

УДК 631.343:001.5

Кушнарев А., чл.-кор. НААН Украины, д-р техн. наук, проф., Кравчук В., чл.-кор. НААН Украины, д-р техн. наук, проф. (УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого)

Новые научные подходы к выбору способа обработки почвы

Сформулировано обоснование выбора способа обработки почвы на основе синергетики – науки о самоорганизации в сложных системах.

При оценке энергозатрат на производство сельскохозяйственной продукции не принято учитывать затраченные природные ресурсы, ибо они отличаются не только в рамках природно-климатических зон, микрорезон, но и колеблются в широком диапазоне в различные годы. Учет этих факторов довольно сложен и требует создания широкой сети гидрометеорологической службы и почвенного аудита, другими словами, мониторинга агресурсного потенциала в сложной динамической системе (рис. 1) [1].

Для косвенной оценки эффективности использования природных ресурсов в той или иной технологии возделывания сельскохозяйственной культуры вводится понятие «биоэнергетический коэффициент» $\tilde{\eta}$ – отношение энергии, заключенной в полученной продукции, к энергии ресурсов антропогенного и техногенного происхождения, затраченной на получение продукции Q :

$$\tilde{\eta} = \frac{\mathcal{E}_n}{\mathcal{E}},$$

где $\mathcal{E}_n = QK_n$; K_n – энергосодержание единицы полученной сельскохозяйственной продукции, МДж/кг; $\mathcal{E} = \sum Q_i K_i$ – энергия, затраченная на производство продукции; Q_i – объем ресурсов i -ого происхождения, затраченных на производство, МДж; K_i – энергосодержание i -ого ресурса, МДж/кг.

Чем выше коэффициент $\tilde{\eta}$, тем более эффективно используется природная энергия. Однако можно ли всем элементам природных ресурсов приписывать принцип возобновляемости?

Предметом обсуждения в настоящей статье предопределена почва, техногенные и антропогенные воздействия на почву в рамках современных систем земледелия. А поскольку почва, по определению Вернадского, является управляющей подсистемой в биосфере, то любые воздействия (механические, физические, химические, биологические) должны стать не только объектом внимания сельхозпроизводителей, но и предметом обоснования прогноза будущего выживания человечества на планете Земля.

Вопросу выбора технологии обработки почвы уделяется сегодня огромное внимание. Идут широкие дискуссии о преимуществах и недостатках отвальной и безотвальной, глубокой, мелкой поверхностной обработки почвы и новой энергосберегающей техно-

логии «прямого посева» (No-till).

Цель, которую преследует обработка почвы, – изменение плотности почвы, как правило, ее уплотнение [2, 3]. Не вступая в дискуссию о предмете исследования, остановимся на некоторых категориях и закономерностях, определяющих науку «обработка почвы». Выделим в этих категориях следующие понятия, имеющие прямое отношение к науке «обработка почвы». Это оптимальная плотность почвы, равновесная плотность, урожай (доля, часть биологической продукции, произведенной на поле), гумус, пахотный горизонт.

Плотность почвы является интегральным показателем ее состояния, определяющим как условия развития почвенной биоты, так и развития корневой системы выращиваемых на ней растений [4, 5, 8]. Введение фундаментальности в понятия «равновесная плотность» и «оптимальная плотность» позволяет подойти вплотную к определению выбора способа и глубины обработки почвы.

В 70-е годы XX века начала активно развиваться теория сложных самоорганизующихся систем. Результаты исследований в области нелинейного моделирования сложных открытых систем привели к рождению нового мощного научного направления в современном естествознании – синергетике. Как и кибернетика, синергетика – это новый междисциплинарный подход, который рассматривает объект как комплексную систему. В отличие от кибернетики, где акцент делается на процессах управления и обмена информацией, синергетика ориентирована на исследование принципов развития самоорганизации и самоусложнения [6].

Если естественные системы обладают свойствами открытости, нелинейности и диссипативности, то они склонны к самоорганизации [8]. Почва обладает всеми этими свойствами.

