EDN: PZWYSU
DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-39-48

CC BY

Научная статья
УДК 631.31

Трансформация и интеграция процессов и систем земледелия в природный ресурсооборот

Вячеслав Филиппович Федоренко,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН, главный научный сотрудник,
e-mail: f@maro.pro

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Закономерный переход к новой стратегии земледелия – к рационализации использования доступных природных ресурсов характеризуется экономичными способами обработки почвы. Инновационные тенденции в растениеводстве предусматривают, в том числе, частичный или полный отказ от технологии отвальной вспашки, отсутствие вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальное нарушение почвенного покрова сельскохозяйственными машинами, уменьшение деградации и эрозии почвы. (*Цель исследования*) Применение технологических подходов, процессов и технических систем, разработанных в соответствии с современными представлениями о продукционных процессах в растениеводстве. (*Материалы и методы*) Развитие технологий обработки почвы связано с переходом от экстенсивного земледелия к системам управления природными ресурсами, которые основаны на естественных или близких к ним процессах и обеспечивают меньшее производство энтропии, чем техногенные технологии. Новые подходы, в частности системы нулевой обработки почвы (*no-till*), должны базироваться на концепции симбиоза растений и почвенных микроорганизмов и их взаимодействии с условиями и факторами окружающей среды. (*Результаты и обсуждение*) Для обеспечения оптимальных условий сохранения и развития биоценозов в корнеобитаемых слоях почвы предлагается использовать погружаемые пневмогидробуры с возможностью внутрипочвенной обработки, рыхления и аэрации импульсами сжатого воздуха с последующими орошением, внесением удобрений и гидрогеля. Представляются наиболее перспективными и целесообразными агротехнологии, технические системы и средства, формирующие условия для максимальной реализации генетического потенциала продуктивности растений, формирования механизмов взаимодействия биомашинных систем и процессов живой природы для получения максимального и рационального синергетического эффекта. (*Выводы*) В соответствии с современными представлениями о продукционных процессах в растениеводстве обоснованы и разработаны технологические процессы и технические системы. Предлагаемые решения базируются на концепции симбиоза растений и почвенных микроорганизмов за счет внутрипочвенной обработки, рыхления и аэрации импульсами сжатого воздуха.
Ключевые слова: растениеводство, технологии земледелия, агробиоценозы, биомашинные системы, принцип производства энтропии, нулевая обработка почвы, корнеобитаемый слой, пневмогидробуры, гидрогель.

Для цитирования: Федоренко В.Ф. Трансформация и интеграция процессов и систем земледелия в природный ресурсооборот. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N3. 39-48. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-39-48. EDN: PZWYSU.

Scientific article

Transformation and Integration of Agricultural Processes and Systems into the Natural Resource Cycle

Vyacheslav F. Fedorenko,
Dr.Sc.(Eng.), professor, member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher,
e-mail: f@maro.pro

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The natural shift towards a new agricultural strategy targeting at the rational use of available natural resources is marked by more economical soil cultivation methods. Innovative trends in crop production include, among other practices, the partial or complete elimination of moldboard plowing, the avoidance of vertical mixing of the arable layer, minimal soil disturbance by agricultural machinery, and a reduction in soil degradation and erosion. (*Research purpose*) The paper explores the application of

technological approaches, processes, and technical systems developed in accordance with contemporary concepts of production processes in crop cultivation. (*Materials and methods*) The development of soil cultivation technologies is associated with the shift from extensive agriculture to natural resource management systems that leverage natural or nature-mimicking processes, resulting in lower entropy production than technogenic methods. New approaches, such as no-till systems, should be based on the concept of symbiosis between plants and soil microorganisms, and their interaction with environmental conditions and factors. (*Results and discussion*) To ensure optimal conditions for the preservation and development of biocenoses within the root-occupied soil layers, it is proposed to use submersible pneumatic hydrodrills capable of subsoil processing, loosening, and aeration through compressed air pulses. This process is followed by irrigation, fertilizer application and hydrogel integration. The most promising and appropriate agricultural technologies, technical systems and tools are those that maximize the genetic potential of plant productivity and facilitate the interaction between biomachine systems and natural processes. These approaches aim to achieve the highest and most rational synergistic effect. (*Conclusions*) In accordance with modern concepts in crop cultivation, technological processes and technical systems have been developed and substantiated based on the concept of symbiosis between plants and soil microorganisms. These systems utilize subsoil processing, loosening, and aeration through pulses of compressed air.
Keywords: plant growing, crop cultivation, agricultural technologies, agrobiocenoses, biomachine systems, entropy production principle, zero tillage, no-tillage, root-occupied soil layer, pneumatic hydrodrills, hydrogel.

For citation: Fedorenko V.F. Transformation and integration of agricultural processes and systems into the natural resource cycle. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N3. 39-48 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-39-48. EDN: PZWYSU.

Эволюцию земледелия определяли технологические процессы и технические системы, направленные на повышение эффективности использования доступных природных ресурсов для производства продуктов питания, кормов, сырья (Менделеев Д.И. С думою о благе российском: Избранные экономические произведения. Новосибирск: Наука, 1991. 231 с.). В XX веке в земледелии начался новый этап – переход к стратегии минимума производства энтропии (Глендорф П., Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. М.: Мир,1973. 280 с.). Его принцип основывается на рациональном использовании ресурсов за счет внедрения нетрадиционных (природоподобных, почвозащитных, природоохранных, адаптивных, зеленых и др.) технологических процессов и систем бесплужной обработки почвы. Такие приемы исключают чрезвычайно энергозатратный процесс отвальной вспашки, при котором происходят срезание, крошение и оборот почвенного пласта [1, 2].

Каждый почвенный слой населен колоссальным количеством и видовым разнообразием микроорганизмов [3, 4]. При обороте пласта аэробные агробиоценозы (бактерии, грибы, водоросли, простейшие животные и пр.), адаптированные к жизни в верхних слоях почвы, оказываются внизу и большинство их гибнет. Обитающие в глубине пласта анаэробные микроорганизмы попадают соответственно наверх и тоже гибнут.

