

## Методологические предпосылки выбора способа обработки почвы

А. Кушнарев, чл.-кор. УААН, д-р техн. наук, В. Погорелый, зам. директора (УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого)

Сегодня вопросу выбора технологии обработки уделяется огромное внимание. Широко дискутируются преимущества и недостатки отвальной и безотвальной, глубокой, мелкой, поверхностной обработок почвы и новой энергосберегающей технологии "прямого посева" (no-till). При обработке почвы преследуется, как правило, изменение плотности почвы, ее разуплотнение [1, 2]. Плотность почвы является интегральным показателем ее состояния, определяющим как условия развития почвенной биоты, так и развитие корневой системы выращиваемых на ней растений [2, 3].

Введение понятий равновесной и оптимальной плотности позволит вплотную подойти к выбору способа и глубины обработки.

Равновесная плотность - плотность, которую приобретает почва спустя определенное время после механического воздействия под действием естественных внутренних связей разной природы (химической, физической, биологической) и взаимодействием этих процессов, т. е. равновесная плотность - условие естественного состояния данного типа почв, поскольку она как открытая информационная система имеет способность к самоорганизации.

Оптимальная плотность - плотность почвы, обеспечивающая наиболее продуктивное развитие выращиваемой культуры, т. е. оптимальная плотность отражает физиологические особенности выращиваемых растений и их требования к почвенным условиям.

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

И, интуитивно, сегодня задача обработки почвы заключается в том, что хотя бы на время изменить реальную плотность почвы, приблизив ее к оптимальной. Ограниченные исследования оптимальной плотности почвы экспериментальным путем не дают сегодня возможности сделать однозначно вывод, о зависимости значения "оптимальная плотность" от типа почв или от физиологических свойств выращиваемых растений, хотя попытка предложений по некоторому упорядочению этой зависимости имеется [1,2,4]. Диапазон оптимальной плотности находится в пределах 1,1-1,25 г/см<sup>3</sup>.

Равновесное состояние почвы, при которой плотность выше оптимальной (уплотненное состояние), связано с историей и природными условиями происхождения почвы, уровнем техногенного воздействия на нее. Уплотненное состояние почвы сопровождается рядом негативных явлений таких, как:

- уплотнение почв в первую очередь связано с изменениями порового пространства, причем этот процесс начинается с деформации крупных некапиллярных пор.

Наиболее ценными для физических свойств почвы являются поры размерами 100-300 мкм и более, кото-

рые служат для транспортировки и перераспределения (впитывания и передвижения) большого количества воды в почве. Содержащая в порах менее 10 мкм вода малодоступна растениям. Уплотнение почв в основном происходит за счет уменьшения общего объема пор размерами более 10 мкм. Так, при уплотнении почвы с 1,25 до 1,62 г/см<sup>3</sup> общая порозность уменьшается с 52 до 39%, однако при плотности почвы 1,32 г/см<sup>3</sup> поры размером более 300 мкм составляют всего 2-3% объема почвы.

При дальнейшем уплотнении почвы (до 1,50 г/см<sup>3</sup>) количество пор размером более 10 мкм уменьшается до 6%. При этом в 1,5 раза увеличивается объем пор размером менее 3 мкм, что приводит при одинаковой весовой влажности в результате уплотнения почвы к сокращению количества доступной растениям влаги и увеличению количества недоступной влаги, заключенной в малых микропорах. При этом одновременно сокращается и воздухоемкость почвы. Вот примеры реальных наблюдений. Даже после полива запас продуктивной влаги в активном слое почвы на уплотненных участках на 250-300 м<sup>3</sup>/га ниже, чем на участках с оптимальной плотностью почвы; следовательно, только за счет оптимальной плотности почвы запасы влаги могут обеспечить жизнь и развитие растений дополнительно в течение нескольких суток. То же относится к использованию атмосферных осадков;

