

Систематизация свойств и характеристик почвы как элемент теории проектирования рыхлителей

В.И. Ветохин, канд. техн. наук,
НТУУ «КПИ», г. Киев

Одной из основных задач обработки почвы рыхлительными рабочими органами является создание оптимальных условий произрастания сельскохозяйственных культур. Эта задача должна решаться с минимальными затратами энергии и других ресурсов, минимальным разрушением структурности почвы, сохранением экологических показателей и восстановлением плодородия почвы.

Совершенствование процесса и соответственно орудия возможно на базе углубленного раскрытия закономерностей процесса взаимодействия орудия и обрабатываемой среды. Однако при большом числе исследований в области создания почвообрабатывающих орудий все еще не выработано однозначной связи между свойствами почвы и параметрами и формой орудия. В понимании и классификации самих свойств почвы наблюдается некоторая неупорядоченность. Разрешение имеющихся противоречий возможно, если подойти к анализу взаимоотношения орудия и почвы как к анализу системы.

В процессе взаимодействия орудия и почвы возможно выделить такие составляющие: орудие, энергия, вещество, почва. По словам В.П.Горячкина орудие это передаточное звено энергии от энергосредства (трактора) к приемнику энергии (почве). Обобщая это выражение на материальные процессы обработки почвы получим: **технологический процесс обработки почвы заключается во внесении/извлечении в/из почву(ы) энергии и вещества (природных или искусственных) (рис. 1).**

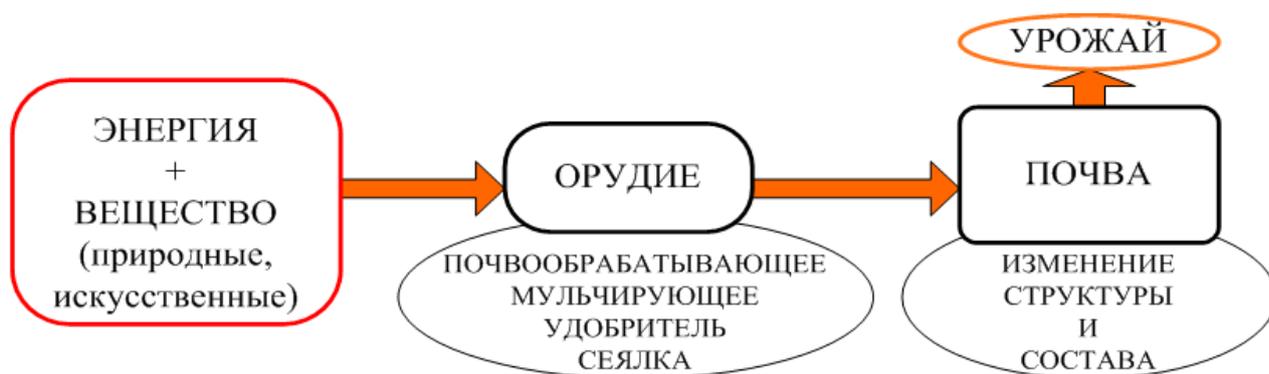


Рис. 1. Обобщенная схема технологического процесса обработки почвы

Зачастую оба процесса, внесении/извлечении в/из почву(ы) энергии и вещества, осуществляются одновременно, что сопровождается изменением структуры и состава почвы. Например, такие процессы:

- рыхление почвы – это внесение энергии (изменение структуры) и вещества (воздуха);
- мульчирующая обработка – это внесение энергии (рыхление почвы) и внесение вещества (растительных остатков - природного материала);
- глубокое рыхление с внесением минеральных удобрений - это внесение энергии и вещества (искусственного материала);
- вспашка с запахиванием навоза, компоста и растительных остатков - это внесение энергии и вещества (переработанного природного материала);
- и т.д.

Задачи, которые решаются обработкой почвы, а именно: изменение плотности, структуры и сложения, влажности, регулирование теплового, водно-воздушного и питательного режимов, **это задачи по изменению состояния почвы**, а точнее **задачи по управлению состоянием почвы**. Само изменение состояния почвы происходит в силу наличия у почвы определенных свойств – реакции на внутреннее или внешнее воздействие. Возникает необходимость **анализа свойств почвы**, как закономерностей реакции почвы на внешнее и/или внутреннее воздействие, **и состояний почвы, а также их соотношения** с точки зрения управления.