Принципиально важно отметить, что агроценозы обеспечивают формирование плодородия почвы, накопление в ней гумуса (Андрианов Б.В. Земледелие наших предков. М.: Наука, 1978. 167 с.). Особенно негативно влияет на изменение агрохимических показателей почвы фотохимическое воздействие солнечной энергии. Чем интенсивнее и чаще применяется поверхностная механическая обработка почвы, тем масштабнее разрушительный эффект фотохимических факторов на гумус [5].

Однако переход на альтернативные технологии не исключает основных негативных последствий отвальной вспашки. К ним относятся разрушение корнеобитаемого слоя, эрозия почвы, потеря влаги и особенно изменение условий для почвенных биоценозов, как доноров веществ и соединений, необходимых высшим растениям для питания и защиты от стрессов (Бобровский М.В., Гин А. Земледелие в Европе. Хронология с картинками. ТРИЗ-профи: Эффективные решения в сельском хозяйстве. М.: Кушнир, 2006. 220 с.). Способы повышения продуктивности почвы в любых агроэкологических условиях наиболее рациональны и эффективны при обеспечении корнеоборота почвы и растений в тесной взаимосвязи с другими компонентами биоты, воздухом и водообменом, а также с учетом взаимодействия с обрабатывающими орудиями и машинами на основе теории биомашсистем (Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения. М.: МАКСПресс. 2015. 196 с.; Генетические основы эволюции бактерий-симбионтов растений; под ред. Проворов Н.А., Тихонович И.А. СПб: Информ-Навигатор, 2016. 240 с.); [6].

Основные тенденции изменения почвенного покрова обусловлены прямым воздействием антропогенных факторов и косвенным влиянием климатических, гидрогеологических и социально-экономических условий [7]. Хозяйственная деятельность сопровождается преобразованием природной структуры почв и приводит к формированию специфи-

ческих видов организации почвенного покрова в зависимости от характера и интенсивности землепользования. При этом зачастую усугубляется исходная природная неоднородность либо, наоборот, выравнивается ряд характеристик почв [8].

Преобразования почвенного покрова могут наблюдаться в нескольких направлениях, которые в каждом ландшафте накладываются друг на друга, вызывая совокупный и не всегда положительный эффект. В первую очередь воздействию подвергаются отдельные ареалы почв. В результате изменяется строение почвенного профиля, физические, химические, биологические свойств отдельных горизонтов, тепловой, водный, газовый, трофический, окислительно-восстановительный, солевой режимы функционирования почвы (Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного (земельного) покрова, тенденции изменения, деградация, методология учета, прогнозы. М.: МБА, 2022. 100 с.).

В результате исследований, полевых испытаний разработаны природоподобные технологические процессы, технические системы и средства внутрипочвенной обработки, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы с применением гидрогеля, которые защищены патентами на изобретение: «Пневмогидробур» (*RU 2740805*), «Пневмогидробур с защитным устройством» (*RU 2802309*), «Устройство для внутрипочвенных обработки, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы и способ внутрипочвенных обработки аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы таким устройством» (*RU 2807342*), «Устройство для обработки корнеобитаемых горизонтов почв и способ обработки корнеобитаемых горизонтов почв таким устройством» (*RU 2807736*), «Способ и устройство определения границ распределения влаги в почве при внутрипочвенном точечном ее внесении» (*RU2812537*).

Указанные изобретения в полной мере соответствуют стратегии развития биосферы земледелия, базирующей на фундаментальном принципе минимума производства энтропии (Циглер Г. Экстремальные принципы термодинамики необратимых процессов и механика сплошной среды. М.: Мир, 1966. 136 с.). Процессы и устройства обеспечивают повышение продуктивности корнеобитаемых слоев почвы, достижение максимальных биологических и экологических параметров при высоком качестве, мобильности, энергоэффективности (Коммонер Б. Замыкающийся круг. Л.: Гидрометеоиздат. 1974. 274 с.). Особый эффект обеспечивает внесение в корнеобитаемые слои почвы раствора гидрогеля, обладающего высокими абсорбирующими свойствами. Гидрогель в сочетании с растворами микробных биопрепаратов и удобрений создает оптимальный режим увлажнения и питания корневой системы растений. При пересыхании почвы гидрогель отдает влагу, при переувлажнении – впитывает ее [8].

Цель исследования: обоснование концептуальных принципов трансформации и интеграции в природный ресурсооборот технологических процессов и технических систем обработки почвы, повышающих ее плодородие и предотвращающих деградацию путем оптимизации условий симбиоза растений и почвенных микроорганизмов. Оценка возможностей применения предлагаемых способов и устройств для внутрипочвенного рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха корнеобитаемых слоев почвы, последующего орошения, удобрения, внесения гидрогеля.

Материалы и методы. Проведен анализ теоретических и практических результатов изучения и оценки закономерностей трансформации технологических процессов, технических систем обработки почвы и интеграции их в природный ресурсооборот, формирования и развития деградации и эрозии сельскохозяйственных земель. Современные представления о физиологии растительных и почвенных организмов базируются на концепции симбиоза растений и почвенных биоценозов. Это создает предпосылки для разработки технологических параметров, технических характеристик, потребительских свойств, технических систем и средств для внутрипочвенных операций обработки, рыхления, аэрации, орошения, внесения удобрений и гидрогеля в корнеобитаемые слои почвы.

По результатам лабораторных и полевых исследований с применением универсального пневмогидробура и лабораторного стенда (*рис. 1*) предложена система раздельной подачи импульсов сжатого воздуха и воды или аэрозоля (смесь воздуха, растворов удобрений и/или гидрогеля) в требуемых пропорциях при использовании комбинированных наконечников.

В состав лабораторного стенда входят пневмогидробур *1* со сменными наконечниками *2*, крестовина, на которой с трех сторон монтируются шаровые краны *3*, бункер для сухих компонентов *4*. К боковому входу присоединен трубопровод для подачи растворов, ко второму – шланг импульсной подачи сжатого воздуха. В трубопроводы вмонтированы датчики расхода жидкости *5* и воздуха 6 с цифровыми индикаторами расхода *7*, *8* и блоком питания *13*. Ствол пневмогидробура встроен в накопительную емкость *9* с конусным днищем, шаровым краном, ротаметром поплавкового типа *10*, пробоотборником *11* и лабораторными весами *12*.

