

Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем

Ю. Х. Хамуков¹, М. А. Канокова²

¹ Институт информатики и проблем регионального управления –
филиал Кабардино-Балкарского научного центра Российской академии наук
360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а

² Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук
360010, Россия, г. Нальчик, ул. Балкарова, 2

Аннотация. Вспашка является важнейшим элементом земледелия. В выполнение этой операции вовлекаются значительные энергетические, материальные и интеллектуальные ресурсы, качество ее выполнения влияет на масштабы и характер критических для общества социоэкономических явлений и экологических последствий для среды обитания. По мере накопления необратимых последствий интенсивного земледелия, обеспечившего человечеству продуктивную безопасность после второй мировой войны, росло и осознание формирующихся земледелием угроз. В том числе сформировались причинно-следственные цепочки явлений, ведущих к уже прогнозируемой необратимой деградации сельскохозяйственных угодий в глобальных масштабах. Этот процесс с высокой вероятностью закончится переходом земной биосферы в неблагоприятный для человечества и крупных животных климатический режим с иными углеродным и азотным циклами и иным круговоротом воды. До радикального изменения рациона питания человечества с переходом на промышленное производство продуктов питания из неорганического сырья земледелие будет расти в масштабах и использовать все более интенсивные энергоемкие агротехнические приемы воздействия на почвы сельхозугодий. Соответственно, будет возрастать актуальность задач снижения темпов и масштабов деградации земель под воздействием агротехники. В том числе машинной деградации почв вследствие их уплотнения движителями тяговой и опорными органами производственной сельхозтехники. Наибольшие энергетические затраты, наибольшая деструкция почвенных агрегатов и наибольший износ техники связаны со вспашкой. Также издержки вспашки являются источником большинства потребностей в последующих дополнительных проходах по угодьям тяжелой техники для боронования, прикатывания, культиваций и т.п. В работе представлены результаты попытки выделить физико-механический фактор воздействия вспашки на почву, ответственный за деструкцию почвы при ее разрыхлении плужной обработкой почвы любого вида и предложение о переходе на предпосевную подготовку почвы с помощью физического фактора, вызывающего изотропное напряжение в объеме подвергающегося воздействию почвенного блока.

Ключевые слова: земледелие, растениеводство, вспашка, уплотнение, деградация, беспашотная технология, изотропность, структура, морфология

Поступила 28.11.2022, одобрена после рецензирования 09.12.2022, принята к публикации 14.12.2022

Для цитирования. Хамуков Ю. Х., Канокова М. А. Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 225–235. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235

Arable farming and plowing. Plowing as an anthropogenic factor of ecosystem degradation

Y.Kh. Khamukov¹, M.A. Kanokova²

¹ Institute of Computer Science and Problems of Regional Management –
branch of Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street

² Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences
360010, Russia, Nalchik, 2 Balkarov street

Abstract. Plowing is the most important element of farming. Significant energy, material and intellectual resources are involved in this operation, the quality of its performance influences the scale and nature of critical for the society socio-economic phenomena and ecological consequences for the habitat. As the irreversible consequences of intensive farming, which provided humanity with food security after World War II, accumulated, so did the awareness of the threats formed by farming. Among other things, a causal chain of phenomena was formed leading to the already predicted irreversible degradation of agricultural land on a global scale. This process with a high probability will end with the transition of the terrestrial biosphere to a climate regime unfavorable for mankind and large animals with different carbon and nitrogen cycles and a different water cycle. Until a radical change in the diet of mankind with the transition to industrial food production from inorganic raw materials, land cultivation will grow in scale and use more and more intensive energy-intensive agricultural techniques of impact on the soils of farmland. Accordingly, the relevance of tasks to reduce the rate and scale of land degradation under the influence of agricultural technology will increase. Including machine degradation of soils due to their compaction by traction drivers and supporting units of industrial agricultural machinery. The greatest energy costs, the greatest destruction of soil aggregates and the greatest wear and tear of machinery are associated with plowing. Also, the cost of plowing is the source of most of the need for subsequent additional passes over the land of heavy machinery for harrowing, packing, cultivation, etc. The work presents the result of an attempt to identify the physical and mechanical factor of the impact of plowing on the soil, responsible for the destruction of the soil at its loosening by plowing any type of soil and the proposal for the transition to pre-sowing soil preparation with a physical factor that causes isotropic stress in the volume of the exposed soil block.