Равновесная плотность, с точки зрения синергетики, – это уровень естественной самоорганизации данного типа почв. В конечном итоге: *равновесная плотность почвы – это уровень самоорганизации каждого типа почв как открытой информационной системы; в основном он зависит от содержания биологической фазы, в т.ч. от содержания гумуса в почве.*

Оптимальная плотность – плотность почвы, обеспечивающая наиболее продуктивное развитие выращиваемой культуры, это «генетическая» память



Рис. 1. Структура затрат энергии на производство сельскохозяйственной продукции

растения на почвенные условия существования.

Равновесная (реальная) плотность почвы и оптимальная плотность не всегда совпадают по величине.

И, интуитивно, сегодня задача обработки почвы заключается в том, чтобы хотя бы на время вегетации растений изменить реальную плотность почвы, приблизив ее к «оптимальной». Ограниченные исследования оптимальной плотности почвы для различных сельскохозяйственных культур экспериментальным путем не дают сегодня возможности сделать однозначного вывода о зависимости значения «оптимальная плотность» от типа почв или от физиологических свойств выращиваемых растений, хотя попытка упорядочить зависимости оптимальной плотности, типа, разновидности почв и выращиваемой культуры прослеживается [3, 4, 12, 16]. Диапазон оптимальной плотности находится в пределах 1,1-1,25 г/см³. Следует отметить, что достаточного методологического и методического обеспечения экспериментального определения этих понятий мы сегодня не имеем. Однако можно сделать следующие умозаключения:

1) естественное (равновесное) распределение плотности почвы – это эталонное распределение плотности данного типа почв на конкретном поле, исторически сложившееся и определяющее равновесное состояние биогеоценоза;

2) в природе для растений-«аборигенов» равновесная и оптимальная плотность почвы одинаковы, что обеспечивает равновесие агробиоценоза в экологической нише;

3) появление равновесной плотности почвы выше оптимальной (уплотненное состояние) связано с историей и природными условиями происхождения

почвы, уровнем техногенного на нее воздействия. Уплотненное состояние почвы сопровождается рядом серьезных негативных явлений [9, 10].

Результаты многочисленных исследований влияния плотности почвы на урожай сельскохозяйственных культур (в интернет-ресурсах по ключевым словам «плотность почвы – урожай» найдено 28 тыс. источников и «bulk density and yield» – 425 тыс. источников) дают нам основания утверждать, что существует устойчивая закономерность между плотностью почвы и урожаем сельскохозяйственных культур. Если признать факт влияния плотности на урожай и необходимость приведения плотности почвы к уровню оптимальной путем механического воздействия, то, естественно, возникают такие вопросы:

- какова реальная (равновесная) плотность почвы поля, которое мы собираемся использовать под посев той или иной культуры?

- как распределяется плотность почвы по глубине?

- какую плотность можно обеспечить механическим воздействием на почву?

- как изменяется во времени плотность почвы после ее обработки (то есть, длительность эффекта обработки почвы)?

К сожалению, при обосновании систем обработки почвы почему-то эти коренные вопросы не поднимаются или не подразумеваются, даже между строк.

Между тем обследование распределения плотности почвы дает нам богатую пищу для размышления по выбору способа и глубины обработки. Практически, распределение плотности по глубине обрабатываемого слоя может находиться только в одном из четырех вариантов состояния (рис. 2).

