

МЕТОДОЛОГИЯ БИОГЕОСИСТЕМОТЕХНИКИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ И ПРОДУКТИВНОСТИ ПОЧВЫ (ОБЗОР)¹

В.П. Калиниченко^{1,2}, А.П. Глинушкин²,
А.В. Свидзинский³, Т.М. Минкина⁴, Н.И. Будынков²,
О.Д. Филипчук², А.А. Околелова⁵, Д.А. Макаренков⁶

¹Институт плодородия почв юга России, Персиановка, Ростовская область, Россия;

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Большие Вяземы, Московская область, Россия; ³Берлинский медицинский университет Чарите, Берлин, Германия; ⁴Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия; ⁵Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия;

⁶Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра «Курчатовский Институт», Москва, Россия

Эл. почта: kalinitch@mail.ru

Статья поступила в редакцию 07.09.2022; принята к печати 14.11.2022

Устаревший принцип имитации природных явлений в современном природопользовании обуславливает конфликт «биосфера – технология», ухудшающий условия ведения аграрного производства.

Предложено научно-технологическое направление «биогосистемотехника» как система не повторяющих закономерности природы напрямую (не имеющих прямых аналогов в природе) технических решений и технологий агрономии и защиты окружающей среды. Разработан и апробирован в длительных стационарных экспериментах принцип мелiorации почвы агроценозов посредством фрезерной обработки иллювиального горизонта 20–45 см. Однократная внутрпочвенная фрезерная обработка улучшает физико-химические, технологические и агробиологические параметры почвы, обеспечивает комфортный субстрат мелких и средних искусственных агрегатов почвы для геобионтов и растений. Разработан принципиально новый привод внутрпочвенного фрезерного рабочего органа, который обеспечивает снижение тягового сопротивления в 5–10 раз, повышение энергетической эффективности в два раза. В стандартной ирригации расход воды в 4–15 раз превышает потребность культивируемых растений и обуславливает деградацию гидрологического режима почвы и ландшафта. Предложена внутрпочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма увлажнения. Питание растений происходит относительно концентрированным почвенным раствором, а устьичный аппарат растения функционирует в режиме регулирования. Улучшаются условия питания растений, повышается продуктивность, расход воды сокращается в 5–20 раз. Биогосистемотехника обеспечит приоритетное действие полимикробных сообществ и биопленок и улучшит функционирование гуминовых веществ и круговорот органического вещества почвы. Безопасный для экосферы дисперсный рециклинг минеральных и органических отходов, включая продукт газификации, предложено проводить одновременно с внутрпочвенным фрезерованием слоя 20–45 (30–60) см, что оптимизирует круговорот питательных элементов. Для защиты растений от фитопатогенов разработана внутрпочвенная импульсная дискретная система внесения биопрепаратов и пестицидов. Биогосистемотехника – это управляемая коэволюция биосферы и техносферы, ослабляющая фитопатогенную нагрузку на агроценоз и способствующая обеспечению продовольственной безопасности РФ.

Ключевые слова: биогосистемотехника, внутрпочвенное фрезерование, внутрпочвенное импульсное континуально-дискретное увлажнение, внутрпочвенный рециклинг отходов, внутрпочвенная импульсная дискретная система внесения биопрепаратов и пестицидов.

BIOGEOSYSTEMIC METHODOLOGY FOR SOIL HEALTH AND PRODUCTIVITY: A REVIEW

V.P. Kalinichenko^{1,2}, A.P. Glinushkin², A.V. Svidzinsky³, T.M. Minkina⁴, N.I. Budynkov²,
O.D. Filipchuk², A.A. Okolelova⁵, D.A. Makarenkov⁶

¹Institute of Fertility of Soils of South Russia, Persianovka, Russia; ²All-Russian Phytopathology Research Institute, Big Vyazemy, Russia; ³Humboldt University Charite Hospital, Berlin, Germany; ⁴Southern Federal University,

¹ По материалам сообщения на II Международной научно-практической конференции «Проблемы экологии и сельское хозяйство в XXI веке», посвященной 135-летию со дня рождения Н.И. Вавилова. Москва, 3-6 октября 2022 г.

Rostov-on-Don, Russia; ⁵Volgograd State Technical University, Volgograd, Russia; ⁶Institute of Chemical Reagents and High Purity Chemical Substances of the National Research Centre "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

Email: kalinitch@mail.ru

The outdated principle of imitation of natural phenomena in modern nature management causes the conflict "biosphere vs. technology", which worsens conditions for agricultural production. A scientific and technological approach "Biogeosystem Technique" is developed as a system of technical solutions and technologies for agronomy and environmental management that do not reproduce the laws of nature directly (have no direct analogies in nature). In particular, the principle of soil reclamation by milling a 20- to 45-cm illuvial horizon has been developed and tested in long-term field experiments. A new drive for the subsoil milling that has been developed provides for a 5- to 10-fold reduction in traction resistance and a two-fold increase in energy efficiency. With standard irrigation, water consumption is 4–15 times higher than the cultivated plants' requirements for water. This disproportion causes degradation of soil hydrological regime and landscape. An intrasoil pulse continuous-discrete moistening paradigm is proposed. Nutrition for plants is provided using a relatively concentrated soil solution, and the stomatal apparatus of a plant functions in a regulation mode. This improves plant nutrition, increases plant productivity, and reduces water consumption 5–20 times. The Biogeosystem Technique approach will ensure the priority of the effects of polymicrobial communities and biofilms and improve the function of humic substances and soil organic matter. A dispersed recycling of mineral and organic wastes, including gasification product, during intrasoil milling of a layer of 20–45 (30–60) cm, which is safe for the ecosphere, is developed to optimize the circulation of nutrients. To protect plants from phytopathogens, an intrasoil pulsed continuous-discrete system for application of biological products and pesticides is developed. Biogeosystem Technique provides for a controlled co-evolution of the biosphere and the technosphere, thus reducing the phytopathogenic burden of an agroecosystem and helping to ensure the food security of the Russian Federation.

Keywords: Biogeosystem Technique, intrasoil milling, intrasoil pulsed continuous-discrete moistening, intrasoil waste recycling, intrasoil pulsed discrete system for biological preparations and pesticides applying.

Введение

Устаревший принцип современного природопользования, заключающийся в имитации природных явлений с целью удовлетворения потребностей пользователя, обуславливает все усиливающийся конфликт «биосфера – технология» [1]. Распространение вредителей и болезней, включая микозы растений, является результатом неудовлетворительных условий развития растений на всех стадиях органогенеза. Несовершенство технологий управления развитием агроценоза снижает резистентность растений к фитопатогенам. Это ослабляет продовольственную безопасность страны. Возможности индустриальной эксплуатации биосферы исчерпаны. Тем не менее, продолжается недальновидное лоббирование устаревших имитационных технологий промышленности, сельского хозяйства, охраны окружающей среды. Это плодит отходы, деградацию и опустынивание земель, все большее распространение приобретают микозы растений.

На имеющейся технической и технологической базе реализовать устойчивую стратегию развития и обеспечить здоровье растений, кардинальное преодолеть распространение патогенеза растений невозможно. Поскольку в имитационном природопользовании выбор технологии и технических средств ее осуществления ориентирован на минимизацию затрат, то неполное знание отклика природной системы на ее технологическое возмущение оборачивается многочисленными рисками, прямым и отсроченным ущербом окружающей среде, и большими затратами вместо искомой экономии средств [2, 3]. Природо-

пользователю средней квалификации современный технологический уровень представляется достаточным. В результате этого недальновидного подхода, под сомнением оказываются коэволюционное развитие человечества, техносферы и биосферы, и сама эпоха ноосферы [4–6]. Стремление к краткосрочной выгоде исключает создание биологически ориентированной экономики [7]. Термин «ноосфера» преимущественно просто используют в качестве фигуры речи, при этом сохраняя текущую парадигму развития, которая уже более не работоспособна. Более того, имеется опасность ухудшения ситуации, поскольку вместо принятия основанных на новом знании о долгосрочной гармонизации взаимоотношений «биосфера – технология» предлагают частичную модернизацию технологии в рамках устаревшей парадигмы развития, основанной на стремлении к краткосрочной окупаемости вложений. Призывы получить преференции нового уровня от природопользования, основанные на более высоком уровне копирования природы, являются ложными. Природоподобные технологии не могут быть копированием, во-первых, по определению. Во-вторых, они должны быть подобны некоторым проявлениям природы, которые только еще надлежит выбрать на основе квалифицированной эвристической интуиции, но никак при этом не копировать природу. Не этого примитивного подхода ждет природа от своего «венца творения». В настоящее время «венец» неверно понимает замысел природы. Этот замысел вовсе не в том, чтобы давать преференции человечеству за то, что оно

самонадеянно уродует экосферу. На этом примитивном пути поиска большей частью ложных материальных благ любой ценой очень скоро можно повторить путь биологических видов, которые обитали на Земле, но канули в небытие как больше не представляющие интереса для природы. Современные технологии преимущественно являют собой результат Managerial shirking – управленческого уклонения (более точный перевод с английского – отлынивание менеджеров) от принятия и продвижения новаций в пользу краткосрочной экономической выгоды на основе устаревших технологий. Этот подход, дестабилизируя природу, не позволяет преодолеть современный конфликт биосфера–технология, не позволяет повысить производство, при этом существенно ускоряя вероятность наступления неблагоприятного исхода для Homo sapiens на Земле.

Плодородные земли человек всегда занимал в первую очередь, а затем уничтожал урбо- и техно- инфраструктурой. Потеря земель угрожающе нарастает. До 42 % ресурсов Земли утрачено [8]. До 60 % экосистем нарушено [9, 10]. За историю землепользования человечество уничтожило более двух миллиардов гектаров плодородных почв – больше площади современного земледелия [11].

Следует пытаться в технологии хотя бы немного приблизиться к замыслу природы, и только после этого ожидать результата от собственного, в меньшей степени, чем раньше противоречащего природе, принципиально нового технологического развития. В качестве новой парадигмы развития нами предложено научно-технологическое направление «биогеосистемотехника» [12].