Keywords: arable farming, crop production, plowing, compaction, degradation, no-till technology, isotropy, structure, morphology

Submitted 28.11.2022,

approved after reviewing 09.12.2022,

accepted for publication 14.12.2022

For citation. Khamukov Y.Kh., Kanokova M.A. Arable farming and plowing. Plowing as an anthropogenic factor of ecosystem degradation. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2022. No. 6(110). Pp. 225–235. DOI: 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ВСПАШКА КАК ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ ЭКОСИСТЕМ. ПОИСК СПОСОБА СНИЖЕНИЯ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВСПАШКИ

Земледелие – самый первый из всех видов целенаправленного взаимодействия человека с окружающей средой. Последние находки, свидетельствующие о существовании земледелия, датируются 23-м тысячелетием до нашей эры¹. Собственно, возникновение земледелия можно признать признаком начала формирования человеческой цивилизации. В наше время накопление и обострение экологических проблем, связанных в том числе и с земледелием, стало создавать угрозы существованию цивилизации. Предназначение земледелия –

¹ Земледелие возникло на десять тысяч лет раньше неолитической революции // Научная Россия, 2015. URL: <https://scientificrussia.ru/articles/zemledelie>

воспроизводство плодородия почвы посредством агротехнических и мелиоративных мероприятий в виде воздействий различного рода на структуру и биохимические свойства почвы. Земледелие возникло на основе использования природных процессов восстановления производительной силы почв, которые со временем сменились целенаправленным восстановлением и повышением плодородия почв. За многотысячелетнюю историю развития земледелия главным производственным процессом в нем стала вспашка почвы. От вспашки во многом зависят физические, агрохимические и биологические факторы, определяющие плодородие почвы, и, соответственно, величина и качество урожая² [1]. В современных агротехнологиях обработка почвы вспашкой поглощает 35–40 % энергетических затрат и 25–30 % трудовых затрат. Вспашкой осуществляют одновременное оборачивание, дробление отдельностей и смешивание разных почвенных структур. На вспашку также наложили заделку в почву дернины, закладку удобрений и перемещение семян сорных растений и ряда разновидностей сельскохозяйственных вредителей и возбудителей болезней с целью подавления их активности.

С развитием научных методов анализа процессов воздействия на почву сложилось представление о том, что при вспашке с перемещением на поверхность почвы нижней части пахотного слоя в ней происходят аэрация, повторное увлажнение и активизация полезной почвенной микрофлоры. В результате возрастает содержание необходимых растениям питательных веществ. Также принято считать, что именно вспашка обеспечивает поддержание мелкокомковатой структуры плодородного слоя земельных угодий. Со временем возникло отдельное научно-инженерное направление в агротехнике, исследующее процессы взаимодействия пахотных орудий с грунтами. Силами ученых и инженеров-агротехников разработано и внедрено 10 различных видов вспашки: культурная, взмет пласта, оборот пласта, безотвальная, вспашка с почвоуглублением, ярусная, скоростная, гребневая, ромбическая, гладкая с соответствующими видами плужного оборудования. При этом достоверно известно, что сплошная вспашка больших участков угодий провоцирует ветровую и водную эрозию, неуклонное снижение содержания гумуса. Не менее вредоносными являются сопровождающие вспашку побочные эффекты в виде машинной деградации почвы под воздействием как самого процесса вспашки плугом, так и под воздействием тяжелой тяговой техники. Вследствие этого вспашка является одним из ключевых факторов, обуславливающих ежегодные мировые потери до 30 миллионов гектаров сельхозугодий. Развитие средств механизации обработки земли в процессе интенсификации сельскохозяйственного производства породило проблему уплотняющего воздействия на почву. За время от появления земледелия до наших дней потеряно до 42 % плодородной суши [2] и до 60 % общих жизнеобеспечивающих ресурсов Земли³ [3, 4, 5]. Во Всероссийском научно-исследовательском институте земледелия и защиты почв от эрозии исследованы установившиеся в России на протяжении последнего столетия способы и системы обработки почвы [6], выделены позитивные и негативные факторы последствий их применения, выявлены объективные и субъективные причины возникновения противоречий в оценках эффективности различных способов (главным образом, несоблюдение принципа единственного различия), а также различия в толковании терминов. Для нас особо ценными являются обнаруженные в исследовании факты рекомендации не подтвержденных научными исследованиями no-till систем обработки почвы и перечень условий, при которых подобные способы могут использоваться в России.

² Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года. Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 7 июля 2017 г. № 1455-р. С. 13-17, 23. Приложения 1 и 2.

³ Земельные ресурсы: всемирный обзор. Секретариат Конвенции Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием. Platz der Vereinten Nationen 1 3113 Bonn, Germany КБОООН. С. 191-205, 310-317, 324-331. https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/glo_full_report_low_res_russian.pdf

В работе представлены результаты обобщенного анализа физико-механического механизма возникновения главного фактора обработки почвы вспашкой, способствующего деструкции и усилению эрозионных эффектов.

МЕХАНИЗМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТОВ ВСПАШКИ

В настоящее время установлено, что уплотняющее воздействие движителей мобильных агрегатов и опорных поверхностей рабочих органов сельхозоборудования является важнейшим источником последующей деструктуризации почвы и общей деградации ее плодородного слоя. Уплотняется почва в результате многочисленных проходов все более тяжелеющей техники [7]. Уплотнение почвы порождает цепочки негативных последствий в виде ухудшения условий произрастания и развития растений, усиления эрозии, зараженности болезнетворными бактериями, накопления тяжелых элементов и т.п. Соответственно, возрастают количество дополнительных проходов техники для ликвидации последствий уплотнения почвы, для увеличения количества вносимых удобрений, пестицидов и средств борьбы с болезнями и т.д. В результате эффекты уплотнения почвы при некоторых комбинациях ее геоминерального состава, природно-климатических и других факторов отмечаются на глубине до 11,5 метров. Сформировалась особая форма агротехнических приемов по разуплотнению почвы. В России в разуплотнении нуждается до трети из почти 80 миллионов гектаров общей площади пашни⁴. Помимо уплотнения почвы тракторами и плугами, сама по себе вспашка сопровождается возникновением на поле ложбин и гребней, которые надо разравнивать с дополнительными проходами техники с бородами и прикатывающими катками.

Еще одним важным фактором вспашки является направление борозд. Ориентация гребней и ложбин относительно наклона поля и преобладающих ветров существенно меняют режимы аэрации и эрозии почвы.

Сам процесс вспашки лимитируется по времени технологическими свойствами почвы – ее связностью, пластичностью, адгезивностью составляющих почву агрегатов к рабочим поверхностям плуга. В частности, при вспашке тяжелых бесструктурных почв временное «окно» вспашки исчисляется несколькими часами с момента возникновения состояния спелости почвы. В целом высокое качество вспашки – проведение в оптимальные агротехнические сроки, глубина вспашки, минимум огрехов, степень гребнистости, крошения, глыбистости и прямолинейности борозды⁵ – достигается за счет высокого уровня выучки и большого опыта механизатора, а также применения современной высокопроизводительной и высокоманевренной техники. Еще более высокие требования к мастерству механизатора и к технике предъявляют плантаж и ярусная вспашка [8].

ИЗВЕСТНЫЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Одним из способов предотвращения вредных последствий уплотнения почвы является совершенствование движителей энергонасыщенных агрегатов и снижение их массы, а также применение широкозахватной и многофункциональной техники. Другая, значительно более эффективная мера – переход на использование постоянной технологической колеи для перемещения техники по полю. Это концептуальное решение с большим потенциалом применимости. В свое время, в 60-е годы, в СССР были выполнены оценки перспектив-

⁴ Минсельхоз: посевные площади в 2022 году увеличатся / Шокурова А. // Агроинвестор. 2021. URL: <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/37168-minselkhoz-posevnye-ploshchadi-v-2022-godu-uvelichatsya/>

⁵ Контроль и оценка качества вспашки // Агропромышленный портал России. 2011. URL: <https://agro-portal24.ru/agronomiya/51-kontrol-i-ocenka-kachestva-vspashki.html>

