойчивое повышение суммы среднегодовых осадков с преимущественным выпадением их в летнее время.

Отмеченная тенденция климатических изменений положительно влияет на эффективность производства семенного картофеля при условии создания оптимального для развития растений почвенного состояния, при котором отсутствуют переуплотнения в корнеобитаемом слое и обеспечена необходимая его пористость, требуемая для отвода влаги в нижележащие слои при выпадении избыточных осадков. В исследованиях, приведенных в работе [2], степень уплотнения почвы предлагается оценивать по показателю ее твердости, что существенно повышает оперативность мониторинга почвенного состояния. В исследованиях, результаты которых приведены в работе [3], также показаны закономерности интенсивности движения почвенной влаги под действием градиента температур в зависимости от сформированной структуры корнеобитаемого слоя.

Методика исследований. В работах, проведенных в СПбГАУ, установлены градации почвенного состояния по параметру твердости, для оценки условий развития корневой системы картофеля внутри корнеобитаемого слоя. Так, при значениях этого показателя пределах от 0 до 1 МПа наблюдаются нормальные условия развития корневой системы растений (Н.У.); при повышении твердости почвы в границах среднего уплотнения (С.У.) от 1,1 до 2,5 МПа их развитие несколько замедляется; при высоких значениях уплотнения (В.У.) от 2,6 до 4,5 МПа проникновение корневой системы существенно затруднено т.к. требует от растений значительных затрат энергии; при значениях твердости почвы 4,5 МПа и выше отмечается ее переуплотнение (П.У.), в котором корневая система не способна преодолеть такое сопротивление [4].

В применяемых для производства семян картофеля интенсивных технологиях происходит значительное переуплотнение поверхностного и подпахотного горизонтов почвы, достигающее отмеченных предельных значений. Это связано с многократными проходами по полю тяжелых энергонасыщенных машинно-тракторных агрегатов, а также с использованием лемешно-отвальных плугов и фрезерных машин [5, 6]. На рис. 2 представлен график изменения усредненных по



длине гона L , равного 100 м, с шагом $\Delta l = 1$ м значений твердости почвы в горизонтах корнеобитаемого слоя высотой $a = 80$ см с шагом $\Delta a = 5$ см. Измерения твердости почвы проводились в конце вегетационного периода с помощью перетрологгера Eijkelkamp на производственных посадках семенного картофеля.