- уплотнение почвы ведет к существенному ухудшению ее водно-физических свойств таких, как влагоемкость, скорость впитывания поливной воды (атмосферных осадков) и водопроницаемость. Запасы влаги в слое 0-50 см при возделывании кукурузы на уплотненных участках меньше на 3-10 мм в течение всего периода вегетации. Если время впитывания почвой поливной нормы на неуплотненных участках составляет 2-8 мин, то после двукратного прохода трактора Т-150К - 60-200 мин, а после пяти-шести проходов трактора Т-150К оросительная вода в почву практически не впитывается. Водопроницаемость, а следовательно, и эффективность использования атмосферных осадков, уплотненной почвой уменьшается в 2-4 и более раз;

- уплотнение почв ведет к ухудшению воздухообмена в почве. Интенсивность выделения из уплотненной почвы углекислоты (СО<sub>2</sub>) уменьшается в 1,2-1,6 раза, что тормозит круговорот элементов в биосфере;

- существенное влияние оказывает уплотнение почв на режим питания растений. Основной формой азота в уплотненной почве (до 95%) в течение всего вегетативного периода растений является аммонийный. О доступности азота в зависимости от плотности почв можно судить по содержанию общего азота в листьях растений. При одинаковом содержании азота в почве уплотнение почвы приводит к уменьшению поступления

азота в растение. Увеличение плотности почвы от 1,25 до 1,35-1,40 г/см<sup>3</sup> приводит к уменьшению как прироста сухого вещества в 1,5-2,0 раза, так и поступления азота в растение в 1,5-1,7 раза. Фонологические и биометрические наблюдения за зерновыми в фазе выхода в трубку показывают, что на участках с плотностью почвы выше 1,35 г/см<sup>3</sup> даже на высоком фоне азотных удобрений (более 100 кг на 1 га) растения имеют признаки недостатка азота, проявляющиеся в светло-зеленой окраске листьев и меньшей густоте стеблей.

Таким образом, применение высоких доз азотных удобрений на уплотненных почвах не дает желаемого эффекта, а следовательно, борьба за снижение переуплотнения почвы является и борьбой за рациональное использование азотных удобрений. К сожалению, объективной информации о значении плотности на усвояемость и подвижность других питательных элементов сегодня не имеется, но общий закон развития биогеоценозов позволяет предполагать, что уплотнение почв ведет к снижению эффективности использования не только фосфора и калия, но и других химических элементов, участвующих в круговороте веществ в системе "почва-растение-свет (фотосинтез)".

Философия биосферного мышления уделяет ведущее значение биологической активности почв в формировании и деятельности биосферы. Поэтому сегодня для многих ученых-аграриев биологическая активность почвы является важнейшей ее характеристикой (мы считаем ее определяющей все агрофизические и агрономические свойства). Активность микрофлоры по методике разложения целлюлозы (льняного полотна) в некоторой мере отражает скорость разложения растительных остатков сельскохозяйственных культур. Увеличение плотности почвы до 1,35-1,40 г/см<sup>3</sup> ведет к снижению скорости разложения растительных остатков на 38-40% и, как следствие, к снижению биологической ее активности и вытекающими из этого последствиями развития биогеоценоза.

Увеличение плотности почвы ведет к изменению её температурного режима, как правило, ухудшению.

Замечено, что температура почвы по следу трактора отличается от температуры почвы вне следа трактора в течение суток. Уплотненная почва в утренние часы имеет меньшую температуру, чем неуплотненная. В дневные часы уплотненная почва прогревается значительно больше, чем неуплотненная. Наибольшая разница температур в утренние часы превышает 3 °С. Амплитуда колебаний температуры значительно больше в уплотненной, чем в неуплотненной почве. Таким образом, уплотнение почвы ухудшает условия жизнедеятельности почвенной биоты как за счет снижения воздухообмена, так и более резких колебаний температуры почвы.

- Повышение плотности почвы ведет к увеличению её твердости, что особенно проявляется при всходе растений.

Увеличение твердости почвы препятствует прохождению зародышевого корешка и ухудшает аэрацию в период повышенной влажности, что ведет к снижению всхожести семян.