ности перехода на мостовую технологию земледелия, в которой все производственные операции по возделыванию сельскохозяйственной культуры от посадки до уборки урожая и его переработке выполняются рабочими органами агрегатов, расположенных на большой – 100 и более метров – мостовой конструкции. Мостовая конструкция, опирающаяся на движущиеся по бетонным колеям тележки, перемещается каждая по своему участку угодий и несет на себе все агрегаты и персонал, участвующий в производственном процессе. Согласно расчетам, такая технология способна обеспечить увеличение эффективности производства растениеводческой продукции в десятки раз. Прежде всего расчеты показали, что при широкомасштабном внедрении новая технология могла за счет урожая одного Краснодарского края обеспечить высококачественной продукцией весь Советский Союз. Тогда от попыток осуществления такого перехода отказались из-за его непомерной цены – страна должна была бы три года инвестировать весь свой бюджет в обустройство и реконструкцию агроэкосистем Краснодарского края, оставив без средств оборонный комплекс, здравоохранение и образование. Но экономика агробизнеса подталкивает к созданию подобных агротехнических систем на основе мостовых сельскохозяйственных комплексов. В отличие от традиционной агротехники с элементами в виде неразделяемой системы «местность – агромашина», в которой неконтролируемая система обратных связей исключает корректное управление процессами взаимодействия агромашины с «местностью», мостовой комплекс реализует преимущества глубокой специализации ее элементов. Бетонные дорожки для опорных тележек мостовой конструкции разрывают обратные связи в системе «местность – агромашина». В результате воздействие рабочих органов агромашины на почву и растения становится полностью управляемым. Разрываются связи между целенаправленным рыхлением почвы рабочими органами и ее деструкцией под воздействием опорных элементов и движителей. Исчезают многочисленные мультипликативные причинно-следственные цепочки «воздействие – ликвидация побочных эффектов воздействия» и т.п.

Наиболее применимой в настоящее время является концепция нулевой обработки почвы с целью предотвращения уплотнения почвы тяжелой энерговооруженной техникой и предотвращения всех прочих негативных последствий вспашки^{6, 7} [9, 10]. Суть этой концепции заключается в замене синтетических удобрений, пестицидов, регуляторов роста и кормовых добавок эффектами строгого соблюдения правил севооборотов с регулярным чередованием посадок основной культуры с посадками бобовых культур, сохранения на поле растительных остатков, активного применения компостов и сидератов, механического уничтожения сорняков и использования биологических методов защиты растений. Земля по этой технологии не обрабатывается на большую глубину и не происходит оборота пластов почвы плугом. Эта технология существенно снижает нагрузку на технику и на работников, вследствие чего, например, уже 40 % «пахотной» земли в США не пахнут, а обрабатывают только на посевную глубину чизелеванием и мульчированием.

Главное достоинство беспашотного земледелия заключается в том, что оно сохраняет сформировавшуюся естественным образом морфологию почвы и не наносит необратимого ущерба эдафическим характеристикам агроэкосистемного биогеоценоза.

Беспашотная технология разрушает сложившиеся за многие тысячелетия и ставшие архетипическими представления о жизнедеятельности общества с основанным на вспашке

⁶ Почвенный кризис и пути его преодоления / Керженцев А. С. // Regnum, 2018 г. URL: <https://regnum.ru/news/innovatio/2368395.html>

⁷ О стратегии выхода из российского почвенного кризиса / Керженцев А. С. // Regnum, 2017. URL: <https://regnum.ru/news/innovatio/2284962.html> (в сноску)

земли земледелием. Естественно, внедрение беспашотных технологий происходит сложно и встречает открытое противодействие. Ученые из Стэнфордского университета провели исследование долговременных последствий применения беспашотного земледелия и получили объективные свидетельства его преимущества [11]. Для этого были проанализированы спутниковые снимки фермерских полей с преимущественными посадками кукурузы и сои за 2005–2017 годы. В Стэнфорде объясняют эффект существенным различием структуры паханной и непаханой земли на угодьях.