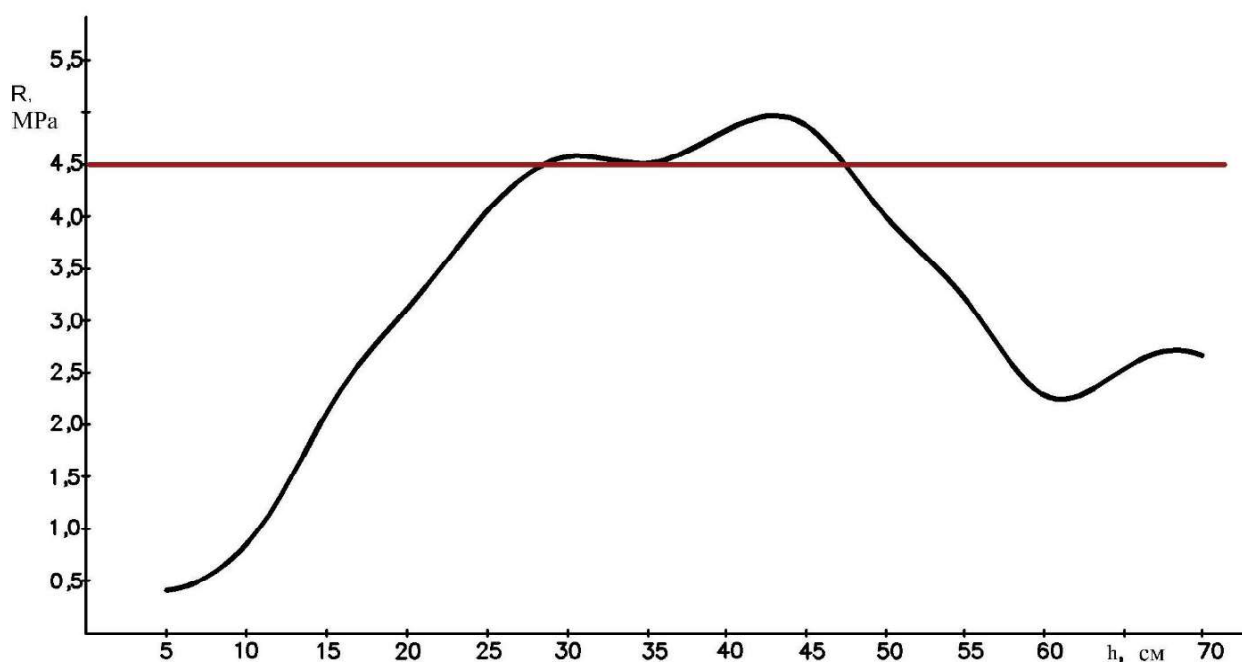


Рис. 2. График изменения усредненных по длине гона значения твердости почвы в горизонтах корнеобитаемого слоя в конце вегетационного периода

При таком состоянии почвенных горизонтов в них существенно снижается объем пор и капилляров для нормального движения влаги и ухудшается свободное распространение корневой системы растений. При этом растения испытывают стресс как от недостатка влаги в период отсутствия осадков, так и при их избытке. На рис. 3 представлен график послойного распределения средних значений запасов влаги за весь период вегетации семенного картофеля, полученные с помощью измерительных зондов Sentek, регистрирующих влажность почвы по горизонтам корнеобитаемого слоя с шагом $\Delta a = 10$ см.

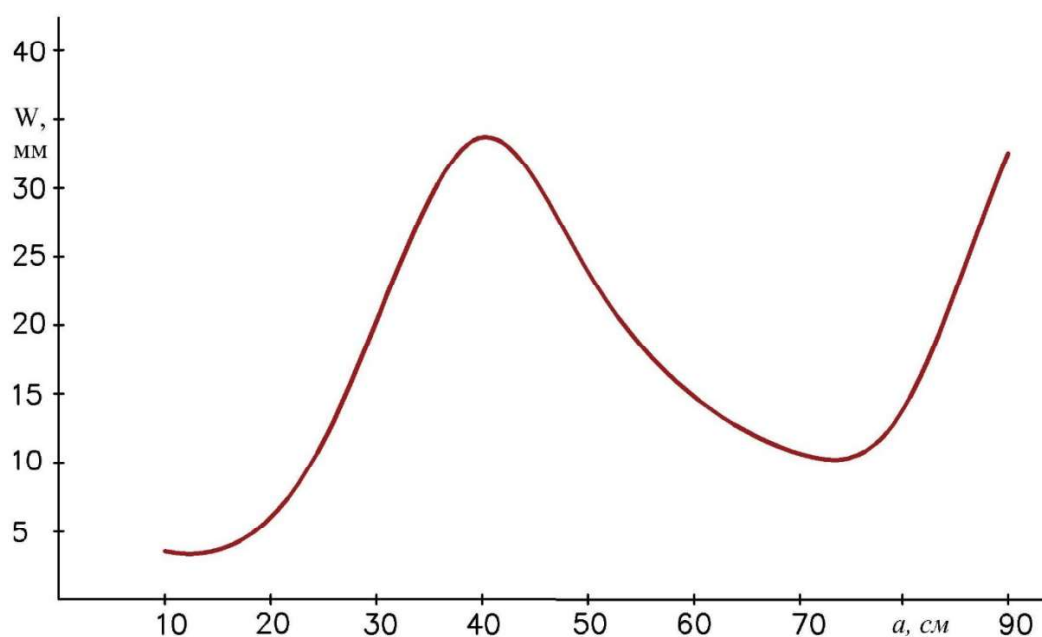


Рис. 3. График послойного распределения средних значений запасов влаги за весь период вегетации семенного картофеля