- Плотность почвы оказывает непосредственное влияние на формирование корневой системы. Вес корней находится в обратной зависимости от плотности

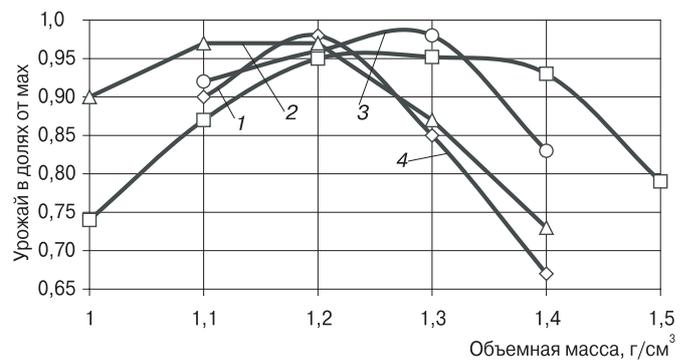


Рис. 1. Экспериментальная зависимость "плотность почвы - урожай" [5]: на сахарную свеклу (1), кукурузу (2), пшеницу озимую (3), сено люцерны (4)

почвы. При оценке развития корневой системы наблюдается, что корни на уплотненных участках деформируются и концентрируются они в прослойках с пониженной плотностью почвы. Неблагоприятные условия развития корневой системы растений в плотной почве ведут также к снижению урожайности возделываемых культур. В плотную почву ( $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup>) корни растений проникают весьма слабо: до 80 % их обитает в слое 7-10 см и лишь 15-20% в слое 10-20 см и нижележащих.

- Чем плотнее почва, тем больше энергии требуется на ее обработку и тем хуже качество крошения ее. Если на неуплотненных участках после обработки комьев размером более 100 мм содержится 10-15%, то на уплотненных одним проходом трактора К-700 количество таких комьев в верхнем слое достигает 45%.

По следам гусеничных тракторов сопротивление при вспашке возрастает на 16-25, тяжелых колесных тракторов и автомобилей - на 45-60, тракторных агрегатов - на 72-90%. Таковы некоторые отличительные свойства почвы, находящейся в состоянии оптимальной плотности и реальной равновесной плотности, если последняя значительно выше оптимальной.

Данные многих экспериментальных исследований показывают, что уменьшение или особенно увеличение плотности почвы, по сравнению с оптимальной на 0,1-0,3 г/см<sup>3</sup> приводит к снижению урожая на 20-40% [4, 5].

Как видно из рис. 1, особенно отрицательное влияние плотность почвы оказывает на урожай сахарной свеклы. Факт существования максимума урожайности при оптимальной плотности почвы, а на графике точки перегиба позволяет аппроксимировать зависимость функции "урожай-плотность" полиномом, в первом приближении полиномом второго порядка [4]

$$Q = 1 - [a(\rho_0 - \rho)^2 + b(\rho_0 - \rho)],$$

где  $\rho_0$  - оптимальная плотность почвы, г/см<sup>3</sup>;  $\rho$  - фактическое значение плотности почвы, г/см<sup>3</sup>;  $Q$  - фактический урожай (в долях от максимального, который может быть получен при оптимальной плотности почвы);  $a, b$  - эмпирические коэффициенты, характеризующие особенности влияния плотности на физиологию развития сельхозкультур.

Если признать факт влияния плотности на урожай и необходимость приведения плотности почвы к уровню оптимальной путем механического воздействия, то возникает естественно два вопроса - какова реальная

(равновесная) плотность почвы поля, которая используется под посев той или иной культуры и как распределяется плотность почвы по глубине.

К сожалению, при обосновании систем обработки, почему-то эти коренные вопросы не поднимаются или не подразумеваются. Между тем исследования плотности почвы дают нам богатую пищу для размышления по выбору способа и глубины обработки. Распределение плотности по глубине обрабатываемого слоя практически может находиться только в одном из четырех вариантов состояния.