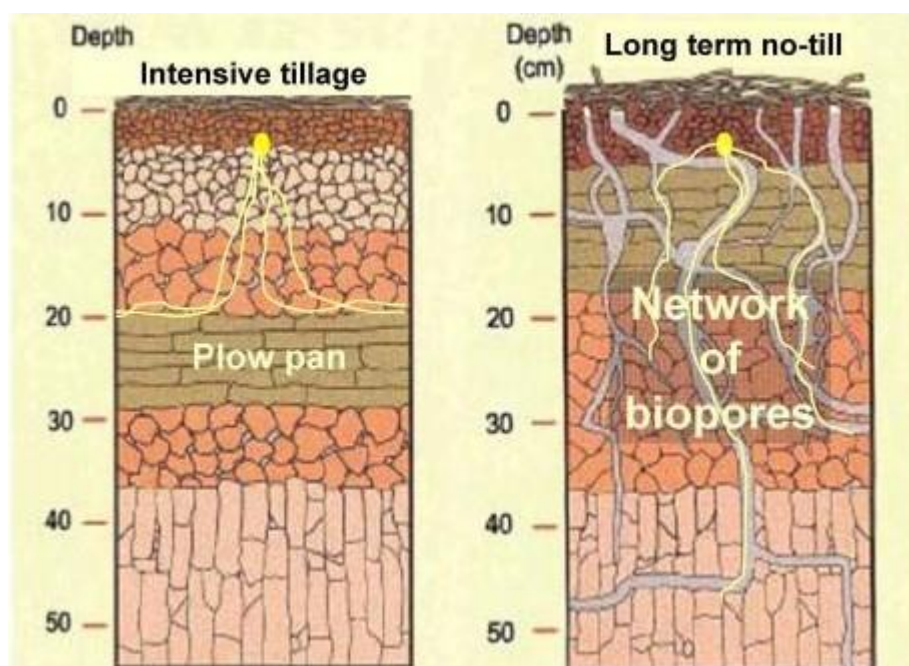


Рис. 1. Структура паши [11]

Fig. 1. Structure of arable land [11]

Слева на рисунке 1 изображен разрез пахотного слоя почвы. Ниже вспаханного слоя образуется уплотненный слой (Plow pan), создающий преграду корням растений. Справа изображение разреза непаханой почвы с глубоко проросшими корнями растений.

Создатель и первый пропагандист технологии беспашотного земледелия И. Е. Овсинский был еще специалистом-селекционером и изобретателем. Он создатель первого российского сорта сои и семейства культиваторов «Урожай». Свою технология Овсинский внедрял с 1871 года и на рубеже 19–20-го веков она распространилась по всей Европе и дошла до Северной Америки. В России, где она была востребована больше, чем во многих воспринявших ее странах, она с трудом внедряется до сих пор. При том, что широко применяется на Западе в самых передовых странах с высокоразвитым сельским хозяйством – в Канаде, США, Бразилии, Аргентине, Новой Зеландии и Австралии. В крупнейших сельхозэкспортерах Канаде, Бразилии и Аргентине более половины угодий обрабатывается беспашотным способом.

На практике беспашотные технологии решают задачу обеспечения экологической безопасности процесса обработки почвы посредством минимизации разрушительных для почвы механических эффектов – уплотняющего воздействия технических средств на почву по контактному давлению и расчетному напряжению на глубину до 0,8–1,0 метра, минимизации буксования движителей энергетических средств и минимизации количества вносимых в почву вредных веществ (металлов, ядохимикатов и т. д.) [12].

Однако та же практика свидетельствует о том, что в большинстве случаев из-за активизации сорной растительности возрастает количество проходов культиваторов и увеличиваются потери урожая⁸ [13].

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ВСПАШКИ

Для конкретизации задачи поиска способа снижения негативных последствий обработки почвы мы переформулировали ее в вид, удобный для разработчика инженерно-технических систем – в поиски способа воздействия на почву, минимизирующего или исключаящего возникновение механических эффектов от воздействия на почву в виде реактивных сил и моментов на конструкции агромашины.

Такой подход выявляет источник реактивных сил и соответствующих моментов на конструкции агромашины – анизотропное напряжение в структуре почвы под воздействием рабочего органа агромашины для осуществления изотропной деформации и разрыхления почвы. Именно этот фактор – анизотропность деформации почвы – ответствен за избыточные нагрузки на структуру почвы, вызывающие деструкцию почвенных агрегатов с последующей ее постепенной трансформацией из биогенной плодородной среды в абиогенный субстрат. Следует учитывать, что именно анизотропность деформации почвенных структур под воздействием поверхностей рабочих органов сначала простейших земледельческих орудий, а впоследствии все более энергонагруженных рабочих органов агромаши, эволюционным образом привела к широкому внедрению вспашки. Постепенно плуг для вспашки совершенствовался, усложнялся и выполнял все больше разнообразных манипуляций с взрезанным блоком почвы. При этом все более значительная доля этих манипуляций со слоями отделенной от массива плодородной земли почвенной массы предназначается в компенсации последствий ее – почвы – анизотропной деформации при попытке разрыхлить и привести в пригодное для посева состояние. В результате сформировалась петля обратной связи в системе «плужная вспашка – деструкция почвы». Долговременные последствия деструктивных изменений морфологии и биоценоза почвы проявляются в виде деградации агробиоценоза и всей экосистемы. С учетом того, что на сегодняшний день на долю сельскохозяйственных угодий приходится более трети земной поверхности суши, представляется закономерным определение способа разрыхляющего воздействия на почву сельхозугодий в качестве одного из ключевых факторов биосферной эволюции.