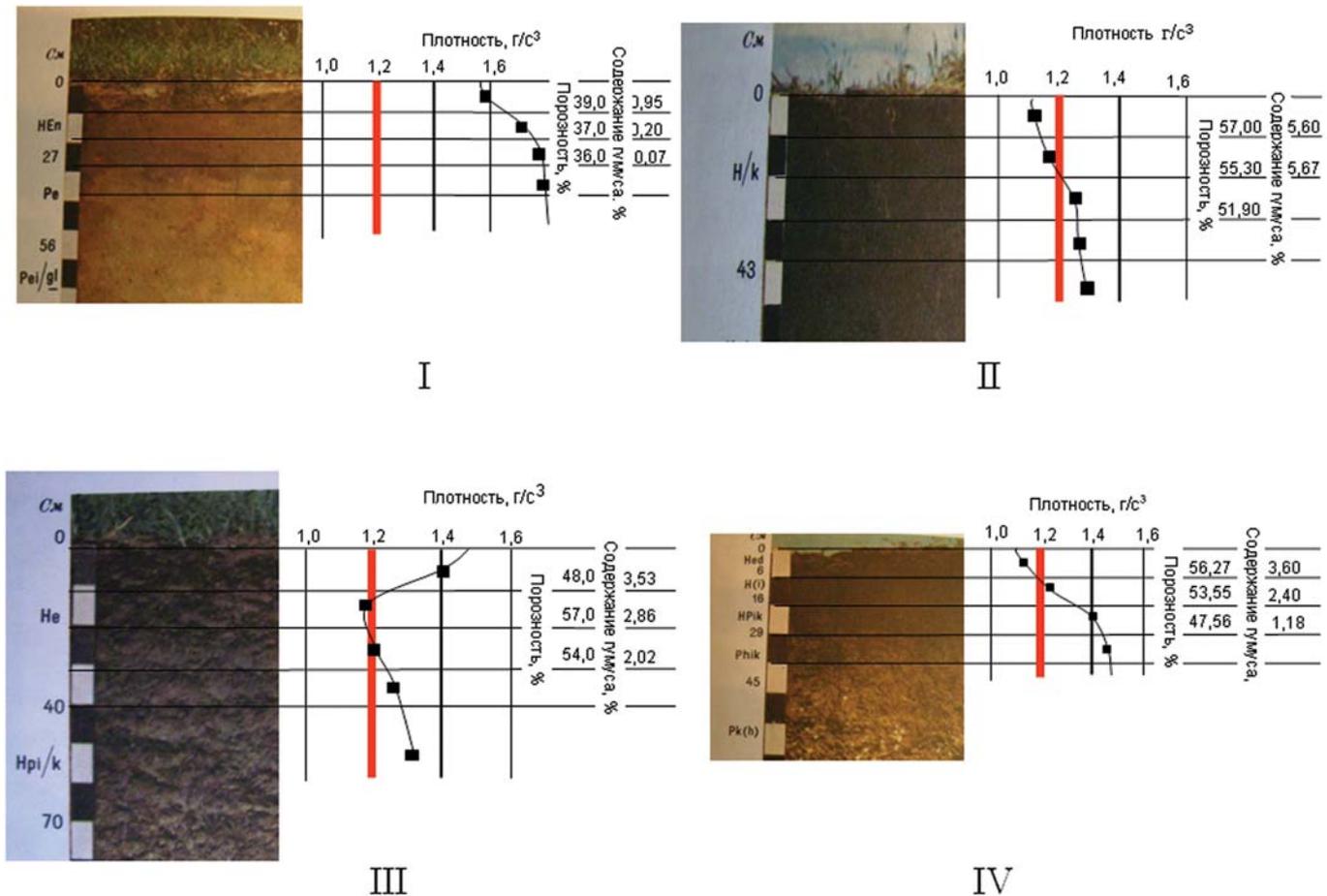


Рис. 2. Тенденции формирования некоторых физических свойств почвы: I – дерново-подзолистые; II – черноземно-суглинистые типичные; III – чернозем на лесе; IV – темно-каштановые

Тип 1. Плотность почвы в обрабатываемом (или, как мы часто называем, в пахотном горизонте) выше оптимальной (рис. 2, позиция I). Логично, что такие почвы нужно по всему пахотному слою приводить в состояние оптимальной плотности. Для этого применяют орудия сплошного рыхления – отвальные и безотвальные (орудия сплошного воздействия на почвенный пласт). Более того, необходимо проводить и рыхление подпахотных горизонтов, чтобы уменьшить плотность подпахотного слоя для вовлечения их в производство урожая полевых культур. И мы имеем массу фактов, когда глубокое рыхление приводило к существенному увеличению урожая сельскохозяйственных культур.

Такие почвы на Украине представлены в Полесье дерново-подзолистыми типами. И применение “нулевой обработки” на таких почвах не выдерживает никакой критики.

Тип 2. Плотность почвы в обрабатываемом слое и ниже находится в состоянии оптимальной плотности (рис. 2, II). Для почв с такой равновесной плотностью, естественно, возникает вопрос: зачем их рыхлить (разуплотнять)? Механического воздействия такие почвы не требуют. На полях с таким распределением плотности должна использоваться технология No-till. А в таком состоянии находится большинство черноземных почв Украины.