Исходя из определения понятия «свойство» как закономерность реакции на внешнее и/или внутреннее воздействие, а понятия «состояние» как количественная характеристика физических параметров почвы, рассмотрим известные классификации и описания свойств почвы.

В.П. Горячкин относил к «физическим свойствам почвы» удельный вес, влагоемкость, связность, сопротивление деформациям, прилипание, коэффициент трения [1]. Под удельным весом понимается отношение массы к объему образца почвы. Под связностью подразумевается сопротивление почвы или раздавливанию, или разрыву, или разделению почвы клином. Под относительной связностью – сопротивление на разрыв. Под абсолютной связностью – сопротивление почвы на раздавливание.

Г.Н. Синеоков и И.М. Панов различают физические и технологические свойства почвы [6, с.6 -37]. К физическим свойствам отнесены: механический состав, скважность, пороги влажности, значения коэффициентов внешнего и внутреннего трения и сопротивление сдвигу. К технологическим свойствам причислены: абразивность, каменистость, удельное сопротивление почвы при обработке и липкость.

Коллектив авторов - сотрудников МГУ [5], подразделяет свойства почвы следующим образом: плодородие, тепловые свойства, физико-механические свойства. К тепловым свойствам отнесена способность почвы поглощать и перемещать в своей толще тепловую энергию. К физико-механическим свойствам почвы отнесены деформационные, прочностные и реологические свойства. Особо выделены физико-механические свойства почвы как высокодисперсной среды - набухание, усадка и липкость, проявляющиеся без внешнего механического воздействия.

Данная классификация по смыслу наиболее отражает современное понимание вопроса, однако требует некоторого уточнения. А именно, классификация свойств почвы должна давать ключ к пониманию взаимосоотношений: почвообрабатывающего орудия как физического объекта и почвы как физического объекта, а также формы почвообрабатывающего орудия как геометрического объекта и почвы как физического объекта.

В общем известные описания и классификации свойств почвы имеет некоторую неупорядоченность в смысле отнесения к категории свойств как качественных так и количественных характеристик. Основным недостатком этих описаний это то, что почва не рассматривается с точки зрения возможности управления ее состоянием, что является целью почвообработки и должно лежать в основе проектирования орудий и технологий.

В нашем понимании, **свойство, это способность определенным образом реагировать на внешнее или внутреннее воздействие.** Свойство это качественная характеристика. По отношению объекта к «свойству» возможное состояние - обладает данная система данным свойством или нет, т.е. «да/нет». Свойство определяет возможность изменения состояния системы как физического объекта.

Состояния системы описывается совокупностью количественных физических параметров – характеристик. Параметры состояния, находятся в некотором диапазоне значений (чисел). В зависимости от средств и методов измерений количественные характеристики могут иметь различную физическую размерность и выражаются различными численными значениями. Например: твердость выражается единицами и размерностью давления или массы по отношению к площади [МПа м^{-2}] либо безразмерным количеством ударов плотномера [шт.] и т.п.

Внесении/извлечении в/из почву(ы) энергии и вещества (характеристики с размерностью [$\text{т га}^{-1} \text{год}^{-1}$] и [$\text{КВт м}^{-2} \text{с}^{-1}$]) приводит к изменению состояния почвы (совокупности характеристик с размерностью [т га^{-1}] и [$\text{КВт м}^{-2} \text{с}^{-1}$] и др.).

Такое разделение понятий «свойство» и «состояние» почвы дает возможность не только упорядочить понятийный аппарат, но и *сделать знания о свойствах почвы инструментом анализа и проектирования орудий и технологий.*

Рассмотрим совокупность наиболее существенных свойств почвы и соответствующих им количественных характеристик.

Конечная задача земледелия – получение урожая сельхозкультур. Это возможно благодаря особому **свойству почвы – плодородию.** Плодородие почвы можно определить как способность производить урожай (плоды) (В отличие от известного определения плодородия как способности обеспечивать растение всем необходимым для роста. Эта способность ниже будет отнесена к обменным свойствам). Свойство плодородия количественно характеризуется урожайностью, или в физической терминологии производительностью в единицах массы [т, кг] или энергии [КВт] с единицы

площади поля [га, м²] в единицу времени, то есть с размерностью [т га⁻¹ год⁻¹] или [КВт м⁻² с⁻¹].