Анализ полученных данных показал, что переуплотнение почвы, наблюдаемое в подпахотном горизонте, препятствует проникновению влаги от выпавших осадков в нижележащие горизонты корнеобитаемого слоя. При этом у корней, преодолевших переуплотненные участки, не будет обеспечено нормальное развитие из-за недостатка влаги в горизонтах от 50 до 80 см. В случаях выпадения избыточных осадков возникают риски переувлажнения клубнено-сного верхнего почвенного горизонта, что может привести к ухудшению качества семенных клубней, а в случае длительного нахождения в воде, и к их гибели. Необходимо также отметить, что использование фрезерных машин приводит к образованию большого числа мелких почвенных частиц, которые с потоками воды проникают в почвенные поры и производят их заиливание, тем самым снижая пористость почвы и ухудшая водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя.

Результаты исследований. Анализ результатов научных исследований, проведенных в СПбГАУ и других научных организациях [7], показал, что при возделывании картофеля критическое уплотнение корнеобитаемого слоя создается в период выполнения посадочных работ, когда весной влажная почва наиболее восприимчива к уплотняющему воздействию от рабочих органов и ходовых систем машинно-тракторных агрегатов. На рис. 4 представлены усредненные значения твердости почвы по глубине корнеобитаемого слоя при использовании западноевропейской технологии производства картофеля с применением картофелепосадочной машины и фрезерного культиватора-гребнеобразователя. Измерения производились по следам ходовых систем агрегатов для посадки и междурядной обработки картофеля.

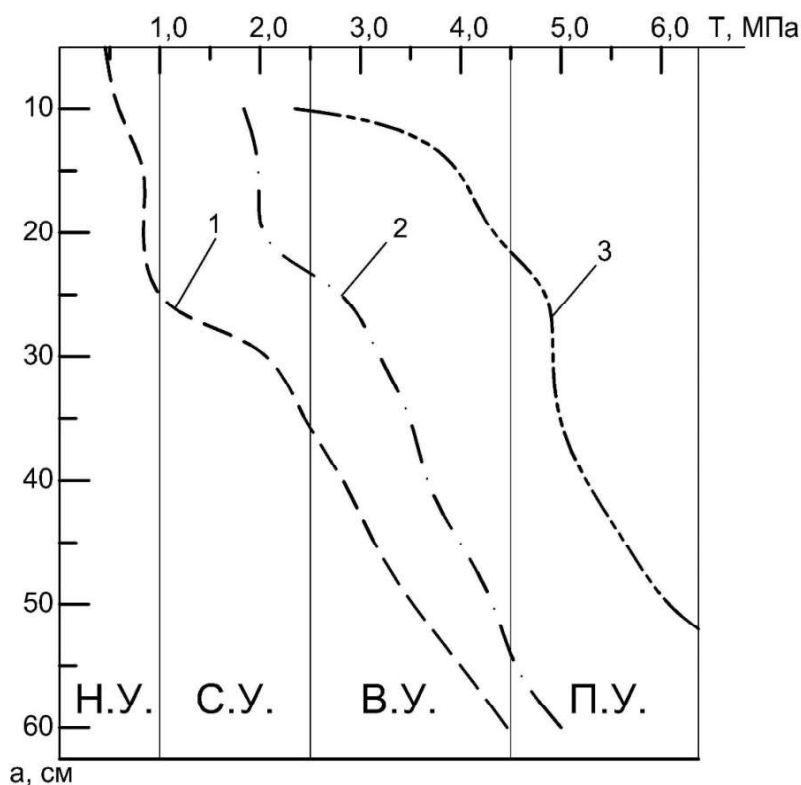


Рис. 4. Изменение усредненных значений твердости почвы по глубине корнеобитаемого слоя при использовании западноевропейской технологии производства картофеля:
1 – до прохода картофелепосадочной машины; 2 – после прохода картофелепосадочной машины;
3 – после прохода гребнеобразующей фрезы через 18 дней после посадки