Тип 3. Верхний слой почвы переуплотнен, однако нижние слои пахотного горизонта находятся в состоя-

нии оптимальной плотности (рис. 2, III). Возможно, такое распределение плотности является результатом не столько естественного их развития, сколько результатом техногенного воздействия на верхний слой: уплотнение ходовыми системами техники, распыление верхнего слоя почвообрабатывающими орудиями и полив большими нормами.

На полях с таким распределением плотности необходимо доводить только верхний переуплотненный слой до оптимальной плотности. Глубина обработки зависит от величины переуплотненного слоя. Эти почвы и являются полигоном для поверхностной и минимальной обработки почвы.

Тип 4. Верхняя часть пахотного горизонта находится в состоянии оптимальной плотности, нижняя часть уплотнена (рис. 2, позиция IV). Тут необходимо доводить уплотненный пахотный слой почвы до состояния оптимальной плотности, причем, основное механическое воздействие должен получать только нижний уплотненный слой, и ни к чему сплошное механическое воздействие на весь пахотный слой. Такое виборочное воздействие осуществляют чизельные рыхлители. К данному распределению плотности по глубине предрасположены темно-каштановые и светло-каштановые почвы.

Почвы Украины, экспертно, в зависимости от распределения плотности по глубине, можно представить следующим образом: почвы I типа составляют 19%, II типа – 49,9%, III типа – 20,7%, IV типа – 10,4%.

Реальная экономия топлива может быть достигнута при освоении технологии No-till на площадях II типа распределения плотности. Экономия топлива на таких почвах составляет 18-20 кг/га. Освоение технологии минимальной (поверхностной) обработки почвы на площадях III типа распределения плотности позволит экономить топливо до 8-10 кг/га.

Таким образом, адаптация и освоение технологий No-till [17] и минимальной обработки почв на Украине позволит ежегодно экономить 293-332 тысячи тонн топлива, что при стоимости дизельного топлива 5 грн составит 1465-1660 млн грн.

Следовательно, нужно говорить о необходимости производства для Украины всего арсенала почвообрабатывающих орудий – плугов, плоскорезов, культиваторов, чизельных культиваторов, комбинированных орудий и орудий для прямого посева. Использование каждой группы орудий зависит от характера распределения равновесной плотности по глубине (эту мысль мы высказывали ещё в 1995 году [9, 10], но она почему-то оказалась незамеченной).

Еще раз отметим, что, к сожалению, при проведении исследований по системам обработки почв игнорируется оценка реального состояния плотности почвы по глубине, а усредненные показатели плотности почвы по пахотному горизонту не дают возможности оценить реальную работу почвообрабатывающей техники по формированию оптимальной плотности в корнеобитаемом слое почвы. Очень часто мы проводим излишнее рыхление почвы, на что тратится большое количество энергии. К тому же это приводит к потере части урожая.

Оценка состояния равновесной плотности по глубине дает достаточную информацию о резервах экономии топлива при обработке почвы и путях разработки энергосберегающих технологий ее обработки.

Определение характера распределения плотности почвы по глубине (профилю) требует трудоемких исследований. В 80-е годы прошлого столетия были сделаны существенные подвижки в методическом направлении – созданы приборы определения плотности почвы радиоизотопным методом (РПП-2). Однако, к сожалению, сегодня в Украине таких приборов остались единицы, и находятся они в малоприспособленном для работы состоянии.

Можно ли найти более эффективный способ измерения плотности почвы? Ответ мы, кажется, нашли, когда по-другому посмотрели на природу формирования реальной плотности почвы, на содержание понятия “равновесная плотность почвы”. Органическое вещество (гумус) по-иному формирует структуру

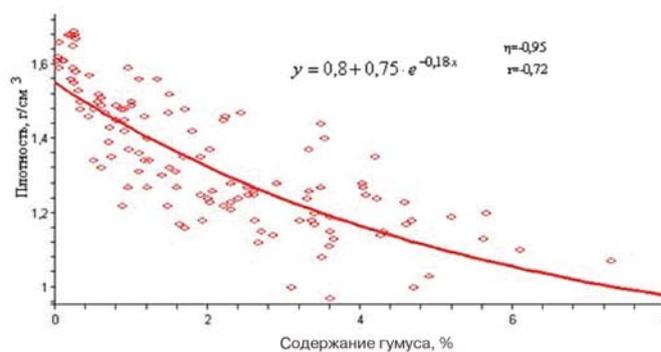


Рис. 3. Зависимость «плотность почвы (г/см³) – содержание гумуса (%)»

почвы, чем частицы песка, глины и ила. Косвенным доказательством влияния органического вещества на свойства почвы является то, что содержание гумуса влияет практически на все ее свойства (табл.).