Биогеосистемотехника принципиально отличается от современной парадигмы развития тем, что вместо прямой имитации явлений природы предлагает поиск и продуктивное использование ниш развития [13], которые Природа оставляет человеку для достижения гармоничного развития. Не имеющих прямых аналогов в природе научно-технических решения могут быть более продуктивными, чем копирование Природы. Здесь – коренное отличие Биогеосистемотехники от Sustainable Development, Green Economy, NBIC (Roco and Bainbridge, 2002) [14], НБИКС [15], которые декларируют отсроченные обещания предпочтений от копирования природы. Возможности биогеосистемотехники обоснованы на современном междисциплинарном научном уровне и показаны в практике. Биогеосистемотехника – это принципиально новые природоподобные технические средства и технологии обеспечения устойчивой высокопродуктивной эволюции и здоровья почвы, сохранения пресной воды, рециклинга отходов, прироста уровня использования ФАР, улучшения условий органогенеза растений и их резистентности к фитопатогенам, качества жизни и труда [16].

В рамках биогеосистемотехники разработаны пути создания принципиально новых биогеосистем для повышения продовольственной безопасности, причем с возможностью улучшения здоровья почвы, растений, животных и человека [17–19].

Методология исследований

Научно-техническое обоснование биогеосистемотехники выполнено на основании изучения геофизических, химических, физико-химических свойств почвы лабораторным и полевым методами. Проведено моделирование управления агрегатной композицией почвы в почвенном канале, моделирование увлажнения почвы и переноса вещества в почвенных колонках, математическое моделирование биогеохимического цикла вещества [20–23]. Выполнены многолетние производственные экспериментальные почвенно-мелиоративные исследования на стационарных участках на черноземах и каштановых почвах [24]. Применены стандартные методы изучения почвы [25], а также собственные методические подходы, модели и программы [26]. Трансцендентальный методологический подход биогеосистемотехники основан на применении квалифицированной эвристической интуиции при синтезе принципиально новых артефактов техники.

Результаты и их обсуждение Управление структурой и агрегатной системой почвы

Биосфера создана микроорганизмами. Органическое земледелие в его стандартном виде не обеспечивает масштабный микробиологический процесс в почве. Расширенное воспроизводство плодородия не достигается. Особенно показателен в этом отношении тот факт, что азотфиксация имеет место только на уровне стагнации сложившегося низкого уровня продуктивности почвы, а расширенное продуцирование азота в почве не наблюдается [27, 28]. Именно такой результат может быть вне сомнений. Ведь до органического земледелия та же почва много лет эксплуатировалась в рамках индустриального земледелия. Биологическая эволюция такой почвы по сценарию деградации обуславливает относительно низкий производственный результат органического земледелия.

Стандартная и мелиоративная обработка слоя почвы от 0–5 до 0–120 см орудиями с пассивными рабочими органами [29, 30] не улучшает структуру и архитектуру почвы. После стандартной механической обработки крупноблочная структура почвенного профиля сохраняется долгое время, корневая система растения не имеет возможности полноценного развития в разорванном почвенном континууме (рис. 1).

Фрезерование верхнего слоя почвы обуславливает уплотнение подпахотного слоя почвы. Почва стано-



вится более склонной к развитию эрозии [32]. При использовании беспашотной (no-till) технологии почва уплотняется. Ухудшаются условия проникновения корневой системы вглубь почвы. Урожайность культур уменьшается (рис. 2).

Наступает неблагоприятная положительная обратная связь в системе «почва – растение», поскольку подпахотный слой приобретает все сильнее проявляющиеся иллювиальные свойства. Усиливается неблагоприятная роль явления супердисперсности органоминеральной фазы почвы [33].

Теория и практика механической обработки почвы ориентированы на рыхлящие устройства с пассивными рабочими органами. Такие рабочие органы имеют ту же скорость перемещения относительно обрабатываемой среды, как и источник механической тяги, приложенной к орудью. Пассивные рабочие органы недостаточно рыхлят и перемешивают обрабатываемый слой почвы. После длительного применения такого рода механической обработки, которая обуславливает глыбистое агрегатное устройство обработанной среды, восстановление деградированных



Рис. 1. Блоки почвы в профиле солонца через 30 лет после трехъярусной обработки [17, 31]



Рис. 2. Развитие корневой системы в верхнем 4–7 см слое почвы в результате длительного использования технологии No-till (Great Plains: Vertical Tillage Principles. <https://www.youtube.com/watch?v=EwG4hqtN0VA>)

почв является сложной задачей [35]. Актуальность задачи сохранения, восстановления и долгосрочного повышения плодородия почв следует из того, что огромные территории Земли уже практически уничтожены несовершенной агротехникой, что угрожает биосфере и жизни [11], приводит ко все большему распространению болезней растений, включая особенно опасные микозы.

Имеет перспективу фрезерование почвы. Этот прием отличается тем, что соответствующее орудие для обработки почвы имеет скорость перемещения рабочих органов относительно обрабатываемой среды в несколько раз выше поступательной скорости перемещения орудия в целом относительно почвы. Такие рабочие органы называют активными. Фрезерование поверхностного слоя почвы имеет недостатки. С одной стороны, агрегатное устройство обработанного слоя отличается мелким размером агрегатов, что полезно для обеспечения беспрепятственного органогенеза растений. С другой стороны, рассматриваемая обработка полностью разрушает остатки растительного покрова, потому снижается эрозионная устойчивость почвы. Обратный угол резания фрезеров, оборудованных фрезами на вертикальном валу, обуславливает интенсивное уплотнение слоя почвы под обрабатываемым фрезами слоем. Тяговое сопротивление фрезы пропорционально диаметру фрезы. Потому глубокая фрезерная обработка почвы горизонтальным фрезером с поверхности сопряжена с большими затратами энергии.

Нами в 60–70-х годах XX в. был разработан принцип обработки почвы в целях мелиорации посредством фрезерования иллювиального горизонта горизонтальным фрезером, оборудованным фрезами диаметром 25 см, глубина обработки 20–45 см. Первоначально внутрипочвенную фрезерную обработку позиционировали только как альтернативу трехъярусной обработке. Цель была обеспечить интенсивное разрушение крупных почвенных агрегатов [36]. Параллельно решалась задача уменьшения тягового сопротивления, поскольку внутрипочвенное фрезерование до глубины 45 см выполненное полностью погруженными внутрь почвы фрезами диаметром 25 см, обуславливает значительно меньшие затраты энергии, чем фрезерование почвы с поверхности на глубину 0–45 см. В последнем случае диаметр фрезы должен быть более 90 см с учетом диаметра вала и вспучивания обработанной почвы. Решалась также вторая задача – сокращение дефляции и водной эрозии, поскольку после внутрипочвенного фрезерования на поверхности почвы сохраняются растительные остатки.

В Ростовской области выполнены длительные стационарные полевые эксперименты, в которых было изучено внутрипочвенное фрезерование [17, 31]. Сравнивали стандартную основную отвальную обработку

почвы на глубину 20–22 см, стандартную почвенно-мелиоративную трехъярусную обработку почвы на 40–45 см, и новый прием мелиоративной обработки почвы – внутрипочвенное фрезерование слоя 20–45 см.

Первый в мире внутрипочвенный фрезер ПМС-70 был испытан в 1972 году, стационар Ленинский путь (рис. 3) [31].

Внутрипочвенный фрезер ФС-1.3 (рис. 4) был испытан в 1976 году (стационар XVII Партконференции) [17].

Однократное внутрипочвенное фрезерование почвы сформировало мелкие и средние искусственные макроагрегаты почвы 1–3 мм в слое 20–45 см. Количество таких агрегатов в иллювиальном горизонте почвы после внутрипочвенного фрезерования было до 40%, в три-четыре раза больше, чем после стандартной трехъярусной обработки [17]. Однократное внутрипочвенное фрезерование улучшает агрофизические, химические и физико-химические свойства почвы, ризосфера получила приоритет [37]. При стандартной агротехнике содержание гумуса в почве в слое 0–20 см составило 2%, в слое 20–40 см – 1,1%. Внутрипочвенное фрезерование способствовало увеличению содержания гумуса в светло-каштановой почве в слое 0–20 см до 2,3%, в слое 20–40 см до 1,7%, в каштановой почве соответственно – 3,3%, 1,9%. Более высокая продуктивность культур после однократного внутрипочвенного фрезерования по сравнению со стандартами обработки почвы наблюдается в течение длительного периода, порядка 40 лет. Улучшаются условия резистентности растений к фитопатогенам на всех стадиях органогенеза. Длительное повышение урожайности на 30–50% в жизненном цикле технологии обеспечивает высокие экономические показатели, включая повышение рентабельности в 2–3 раза [1, 17, 31].

В развитие идеи внутрипочвенного фрезерования, разработан принципиально новый привод фрезера. Новый привод обеспечивает снижение тягового сопротивления орудия в 5–10 раз, энергетическая эффективность внутрипочвенного фрезерования почвы повышается в два раза (рис. 5).