Анализ данных, приведенных на рис. 4, показал, что по следу колес трактора и картофелепосадочной машины, начиная с самой поверхности дна борозды, отмечается, согласно предложенной градации, среднее, а через 12–15 см и высокое уплотнение почвы, наличие которого затрудняет проникновение влаги и корневой системы растений в нижележащие слои корнеобитаемого слоя. При высыхании этих уплотненных участков, почва дает некоторую усадку, твердость внутри них повышается. Дальнейшая обработка почвы согласно принятой технологии проводится фрезер-



ным пропашным культиватором через 14–18 дней. При этом рабочие органы данного культиватора производят в междурядьях дополнительное уплотнение, что отрицательно сказывается на регулировании водного режима, т.к. уплотненные участки корнеобитаемого слоя становятся непреодолимым препятствием для отвода влаги и проникновения корневой системы в нижележащие слои.

С целью устранения сформированных картофелепосадочным агрегатом уплотнений для улучшения условий для регулирования водного режима и развития корневой системы растений было предложено при выполнении междурядной обработки семенного картофеля проводить глубокое рыхление уплотненных участков [8, 9]. Для этого разработан пропашной культиватор-глубокорыхлитель, показанный на рис. 5. Он оснащен рабочими органами, позволяющими проводить обработку почвы на глубину до 40 см по центру междурядья, формировать гребни, упрочнять их поверхность, формировать лунки для удержания влаги. С этой целью на раме культиватора установлены оборотные рыхлительные лапы 1 на пружинных S-образных стойках для обработки гребней, глубина хода которых составляет 15–18 см, рыхлительные лапы 2 на жестких стойках для устранения уплотнения почвы на глубине до 40 см с пружинными предохранителями, идущие по центру междурядий. На жесткой стойке рыхлительных лап смонтированы отвалы окучивающих корпусов 3, формирующих полнообъемные гребни, позади которых установлены прутковые профилированные прикатывающие катки 4, упрочняющие их поверхность. Установленные на раме культиватора лункователи 5 формируют углубления в почве по центру междурядий.