Определенное содержание гумуса как строительного материала для образования почвы из почвообразующих пород благоприятствует сложению почвы в состоянии оптимальной плотности. Для проверки этой гипотезы мы обработали фактический материал из атласа почв Украины [13]. Мы и далее пополняем банк данных первичных наблюдений «плотность – содержание гумуса». В результате получена регрессионная зависимость между плотностью почвы и содержанием гумуса (рис. 3). Линейной корреляции, естественно, нельзя ожидать, так как даже «чистый» гумус имеет вполне конкретную плотность. А вот коэффициент детерминации получен более чем высокий – ($\eta = -0,95$).

Простое увеличение количества одинаковых почвообразующих минеральных частиц сопровождается линейным накоплением информации, повторением существующих соединений в системе детерминированных связей. Присутствие органического вещества в почве способствует созданию агрегатов, новых по качеству структурных формирований. А это уже переход на новый качественный уровень, ведущий к прогрессивному увеличению информации, появлению новых связей и, соответственно, новых свойств, расширяя функциональные возможности почвы.

Однако потеря гумуса в почве, прогрессирующая сегодня в почвах Украины, ведет к дезагрегатированию почв, к редукции информационных связей, установлению системного равновесия на гораздо более низком уровне, т. е. к потере почвенного плодородия.

В результате ухудшается водно-воздушный режим, равновесная плотность почвы в пахотном слое увеличивается, почва при вспашке приобретает глыбистость, вследствие чего для разделки пашни приходится применять дополнительные приемы разрушения глыб, дополнительно затрачивая энергоносители.

Появляющиеся ухудшения фундаментальных свойств почвы приходится компенсировать внесением возрастающих доз удобрений, орошением, интенсивной обработкой почвы, которые лишь на некоторое время маскируют процесс деградации почв, т. е. нарушение воспроизводства их плодородия. Увеличение плотности почв, сопровождающееся потерей гумуса в пахотном слое, отмечал Шикила Н.К. [14].

Корреляционные зависимости между запасами гумуса в почве и её другими показателями [11]

Агрофизические показатели почв	Коэффициент корреляции
Морфогенетические	0,89.....0,95
Химические	0,74.....0,97
Физико-химические	0,70.....0,98
Агрохимические	0,56.....0,97
Водные	0,51.....0,98
Физические	0,52.....0,97

Наличие устойчивой связи между содержанием гумуса и плотностью почвы открывает совершенно другой путь не только к построению системы обработки, но и к системам землепользования.

Так, почвы, содержащие более 3,5-4% гумуса, практически находятся в состоянии оптимальной плотности. Для таких почв равновесная и оптимальная плотность одинаковы. Системы земледелия, ведущие к потерям гумуса, вызывают увеличение равновесной плотности со всеми вытекающими биосферными, экологическими, экономическими и др. последствиями. Утерев гумус, эти почвы требуют интенсивного механического воздействия для приведения их в состояние оптимальной плотности.

И магистральный путь земледелия, основанного на биосферном мышлении, – это развитие систем земледелия, позволяющих поднять содержание гумуса в пахотном горизонте почвы до уровня 3,5-4% и более. Только такие почвы мы можем называть «культурными», а наша задача заключается в разработке эффективных технологий «окультуривания» почв – технологий наращивания содержания гумуса в почвах.

Таким образом, сегодня появилась возможность обоснования системы обработки почвы в зависимости от распределения содержания гумуса по глубине в пахотном и подпахотном горизонтах, дающего предпосылки для разработки не только энергосберегающих приемов обработки почвы, но и поддержания устойчивости климата на земном шаре, так как ископаемый гумус (хранившийся тысячелетиями в почве) в результате потерь при выращивании сельскохозяйственных культур (а сегодня почвы Украины потеряли миллиарды тонн гумуса) пополняет атмосферу углекислым газом. Потери гумуса почвами ведут к прямому пополнению земной атмосферы углекислым газом, увеличивая парниковый эффект.