Процесс вегетации растения и производства плодов - результат обменных процессов на биологическом, химическом, физическом и других уровнях. Почва обладает **обменным свойством** – способностью поддерживать на определенном уровне накопление, удержание и обмен вещества, энергии и информации. Это свойство количественно характеризуется мощностью потоков энергии или вещества с размерностью [КВт м⁻² с⁻¹], и описывается соответствующими законами сохранения.

Обменные процессы в реальном пространстве трех измерений происходят через поверхность тел. По выражению В.П. Горячкина «К телу трех измерений, то есть в нашем пространстве, энергия получает доступ через поверхность» [2]. Обменная поверхность почвы это совокупность поверхностей почвенных частиц, например с размерностью площади [м²]. Состав, размер и взаимное расположение (в том числе плотность) почвенных частиц и межпочвенных включений это характеристика структуры почвы. Численное значение обменной поверхности почвы напрямую зависит от ее структуры.

Способность образовывать или восстанавливать, после нарушения, в результате внешнего и внутреннего обмена определенную устойчивую структуру это особое свойство почв, которое можно назвать **структурообразующая способность**.

Необходимо отметить, что в почве, как в особом образовании с биологической составляющей особая структурообразующая роль принадлежит гумусу. Связь определенной структуры почвы, в частности наличия некоторого объема и размера «агрономически ценных» комочков почвы (размером 0,5÷3 мм), и уровня плодородия почвы достаточно доказана. Кроме того, по мнению А.С. Кушнарера, динамика структуры почвы связана с процессами информационного обмена.

Способность почвы уплотняться и разуплотняться – это свойство периодически изменять сложение под действием внутренних и/или внешних факторов. Возможно предположить, что именно периодическое уплотнение и разуплотнение почвы связано с ее плодородием.

Перечисленные взаимосвязанные свойства почвы, плодородие, обменная способность, структурообразующая способность, способность уплотняться и разуплотняться, возможны в силу наличия у почвы элементарных физико-химических, физико-механических, биологических и других свойств. Например, теплопроводности, коагуляционной способности, набухания, липкости, прочности и так далее. Другими словами, свойства структурироваться, уплотняться и разуплотняться возникают в результате проявления элементарных физико-механических свойств: прочности, твердости, связности, реологических и других. Преодоление прочности и связности почв при механической обработке позволяет изменить сложение и структуру почвы – то есть ее состояние.

На изменение *состояния почвы* затрачивается энергия ($[КВт м^{-2} с^{-1}]$) и вещество ($[кг м^{-2} с^{-1}]$). Причем эти затраты могут быть как природными так и техногенными. Путь экономии затрат топлива – изменение соотношения природных и техногенных затрат в технологии.

Свойства и характеристики почвы находятся во взаимной зависимости и образуют систему, и располагаются, по нашему мнению, в порядке следующих уровней (иерархии) (рис. 2):

1. Свойство почвы плодородие - способность почвы производить урожай (плоды);
2. Обменные свойства почвы – способностью обеспечивать обмен, накопление и удержание вещества, энергии и информации;
3. Свойство почвы структурироваться – способность почвы образовывать структуру (восстанавливать структуру после нарушения или образовывать другую) в результате внутренних и внешних процессов;
4. Способность уплотняться и разуплотняться – свойство периодически изменять сложение под действием внутренних и/или внешних факторов.
5. Элементарные физико-химические, физико-механические, биологические и другие свойства и характеристики, а именно:
 - свойство прочности – способности сопротивляться деформации и разрушению (описывается терминами: предел прочности различным деформациям, предел пропорциональности и др.);
 - свойство твердость – способность сопротивляться внедрению деформатора;
 - реологические свойства – особенность деформации без нарушения сплошности материала или с учетом фактора времени;
 - свойство накопительная способность – описывается в терминах влагоемкость, теплоемкость, воздухоемкость и т.д.;
 - характеристики состава почвы - гранулометрического, механический, химический, влажность, и т.п.;
 - характеристики сложения пласта – описывается в терминах пористость, порозность, агрегатный состав, степень крошения и т.п.;
 - и другие.

Важно подчеркнуть иерархическое соотношение свойств почвы в предложенной классификации (что соответствует общим принципам природы). А именно: физическая природа свойства каждого уровня раскрывается, а количественная характеристика определяется через свойство более низкого уровня. Например, характеристика свойства плодородие – урожайность, количественно зависит от способности почвы к энергообмену и массообмену, в том числе химическому и биологическому, то есть определяется обменными свойствами. Свойство почвы - способность к энергообмену и массообмену, количественно зависит от свойств более низкого уровня и количественных значений параметров состояния почвы. А

именно от: способности образовывать структуру, самой структуры, состава, плотности, порозности и так далее. Известное следствие этого влияние на урожайность количественных значений параметров состояния почвы, например значения показателя плотности.