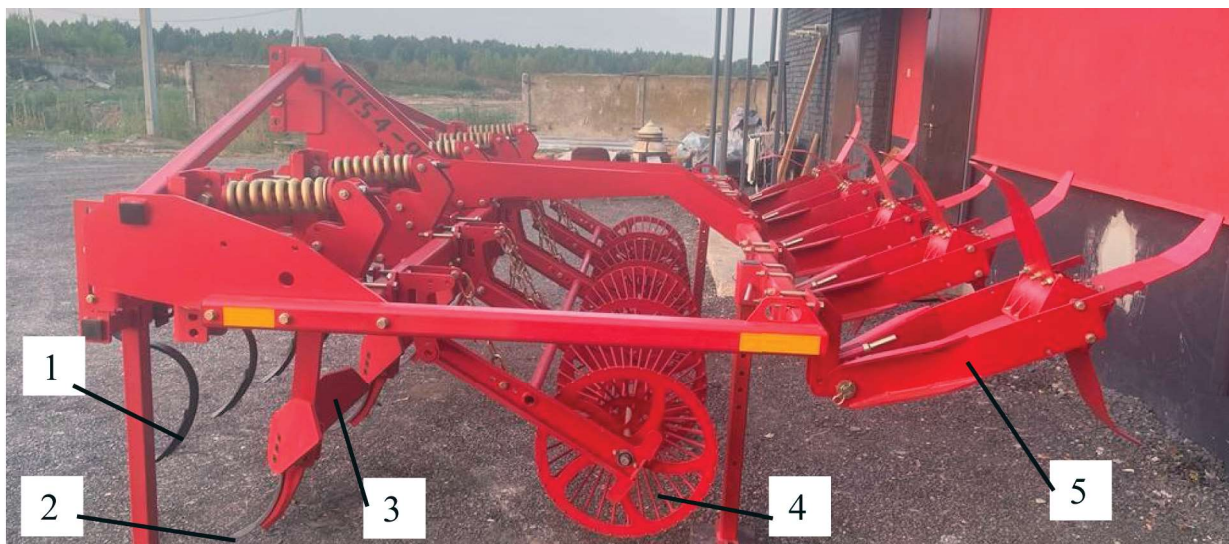


Рис. 5. Общий вид разработанного пропашного культиватора-глубокорыхлителя

Результаты проведенных исследований такого культиватора в производственных условиях при возделывании семенного картофеля показали, что его использование позволило полностью устранить уплотнения почвы в корнеобитаемом слое, созданное картофелепосадочным агрегатом. Основой для выбора глубины хода рыхлительных лап была принята методика настройки этих рабочих органов, изложенная в работе [10]. Это видно из рис. 6, на котором показаны графики изменения по глубине усредненных значений твердости почвы в корнеобитаемом слое, измеренных по следам ходовых систем агрегатов для посадки и междурядной обработки культиватором-глубокорыхлителем.

Анализ приведенных на рис. 6 данных показал, что идущая по центру междурядья рыхлительная лапа обеспечила снижение твердости почвы на глубине ≈ 25 см, что позволило сформировать в обработанном слое большой объем порового пространства. В эти поры с крупными размерами трещин вода может свободно стекать в нижележащий подпахотный горизонт под действием гравитационных сил. Об этом свидетельствуют данные, приведенные на графике послойного распределения средних значений запасов влаги за весь период вегетации семенного картофеля, полученные с помощью измерительных зондов (рис. 7). Эти данные показали, что междурядная обработка почвы с помощью предлагаемого культиватора

позволила также наиболее полно усвоить влагу, выпавшую с осадками, отвести их в нижние слои, и тем самым избежать излишнего увлажнения верхних горизонтов корнеобитаемого слоя. При этом, отсутствие переуплотнения на пути развития корневой системы картофеля позволяет растениям использовать запасы влаги, находящиеся в нижних горизонтах корнеобитаемого слоя.

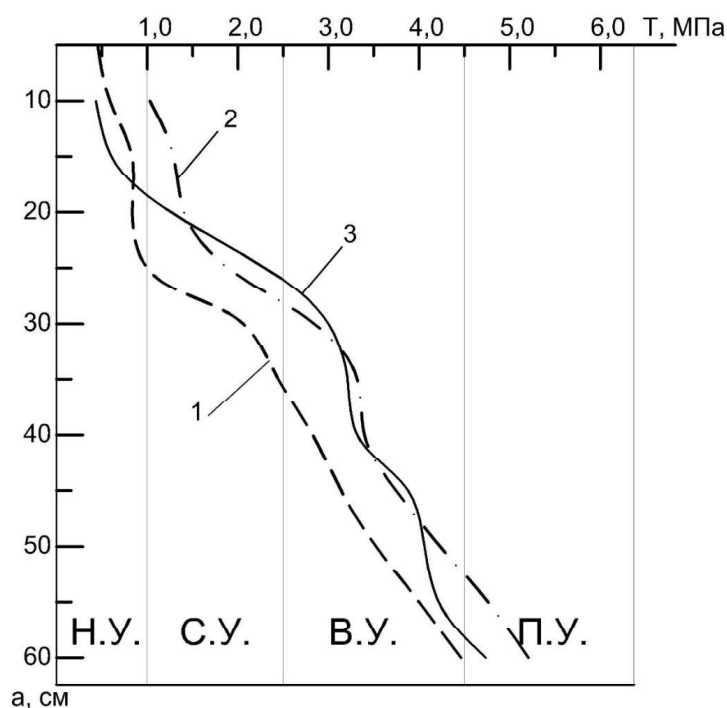


Рис. 6. Изменение усредненных значений твердости почвы по глубине корнеобитаемого слоя при использовании культиватора-глубококорыхлителя: 1 – до прохода картофелепосадочной машины; 2 – после прохода картофелепосадочной машины; 3 – после прохода пропашного культиватора-глубококорыхлителя