Освоение энергосберегающих технологий на площадях II и III типа почв обеспечивает не только экономию ресурсов, но, главное, способствует оздоровлению почв и восстановлению природного равновесия биогеоценозов в экологических нишах.

Выводы:

1. Все почвы можно классифицировать на 4 типа, описанные выше, в зависимости от распределения равновесной плотности по глубине пахотного горизонта.

2. Почвы, равновесная плотность которых равна оптимальной плотности (второй тип), не требуют механического воздействия для разуплотнения; для таких почв необходимо разрабатывать технологии, направленные только на борьбу с сорняками, вредителями и болезнями. Этот тип почвы должен стать полигоном для технологии No-till.

3. Почвы, равновесная плотность которых выше только в верхнем слое (0-5; 0-8; 0-10 см), а нижний слой имеет равновесную плотность, равную оптимальной, не требуют глубокой обработки. На почвах такого типа следует механически рыхлить только верхний слой.

4. Освоение технологии No-till на почвах второго типа и минимальной (поверхностной) обработки почв третьего типа позволит экономить до 290-330 тыс. тонн топлива в год, а экономический эффект может составить до 1,5 млрд гривен ежегодно.

5. Агротехнические приемы, позволяющие накопить более 4% гумуса в пахотном горизонте, расширят площади для технологии No-till и обеспечат дальнейшую экономию топлива при производстве сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Экоэнергетическая оценка сельскохозяйственных технологий. Пути экономии энергии. Методические рекомендации. – М.: ВАСХНИЛ, 1983.
2. Тищенко П.Д. Культура земледелия // "Человек и земля" / П.Д. Тищенко. – М.: Агропромиздат, 1988. – 70 с.
3. Курдюмов Н.И. Умный сад и хитрый огород / Н.И. Тищенко. – Ростов-на-Дону: Издательский дом "Владис", 2006. – 512 с.
4. Ревут И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1964. – 320 с.
5. Ревут И.Б. Как правильно обрабатывать почву / И.Б. Ревут. – М.: Знамя, 1966. – 319 с.
6. Найдыш В.М. Концепция современного естествознания (www.philsei.univ.kiev.ua/.../naydish-zhtme).
7. Капица С.П., Курфомов С.П., Маяницкий Г.Г. Синергетики и прогнозы будущего. – М., 1997.
8. Вадюнина А.Ф. Методы исследования физических свойств почвы / А.Ф. Вадюнина, З.Л. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
9. Кушнарв А.С. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении индустриальных технологий возделывания с.-х. культур / А.С. Кушнарв, В.М. Мацепуро. – М.: ВСХИЗО, 1986. – 56 с.
10. Кушнарв А.С. Пути экономии топлива при обработке почв степной зоны Украины (практические рекомендации) / А.С. Кушнарв, С.А. Кушнарв. – Запорожье: ИМТ. УААН, 1995. – 27 с.
11. Почвоведение. Типы почв, их география и использование / под ред. В.А. Ковда, Б.Г. Розанов. – М.: Высшая школа, 1988. – 368 с.
12. Тарасенко Б.И. Плотность сложения пахотного слоя и урожайность с.-х. культур на черноземе Кубани / Б.И. Тарасенко // Почвоведение. – 1979. – № 8. – С. 54-60.
13. Атлас почв Украинской ССР. К.: Урожай, 1979. – 159 с.
14. Шидула Н.К. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия / Н.К. Шидула, Г.В. Назаренко. – М.: Агропромиздат, 1990. – 319 с.
15. Кушнарв А.С. Методические предпосылки выбора способа обработки почвы / А.С. Кушнарв, В.В. Погорелый // Техника АПК. – 2008. – № 1. – С. 17-21.
16. Кравчук В.І., Драганов Б.Х., Баранов Г.Л. Динаміка системи ґрунт – рослина – повітря // Механізація с.-г. виробництва: Зб. наук. праць / Нац. агр. ун-т. – К.: НАУ, 2000. – Т. 8. – С. 266-273.
17. Кравчук В.І. Теоретичні основи адаптації сільськогосподарських машин: Монографія. – К.: НАУ, 2005. – 208 с.
18. Кравчук В.І., Погорілий В.В., Шустік А.П. і др. Науково-технічна експертиза техніко-технологічних систем обробітку ґрунту. – К.: Фенікс, 2008. – 50 с.