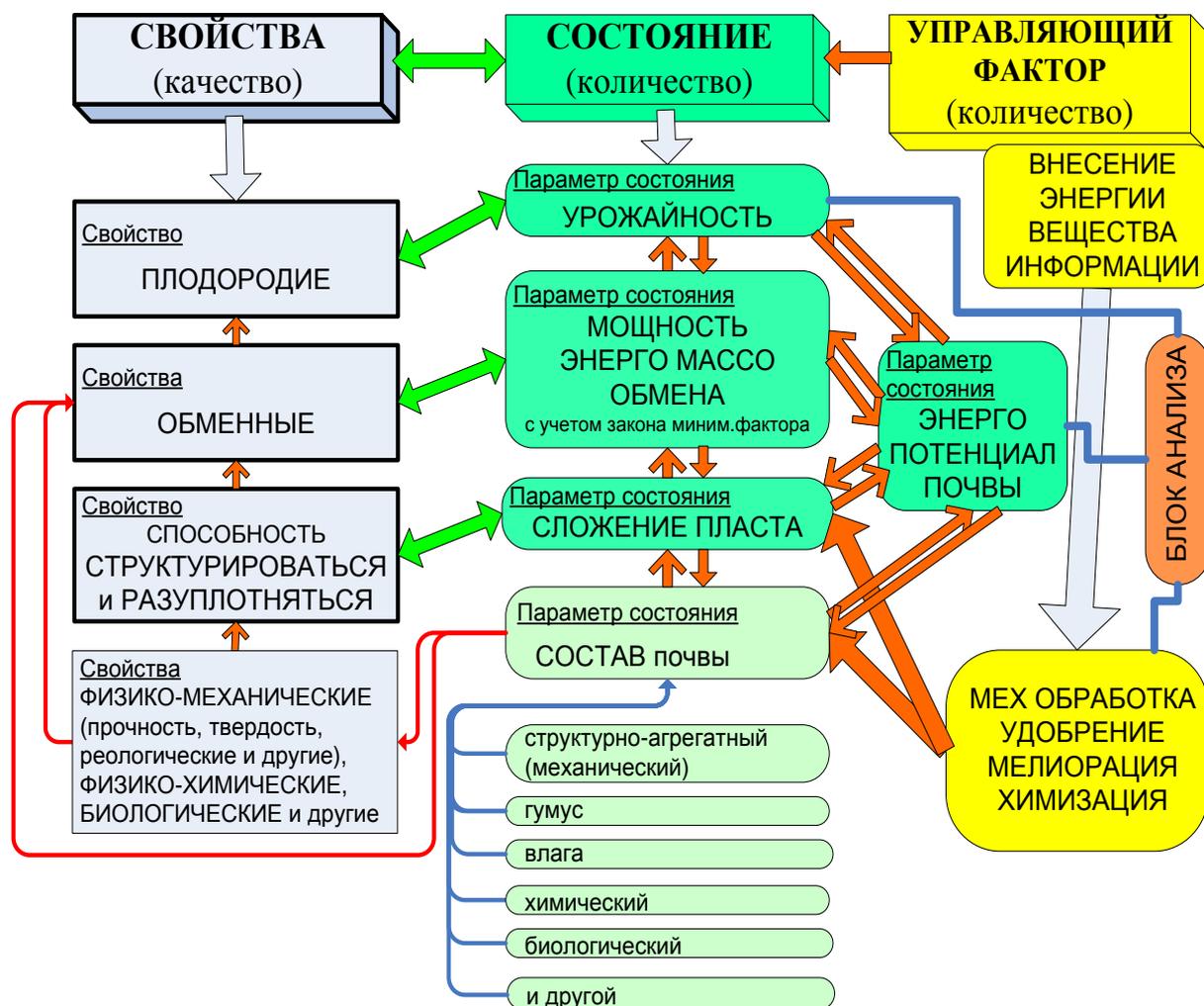


Рис. 2. Система свойств, параметров состояния и факторов управления состоянием почвы

В качестве принципиально возможных способов управления состоянием («УПРАВЛЯЮЩИЙ ФАКТОР») почвы рассматриваются внесение/извлечение энергии и вещества. Эти способы реализуются соответствующими техническими средствами. Удобрение, мелиорация, химизация реализуют внесение/извлечение энергии и вещества, механическая обработка - внесение/извлечение энергии и вещества (воздуха). Перечисленные факторы действуют наряду с факторами природных процессов обмена энергией и веществом, и изменяют их течение.