Ирригация

Роль воды в эволюции почвы, развитии почвенной биоты, производстве продовольствия и сырья несомненна. Человечество тяготеет к территориям, где возможность приемлемого обитания, получения продовольствия и сырья не связана с жесткой необходимостью дополнительного увлажнения почвы. Однако ввиду довольно неуклюжего поведения человека в экосфере и лавинообразной деградации земель, используемых в сельском хозяйстве [10, 11], относительно мало количество территорий Земли, где сочетание факторов экосферы обеспечивает возникновение почв со стабильным плодородием. Поэтому возникает

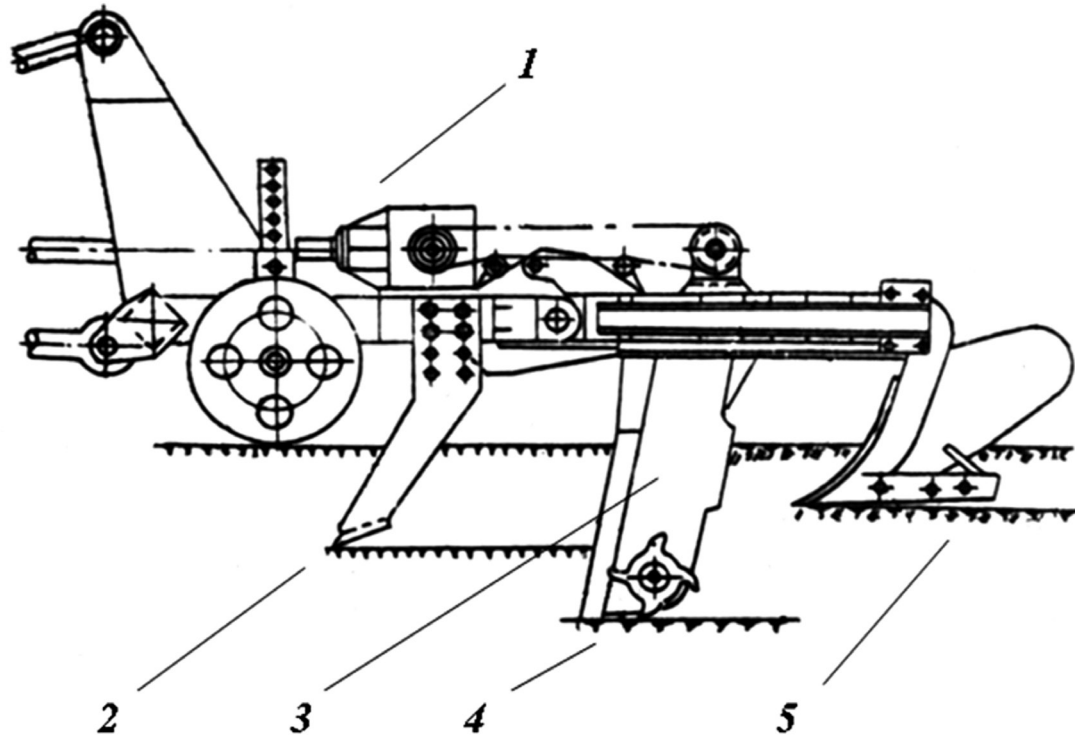


Рис. 3. Устройство для мелиоративной внутрипочвенной фрезерной обработки почвы ПМС-70, вид сбоку.
 1 – механический привод, 2 – рыхлящий нож, 3 – редукторная рыхлящая стойка, 4 – фрезерный рыхлитель иллювиального и переходного горизонтов почвы, 5 – пассивный плужный корпус для обработки верхнего слоя почвы

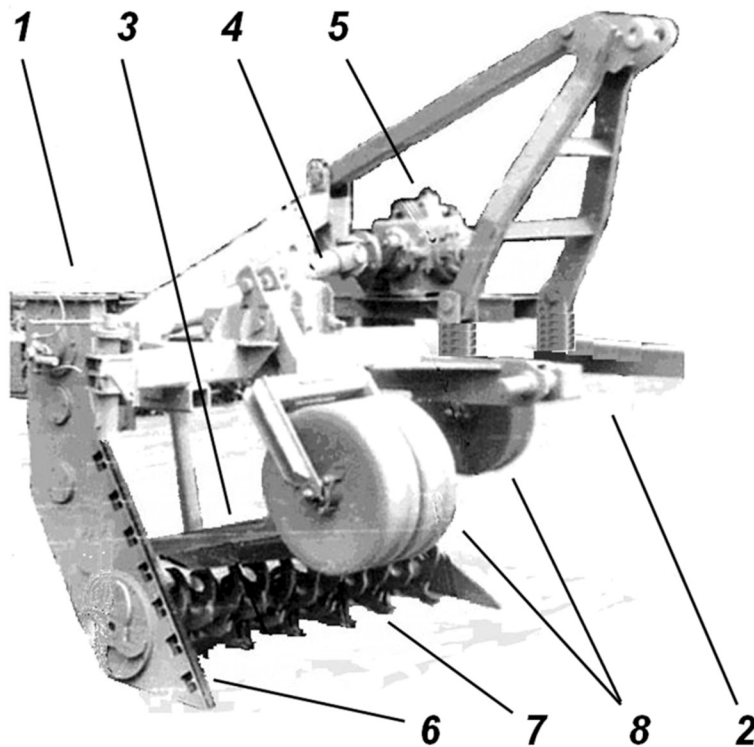


Рис. 4. Устройство для мелиоративной внутрипочвенной фрезерной обработки почвы ФС-1,3.
 1 – рама, 2 – навесное устройство, 3 – плоскорежущий плужный корпус верхнего слоя, 4 – привод бортового редуктора, 5 – редуктор, 6 – бортовой редуктор, 7 – роторный рыхлитель внутреннего слоя, 8 – опорное колесо



Рис. 5. Орудие ПМС-260 (2008 год) для внутрпочвенной фрезерной обработки почвы [38]

необходимость дополнительно увлажнять почву. На ирригацию в настоящее время расходуют 95% общемирового остродефицитного ресурса пресной воды. Одновременно усиливается деградация почв, разрушаются ландшафты и целые природно-хозяйственные комплексы [39]. Норма расхода воды на ирригацию в 4–15 раз превышает потребность культивируемых растений [40]. По этому поводу следует особо отметить, что стандартный эмпирический имитационный метод расчета оросительных и поливных норм дает завышенный результат, способствуя «обоснованию» продолжающегося, в действительности, необоснованного расходования пресной воды. Сложившийся в ирригации подход к определению размеров подачи воды для увлажнения почвы в целях, якобы, обеспечения максимальной продуктивности растений, в действительности не соответствует представлениям о физике почвы и питании растения [41, 42]. Нами показано, что имеет место системный дефект искусственного гидрологического режима почвы, который следует из дефектной устаревшей и опасной для биосферы фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигмы ирригации. Дефект состоит в том, что в стандартной ирригации оказываются совмещенными фаза подачи воды и фаза ее распределения внутри почвы. Причем вторая фаза является важнейшей в отношении реального увлажнения ризосферы каждого

растения, сохранения воды и структуры почвы, опасности утраты воды из почвы в виде преференсных потоков в зону аэрации. Тем не менее, при столь высокой значимости, фаза распределения внутри почвы абсолютно не контролируется в современной ирригации. В результате наступает деградация структуры почвы ввиду флотации и супердисперсности почвенной массы, слитизация, осолонцевание, которые обуславливает современная ирригация [33].

Для исключения недостатков традиционной фронтальной гравитационной континуально-изотропной парадигмы ирригации нами предложена новая водная стратегия биогеосистемотехники – внутрпочвенная импульсная континуально-дискретная парадигма увлажнения [43, 44]. Новая парадигма искусственного увлажнения почвы принципиально отличается от устаревшей стандартной парадигмы ирригации тем, что фаза подачи воды в почву и фаза распределения воды внутри почвы разнесены во времени.

Фаза подачи воды в почву предусматривает впрыск воды в почву шприцевым элементом 1. Воду в процессе перемещения шприца в почве дозированно распределяют в вертикальном цилиндре первичного увлажнения на глубине 10–40 см (рис. 6).

Последующая фаза увлажнения почвы представляет собой достаточно быстрое распределение воды из цилиндра первичного увлажнения в прилегающий

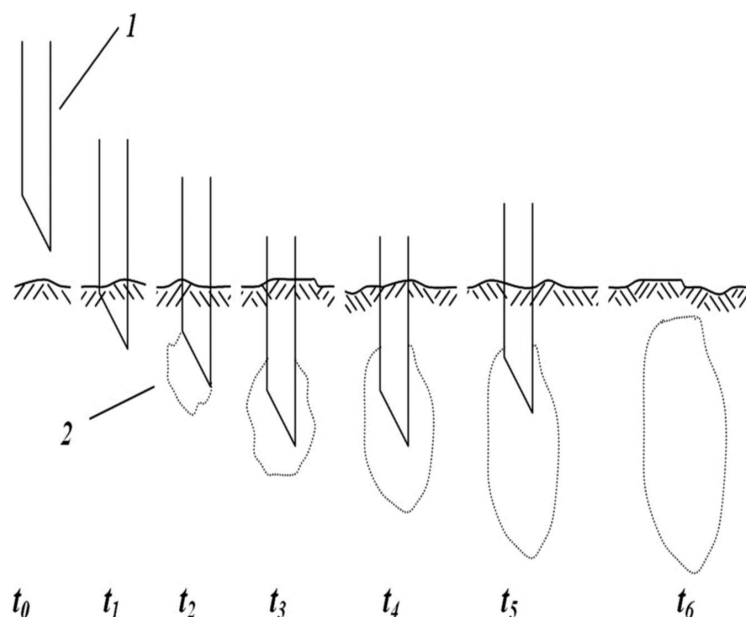


Рис. 6. Внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения почвы
1 – шприцевой элемент, 2 – контур увлажнения, $t_0 - t_6$ – стадии подачи воды из шприца

объем почвы в прилегающий элемент континуума почвы путем капиллярно-пленочного переноса и перегонки в парообразной форме. За счет этого термодинамический потенциал воды увлажненной почвы достаточно быстро понижается. Через 5–10 минут после выполнения инъекции воды он составляет около $-0,2$ МПа. Это существенно ниже искомого в стандартной ирригации потенциала -33 кПа, соответствующего состоянию наименьшей влагоемкости почвы. Потенциал при стандартной ирригации может быть даже выше в условиях подтопления, в таких условиях целевой термодинамический потенциал воды назначают очень высоким, вплоть до -10 кПа.

При стандартной ирригации, включая тепличное хозяйство, стремятся к тому, чтобы в целевом агрофитоценозе установить режим потенциальной транспирации растений, сделать влагу почвы максимально доступной растениям, применяют гидропонику. Это приводит к тому, что при избытке влаги устьичный аппарат растения открывается полностью, достигается максимальный уровень транспирации. Предполагают, что в таком режиме обеспечивается максимальная продуктивность растений. Однако это совсем не так. Рассмотренный режим влажности почвы избыточен, поскольку структура почвы становится нестабильной. Высокая влажность обуславливает быструю утрату механических свойств и структуры почвы. Особенно обедняется агрегатная системы почвы, поскольку имеет место значительный вклад локальной супердисперсности в генеральный облик почвенного континуума [45]. В обозримой исторической ретроспек-

ции это уже не раз приводило к краху цивилизаций.

Внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения стабилизирует структуру и агрегатное устройство почвы, обеспечивает питание растения относительно более концентрированным почвенным раствором. Устьичный аппарат растений функционирует в режиме регулирования. По этой причине расход воды сокращается не только по сравнению со стандартной ирригацией, но также и по сравнению с устаревшим эмпирическим пониманием потребности растений в воде, которое базируется на «почвенно-гидрологической константе» – наименьшей влагоемкости. Мы не ставим под сомнение общеизвестную концепцию А.А. Роде. Она, безусловно, справедлива для почвенного континуума, но применять ее для управления водным режимом растений, как видим, уже нельзя. Режим питания растения за счет внутрипочвенного импульсного континуально-дискретного способа увлажнения улучшается. Улучшается протекание органогенеза и повышается продуктивность растений (рис. 7).

Внутрипочвенный импульсный континуально-дискретный способ увлажнения исключает потери воды из почвы в агроландшафт. Сокращение расхода воды на увлажнение почвы составляет по нашим оценкам до 5–20 раз по сравнению со стандартной ирригацией. Относительно низкая влажность почвы способствует повышению устойчивости растений к фитопатогенам. Ту же роль играет устойчивый органогенез растений, позволяя усилить резистентность растений.

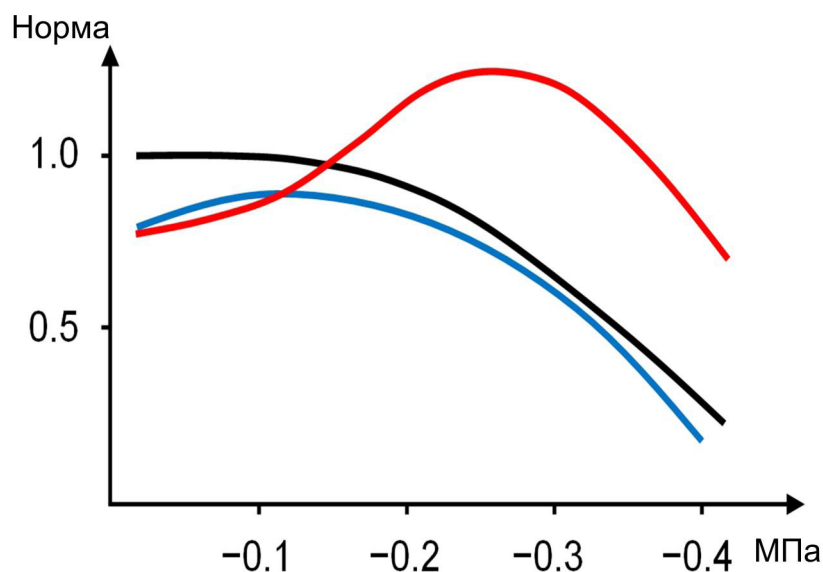


Рис. 7. Относительная транспирация и биологическая продуктивность растений в зависимости от термодинамического потенциала почвенного раствора (МПа) [1]. Черная линия – относительная транспирация, синяя – относительная биологическая продуктивность растений при стандартной ирригации, красная – относительная биологическая продуктивность растений при внутрипочвенном импульсном континуально-дискретном увлажнении

Органическое вещество почвы и рециклинг отходов внутри почвы

Даже в лесной экосистеме Аппалачей 78,2% органических веществ разлагаются до парниковых газов. Большая часть органического вещества выщелачивается [46]. Это вездесущий процесс. Органическая биодеградация как микробный контролируемый процесс влияет на плодородие почвы. Проявления органического вещества почвы (SOM), водорастворимого органического вещества (DOM) и гуминовых веществ (HS) в почве в настоящее время весьма скромны по сравнению с функционированием строго скоординированных структурных полимикробных ассоциаций и биопленок в толстой кишке живого организма [47]. Полимикробные сообщества и биопленки могут быть использованы в качестве стартового инструмента улучшения почвы. Методы биогеосистемотехники в состоянии обеспечить гармоничное действие полимикробных биопленок. Это будет координировать состояние органического вещества почвы, улучшит функционирование HS, обеспечит улучшенный круговорот SOM, DOM.

Стандартные технологии утилизации обеспечивают только частичную переработку отходов. Эти технологии опасны неблагоприятными эффектами на почву, водные системы, атмосферу. Каждая стандартная технология имеет свой отход. Он подлежит утилизации в свою очередь. В результате применения стандартных технологий утилизации отходов, нарушается баланс углерода, других биофилов, которые трансформируются в процессе хранения/захоро-

нения вплоть до образования ядовитых субстанций [48]. Это обедняет биосферу, ухудшает свойства экосферы, включая формирование неблагоприятных условий для развития растений и, наоборот, приоритет развития и распространения вредителей и болезней растений и животных.

Разработана технология рециклинга минеральных и органических отходов в виде агрегатов размером до 3–5 мм одновременно с внутрипочвенным фрезированием слоя 20–45 (30–60) см. Если по условиям обеспечения органогенеза необходим более мощный корнеобитаемый слой, то возможно провести внутрипочвенное фрезирование на большую глубину (рис. 8) [49].

Развитая искусственная геофизическая система агрегатов «почва – отходы» приоритетна для рециклинга отходов в питательные вещества для растений. Опасные соединения успешно трансформируются в элементы питания растений ввиду приоритетных условий развития для сапрофитов в развитой агрегатной почвенной экосистеме.

Внутрипочвенная утилизация с фрезированием почвы и одновременным внесением вещества в зону рыхления обеспечивает эффективный рециклинг отходов. Возможен рециклинг самых разнообразных по происхождению и форме отходов. Ввиду использования трансцендентального внутрипочвенного режима, исключаются природные трофические цепи распространения фитопатогенов.

На фоне внутрипочвенного фрезирования и внесения вещества в зону рыхления следует применять

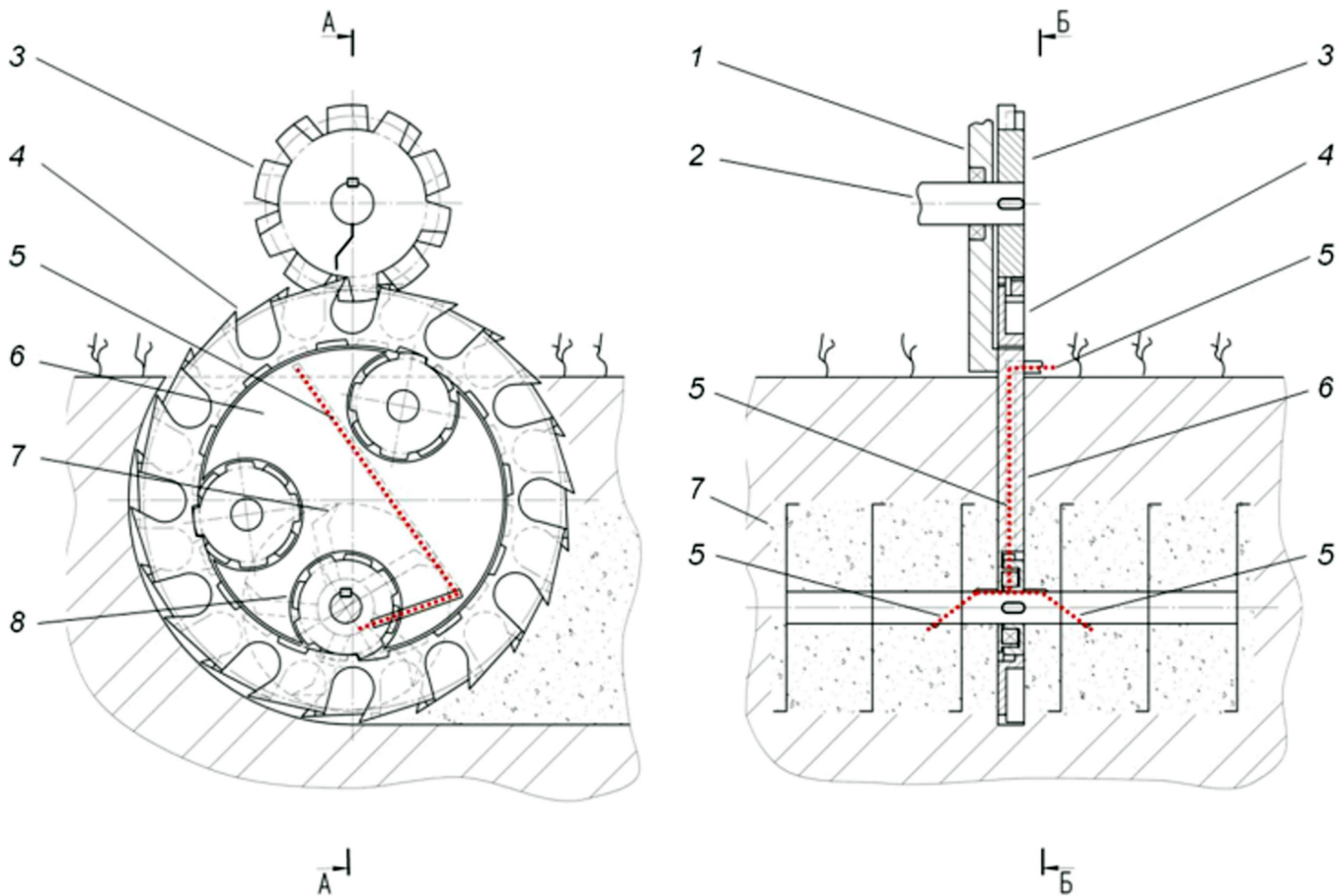


Рис. 8. Устройство для внутрипочвенного фрезерования и внесения вещества в зону рыхления [49].