**Вариант 1.** Плотность почвы в обрабатываемом, или в пахотном горизонте, выше оптимальной (рис. 2, а). Логично, что такие почвы следует по всему пахотному слою приводить в состояние оптимальной плотности. Для этого применяют орудия сплошного рыхления - отвальные или безотвальные (орудия сплошного воздействия на почвенный пласт). Более того, необходимо и рыхление подпахотных горизонтов, чтобы уменьшить плотность подпахотного слоя и вовлечения их в производство урожая сельхозкультур. Имеется множество фактов, подтверждающих, что глубокое рыхление приводит к существенному увеличению урожая сельхозкультур.

Такие почвы в Украине представлены в Полесье, однако применение "нулевой обработки" на них не выдерживает никакой критики.

**Вариант 2.** Плотность почвы в обрабатываемом слое и ниже находится в состоянии оптимальной плотности (рис. 2, б). Для почв с такой равновесной плотностью естественно возникает вопрос - зачем их рыхлить? Механического воздействия на такие почвы не требуется. На полях с таким распределением плотности должна использоваться технология no-till. Заметим, что в таком состоянии находятся большинство черноземных почв Украины.

**Вариант 3.** Верхний слой почвы переуплотнен, однако нижние слои пахотного горизонта находятся в состоянии оптимальной плотности (рис. 2, в). Такое распределение плотности, возможно, является результатом не столько естественного их развития, сколько техногенного воздействия на верхний слой (уплотнение ходовыми системами техники, распыление верхнего слоя почвообрабатывающими орудиями и поливом большими нормами). На полях с таким распределением плотности следует доводить только верхний переуплотненный слой до оптимальной плотности. Глубина обработки зависит от состояния пере-

уплотненного слоя. Эти почвы и являются полигоном для поверхностной и минимальной обработок почвы.

**Вариант 4.** Верхняя часть пахотного горизонта находится в состоянии оптимальной плотности, нижняя часть уплотнена (рис. 2, г). Тут уплотненный слой почвы необходимо доводить до состояния оптимальной плотности, причем основное механическое воздействие должно приходиться только на нижний уплотненный слой, и не требуется сплошного механического воздействия на весь пахотный слой. Такое воздействие осуществляют чизельные рыхлители-чизеля. Такому распределению плотности по глубине предрасположены каштановые (темные и светлые) почвы.

Следовательно, можно говорить о необходимости производства для Украины всего арсенала почвообрабатывающих орудий - плугов, плоскорезов, культиваторов, чизельных культиваторов, комбинированных орудий и орудий для прямого посева, при этом использование каждой группы орудий зависит от характера распределения равновесной плотности по глубине. Эта мысль была высказана нами еще в 1995 г. [7], но она почему то оказалась не замеченной.

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 проводится излишнее рыхление почвы, на что тратится большое количество энергии (рис. 3). Нами сравнивались четыре способа обработки почвы. Так, в среднем по пахотному горизонту, если при вспашке черноземных почв, достигается плотность 0,65 г/см<sup>3</sup>, в это же время при безотвальной обработке создается плотность почвы 0,85 г/см<sup>3</sup>. Ко времени посева природные силы восстанавливают частично или полностью равновесные связи, и плотность почвы практически не зависит от вида обработки, однако затраты топлива на обработку почвы были различные. Хотя закономерно встает вопрос о целесообразности механической обработки почвы, если ее равновесная плотность равна оптимальной. Оценка состояния равновесной плотности по глубине дает большую информацию о резервах экономии топлива при обработке почвы и путях разработки энергосберегающих технологий обработки ее.