Предложенная «Система свойств и состояний почвы» отображает ту закономерность, что внесение веществ, в том числе способствующих повышению содержания гумуса, относится к фактору управления состоянием почвы (сложения, состава и т.п.) наряду с механической обработкой.

В рамках нашей работы в качестве средства управления состоянием почвы исследуются механические рыхлители почвы, которые вносимую энергию преобразуют в изменение структуры почвы. Эта возможность основана на свойстве почвы «структурироваться и разуплотняться» и на базовых физико-механических свойствах почвы. Изменение структуры почвы, как сказано выше, изменяет течение природных обменных процессов, например, обмен влагой, питательными веществами и воздухом, что сопровождается соответственным изменением урожайности.

Компонент системы «ЭНЕРГО ПОТЕНЦИАЛ ПОЧВЫ» отражает, в том числе, экологический фактор. А именно, в зависимости от технологий и орудий обработки почвы урожай частично может формироваться за счет энергопотенциала почвы с его уменьшением и соответственно уменьшением возможности будущего плодородия, или наоборот, система возделывания увеличивает энергопотенциал почвы с повышением содержания гумуса в почве и соответственно с уменьшением содержания CO_2 в атмосфере. В частности повышенному содержанию CO_2 в атмосфере приписывают парниковый эффект и потепление климата, а выбросы CO_2 котируются. Энергопотенциал почвы в терминах Ю.А.Тарарико понимается как «энергия почвы» [7].

Из анализа «системы» следует два направления экономии ресурсов: снижении нерациональных затрат (потерь) и повышение доли природных процессов. Применительно к механической обработке это равносильно повышению КПД на базе совершенствования физико-механического процесса и большего соответствия параметров и формы рабочего органа свойствам почвы. Отсюда вытекает **задача построение рабочего органа как отображения процесса изменения состояния почвы** на основе физико-механических и других свойств почвы.

Применим предложенную «Систему свойств и параметров состояния почвы» для анализа современных исследований и технологий.

В качестве одного из примеров используем результаты исследований А.С. Кушнарева [3]. А.С. Кушнарев для большинства почв Украины показал, что существует корреляция между содержанием гумуса, равновесной плотностью и плотностью оптимальной для вегетации и максимального урожая культур. А именно, при содержании гумуса больше некоторого количества равновесная плотность почвы приближается к оптимальной. Гумус в предложенной нами «системе свойств и состояний» относится к составу почвы. Влияя на состав почвы (содержание гумуса) изменяем структуру почвы, структура определяет мощность массо- энергообмена, мощность обмена определяет уровень урожая. Таким образом, влияние на состояние почвы на нижнем уровне (состав и структура) определяет состояние почвы на верхнем уровне (урожай). Причем не имеет значения в рамках какой технологии обработки почвы (нулевой или традиционной) происходит изменение содержания гумуса. Чем ближе содержание гумуса к оптимальному, тем меньше техногенной энергии необходимо затрачивать

для структурирования почвы (большую роль играют природные процессы и источники энергии).

Другим примером применения предложенной системы «свойств и состояний почвы» к анализу реальных процессов является объяснение сути некоторых отличий применяемой в последнее время технологии «ноу-тилл». В этой технологии, обработка почвы сводится к образованию семенного ложа, покрытию семян почвой, а также мульчирующей обработке после уборки урожая. Следует также отметить, что минимальной обработке предшествует переходный подготовительный этап, включающий глубокое разуплотнение почвы. Отличие от традиционных технологии состоит в том, что функции управления состоянием и структурой почвы передаются от механической обработки почвы (внесение энергии и воздуха) к «удобрению, химизации, мелиорации, гербицидам» (внесение вещества) (см. правую колонку на рис. 2). Уменьшение внесения воздуха снижает разложение гумуса.

Необходимо подчеркнуть, что мульчирующая обработка (удобрение) относится в «системе» к внесению энергии и вещества. Растительные остатки частично берут на себя функцию структурирования почвы. Большой удельный вес приобретают природные обменные процессы, имеющие меньшую интенсивность, чем процессы с техногенным внесением энергии. При оценке изменения удельных энергетических и материальных затрат, необходимо учитывать перераспределение их долей по различным секторам производства, в том числе вынос в промышленность (химическая индустрия, производство техники).