1 – рама, 2 – вал привода, 3 – ведущая шестерня, 4 – кольцевой щелерез с внутренней промежуточной шестерней привода, 5 – канал подачи вещества внутрь обрабатываемого слоя почвы, 6 – диск, 7 – фрезерный рыхлитель, 8 – ведомая шестерня

внутрипочвенную импульсную континуально-дискретную систему увлажнения почвы с внесением вещества в жидкой форме (пульпа, смесь) для питания растений, синтезировать целевое вещество внутри созданной тонкодисперсной системы отходов и искусственной системы относительно мелких макроагрегатов почвы. Достигается медицинская и ветеринарная санитарная безопасность наземно-почвенных и водных экосистем. В новой агрегатной системе почвы, созданной путем внутрипочвенного фрезерования, после проведения внутрипочвенного импульсного континуально-дискретного увлажнения почвы формируется относительно низкий термодинамический потенциал воды. В результате устьичный аппарат растения работает в режиме регулирования. Потребление воды сокращается, а потребление питательных веществ, наоборот увеличивается, поскольку концентрация почвенного раствора относительно высокая, и при этом достаточна для максимального потока почвенного раствора к корневым волоскам и высокого уров-

ня питания растения [44]. Имеет место относительно высокая электропроводность почвенного раствора, что также благоприятно для формирования потока почвенного раствора к корневым волоскам. Ассоциация и комплексообразование ионов в почвенном растворе повышенной концентрации проявляются в значительной степени. Ассоциаты и особенно комплексы имеют существенно меньшую подвижность в почвенном растворе по сравнению со свободными ионами, которые преимущественно представлены в растворе низкой концентрации. Значительная часть опасных соединений, включая разнообразные соединения с тяжелыми металлами, переходит в форму комплексов и затем в твердую фазу. Поскольку почвенная система получает устойчивые новые свойства, условия для перехода таких химических соединений в еще менее растворимые формы и их пассивирование, включая роль карбонатно-кальциевой системы в почвенном растворе [20–23], дополнительно усиливаются. Таким образом новая система обработки почвы, рециклинга

отходов внутри почвы, увлажнения почвы усиливает биогеохимический барьера «почва – ризосфера», что резко ограничивает поступление тяжелых металлов и других опасных соединений в растение [50]. Микробиологическая активность ризосферы усиливаются [51]. Идет оздоровление почвы. Повышается резистентность растений к фитопатогенам, достигается высокая биологическая продуктивность агроценоза и высокое качество получаемой продукции [52–54].

Широкую долгосрочную перспективу гармоничного сочетания биосферы и техносферы, приоритетные условия органогенеза растений и их устойчивость к фитопатогенам обеспечивает разработанная нами технология рециклинга отходов на основе газификации органического вещества [55]. Изобретение является почвенно-химической технологией охраны окружающей среды и рециклинга отходов.

Техническое решение позволяет утилизировать углеродсодержащие отходы; производить золу уноса как высококачественного строительного вяжущего вещества; производить синтез-газ или тепловую энергию; производить и очищать синтез-газ в низкоуглеродном биочаре, получать обогащенный элементами питания растений низкоуглеродный биочар. Масса низкоуглеродного биочара составляет 3–7% от массы исходного продукта. Это соответственно уменьшает транспортные расходы в связи с доставкой низкоуглеродного биочара к объекту использования. Система предусматривает дисперсное внесение низкоуглеродного биочара внутрь почвы в твердом дисперсном виде, жидком виде или виде пульпы в процессе внутрипочвенного фрезерования слоя почвы 20–50 (30–60) см и/или внутрипочвенной фертигации. В результате будут созданы условия для последующей переработки низкоуглеродного биочара и других одновременно вносимых в

почву отходов сапрофитами почвы, что улучшит физические, химические и физико-химические свойства почвы и питание растений, позволит исключить опасное неконтролируемое эоловое и гидрологическое распространение отходов, повысить ветеринарно-медицинское качество экосферы, улучшить здоровье и плодородие почвы, обеспечить здоровье растений.

Биологическая защита растений

Внутрипочвенная импульсная дискретная система внесения биопрепаратов и пестицидов для защиты растений усилит их действие на вредные организмы и обеспечит безопасность экосферы.

Разработан способ внесения биопрепарата внутрь верхнего слоя почвы [56]. Способ (рис. 9) предусматривает импульсную дискретную внутрипочвенную подачу рабочего раствора биопрепарата (после этого отдельно возможна подача воды) посредством шприцевого элемента 1 под давлением. Впрыск начинают с момента погружения нижнего конца шприцевого элемента под поверхность почвы 2 и заканчивают впрыск в момент его извлечения из почвы. Обработку почвы и нижней поверхности расположенных на почве растительных остатков проводят последовательно. Сначала раствором биопрепарата. Затем, через некоторое время – водой.

Раствор биопрепарата вносят на глубину 0,02–0,05 м. Шаг внесения 0,20–0,25 м. Диаметр цилиндра обработанной раствором биопрепарата почвы и нижней поверхности расположенного на почве слоя растительных остатков составляет 0,10–0,15 м.

Для обеспечения условий развития инокулированного микробного сообщества после внесения биопрепарата, в течение времени, необходимого для получения устойчивого микробного сообщества, в позиции

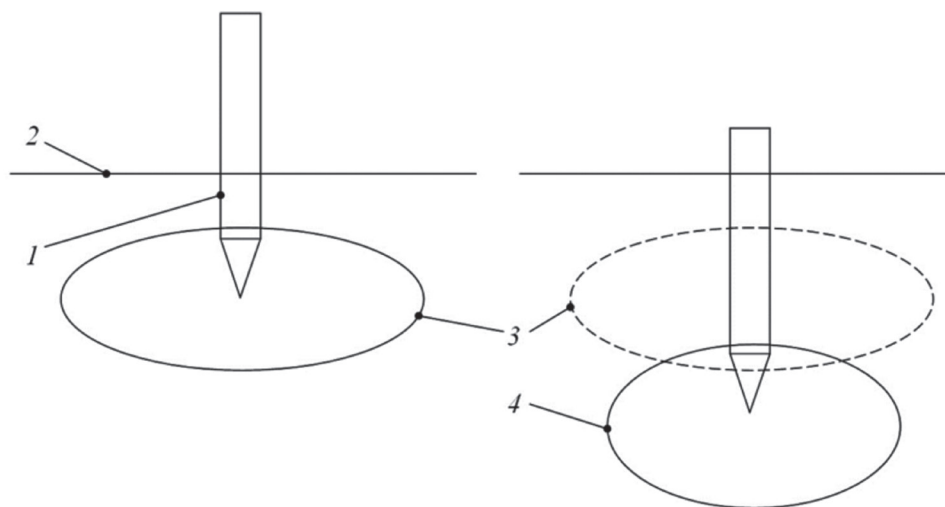


Рис. 9. Способ внесения биопрепарата внутрь верхнего слоя почвы

внесения рабочего раствора, содержащего биопрепарат, например, через 3–5 дней после обработки почвы раствором биопрепарата, выполняют импульсное дискретное внутрипочвенное увлажнение почвы водой. Импульсное дискретное внутрипочвенное увлажнение почвы водой выполняют до 3–4 раз на глубину 0,05–0,10 м. Диаметр цилиндра увлажненной водой почвы составляет 0,07–0,11 м. Периодичность выполнения импульсного дискретного внутрипочвенного увлажнения почвы водой составляет 3–7 дней.

Увлажнение почвы производят глубже, чем внесение биопрепарата, поскольку вода после увлажнения поступит в расположенный выше слой в достаточном количестве посредством перегонки пара. При этом наличие воды в слое до 0,11 м позволит обеспечить приоритетную экспансию микробного сообщества, представленного в биопрепарате, вглубь почвы.

Внутрипочвенное континуально-дискретное увлажнение почвы обеспечивает относительно низкий термодинамический потенциал воды в почве. Это благоприятно для развития внесенного биологического материала, и, в то же время, снижает активность вредоносной микрофлоры нативной почвы. Кроме того, относительно низкая влажность позволяет снизить расход воды из почвы на капиллярный перенос воды к поверхности испарения, при этом нужное для поддержания приоритетных условий развития инокулированного микробного сообщества количество воды небольшое. Дискретный характер исходного распределения биопрепарата не критичен с точки зрения охвата всего континуума почвы, поскольку расстояние между смежными цилиндрами обработанной биопрепаратом почвы составляет 0,05–0,1 м, и это пространство легко будет освоено инокулированным микробным сообществом в процессе его экспансии.

Именно в то же дискретное обработанное биопрепаратом пространство следует размещать семенной материал озимой культуры, что позволит обеспечить приоритетную защиту семени и формируемой им ризосферы от воздействия опасных биологических объектов на раннем самом опасном с фитопатологической точки зрения этапе органогенеза. Положительную роль играет дополнительное внутрипочвенное импульсное континуально-дискретное увлажнение. При этом относительно низкий термодинамический потенциал почвенной влаги обеспечивает оптимальные условия для развития злаков, и наоборот – ухудшает условия развития патогенов. Только по мере расширения ареала ризосферы она начнет осваивать менее защищенное сопряженное с обработанным биопрепаратом пространство почвы, но уже развившееся здоровое растение на последующих этапах органогенеза значительно менее восприимчиво к эпифитотиям, что сокращает риск поражения растения, формирующегося в рассматриваемых условиях фитоценоза.

Способ внесения биопрепарата внутрь верхнего слоя почвы улучшает условия развития содержащихся в биопрепарате биологических объектов внутри почвы. Это позволяет повысить их жизнеспособность. Достигается высокий биологический эффект воздействия на вредные объекты, создаются приоритетные условия защиты растений, улучшаются условия органогенеза культурных растений. Способ оптимизирует фитосанитарную обстановку в агрофитоценозе. Улучшается здоровье почвы. Повышается объем производства и качество продукции. Способ можно применить для внесения пестицидов.

Методы биогеосистемотехники в состоянии обеспечить формирование привлекательного габитуса декоративных и защитных насаждений. При этом будет увеличена продолжительность жизни деревьев и кустарников, получен высокий длительный микроклиматический и/или рекреационный эффект.

Биогеосистемотехника обеспечивает биолого-почвенное решение проблем углеродного баланса [57], питания растений [12], секвестра углерода [58], производства энергии [16], стабилизации климатической системы.

Реализацию биогеосистемотехники в решающей степени определяют квалифицированная эвристическая интуиция при принятии решений о векторе стратегии развития и степень совершенства политико-правовых инструментов выбора программ стратегического развития РФ [59]. Таким образом можно ослабить возможности для проявления негативного влияния управленческого уклонения на продвижение долгосрочных новаций [60]. Это позволит повысить продовольственную безопасность РФ.