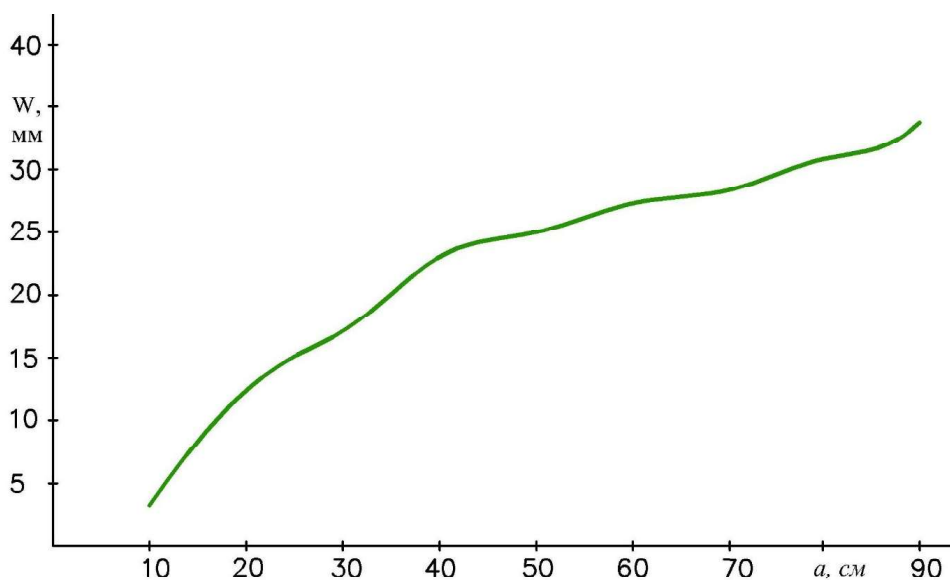


Рис. 7. График послойного распределения средних значений запасов влаги за весь период вегетации семенного картофеля

Необходимо также отметить, что установка рыхлительных лап по ширине захвата на разную глубину позволила выполнить дифференцированную обработку, при которой происходит пересечение зон деформации от действия соседних рабочих органов, обеспечивающее требуемое качество крошения почвы в междурядьях и в гребнях [11]. Основным условием обеспечения требуемых показателей качества крошения обрабатываемого слоя является выполнение полевых работ в период физической спелости почвы. Поэтому данный культиватор необходимо применять сразу





же после прохода картофелепосадочной машины, не дожидаясь высыхания уплотненной почвы в междурядьях.