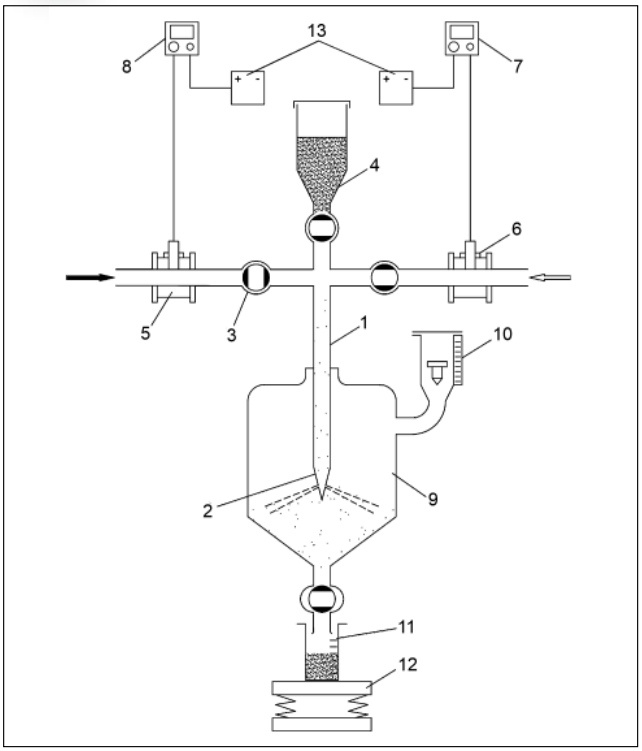

Рис. 1. Схема стенда для отработки режимов работы универсального пневмогидробура
Fig. 1. Diagram of the test bench for tuning operating modes of the universal pneumatic-hydraulic drill

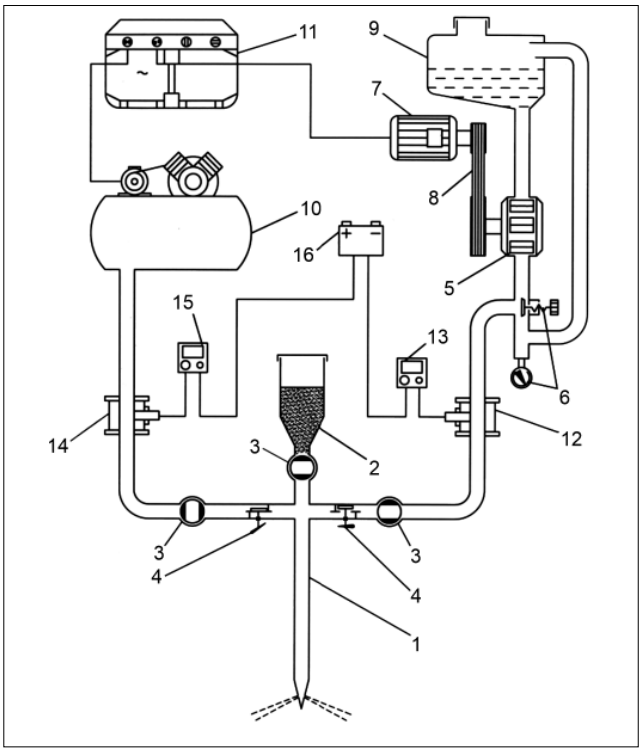

Рис. 2. Схема мобильной лаборатории
Fig. 2. Diagram of the mobile laboratory

Оценку эффективности внутрипочвенной подачи импульсов сжатого воздуха в корнеобитаемые горизонты почвы с последующим внесением через универсальные пневмогидробуры воды, водно-воздушных смесей и водных растворов удобрений или гидрогеля проводили в мобильной лаборатории (*рис. 2*).

В лабораторную установку входят: трехканальный пневмогидробур *1*, бункер *2* с порошковыми компонентами, краны шаровые *3*, клапаны ручные *4*, насос роликовый *5*, регулятор расхода с манометром *6*, электродвигатель привода насоса *7*, клиноременная передача *8*, бак для растворов *9*, компрессор с ресивером *10*, электрогенератор *11* (220 В), жидкостный расходомер *12*, блок управления расходомером *13*, расходомер воздушный *14*, блок управления *15*, источник постоянного тока *16* (12 В).

Результаты и обсуждение. Анализ эволюции технологий обработки почвы свидетельствует о необходимости увеличения объемов производства продовольствия с ростом численности населения, которое можно было обеспечить за счет увеличения площадей угодий и повышения урожайности посевов. Это требовало более совершенной производительной и эффективной технологии обработки почвы [9, 10].

В наибольшей степени соответствовали этим требованиям появившиеся еще до нашей эры плуги. Их конструкция совершенствовалась, и к концу XVIII века был создан отвальный плуг. С его помощью верхняя часть пахотного слоя переворачивалась и укладывалась в борозду, а на поверхности оказывался нижний, рыхлый плодородный слой. На первых порах отвальная вспашка способствовала пополнению в почве влаги, уничтожению сорняков и вредителей растений, жизнедеятельности в почве полезных микроорганизмов, что обусловлено во многом высоким содержанием гумуса [11].

Плужная обработка почвы требовала значительного увеличения энергетических затрат за счет использования энергии тягловых животных, а затем тракторов. Повышение урожайности осталось важнейшим требованием, и экстенсивный путь развития земледелия, основанный на типично технократических подходах, казался единственно правильным. Работал принцип максимума производства энтропии, требующий использования в сельском хозяйстве все больших энергетических, почвенных, водных ресурсов.

Применявшаяся в середине XX века технология включала вспашку, несколько культиваций, боронование, предпосевное выравнивание, посев и дополнительное прикатывание почвы. Мощность тракторов, глубина вспашки и ширина захвата плугов постоянно росли (Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 372 с.).