ВЫВОДЫ О НЕОБХОДИМОСТИ ПОИСКА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВСПАШКЕ СПОСОБОВ РАЗРЫХЛЕНИЯ ПОЧВЫ. ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИНИЦИАТОРА ИЗОТРОПНЫХ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБЪЕМЕ ПОЧВЕННОЙ МАССЫ

Индустриализация земледелия обеспечила не только продовольственную безопасность и продуктовое изобилие в развитых странах. Внедрение индустриальных технологий привело к ряду негативных явлений, проявляющихся главным образом в виде физической деградации почв, сопровождающейся ростом предрасположенности растений к болезням и поражаемости вредителями. Еще более масштабными являются экологические последствия в виде ускоренного сокращения запасов и ухудшения качества воды, роста нестабильности климатических

⁸ Богдасорян А. Деградация на миллиарды: в России истощены свыше 60% сельхозугодий // Агроинвестор, 2015. <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/22499-degradatsiya-na-milliardy-v-rossii-istoshcheny-svyshe-60-selkhozugodiy/>

условий, снижения биоразнообразия в агробиоценозах и прогрессирующего ухудшения качества сельскохозяйственной продукции [14]. Выходом из ухудшающейся ситуации является переход на консервирующие ресурсосберегающие технологии почвообработки. В отношении вспашки представляется неизбежным обращение к иным физическим явлениям и эффектам для воздействия на почву и живые организмы, чем те, на которых основана традиционная агротехника. Среди них наиболее перспективными являются эффекты от использования сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (далее СВЧ) как средства удаленного осуществления теплофизического воздействия на вещество твердой, жидкой и газообразной компонент почвы и содержащихся в ней живых организмов [15].

СВЧ обладает достаточной проникающей способностью, почти 100%-ным КПД преобразования энергии потока излучения в теплоту и безинерционностью нагрева облучаемого объекта «изнутри» самого объекта. Также имеется опыт безопасного применения СВЧ-излучения в различных производствах, исследованы всевозможные последствия воздействия СВЧ-излучения на биологические объекты, в том числе и эффекты нетеплового воздействия СВЧ-излучения на биологические объекты в виде изменения свойств мембраны и состояния цитоплазмы клеток [16, 17].

Примечательно, что в России всплеск активности разработчиков способов СВЧ-обработки почвы пришелся на 70–80-е годы прошлого века и с тех пор плавно снижается. За рубежом темпы патентования конструкций аппаратов для обработки почв СВЧ-излучением сохраняются. Но до настоящего времени ни одна разработка не доведена до применимости в реальном производстве. На сегодняшний день ключевым фактором, препятствующим применению устройств для воздействия СВЧ-излучения на почву, является чрезвычайно высокое значение мощности потока СВЧ-излучения, необходимое для осуществления разрыхляющего воздействия на почву на посевной глубине при агротехнически приемлемой скорости движения по угодьям источников СВЧ-излучения традиционных конструкций. В свою очередь этот фактор обусловлен использованием несфокусированного СВЧ-излучения.

Исходя из изложенного, мы пришли к выводу о своевременности и целесообразности разработки конструкции источника сфокусированного СВЧ-излучения, размещаемого на агромашине с источником энергии для генератора СВЧ-излучения мощностью порядка десятков кВт и приспособленного для полевых условий работы. Разработке подходов к созданию подобного устройства и описанию конструкции агрегата для СВЧ-обработки почвы посвящена вторая часть работы «Земледелие и вспашка».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснощеков Н. В., Орсик Л. С., Ревякин Е. Л. и др. Концепция развития технологий и техники для обработки почвы на период до 2010 года. Москва: ВИМ, 2002. 102 с.
2. Byerlee D., Janvry A., Sadoulet E. Agriculture for Development: Toward a New Paradigm // Annual Review of Resource Economics. 2009. Vol. 1. Pp. 15–31. DOI: 10.1146/annurev.resource.050708.144239.
3. Reid V. W. Ecosystems and Human Well-being. Opportunities and Challenges for Business and Industry. “Millennium Ecosystem Assessment”. 2005. 155 p.
4. Александровский А. Л. Историческая антропогенная эволюция почв. В кн.: Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. Москва: ГЕОС, 2015. С. 755–774.
5. Александровский А. Л. Эволюция почв в условиях техногенеза. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. Москва: ГЕОС, 2015. С. 774–786.

6. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы // Земледелие. 2017. № 1. С. 33–36.
7. Токушев Ж. Е. Технология, теория и расчет орудий для разуплотнения пахотного и подпахотного горизонтов почвы: дис. ... д-ра техн. наук. 05.20.01. Москва, 2003. 253 с.
8. Витковский В. Л., Краюшкина Н. С., Жмурко Л. А. Плодоводство Нечерноземья. Ленинград: Колос, 1983. С. 139–145.
9. Никляев В. С., Косинский В. С., Ткачев В. В., Сучилина А. А. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство. Москва, 2000. 557 с.
10. Козякова В. В., Мамонтова С. А. Альтернативные системы земледелия // Проблемы современной аграрной науки: материалы международной научной конференции. Красноярск, 2019. С. 34–39.
11. Deines J. M., Wang Sh., Lobell D. B. Satellites reveal a small positive yield effect from conservation tillage across the US Corn Belt // Environmental Research Letters, 2019. Vol. 14. № 12. DOI 10.1088/1748-9326/ab503b.
12. Абдрахманов Р. К., Калимуллин М. Н. Факторы, определяющие качество междурядной обработки пропашных культур: материалы международной научно-практической конференции «Инженерная наука - аграрному производству». Казань, 2014. С. 3–5.
13. Шпанев А. М., Дорохов Б. А. Об оценке комплексной вредоносности основных фито-санитарных объектов на озимой пшенице в условиях юго-востока Центрально-Черноземной зоны России // Сельскохозяйственная биология, 2009. № 5. С. 94–102.
14. Иванченко Т. В. Предотвращение потерь урожая от сорняков, вредителей и болезней растений – большой резерв увеличения продукции растениеводства // Научно-агрономический журнал. 2010. № 1. С. 28–30.
15. Баздырев Г. И., Сафонов А. Ф. Борьба с сорными растениями в системе земледелия Нечерноземной зоны. Москва: Росагропромиздат, 1990. 176 с.
16. Крапивницкая Т. О., Глявин М. Ю., Песков Н. Ю., Семенычева Л. Л., Калынов Ю. К., Запелов В. Е., Кузиков С. В. Перспективные приложения мощного СВЧ-излучения в задачах воздействия на органические материалы и биологические объекты // Электроника и микроэлектроника СВЧ. 2017. Т. 1. С. 133–135.
17. Молодцова М. А., Севастьянова Ю. В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор) // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2017. № 2. С. 173–187.

Информация об авторах

Хамуков Юрий Хабижевич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. отдела «Мультиагентные системы», Институт информатики и проблем регионального управления – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

yukhimkhab@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-1994>

Каноква Мадина Аликовна, зав. лабораторией «Разработка моделей продвижения инновационных проектов», Кабардино-Балкарский научный центр РАН;

360000, Россия, г. Нальчик, ул. И. Арманд, 37-а;

kanokova.madina@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5313-1360>

REFERENCES

1. Krasnoschekov N.V., Orsik L.S., Revyakin E.L. [et al] *Kontseptsiya razvitiya tekhnologii i tekhniki dlya obrabotki pochvy na period do 2010 goda* [The concept of development of technologies and equipment for tillage for the period up to 2010]. Moscow: VIM, 2002. 102 p. (In Russian)