Заключение

Биогеосистемотехника позволяет обеспечить управляемую гармоничную коэволюцию биосферы и техносферы, включая повышение плодородия и оздоровление почвы, усиление резистентности растений к фитопатогенам, повышение качества агросферы и производимой продукции, опережающее мировой уровень технологическое развитие РФ. Большинство опасных для высших организмов загрязняющих веществ гораздо менее опасны для геобионтов. Потому последние без ущерба для собственной жизнедеятельности утилизируют опасные загрязняющие вещества после дисперсной утилизации в процессе внутрипочвенного фрезерования, внутрипочвенной импульсной континуально-дискретной фертигации и/или внутрипочвенного импульсного континуально-дискретного внесения биопрепаратов в верхний слой почвы.

Биогеосистемотехника позволяет создать нишу развития, в которой производственный и экономический результат выше, чем при стандартных технологиях. Необходимы правовые и программные механизмы

обеспечения применения в РФ биogeосистемотехники, что обеспечит новые более высокие производственные результаты, включая приоритетное развитие

растений и более высокую вероятность преодоления ими действия фитопатогенов. Достигается повышение продовольственной безопасности РФ.

Литература

Список русскоязычной литературы

1. Калиниченко ВП, Глинушкин АП, Соколов МС, Шаршак ВК, Ладан ЕП, Минкина ТМ, Зинченко ВЕ, Черненко ВВ, Макаренков ДА, Рыхлик АЭ, Ларин ГС. Природоподобные технологии биogeосистемотехники. *Агрохимия*. 2020;(2):61-8, DOI: 10.31857/S0002188120020052
2. Gill JC, Malamud BD. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Rev.* 2017;166:246-69. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.01.002
3. Van Mansvelt J-D. Soil fertility in agriculture: Russia – Western Europe – USA: In the past and today. *Biogeosystem Technique*. 2017;4(2):220–31. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.87
4. Glazko VI, Glazko TT. Conflicts of Biosphere and Agroecosystems. *Int J Environ Problems*. 2015;1(1): 4-16.
5. Cheshko VT, Glazko VI, Kosova YV. Bioethics: Reincarnation of natural philosophy in modern science. *Biogeosystem Technique*. 2017;4(2):111-21. DOI: 10.13187/bgt.2017.2.111
6. Keesstra SD, Bouma J, Wallinga J, Tiftonell P, Smith P, Cerdà A, Montanarella L, Quinton JN, Pachepsky Y, van der Putten WH, Bardgett RD, Moolenaar S, Mol G, Jansen B, Fresco LO. The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016;(2):111-28. DOI: 10.5194/soil-2-111- 2016
7. Johansson J. Collaborative governance for sustainable forestry in the emerging bio-based economy in Europe. *Curr Opin Environ Sustainability*. 2018;32:9-16. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.01.009
8. Byerlee D, de Janvry A, Sadoulet E. Agriculture for development: Toward a new paradigm. *Annu Rev Resource Econ*. 2009;1:15-31. DOI:10.1146/annurev.resource.050708.144239
9. Reid Walter V et al. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press; 2005.
10. Сенькова ЛА. Состояние почв агроландшафтов Южного Урала и пути их рационального использования. Автореф. дисс. докт. биол. наук. Тюмень: Тюменская государственная сельскохозяйственная академия; 2009.
11. Добровольский ГВ. Педосфера – оболочка жизни на планете Земля. *Биосфера*. 2009;1(1):6-14.
12. Glinushkin AP, Kudayarov VN, Sokolov MS, Zinchenko VE, Chernenko VV. Nature-similar technologies of the biogeosystem technique in solving a global social and environmental problem. *Biogeosystem Technique*. 2018; 5(2): 159-96. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.159
13. Bohle M. Ideal-type narratives for engineering a human niche. *Geosciences*. 2017;7(1):18. doi:10.3390/geosciences7010018
14. Roco MC, Bainbridge WS, eds. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. U.S. National Science Foundation; 2002. http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf
15. Ковальчук МВ, Нарайкин ОС, Яцишина ЕБ. Конвергенция наук и технологий – новый этап научно-технического развития. *Вопросы философии*. 2013;(3):3-11.
16. Kalinitchenko VP. Renewal of energy and life in the biosphere. *Eur J Renewable Energy*. 2017;2(1):3-28. DOI: 10.1318.7/ejore.2017.1.3
17. Калиниченко ВП, Шаршак ВК, Миронченко СФ, Черненко ВВ, Ладан ЕП, Генов ЕД, Илларионов ВВ, Удалов АВ, Удалов ВВ, Киппель ЕВ. Изменение свойств почв солонцового комплекса через 30 лет после мелиоративных обработок. *Почвоведение*. 2014;(4):490–506.
18. Kalinitchenko VP Optimizing the matter flow in biosphere and the climate of the Earth at the stage of technogenesis by methods of biogeosystem technique (Problem-analytical review). *Int J Environ Probl*. 2016;2(4): 99-130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99
19. Kalinitchenko VP. Soil dynamics management. *Biogeosystem Technique*. 2016;4(10):284-316. DOI: 10.13187/bgt.2016.10.284
20. Минкин МБ, Бабушкин ВМ, Садименко ПА. Солонцы юго-востока Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ; 1980.
21. Минкин МБ, Горбунов НИ, Садименко ПА. Актуальные вопросы физической и коллоидной химии почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ; 1982.
22. Минкин МБ, Калиниченко ВП, Садименко ПА. Регулирование гидрологического режима ком-

- плексных солонцовых почв. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ; 1986.
23. Минкина ТМ, Ендовицкий АП, Калиниченко ВП, Федоров ЮА. Карбонатно-кальциевое равновесие в системе вода-почва. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета; 2012.
 24. Суковатов ВА. Длительность действия мелиорации солонцового комплекса каштановых почв. Дис. ... канд. с-х. наук. Персиановский: Донской государственный аграрный университет; 2009. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19212993>
 25. Воробьева ЛА, ред. Теория и практика химического анализа почв. М.: Издательство ГЕОС; 2006.
 26. Минкина ТМ, Калиниченко ВП, Бакоев СЮ, Манджиева СС, Сушкова СН, Бауэр ТВ, Замулина ИВ, Воронов МБ, Бурачевская МВ. ИОН-3. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016616075, 06.06.2016. Заявка № 2016613589 от 14.04.2016.
 27. Семенов АМ, Глинушкин АП, Соколов МС. Органическое земледелие и здоровье почвенной экосистемы. В кн.: Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы гербологии и оздоровления почв (21–23 июня 2016 г.). Большие Вяземы; 2016. С. 283–91.
 28. Butterbach-Bahl K, Baggs EM, Dannenmann M, Kiese R, Zechmeister-Boltenstern S. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Phil Transact Roy Soc B: Biol Sci.* 2013;368(1621). DOI: 10.1098/rstb.2013.0122
 29. Peries R, Gill JS. Subsoil manuring in the high rainfall zone: a practice for ameliorating subsoils for improved productivity. In: Proc 17th ASA Conf, 20–24 Sept 2015, Hobart, Australia. URL: <http://www.agronomy2015.com.au/papers/agronomy2015final00282.pdf>
 30. Ripping field 4 DEEP SIX. 2017. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=88IEQuSvAoE>
 31. Kalinichenko VP, Sharshak VK, Bezuglova OS, Ladan EP, Genev ED, Illarionov VV, Zinchenko VE, Morkovskoi NA, Chernenko VV, Il'ina LP. Changes in the soils of solonchic associations in 30 years after their reclamation with the use of moldboard plowing, deep tillage with a three tier plow, and deep rotary tillage. *Eurasian Soil Sci.* 2011;44(8):927-38. DOI: 10.1134/S1064229311080060
 32. Makange NR, Tiwari VK. Effect of horizontal and vertical axis rotavators on soil physical properties and energy requirement. *Trends Biosci.* 2015;8(12):3225-34.
 33. Prikhod'ko V, Manakhov D Soil processes at different structural levels of organization and diagnosis of their changes under irrigation. *Moscow Univ Soil Sci Bulln.* 2010;(65):52–60. 10.3103/S014768741002002X.
 34. Shein EV, Skvortsova EB, Dembovetskii AV, Abrosimov KN, Il'in LI, Shnyrev NA. Pore-size distribution in loamy soils: A comparison between microtomographic and capillarimetric determination methods. *Eurasian Soil Sci.* 2016;49(3):315-25.
 35. Kalinina O, Giani L, Dolgikh AV, Goryachkin SV, Lyuri DI, Chertov O, Barmin AN. Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonetz complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools. *Geoderma.* 2015;237:117-28.
 36. Шаршак ВК, Москвичев НН, Ладан ЕП, Генеv ЕД, Слюсарев ВС. Комбинированное почвообрабатывающее орудие: Авторское свидетельство СССР №442760. Б.И. 1974. № 34.
 37. Kharitonova GV, Shein EV, Krutikova VO, Ostrouhov AV. Calcium carbonate formations in edaphic components of ecosystems. *Biogeosystem Technique.* 2018;5(2):197-212. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.197
 38. Калиниченко ВП, Шаршак ВК, Ладан ЕП., Илларионов ВВ, Генеv ЕД. Технические средства внутрпочвенного рыхления с малым тяговым сопротивлением. *Вестник Донского государственного технического университета.* 2014;14(2). DOI: 10.12737/4467.
 39. Rykhlik AE, Bezuglova OS. Method of intra-soil pulse continuous-discrete moistening (model experiment). *Biogeosystem Technique.* 2017;4(1):39-65. doi: doi.org/10.13187/bgt.2017.1.39
 40. Ochoa C, Guldan S, Fernald A, Tidwell V, Elias E, Gutierrez K, Borman M. Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agroecosystems of the western USA. *Geophys Res Abstr.* 2014;16: EGU2014-3161.
 41. Shein EV, Mady AY, Il'in LI. Validation of HYDRUS-1D for predicting of soil moisture content with hysteresis effect. *Biogeosystem Technique.* 2019;6(1):59-64.
 42. Zaitseva RI, Nikitina NS, Sudnitsyn II. The effect of the concentration and osmotic pressure of soil solution on the availability of water to plants. *Eurasian Soil Sci.* 2003;36(9):1003-9.
 43. Калиниченко ВП. Способ внутрпочвенного импульсного дискретного полива растений: Патент (RU) №2386243 С1. Б.И. 2010;(11).
 44. Kalinichenko V. Biogeosystem Technique as a base of the new world water strategy. *Biogeosystem Technique.* 2014;2(2):100-24.
 45. Lin H, 2012. Chapter 2 – Understanding Soil Architecture and Its Functional Manifestation across Scales. Part I: Overviews and Fundamentals. In: *Hydrogeology.* Elsevier; 2012. P. 41-74.
 46. Qualls RG. Long-term (13 years) decomposition rates of forest floor organic matter on paired coniferous and deciduous watersheds with contrasting