Определение характера распределения плотности

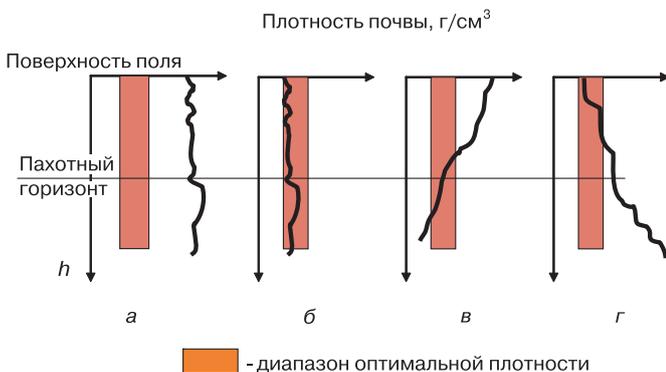


Рис. 2. Типичные распределения плотности почв по глубине

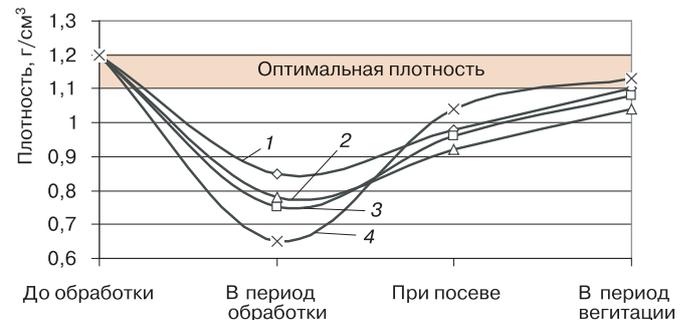


Рис. 3. Изменение плотности на протяжении вегетационного периода при безотвальной обработке (1), дисковании (2), поверхностном рыхлении (3), отвальной обработке (4)

почвы по глубине (профилю) требует трудоемких исследований. В 1980-е годы были существенные подвижки в методическом направлении - создание приборов определения плотности почвы радиоизотопным методом (РПП-2), однако, к сожалению, сегодня в Украине таких приборов остались единицы, да и они находятся в нерабочем состоянии.

Мы долго ломали голову над более эффективным способом измерения плотности почвы. Ответ был найден, когда по другому посмотрели на природу формирования структуры почвы. Органическое вещество (гумус), по иному формирует структуру почвы, чем частицы песка, глины и ила структурируются в грунтах. Косвенным доказательством влияния органического ве-

#### Корреляционные зависимости между запасами гумуса в почве и другими ее показателями [8]

Показатели	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

щества на свойства почвы является то, что содержание гумуса влияет практически на все ее свойства [8].

Определенное содержание гумуса как строительного материала образования почвы из грунтов и почвообразующих пород и проводит сложение почвы в состоянии оптимальной плотности. Для проверки этой гипотезы мы обработали фактический материал из атласа почв Украины [9], дополнили банк данных первичных наблюдений "плотность-содержание гумуса". В результате нами получена регрессионная зависимость между плотностью почвы и содержанием гумуса (рис. 4). Линейной корреляции естественно нельзя ожидать, так как даже "чистый" гумус имеет вполне конкретную плотность, коэффициент детерминации получен более чем высоким ( $\eta = -0,95$ ).

Эта тенденция и ранее обнаруживалась в исследованиях почвоведов, но почему-то выпадала из поля зрения. Например, в работе [10] изменение содержания гумуса сопровождалось изменением плотности почв (рис. 5). Уменьшение содержания гумуса в почве ведет к пропорциональному увеличению ее плотности. Следовательно, снижение содержания гумуса и

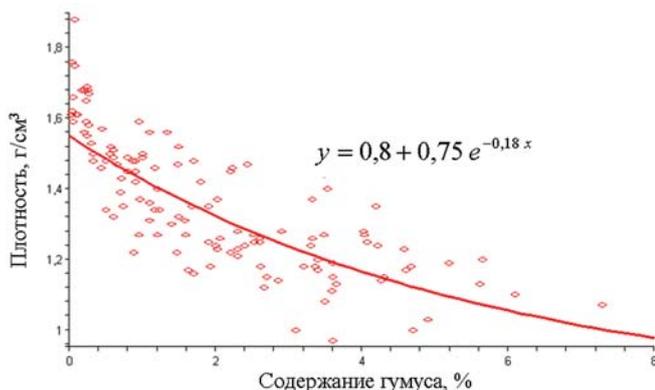


Рис. 4. Зависимость плотности почвы от содержания гумуса при  $r = -0,72$ ;  $\eta = -0,95$