2. Byerlee D., Janvry A., Sadoulet E. Agriculture for Development: Toward a New Paradigm. *Annual Review of Resource Economics*. 2009. Vol. 1. Pp. 15–31. DOI: 10.1146/annurev-resource.050708.144239.
3. Reid V.W. Ecosystems and Human Well-being. Opportunities and Challenges for Business and Industry. *Millennium Ecosystem Assessment*. 2005. 155 p.
4. Alexandrovsky A.L. Historical Anthropogenic Evolution of Soils. Evolution of soils and soil cover. *V knige «Teoriya, raznoobraziye prirodnoy evolyutsii i antropogennykh transformatsiy pochvy»* [In book “Theory, diversity of natural evolution and anthropogenic transformations of soils”]. Moscow: GEOS, 2015. Pp. 755–774. (In Russian)
5. Aleksandrovsky A.L. Evolution of soils in conditions of technogenesis. Evolution of soils and soil cover. *V knige «Teoriya, raznoobraziye prirodnoy evolyutsii i antropogennykh transformatsiy pochvy»* [In book “Theory, diversity of natural evolution and anthropogenic transformations of soils”]. Moscow: GEOS, 2015. Pp. 774–786. (In Russian)
6. Pykhin I.G. Tillage: reality and myths. *Zemledeliye* [Farming]. 2017. No. 1. Pp. 33–36. (In Russian)
7. Tokushev Zh.E. *Tekhnologiya, teoriya i raschet orudiy dlya razuplotneniya pakhotnogo i podpakhotnogo gorizontov pochvy* [Technology, theory and calculation of tools for deconsolidation of the arable and subarable horizons of the soil]: Thesis of dissertation for the degree of Dr. Tech. Sciences. 05.20.01. Moscow, 2003. 253 p. (In Russian)
8. Vitkovsky V.L., Krayushkina N.S., Zhmurko L.A. *Plodovodstvo Nechernozem'ya* [Fruiting in Non-chernozem soil region]. Leningrad: Kolos, 1983. Pp. 139–145. (In Russian)
9. Niklyayev V.S., Kosinsky V.S., Tkachev V.V., Suchilina A.A. *Osnovy tekhnologii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. Zemledeliye i rasteniyevodstvo* [Fundamentals of agricultural production technology. Arable farming and crop production]. Moscow, 2000. 557 p. (In Russian)
10. Kogyakova V.V., Mamontova S.A. Alternative farming systems. *Problemy sovremennoy agrarnoy nauki* [Problems of modern agrarian science]: *materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferencii* [Proceedings of the International Conference]. Krasnoyarsk, 2019. Pp. 34–39. (In Russian)
11. Deines J.M., Wang Sh., Lobell D.B. Satellites reveal a small positive yield effect from conservation tillage across the US Corn Belt. *Environmental Research Letters*, 2019. Vol. 14. No. 12. DOI 10.1088/1748-9326/ab503b.
12. Abdrakhmanov R.K., Kalimullin M.N. Factors determining the quality of inter-row cultivation of row crops. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Inzhenernaya nauka - agrarnomu proizvodstvu»* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference “Engineering Science to Agricultural Production”]. Kazan, 2014. Pp. 3–5. (In Russian)
13. Shpanev A.M., Dorokhov B.A. On evaluation of complex harmfulness of main phytosanitary objects on winter wheat in conditions of southeast of Central Chernozem zone of Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* [Agricultural Biology]. 2009. No. 5. Pp. 94–102. (In Russian)
14. Ivanchenko T.V. Prevention of yield losses from weeds, pests and diseases of plants - a great reserve to increase crop production. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* [Scientific and Agronomic Journal]. 2010. No. 1. Pp. 28–30. (In Russian)
15. Bazdyrev G.I., Safonov A.F. *Bor'ba s sornymi rasteniyami v sisteme zemledeliya Nechernozemnoy zony* [Weed control in the farming system of the Non-chernozem zone]. Moscow: Rosagropromizdat, 1990. 176 p. (In Russian)
16. Krapivnitskaya T.O., Glyavin M.Yu., Peskov N.Yu., Semenicheva L.L., Kalynov Yu.K., Zapevalov V.E., Kuzikov S.V. Perspective applications of high-power microwave radiation in problems of influencing organic materials and biological objects. *Elektronika i mikroelektronika SVCh*. 2017. Vol. 1. Pp. 133–135. (In Russian)

17. Molodtsova M.A., Sevastyanova V. Opportunities and prospects for the use of microwave radiation in industry (review). *Russian forestry journal*, 2017. No. 2. Pp. 173–187. (In Russian)

Information about the authors

Khamukov Yury Khabizhevich, Candidate of Physical-Mathematical sciences, Senior researcher of the Department of the multiagent systems, Institute of Computer Science and Problems of Regional Management of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

yukhimkhab@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9899-1994>

Kanokova Madina Alikovna, Head of Laboratory “Development of models for promoting innovative projects” of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

360000, Russia, Nalchik, 37-a I. Armand street;

kanokova.madina@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5313-1360>