- temperature regimes. *Forests*. 2016;7. DOI: 10.3390/f7100231
47. Swidsinski A. The colonic bioreactor – a forerunner model for future biotechnology (function, role, products & management). In: Fifth International Conference of CIS IHSS on Humic Innovative Technologies "Humic Substances and Living Systems". October 19-23, 2019. DOI: 10.36291/HIT.2019.swidsinski.017.
 48. Helfenstein J, Jegminat J, McLaren TI, Frossard E. Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences*. 2018;15:105-14. DOI: 10.5194/bg-15-105-2018
 49. Kalinichenko VP. Biogeosystem technique as a paradigm of non-waste technology in the biosphere. *Biogeosystem Technique*. 2015;3(1):4-28. DOI: 10.13187/bgt.2015.3.4
 50. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Sokolov MS, Zinchenko VE, Minkina TM, Mandzhieva SS, Sushkova SN, Makarenkov DA, Bakoyev SY, Il'ina LP. Impact of soil organic matter on calcium carbonate equilibrium and forms of Pb in water extracts from Kastanozem complex. *J Soils Sediments*. 2018;19(6): 2717-28. DOI: 10.1007/s11368-018-2123-z
 51. Blagodatskaya E, Kuzyakov Y, Blagodatsky S, Anderson T-H. Microbial growth and carbon use efficiency in the rhizosphere and root-free soil. *PLoS ONE*. 2014;9(4): e93282.
 52. Nigten AO. Re-inventing agriculture! *Biogeosystem Technique*. 2018;5(2):213-28. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.213
 53. Соколов МС. Здоровая почва – неотъемлемый, экологически значимый фактор коэволюции биосферы и социума (в развитие ноосферных идей В.И. Вернадского). В кн.: Глинушкин АП и др., ред. Адаптивно-интегрированная защита растений. М: Печатный город; 2019. С. 387–428.
 54. Семенов АМ, Глинушкин АП. Научно-методическое руководство для практического определения параметров здоровья почвенной экосистемы (почвы). В кн.: Глинушкин АП и др., ред. Адаптивно-интегрированная защита растений. М: Печатный город; 2019. С. 525-54.
 55. Калиниченко ВП, Глинушкин АП, Соколов МС, Козырев СГ, Савостьянов АП, Ильин ВБ. Патент RU № 2692718 С1. Комплекс утилизации отхода газификации. МПК C10J 3/06 (2006.01) C10J 3/46 (2006.01) F23B 40/02 (2006.01). <http://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/692/718/%D0%98%D0%97-02692718-00001/document.pdf>
 56. Калиниченко ВП, Глинушкин АП, Соколов МС, Будынков НИ, Зинченко ВЕ, Черненко ВВ, Козырев СГ. Патент RU №2720634 С1. МПК A01G 25/06 (2006.01) A01C 23/02 (2006.01), СПК A01G 25/06 (2020.02) A01C 23/02 (2020.02). Способ внесения биопрепарата внутрь верхнего слоя почвы. Заявка № 2019117310/033090 от 04.06.2019. <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/720/634/%D0%98%D0%97-02720634-00001/document.pdf>
 57. Кудяров ВН Современное состояние углеродного баланса и предельная способность почв к поглощению углерода на территории России. *Почвоведение*. 2015;№ 9:1049-61. DOI: 10.7868/S0032180X15090087
 58. Kalinichenko V, Batukaev A, Glinushkin A, Sokolov M, Sushkova S, Minkina T, Zinchenko V, Chernenko V, Bauer T, Zamulina I, Makarenkov D. Carbon irreversible sequestration dangerous mistake. *Geophys Res Abstr*. 2019; 21:EGU2019-5934
 59. Larin GS, Lyakhov VP. Political and legal modernization and the choice of the vector of development of modern Russia in focus of the ideas and attributes of national security in the 21st century synthesis, taking into account the Decembrists views and ideologies. *Colloquium-Journal Jurisprudence*. 2019;9(33):56-61. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-1025
 60. Keum DD. Innovation, short-termism, and the cost of strong corporate governance. *Strateg Manag J*. 2021;42: 3-29. DOI: 10.1002/smj.3216
- Общий список литературы/Reference List**
1. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Sokolov MS, Sharshak VK, Ladan YeP, Minkina TM, Zinchenko VYe, Chernenko VV, Makarenkov DA, Rykhlik AE, Larin GS. [Nature-based technologies of Biogeosystem technique. *Agrokhimiya* 2020;(2):61-8. DOI: 10.31857/S0002188120020052b
 2. Gill JC, Malamud BD. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework. *Earth-Science Rev*. 2017;166:246-69. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.01.002
 3. Van Mansvelt J-D. Soil fertility in agriculture: Russia – Western Europe – USA: In the past and today. *Biogeosystem Technique*. 2017;4(2):220–31. DOI: 10.13187/bgt.2018.1.87
 4. Glazko VI, Glazko TT. Conflicts of biosphere and agroecosystems. *Int J Environ Problems*. 2015;1(1): 4-16.
 5. Cheshko VT, Glazko VI, Kosova YV. Bioethics: Reincarnation of natural philosophy in modern science. *Biogeosystem Technique*. 2017;4(2):111-21. DOI: 10.13187/bgt.2017.2.111
 6. Keesstra SD, Bouma J, Wallinga J, Tittonell P, Smith P, Cerdà A, Montanarella L, Quinton JN, Pachepsky Y, van der Putten WH, Bardgett RD, Moolenaar S, Mol G, Jansen B, Fresco LO. The significance of soils and soil science towards realization of the United

- Nations Sustainable Development Goals. *Soil*. 2016;(2):111-28. DOI: 10.5194/soil-2-111- 2016
7. Johansson J. Collaborative governance for sustainable forestry in the emerging bio-based economy in Europe. *Curr Opin Environ Sustainability*. 2018;32:9-16. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.01.009
 8. Byerlee D, de Janvry A, Sadoulet E. Agriculture for development: toward a new paradigm. *Annu Rev Resource Econ*. 2009;1:15-31. DOI:10.1146/annurev.resource.050708.144239
 9. Reid Walter V et al. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press; 2005.
 10. Senkova LA. [Status of soil agricultural landscapes of the Southern Urals and the ways of their rational use]. PhD Theses. Tyumen: Tyumen State Agricultural Academy; 2009.
 11. Dobrovolsky GV. Pedosphere – a living cover of the planet Earth. *Biosfera*. 2009;1(1):6-14.
 12. Glinushkin AP, Kudiyarov VN, Sokolov MS, Zinchenko VE, Chernenko VV. Nature-similar technologies of the biogeosystem technique in solving a global social and environmental problem. *Biogeosystem Technique*. 2018; 5(2): 159-96. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.159
 13. Bohle M. Ideal-Type narratives for engineering a human niche. *Geosciences*. 2017;7(1):18. doi:10.3390/geosciences7010018
 14. Roco MC, Bainbridge WS, eds. *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. U.S. National Science Foundation; 2002. http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies/Report/NBIC_report.pdf
 15. Kovalchuk MV, Naraykin OS, Yatsishina YeB. [Convergence of sciences and technologies – a new stage of scientific and technical development]. *Voprosy Filosofii* 2013;(3):3-11. (In Russ.)
 16. Kalinitchenko VP. Renewal of tnergy and life in the biosphere. *Eur J Renewable Energy*. 2017;2(1):3-28. DOI: 10.1318.7/ejore.2017.1.3
 17. Kalinitchenko VP, Sharshak VK, Mironchenko SF, Chernenko VV, Ladan, YeP, Genev YeD, Illarionov VV, Udalov AV, Udalov VV, Kippel YeV. [Changes in the properties of soils in a solonetz soil complex thirty years after reclamation. *Pochvovedeniye*. 2014;(4):490-506 (In Russ.).
 18. Kalinitchenko VP Optimizing the matter flow in biosphere and the climate of the Earth at the stage of technogenesis by methods of biogeosystem technique (Problem-analytical review). *Int J Environ Probl*. 2016;2(4): 99-130. DOI: 10.13187/ijep.2016.4.99
 19. Kalinitchenko VP. Soil dynamics management. *Biogeosystem Technique*. 2016;4(10):284-316. DOI: 10.13187/bgt.2016.10.284
 20. Minkin MB, Babushkin VM, Sadimenko PA. *Solontsy Yugo-Vodstoka Rostovskoy Oblasti [Salt Licks of the South-East of the Rostov Region]*. Rostov-on-Don: Izdatelstvo RGU; 1980. (In Russ.)
 21. Minkin MB, Gorbunov NI, Sadimenko PA. *Aktualnye Voprosy Fizicheskoy i Kolloidnoy Khimii Pochv [Topical Issues of Physical and Colloidal Chemistry of Soils]*. Rostov-on-Don: Izdatelstvo RGU; 1982. (In Russ.)
 22. Minkin MB, Kalinichenko VP, Sadimenko PA. *Regulirovaniye Gidrologicheskogo Rezhima KomplSolontsovykh Pochv [Regulation of the Hydrological Regime of Complex Solonetzic Soils]*. Rostov-on-Don: Izdatelstvo RGU; 1986. (In Russ.)
 23. Minkina TM, Yedovitsky AP, Kalinichenko VP, Fedorov Yu.A. *Karbonatno-Kaltsiyevoye v Sisteme Voda-Pochva [Calcium-Carbonate Balance in the Water-Soil System]*. Rostov-on-Don: Izdatelstvo SFU; 2012. (in Russ.)
 24. Sukovatov VA. [Duration of the Effect of Melioration of Solonetzic Complex of Chestnut Soils]. Candidate of Science Dissertation. Persianovsky: Donskoy State Agrarian University; 2009. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=19212993> (In Russ.)
 25. Vorobiyeva LA, ed. *Teoriya i Praktika Khimicheskogo Analiza Pochv [Theory and Practice of Chemical Analysis of Soils]*. Moscow: GEOS; 2006. (In Russ.)
 26. Minkina TM, Kalinichenko VP, Bakoyev SYu, Mandzhieva SS, Sushkova SN, Bauer TV, Zamulina IV, Voronov MB, Burachevskaya MV. ION-3. Software Registration Certificate RU 2016616075 of 06/06/2016. Application No. 2016613589 of 04/14/2016. (In Russ.)
 27. Semionov AM, Glinushkin AP, Sokolov MS. [Organic farming and soil ecosystem health] In: *Sovremennye Problemy Gerbologii i Ozdorovleniya Pochv [Current Problems Of Herbology and Soil Amelioration]*. Bolshiye Viazemy; 2016. P. 283-91. (In Russ.)
 28. Butterbach-Bahl K, Baggs EM, Dannenmann M, Kiese R, Zechmeister-Boltenstern S. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Phil Transact Roy Soc B: Biol Sci*. 2013;368(1621). DOI: 10.1098/rstb.2013.0122
 29. Peries R, Gill JS. Subsoil manuring in the high rainfall zone: a practice for ameliorating subsoils for improved productivity. In: *Proc 17th ASA Conf, 20–24 Sept 2015, Hobart, Australia*. URL: <http://www.agronomy2015.com.au/papers/agronomy2015final00282.pdf>
 30. Fouraces1949. Ripping field 4 DEEP SIX. 2017. UL: <https://www.youtube.com/watch?v=88IEQuSvAoE>
 31. Kalinichenko VP, Sharshak VK, Bezuglova OS, Ladan EP, Genev ED, Illarionov VV, Zinchenko VE,