В этот период эволюция земледелия развивалась по пути все большего использования свободной энергии, поступающей с солнечным излучением и запасенной в элементах окружающей среды (газ, нефть, угль, сапропель, гумус). Возможности использования свободной энергии, особенно за счет природных ресурсов, подошли к своему пределу. Постепенно возникало понимание о необходимости ориентации земледелия на технологии, основанные на использовании природных или природоподобных процессов.

Одним из основоположников почвозащитной системы земледелия, показавших ненужность и вредность плуга, был русский ученый-агроном Иван Евгеньевич Овсинский. Еще в 1899 году он указывал, что при глубокой вспашке затрачиваются громадные суммы на увеличение тяглового усилия, удобрения, количество которых при рациональной обработке можно значительно уменьшить или совсем не применять, теряются миллиарды рублей вследствие неурожаев при засухе, которая разоряет хозяйство при глубокой вспашке (Овсинский И.Е. Новая система земледелия / Перепечатка публикации 1909 г. М.: Агро-Сибирь, 2004. 47 с.). Он сравнивал разрушительный эффект от плуга для отвальной вспашки с разрушением от артиллерийских снарядов: «Знаменитый Крупп своими снарядами военного разрушения не принес столько вреда человечеству, сколько принесла одна фабрика плугов для глубокой вспашки».

На Западе развитие ресурсосберегающего земледелия начинается в 1930-е годы с опытов, которые показали прекрасные результаты в улучшении структуры и повышении плодородия почвы. В 1943 г. вышла книга «Безумие пахаря», в которой Э. Фолкнер (Faulkner E.N. Plowman's Folly. Norman. University of Oklahoma Press. 1943. 174) критикует плужную обработку почвы, считая ее вреднейшим приемом, приведшим земледелие США и других стран к упадку, бесплодию почв и многим другим бедам. В СССР аналогичные идеи получили отражение в системах земледелия, разработанных Т.С. Мальцевым для Зауралья, А.И. Бараевым для Казахстана и Сибири (Бараев А.И. и др. Почвозащитное земледелие. М.: Колос, 1995. 574 с.).

С этих исследований начался поворот в земледелии на так называемые нетрадиционные технологии обработки почвы: адаптивные, почвозащитные, природоохранные, минимальные, нулевые, зеленые. Эти агротехнологии характеризуются более экономичными способами обработки почвы: частичным или полным отказом от отвальной вспашки, отсутствием вертикального перемешивания пахотного слоя, минимальным нарушением почвенного покрова сельскохозяйственными машинами и обязательным мульчированием почвы с целью сохранения влаги и уменьшения эрозии почвы [12].

Система нулевой обработки почвы – современная система земледелия, при которой почва не обрабатывается, а ее поверхность укрывается специально измельченными остатками растений – мульчей. В различных регионах планеты внедряется технология прямого посева (*no-till*) и мульчирования (*mulchtillage*) при мелком, поверхностном рыхлении или даже полном отказе от обработки почвы. Также в целях экономии энергии операции совмещаются во времени [13, 14].

При безотвальной обработке, согласно экспериментальным данным ряда исследований, смыв почвы в период таяния снега снижается более чем в 2 раза, а ливневыми стоками в 1,5 раза. Мульчирование соломой в количестве 5-6 т/га в 8-10 раз снижает эрозию. В процессе формирования мульчирующего слоя из пожнивных остатков за несколько лет постепенно восстанавливается биоценоз в почве. Обеспечивается воспроизводство плодородия естественным путем за счет высокого кругооборота питательных элементов, активизации агробиоценозов, накопления почвенного углерода, минимизации внесения минеральных удобрений и практически полного предотвращения почвенной эрозии [15, 16].

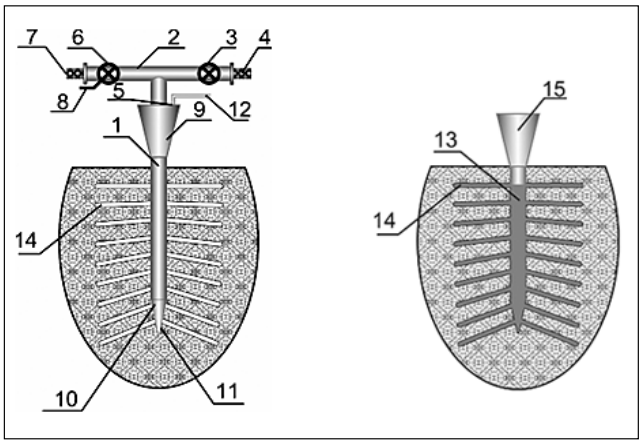

Рис. 3. Разрез корнеобитаемого горизонта почвы при подаче через пневмогидробур импульса сжатого воздуха (слева) или аэрозоля и гидрогеля (справа): 1 – ствол; 2 – полая рукоятка; 3, 6 – вентили; 4 – шланг с водой или растворами под давлением; 5 – форсунка; 7 – шланг сжатого воздуха; 8 – рычаг ручной подачи сжатого воздуха; 9 – смесительная камера; 10 – наконечник с перфорацией; 11, 12 – инжекторы; 13 – скважины; 14 – каналы; 15 – воронка (Патент RU2740805)

Fig. 3. Section of the root-occupied soil horizon during the supply of compressed air pulse (left view) or aerosol and hydrogel (right) by pneumatic hydraulic drill: 1 – stem; 2 – hollow handle; 3, 6 – valves; 4 – hose carrying pressurized water or solutions; 5 – nozzle; 7 – compressed air hose; 8 – manual compressed air feed lever; 9 – mixing chamber; 10 – perforated tip; 11, 12 – injectors; 13 – boreholes; 14 – channels; 15 – funnel (Patent RU2740805)

Разработан и изготовлен пневмогидробур (*рис. 3*) с возможностью раздельной подачи под давлением воздуха, воды или аэрозоля в виде смеси воздуха, растворов удобрений и гидрогеля (при использовании комбинированных наконечников) в требуемых пропорциях.

Подача импульсов сжатого воздуха через пневмогидробуры, вертикально погружаемые в корнеобитаемые слои почвы, способствуют рыхлению, аэрированию, насыщению корнеобитаемых слоев воздухом. При этом в почве формируются полости, поры и микропустоты. Затем подача сжатого воздуха прекращается и через пневмогидробур в образовавшиеся полости под давлением подаются непосредственно к корневой системе растений водные растворы гидрогеля, микробных биопрепаратов, удобрений.