Заключение. Для совершенствования технологии возделывания семенного картофеля предложено применять пропашной культиватор-глубокорыхлитель сразу же после прохода картофелепосадочной машины. Дифференцированная по глубине обработка почвы формирует мелкокомковатую структуру внутри гребня и крупные поры в междурядьях, которые позволяют усваивать значительные объемы влаги, поступившей в почву с осадками. По результатам производственной проверки такой прием обработки почвы позволил увеличить запасы доступной влаги в корнеобитаемом слое на 26% по сравнению с типовой западноевропейской технологии. При этом глубокое рыхление междурядий позволило обеспечить полное разрушение переуплотненных участков, так что твердость почвы по всей глубине корнеобитаемого слоя не превысила предельного значения для корневой системы картофеля, равного 4,5 МПа. Поэтому накопленная влага стала доступной для растений, что обеспечило их устойчивость к воздействию неблагоприятных погодных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивашова О.Н., Гаспарян И.Н. Возделывание двух урожаев в условиях Московской области. М., 2021. 132 с.
2. Медведев В.В. Твердость почвы. Харьков, 2009. 152 с.
3. Selection and justification of potato inter row tillage systems based on development of dynamic model of heat and moisture transfer between soil layers / A. Kalinin, V. Kalinina, I. Teplinsky, V. Ruzhev // *Engineering for Rural Development* : 19, Jelgava, 20–22 мая 2020 года. Jelgava, 2020. P. 819–825. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF191.
4. Калинин А.Б., Теплинский И.З., Теймуров Т.Ш. Совершенствование методов и средств снижения технологических рисков при функционировании машин для возделывания картофеля // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2021. № 62. С. 178–190.
5. Шпаар Д., Быкин А., Дрегер Д. Картофель / под ред. Д. Шпаара. Торжок: ООО «Вариант», 2004. 466 с.
6. Конкурентоспособные технологии семеноводства, производства и хранения картофеля. М., 2018. 236 с.
7. Stalham M. A., Allen E. J., Rosenfeld A. B. and Herry F. X. Effects of soil compaction in potato (*Solanum tuberosum*) crops // *The Journal of Agricultural Science*. 2007. Vol. 145, Iss.4. P. 295–312.
8. Давлетшин М.М. Мударисов С.Г. Чизельные плуги и глубокорыхлители. Уфа, 2014. 152 с.
9. Сельскохозяйственные машины: Практикум: учеб. пособие / В. Е. Бердышев [и др.]; под ред. М.А. Новикова. СПб., 2022. 315 с.
10. Теплинский И.З., Калинин А.Б. Алгоритм настройки чизельных плугов на глубину обработки // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1997. № 2. С. 22–24.
11. Устроев, А. А., Калинин А. Б., Кудрявцев П. П. Исследование пропашного культиватора-глубокорыхлителя для обработки посадок картофеля в органическом земледелии // *Техника и оборудование для села*. 2018. № 6. С. 22–25.

REFERENCES

1. Ivashova O.N., Gasparyan I.N. Cultivation of two crops in the conditions of the Moscow region. Moscow, 2021. 132 p.
2. Medvedev V.V. Soil hardness. Kharkov, 2009. 152 p.
3. Selection and justification of potato inter row tillage systems based on development of dynamic model of heat and moisture transfer between soil layers / A. Kalinin, V. Kalinina, I. Teplinsky, V. Ruzhev. *Engineering for Rural Development* : 19, Jelgava, May 20–22, 2020. Jelgava, 2020. P. 819–825. DOI 10.22616/ERDev.2020.19.TF191.
4. Kalinin A.B., Teplinskiy I.Z., Teimurov T.Sh. Improving the methods and means of reducing technological risks in the operation of machines for growing potatoes. *Izvestiya of the St. Petersburg State Agrarian University*. 2021; 62: 178–190.
5. Shpaar D., Bykin A., Dreger D. Potato / ed. D. Spaara. Torzhok: Variant LLC, 2004. 466 p.
6. Competitive technologies for seed production, production and storage of potatoes. Moscow, 2018. 236 p.
7. Stalham M. A., Allen E. J., Rosenfeld A. B. and Herry F. X. Effects of soil compaction in potato (*Solanum tuberosum*) crops. *The Journal of Agricultural Science*. 2007; 145; 4: 295–312.
8. Davletshin M.M. Mudarisov S.G. et al. Chisel plows and subsoilers. Ufa, 2014. 152 p.
9. Agricultural machines: Workshop: textbook / V. E. Berdyshev et al.; ed. M.A. Novikov. St. Petersburg, 2022. 315 p.
10. Teplinskiy I.Z., Kalinin A.B. Algorithm for adjusting chisel plows to the depth of processing. *Tractors and agricultural machines*. 1997; 2: 22–24.
11. Ustroevev, A. A., Kalinin, A. B., Kudryavtsev, P. P. Study of a tilled cultivator-subsoiler for processing potato plantations in organic farming. *Machinery and equipment for the village*. 2018; 6: 22–25.

Статья поступила в редакцию 2.12.2022; одобрена после рецензирования 24.12.2022; принята к публикации 11.01.2023.
The article was submitted 2.12.2022; approved after reviewing 24.12.2022; accepted for publication 11.01.2023.