Имеющаяся тенденция к росту «нулевой обработки» подчеркивает актуальность поиска путей устранения негативных сторон традиционных технологий, на базе механической обработки, и замещения большей доли техногенных затрат природными процессами.

Другим примером анализа служит способ обработки почвы при возделывании пропашных культур, разработанный на основе теоретических и экспериментальных исследований А.М. Малиенко [4]. По этому способу основная обработка почвы производится весной после посева и прорастания культуры в определенную фазу ее вегетации. Изменение структуры почвы изменяет обменные характеристики почвы, и в силу различной физиологии культурных и сорных растений, приводит к интенсивному угнетению сорных растений. Засоренность посевов снижается в 2÷3 раза, а пик продуктивной активности почвы максимально приближается к пику вегетации культуры, что сопровождается повышением урожая выращиваемой культуры без применения гербицидов.

В качестве итога можно сказать следующее.

В системе существует некоторое количество блоков (структурных элементов) и связей между ними. В результате анализа выделены наиболее существенные, для рассматриваемой задачи, структурные элементы и установлены связи между ними. Действуя на элемент системы, который благодаря наличию определенного свойства влияет на другие элементы

системы, получаем необходимый результат. То есть, действуя рыхлителем на почву, изменяем ее структуру. Почва, изменяет свою структуру благодаря свойству структурироваться и разуплотняться – крошится и разрыхляется. Изменение структуры влияет на обменные характеристики и процессы в почве, а они в свою очередь, влияют на процесс формирования урожая.

Важно, что, управляющие факторы и параметры состояния почвы, в предложенной системе характеризуются величинами одной либо производных размерностей, что в принципе позволяет эквивалентный пересчет и количественное сопоставление факторов.

На основании выше изложенного возможно сделать следующие выводы.

Свойства почвы это качественные характеристики реакции почвы на внешнее и/или внутреннее воздействие. Свойства почвы имеют взаимный иерархический порядок, не имеют физической размерности, в том числе размерности «время».

Параметры состояния почвы это физические характеристики, имеющие соответствующую размерность, или безразмерные соотношения физических величин.

Обработка почвы почвообрабатывающим орудием, как правило, сводится к внесению в природный баланс дополнительных энергии и вещества, **не влияет на свойства почвы, а изменяет количественное значение параметров состояния почвы.**

Свойства почвы образуют иерархическую систему со следующим порядком соподчинения и расположения свойств: «физико-механические (и другие базовые) свойства – способность структурироваться и разуплотняться – обменные свойства – плодородие».

Перспективная задача - **придать параметрами состояния почвы энергетический эквивалент**, а каждому типу управляющего воздействия на параметры состояния почвы коэффициент весомости по отдаче с учетом последствия и коэффициент стоимости применения, то есть выяснить функциональную зависимость действие-результат.

Литература

1. *Горячкин, В.П.* О физико-механических и агротехнических свойствах почвы / В.П. Горячкин // Собр. соч.: В 7 т. - М.: Сельхозгиз, 1940, Т.4. - С. 237-246.
2. *Горячкин, В.П.* Теория плуга. Агрономические основания / В.П. Горячкин // Собр. соч.: В 7 т. - М.: Сельхозгиз, 1940, Т.4. - С. 136.
3. *Кушнарев, А.С.* Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.В.Погорелый // Техніка АПК, №1, 2008. С. 17-21.
4. *Пат.* 10986 Україна, МКИ А 01 В 79/02 Спосіб обробки ґрунту при вирощуванні просапних культур / А.М. Малиєнко, В.І. Вєтохін, І.М. Голодний. - № 93010061; Заявл. 11.12.92; Опубл. 25.12.96. Бюл. № 4.

5. *Почвоведение*. Учеб. для ун-тов. В 2 ч. / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д.Васильевская, Л. А. Гришина и др. - М.: Высш. шк., 1988. - 400 с.

6. *Синеоков, Г.Н.* Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н.Синеоков, И.М.Панов. – М.: «Машиностроение», – 1977. – 328 с.

7. *Тарарико, Ю.А.* Формирование устойчивых агроэкосистем / Ю.О. Тарарико. – К.: ДИА, 2007. – 560 с.