Наиболее рациональным решением является разработанный и изготовленный на опытном заводе ВИМ роботизированный пневмогидробур (*рис. 4*). Модуль можно настроить на внутрипочвенный полив и подкормку определенных плодово-ягодных культур на больших площадях в любое время суток. Точное и аккуратное внесение воды, растворов, гидрогеля, удобрений снижает воздействие на почву и корни растений, сокращается время выполнения операции и увеличивается производительность.

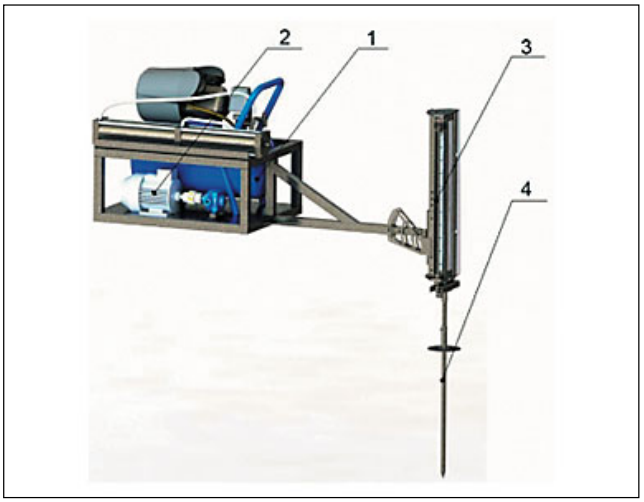

Рис. 4. Роботизированный модуль – пневмогидробур
Fig. 4. Robotic module, or the pneumo-hydraulic drill

При включении компрессора *1* воздух под давлением из ресивера посредством пневматических рукавов поступает по стреле с пневмоцилиндром и линейными направляющими *3* в одну из рабочих полостей пневмоцилиндра, что приводит к заглублению остроконечной трубы гидробура. Затем включается гидронасос *2* и по рукавам высокого давления рабочая жидкость поступает в остроконечную трубку *4* и далее в почву. Происходит процесс прикорневого полива или подкормки. После окончания полива (подкормки) электродвигатель прекращает работу, включается компрессор и воздух под давлением поступает в другую область пневмоцилиндра, при этом остроконечная труба извлекается из почвы. Управление включением и отключением компрессора, а также электродвигателя насоса осуществляется электронным блоком управления с помощью датчиков, установленных в местах соединения гидравлических и пневматических рукавов.

На основании результатов лабораторных и полевых опытов установлены зависимости расхода и давления воздуха, воды или растворов от диаметра отверстий в наконечниках пневмогидробура и давления в системе. Эти зависимости имеют экспоненциальный характер и аппроксимируются в уравнение:

$M_в = aebd$,

где a, b – коэффициенты, определяются экспериментально; e – число Эйлера (2,718…); d – диаметр сопла.

При обработке результатов экспериментальных исследований получены зависимости расхода воды от диаметра сопла при различном давлении:

0,5 бара $M_в = 0{,}31e\ 0{,}79d$ ($a = 0{,}31$, $b = 0{,}79$);

1 бар Мв = $0{,}42e\ 0{,}768d$ ($a = 0{,}42$, $b = 0{,}768$);

1,5 бара $M_в = 0{,}567e\ 0{,}707d$ ($a = 0{,}567$, $b = 0{,}707$);

2 бара $M_в = 0{,}68e\ 0{,}67d$ ($a = 0{,}68$, $b = 0{,}67$).

Обработка данных по расходу воздуха в зависимости от диаметра отверстия наконечника при различных величинах давления в системе позволила получить зависимость:

$$M_в = ad^2 - bd + g,$$

где a, b, g – постоянные коэффициенты.

Для давления 1 бар: $M_в = 4{,}86d^2 - 11{,}06d + 8$;
2 бара: $M_в = 7{,}21d^2 - 16{,}01d + 10{,}6$;
3 бара: $M_в = 9{,}64d^2 - 21{,}24d + 13{,}4$;
4 бара: $M_в = 11{,}93d^2 - 25{,}93d + 16{,}8$.

В экспериментах в полевых условиях с применением универсальных пневмогидробуров при выращивании подвоев яблони и на виноградниках установлено, что наиболее эффективным режимом для внутрипочвенной конденсации является введение в корнеобитаемые слои почвы смеси воздуха и воды. Через двое суток влажность почвы на глубине 0,2, 0,4 и 0,6 м увеличилась соответственно на 13,1, 16,6 и 17,3%. Первоначальная подача сжатого воздуха обеспечила улучшение структуры почвы, расширение каналов, значительно увеличился коэффициент аэрации, а введение воды привело к увлажнению стенок каналов и пор, понижению температуры и увеличению влагосодержания почвы за счет конденсации.