- Morkovskoi NA, Chernenko VV, Il'ina LP. Changes in the soils of solonchic associations in 30 years after their reclamation with the use of moldboard plowing, deep tillage with a three tier plow, and deep rotary tillage. *Eurasian Soil Sci.* 2011;44(8):927-38. DOI: 10.1134/S1064229311080060
32. Makange NR, Tiwari VK. Effect of horizontal and vertical axis rotavators on soil physical properties and energy requirement. *Trends Biosci.* 2015;8(12):3225-34.
 33. Prikhod'ko V, Manakhov D Soil processes at different structural levels of organization and diagnosis of their changes under irrigation. *Moscow Univ Soil Sci Bulln.* 2010;(65):52–60. 10.3103/S014768741002002X.
 34. Shein EV, Skvortsova EB, Dembovetskii AV, Abrosimov KN, Il'in LI, Shnyrev NA. Pore-size distribution in loamy soils: A comparison between microtomographic and capillarimetric determination methods. *Eurasian Soil Sci.* 2016;49(3):315-25.
 35. Kalinina O, Giani L, Dolgikh AV, Goryachkin SV, Lyuri DI, Chertov O, Barmin AN. Self-restoration of post-agrogenic soils of calcisol-solonchic complex: soil development, carbon stock dynamics of carbon pools. *Geoderma.* 2015;237:117-28.
 36. Sharshak VK, Moskvichev NN, Ladan YeP, Genev YeD, Slyusarev VS. [Combined Tillage Tool]: Inventor's Certificate SU №442760. B.I. 1974. №34..
 37. Kharitonova GV, Shein EV, Krutikova VO, Ostrouhov AV. Calcium carbonate formations in edaphic components of ecosystems. *Biogeosystem Technique.* 2018;5(2):197-212. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.197
 38. Kalinichenko VP, Sharshak VK, Ladan YeP, Illarionov VV, Genev YeD. Technical means of subsoil loosening with low traction resistance. *Biulleten Donskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta.* 2014.;14(2). DOI: 10.12737/4467.
 39. Rykhlik AE, Bezuglova OS. Method of intra-soil pulse continuous-discrete moistening (model experiment). *Biogeosystem Technique.* 2017;4(1):39-65. doi: doi.org/10.13187/bgt.2017.1.39.
 40. Ochoa C, Guldan S, Fernald A, Tidwell V, Elias E, Gutierrez K, Borman M. Surface water and shallow groundwater interactions in semiarid agroecosystems of the western USA. *Geophys Res Abstr.* 2014;16: EGU2014-3161.
 41. Shein EV, Mady AY, Il'in LI. Validation of HYDRUS-1D for predicting of soil moisture content with hysteresis effect. *Biogeosystem Technique.* 2019;6(1):59-64.
 42. Zaitseva RI, Nikitina NS, Sudnitsyn II. The effect of the concentration and osmotic pressure of soil solution on the availability of water to plants. *Eurasian Soil Sci.* 2003;36(9):1003-9.
 43. Kalinichenko VP. [Method of Intra-Soil Pulse Discrete Irrigation]. Patent RU № 2386243 C1. *Biulleten Izobreteniy.* 2010; (11). (In Russ.)
 44. Kalinichenko V. Biogeosystem Technique as a base of the new world water strategy. *Biogeosystem Technique.* 2014;2(2):100-24.
 45. Lin H, 2012. Chapter 2 – Understanding Soil Architecture and Its Functional Manifestation across Scales. Part I: Overviews and Fundamentals. In: *Hydropedology.* Elsevier; 2012. P. 41-74.
 46. Qualls RG. Long-term (13 years) decomposition rates of forest floor organic matter on paired coniferous and deciduous watersheds with contrasting temperature regimes. *Forests.* 2016;7. DOI: 10.3390/f7100231
 47. Swidsinski A. The colonic bioreactor – a forerunner model for future biotechnology (function, role, products & management). In: *Fifth International Conference of CIS IHSS on Humic Innovative Technologies "Humic Substances and Living Systems".* October 19-23, 2019. DOI: 10.36291/HIT.2019.swidsinski.017.
 48. Helfenstein J, Jegminat J, McLaren TI, Frossard E. Soil solution phosphorus turnover: derivation, interpretation, and insights from a global compilation of isotope exchange kinetic studies. *Biogeosciences.* 2018;15:105-14. DOI: 10.5194/bg-15-105-2018
 49. Kalinichenko VP. Biogeosystem technique as a paradigm of non-waste technology in the biosphere. *Biogeosystem Technique.* 2015;3(1):4-28. DOI: 10.13187/bgt.2015.3.4
 50. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Sokolov MS, Zinchenko VE, Minkina TM, Mandzhieva SS, Sushkova SN, Makarenkov DA, Bakoyev SY, Il'ina LP. Impact of soil organic matter on calcium carbonate equilibrium and forms of Pb in water extracts from Kastanozem complex. *J Soils Sediments.* 2018;19(6): 2717-28. DOI: 10.1007/s11368-018-2123-z
 51. Blagodatskaya E, Kuzyakov Y, Blagodatsky S, Anderson T-H. Microbial growth and carbon use efficiency in the rhizosphere and root-free soil. *PLoS ONE.* 2014;9(4): e93282.
 52. Nigten AO. Re-inventing agriculture! *Biogeosystem Technique.* 2018;5(2):213-28. DOI: 10.13187/bgt.2018.2.213
 53. Sokolov MS. [Healthy soil is an integral, environmentally significant factor in the co-evolution of the biosphere and society (towards the development of V.I. Vernadsky's noospheric ideas)]. In: Glinushkin AP et al., eds. *Adaptivno-Integrirovannaya Zashchita Rasteniy [Adaptive-Integrated Plant Protection].* Moscow: Pechatnyi Gorod; 2019. P.387-428.
 54. Semionov AM, Glinushkin AP. [Scientific and methodological guide for the practical determination

- of health parameters of a soil ecosystem (soil)] In: Glinushkin AP et al., eds. *Adaptivno-Integririvannaya Zashchita Rasteniy* [Adaptive-Integrated Plant Protection]. Moscow: Pechatnyi Gorod; 2019. P. 525-54.
55. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Sokolov MS, Kozyrev SG, Savostyanov AP, Ilyin VB. [Gasification waste disposal complex]. Patent RU №2692718 C1. Application: 2018100555, 01/09/2018. Published: 26.06.2019 Bull. №18. URL: <http://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/692/718/%D0%98%D0%97-02692718-00001/document.pdf>
 56. Kalinichenko VP, Glinushkin AP, Sokolov MS, Budynkov NI, Zinchenko VYe, Chernenko VV, Kozyrev SG. [Method of introducing a biological product into the upper soil layer]. Patent RU №2720634 C1. IPC A01G 25/06 (2006.01) A01C 23/02 (2006.01), SPC A01G 25/06 (2020.02) A01C 23/02 (2020.02). Application No. 2019117310/033090 of 06/04/2019. Registered May 12, 2020. Bull. 14 URL: <https://www1.fips.ru/ofpstorage/Doc/IZPM/RUNWC1/000/000/002/720/634/%D0%98%D0%97-02720634-00001/document.pdf>
 57. Kudeyarov VN. [Current state of the carbon budget and the capacity of Russian soils for carbon sequestration] *Pochvovedeniye*. 2015;48(9):923-33. (In Russ.)
 58. Kalinichenko V, Batukaev A, Glinushkin A, Sokolov M, Sushkova S, Minkina T, Zinchenko V, Chernenko V, Bauer T, Zamulina I, Makarenkov D. Carbon irreversible sequestration dangerous mistake. *Geophys Res Abstr*. 2019; 21:EGU2019-5934
 59. Larin GS, Lyakhov VP. Political and legal modernization and the choice of the vector of development of modern Russia in focus of the ideas and attributes of national security in the 21st century synthesis, taking into account the Decembrists views and ideologies. *Colloquium-Journal Jurisprudence*. 2019;9(33):56-61. DOI: 10.24411/2520-6990-2019-1025
 60. Keum DD. Innovation, short-termism, and the cost of strong corporate governance. *Strateg Manag J*. 2021;423-9. DOI: 10.1002/smj.3216