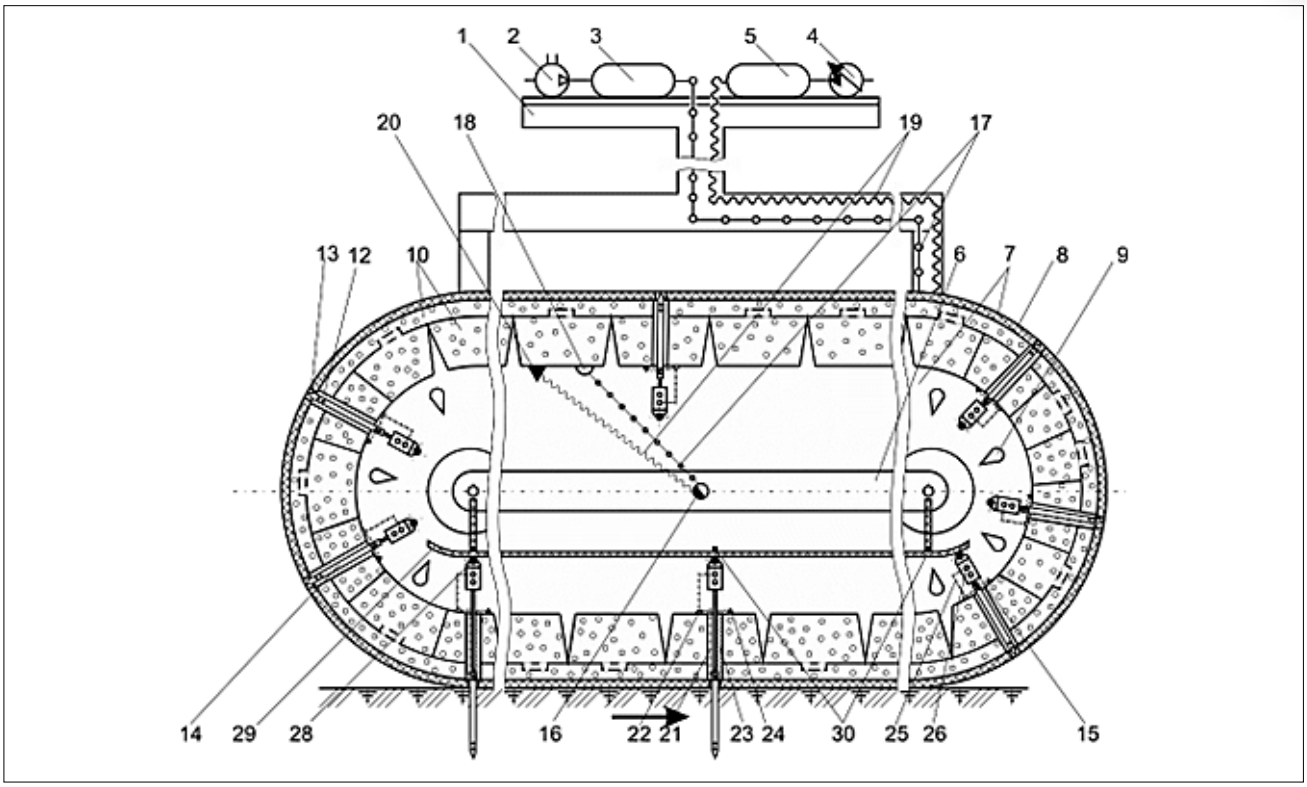

Рис. 5. Схема устройства для внутрипочвенной обработки, аэрации, орошения, удобрения корнеобитаемых слоев почвы (Патент RU2807342)

Fig. 5. Device for in-soil treatment, aeration, irrigation, and fertilization of rootoccupied soil layers (Patent RU2807342)

Разработанный технологический процесс осуществляется с помощью устройства, схема которого представлена на *рисунке 5*.

На раме *1* с элементами навески установлены компрессор *2*, ресивер *3*, насос *4* и закрытые баки *5* с гидрогелем, растворами микробных биопрепаратов и/или удобрений. Снизу к раме шарнирно присоединены рамные элементы 6 с движителем *7* в виде замкнутой сплошной эластичной ленты *8*, внутри которой установлены поддерживающие колеса *9* с натяжителем ленты. Внутренняя поверхность ленты выполнена в виде гофрированных эластичных герметичных емкостейраспределителей сжатого воздуха *10* и растворов *11* (на схеме не показаны), между которыми размещены пазухи *12*. Все герметичные емкостираспределители сжатого воздуха и растворов связаны между собой. По периметру в ленте равномерно выполнены отверстия *13*, сопряженные с пазухами, в которых установлены пневмогидробуры *14*, соединенные с пневмоцилиндрами *15*.

В центре движителя установлены регулятор-стабилизатор давления *16*, который связывает шлангами *17* и электропневмоклапаном *18* ресивер *3* с емкостью-распределителем сжатого воздуха и закрытые баки *5* шлангами *19* и электропневмоклапаном *20* – с емкостями-распределителями растворов. Каждый пневмогидробур связан шлангами *21* и электропневмоклапаном *22* с емкостью-распределителем сжатого воздуха, а шлангами *23* и дополнительным электропневмоклапанами *24* – с емкостямираспределителями растворов *11*. Каждый пневмоцилиндр связан шлангом *25* и электропневмоклапаном *26* с емкостьюраспределителем сжатого воздуха и оснащен выключателем *27* (на схеме не показан) электропневмоклапана и роликом *28*, взаимодействующим с жестко закрепленным в нижней части рамного элемента ограничителем нагрузки *29* на ленту. В начале, конце и в средней части ограничителя нагрузки установлены переключатели *30*.

На краю поля движитель опускают на поверхность почвы, включают подачу электроэнергии и электропневмоклапаны *26*, открывают подачу сжатого воздуха по шлангам *25* из емкостираспределителя. Пневмоцилиндры погружают пневмогидробуры, находящиеся в нижней рабочей зоне ленты, вертикально в почву. При движении ленты очередной пневмоцилиндр достигает переключателя, цикл повторяется, погружая следующий пневмогидробур в почву.

При достижении нижней точки открывается электропневмоклапан *22* и по шлангам *21* через погруженные в почву пневмогидробуры подают в импульсном режиме сжатый воздух, что способствует аэрации корнеобитаемых слоев почвы, формированию почвенных пор, полостей и микропустот.

Когда пневмоцилиндр достигает средней части ограничителя нагрузки, очередной переключатель воздействует на выключатель, который открывает электромагнитный клапан *24* и по шлангам *23* через пневмогидробуры подает в образовавшиеся почвенные поры, полости и микропустоты растворы гидрогеля, микробных биопрепаратов и/или удобрений.

Лента, двигаясь, достигает точки подъема, выключатель очередного пневмоцилиндра взаимодействует с переключателем, подача сжатого воздуха и растворов прекращается, пневмогидробуры поднимают, извлекают из почвы и размещают в пазухах.

В процессе обработки давление сжатого воздуха и растворов в емкостяхраспределителях падает. При достижении критического уровня открывается электроклапан, из ресивера по шлангам *17* регуляторстабилизатор подает сжатый воздух в емкостьраспределитель до достижения соответствующего давления. В емкостяхраспределителях раствора открываются электропневмоклапаны *20*, из закрытых баков по шлангам *19* через регуляторстабилизатор подаются под давлением растворы до достижения соответствующего давления.

Длину пассивного движителя, глубину погружения пневмогидробуров в корнеобитаемые слои почвы, давление в емкостяхраспределителях регулируют и устанавливают в зависимости от характеристики почвы и вида растений (толщины корнеобитаемого слоя). При работе с плотными почвами целесообразно использовать составной пневмогидробур со сменными стволами разного диаметра, а воду, растворы (удобрений и средств защиты растений) и сжатыйвоздух подавать как раздельно, так и одновременно. Агрохимикаты могут вноситься в почву поярусно (на разную глубину).

Предлагаемая природоподобная технология позволяет:

- формировать оптимальные условия для жизнедеятельности агроценозов (корнеобитаемые слои почвы не подвергаются механическому воздействию традиционных технических систем и средств);
- повысить продуктивность почвы, максимально сохранить ее биологические и экологические параметры при высоком качестве, мобильности и энергоэффективности процессов обработки.

В верхнем слое почвы формируется оптимальный воздушноводный режим, что в полной мере соответствует естественному природному ресурсооборотурастительнопочвенных микробных взаимодействий и обеспечивает реализацию системы экологически устойчивого растениеводства.

Установлено, что посадка виноградников с помощью пневмогидробура обходится в 4 раза дешевле, а приживаемость растений значительно выше. Достоверно установлена высокая эффективность технологии посадки эфиромасличных культур с использованием пневмогидробура и гидрогеля [8].

Результаты исследований технологии внутрипочвенного минерального питания растений яблони с использованием гидрогеля подтвердили эффективность его применения. Прирост центрального и боковых побегов увеличился соответственно на 25-30 и до 40% по сравнению с контролем.

Показатели продуктивности по урожайности и сбору эфирного масла лаванды узколистной сорта Синева первого года вегетации при внесении в зону корневой системы воды в смеси с воздухом в количестве 2 л на одно растение и 2 л гидрогеля под давлением 2 бара значительно превышают контроль. В варианте с внесением смеси воздуха и воды превышение над контролем по урожайности составило 14,8%, по сбору эфирного масла – на 68,5%. В варианте опыта с внесением гидрогеля превышение над контролем по урожайности составило 106,8%, по сбору эфирного масла – 154,9%.

Выводы. Большинство сельскохозяйственных угодий, прежде всего почв, оценивается как посредственное, плохое или очень плохое. Вследствие этого необходимы и целесообразны принципиально новые пути и методы трансформации технологических процессов и технических систем с интеграцией в природный ресурсооборот.

Сформированы концептуальные подходы по созданию природоподобных технологических процессов и технических систем в соответствии с современными представлениями о продукционных процессах в растениеводстве, симбиозе растений и микроорганизмов почвы, оценке факторов, влияющих на процессы деградации и эрозии плодородных слоев земли.

Главнейшая задача современной агротехники – крошение пласта различной толщины в разных условиях посредством клиньев всевозможной формы. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что именно такие процессы и технические системы оказывают наиболее значимое негативное влияние на земледелие в целом. Чем интенсивнее и чаще происходит поверхностная, механическая обработка почвы, тем масштабнее разрушительные воздействия фотохимических факторов на жизнедеятельность агроценозов, которые обеспечивают формирование плодородия почвы, накопление в ней гумуса.

Разработанные технологические процессы, технические системы и средства базируются на принципиально отличных от подходов земледельческой механики физических принципах, физиологических представлениях о продукционных процессах в растениеводстве, направлены на обеспечение оптимальных условий сохранения и развития агробиоценозов, сформировавшихся при возделывании

сельскохозяйственных культур в корнеобитаемых слоях почвы без их оборота и разрушения за счет внутрипочвенной обработки, рыхления, аэрации, создания полостей, микропустот импульсами сжатого воздуха посредством погружения в почву пневмогидробуров, последующего орошения, внесения удобрений, пестицидов, гидрогеля.

Получены эффективные практические результаты и дана положительная оценка возможности и целесообразности применения предлагаемых способов и устройств для внутрипочвенного рыхления, аэрации импульсами сжатого воздуха корнеобитаемых слоев почвы, последующего орошения, удобрения, внесения гидрогеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грошева О.А. Развитие теоретических идей и практических приемов почвозащитного земледелия: отечественный и зарубежный опыт // *Успехи современного естествознания*. 2021. N11. С. 13-18. DOI: 10.17513/use.37706.
2. Бородычев В.В., Шевченко В.А., Лытов М.Н. Концептуальные подходы к оценке и выделению участков неиспользуемых земель для создания проектов органического сельского хозяйства // *Новые технологии*. 2020. Т. 16. N6. С. 58-69. DOI: 10.47370/2072-0920-16-6-58-69.
3. Михайлушкин П.В., Алиева А.П. Органическое земледелие – направление перехода к «зеленой» экономике России // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020. N2 (374). С. 17-19. DOI: 1024411/2587-6740-2020-12022.
4. Семиченко Е.В. Урожайность севооборотов в зависимости от приемов биологизации // *Аграрная наука*. 2021. N344 (1). С. 121-124. DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-121-124.
5. Новоселов С.И. Влияние фотохимического воздействия света на подвижность гумусовых веществ и свойств почвы // *Агрохимия*. 2021.N12. С. 37-41. DOI: 10.31857/50002188121120097.
6. Гладышева О.В., Свирина В.А., Артюхова О.А. Влияние разных по интенсивности приемов основной обработки оподзоленного чернозема на состояние плодородия и продуктивность культур // *Аграрная наука*. 2020. N7-8. С. 99-102. DOI: 10.32634./0869-8155-2020-340-7-99-102.
7. Денисов К.Е., Полетаев И.С., Гераскина А.А. Влияние различных схем питания на урожайность яровой твердой пшеницы при разных способах основной обработки почвы // *Аграрный научный журнал*. 2022. N 5. С. 10-12. DOI: 10.28983/asj.y2022i5pp10-12.
8. Мишуров Н.П. Федоренко В.Ф., Аристов Э.Г. и др. Результаты исследований подпочвенного орошения многолетних эфиромасличных культур с использованием гидрогеля // *Техника и оборудование для села*. 2022. N11. С. 11-15. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-11-11-15.
9. Черногаев В.Г., Свирина В.А. Сравнительный анализ эффективности применения различных способов обработки почвы в системе ресурсосберегающих технологий земледелия // *Аграрная наука*. 2020. N11-12. С. 105-107. DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107.
10. Рзалиев А.С., Голобородько В.П., Чирков А.Г., Сопов Ю.В. Влияние различных способов обработки почвы на ее агрофизические показатели // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2013. N12. С. 105-109. EDN: RTFEVD.
11. Пуртова Л.Н.,Щапова Л.Н,, Полохин О.В. Влияние различных способов обработки почвы и норм внесения удобрений на гумусное состояние и микрофлору агрогенных почв Приморья // *Научное обозрение. Биологические науки*. 2017. N5. С. 23-27. EDN: YMWCID.
12. Ялалетдинов Д.А., Рахимов И.Р., Куликова А.П. и др. Моделирование процессов рыхления почвы сжатым воздухом // *Челябинский физико-математический журнал*. 2024. Т. 9. Вып. 1. С. 160-168. DOI: 10.47475/2500-0101-2024-9-1-160-168.
13. Feklistova P. Optimization of composition of complex biopreparations for plants yield increasing. *Biologically Active Preparations for Plant Growing*. 2020. 189-191. EDN: PPNBAA.
14. Jin H., Zhong Y., Shi D. et al. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021. 130:1080 i 3. DOI: 10.10165.ecolind.2021.108013.
15. Young M.D., Ros G., deVries W. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021. 319:107551. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107551.
16. He J., Li H., Wang X. et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research*. 2007. 94(2).493-502. DOI: 10.1016/j.still.2006.10.005.

REFERENCES

1. Grosheva O.A. Development of theoretical ideas and practical methods of soil-protective agriculture: domestic and foreign experience. *Successes of Modern Natural Science*. 2021. N11. 13-18 (In Russian). DOI: 10.17513/use.37706.
2. Borodychev V.V., Shevchenko V.A., Lytov M.N. Conceptual approaches to assessment and allocation of unused lands for organic agriculture projects. *New Technologies* (Majkop). 2020. Vol. 16. N6. 58-69 (In Russian). DOI:

10.47370/2072-0920-16-6-58-69.
3. Mikhaylushkin P.V., Alieva A.R. Organic agriculture — direction of transition to the green economy in Russia. *International Agricultural Journal*. 2020. N2 (374). 17-19 (In Russian). DOI: 1024411/2587-6740-2020-12022.
4. Seminchenko E.V. Crop rotation yield depending on from the receptions of biologization. *Agrarian Science*. 2021. N344 (1). 121-124 (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2021-344-1-121-124.
5. Novoselov S.I. Effect of photochemical exposure light on the mobility of humus substances and soil properties. *Agrohimia*. 2021. N12. 37-41 (In Russian). DOI: 10.31857/50002188121120097.
6. Gladysheva O.V., Svirina V.A., Artyukhova O.A. Influence of different intensity methods of basic processing of podzolized chernozem on the state of fertility and productivity of crops. *Agrarian Science*. 2020. N7-8. 99-102 (In Russian). DOI: 10.32634./0869-8155-2020-340-7-99-102.
7. Denisov K.E., Poletaev I.S., Geraskina A.A. The influence of different nutrition schemes on the yield of spring durum wheat with different methods of basic tillage. *Agrarian Scientific Journal*. 2022. N5. 10-12 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2022i5pp10-12.
8. Mishurov N.P., Fedorenko V.F., Aristov E.G. et al. Results of studies of subsoil irrigation of perennial essential oil crops using hydrogel. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022. N11. 11-15 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-11-11-15.
9. Chernogaev V.G., Svirina V.A. Comparative analysis of the efficiency of application of different methods of tillage in the system of resource-saving agriculture technologies. *Agrarian Science*. 2020. N11-12. 105-107 (In Russian). DOI: 10.32634/0869-8155-2020-343-11-105-107.
10. Rzaliev A.S., Goloborodko V.P., Chirkov A.G. Effect of different soil cultivation on its agrophysical performance. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2013. N12. 105-109 (In Russian). EDN: RTFEVD.
11. Purtova L.N., Shchapova L.N. Polokhin O.V. Influence of various methods of soil treatment and norm of fertilization on humus state and microflora of agricultural soils of the Primorsky territory. *Scientific Review. Biological Sciences*. 2017. N5. 23-27 (In Russian). EDN: YMWCID.
12. Yalaletdinov D.A., Rahimov I.R., Kulikova A.P. et al. Simulation of soil loosening processes with compressed air. *Chelyabinsk Physical and Mathematical Journal*. 2024. T. 9. N1. 160-168 (In Russian). DOI: 10.47475/2500-0101-2024-9-1-160-168.
13. Feklistova P. Optimization of composition of complex biopreparations for plants yield increasing. *Biologically Active Preparations for Plant Growing*. 2020. 189-191 (In English). EDN: PPNBAA.
14. Jin H., Zhong Y., Shi D. et al. Quantifying the impact of tillage measures on the cultivated-layer soil quality in the red soil hilly region: Establishing the thresholds of the minimum data set. *Ecological Indicators*. 2021. 130:1080 i 3 (In English). DOI: 10.10165.ecolind.2021.108013.
15. Young M.D., Ros G., de Vries W. Impacts of agronomic measures on crop, soil, and environmental indicators: A review and synthesis of meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2021.319:107551. DOI: 10.1016/j.agee.2021.107551.
16. He J., Li H., Wang X. et al. The adoption of annual subsoiling as conservation tillage in dryland maize and wheat cultivation in northern China. *Soil and Tillage Research*. 2007. 94(2). 493-502 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2006.10.005.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest
The author declares no conflict of interest.
The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию **The paper was submitted to the Editorial Office on** **01.06.2024**
Статья принята к публикации **The paper was accepted for publication on** **30.08.2024**