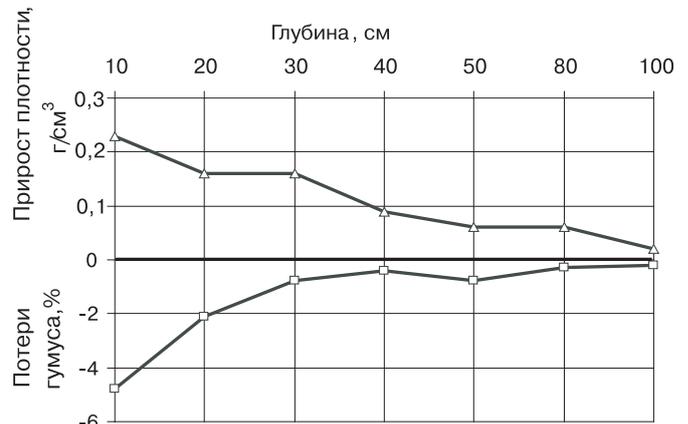


Рис. 5. Изменение свойств почв при ее длительном использовании

увеличение равновесной плотности - взаимосвязанные процессы.

Простое увеличение количества одинаковых почвообразующих частиц сопровождается линейным накоплением информации, повторением существующих в системе детерминированных связей. Присутствие органического вещества в почве способствует созданию агрегатов, а агрегатирование тех же частиц - это уже переход на новый качественный уровень, ведущий к прогрессивному увеличению информации, появлению новых связей и соответственно новых свойств, расширению функциональных возможностей почв. По такому пути и шел весь исторический процесс почвообразования.

Однако потеря гумуса в почве ведет к дезагрегатированию почвы, редукции информационных связей, установлению системного равновесия на гораздо более низком уровне, т. е. потере почвенного плодородия. Практически это проявляется в следующем.

Свойственная чернозему (на целинных участках) мелкокомковая водопрочная структура (размером 0,25 - 10 мм) в результате потери гумуса (а это связано с системами земледелия и обработки почвы) постоянно разрушается. В результате ухудшается водно-воздушный режим, равновесная плотность почвы в пахотном слое увеличивается, почва при вспашке приобретает глыбистость и для разделки пашни требуется применение дополнительных приемов разрушения глыб.

Появляющиеся ухудшения фундаментальных свойств почвы приходится компенсировать возрастающими дозами удобрений, орошением, интенсивной обработкой почвы, которые лишь на некоторое время маскируют процесс деградации почв, т. е. нарушение воспроизводства их плодородия.

Такая зависимость между содержанием гумуса и плотностью почвы открывает совершенно другой путь и 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 и для них равновесная и оптимальная плотность одинаковы. В системах земледелия, ведущих к сокращению содержания гумуса, увеличивается равновесная плотность со всеми вытекающими биосферными, экологическими, экономическими и другими последствиями и требуется интенсивное механичес-

кое воздействие на них для приведения в состояние оптимальной плотности.

И магистральный путь земледелия, основанного на биосферном мышлении, - это развитие системы земледелия, позволяющей увеличить биологическую активность почвы - поднять содержание гумуса в почве до уровня 3,5-4 % и более. Только почвы с содержанием гумуса более 4 % можно называть культурными, а наша задача заключается в разработке эффективных технологий окультуривания почв - технологий наращивания содержания гумуса в почвах.

Сегодня появилась возможность обоснования системы обработки почвы в зависимости от распределения содержания гумуса по глубине в пахотном и подпахотном горизонтах, дающего основы для разработки не только энергосберегающих приемов обработки почвы, но и поддержания устойчивости климата на земном шаре, так как почва является управляющей системой биогеоценоза.

Таким образом, основной задачей обработки почвы является приведение ее плотности в состояние оптимальной, при которой создаются благоприятные условия развития всех составляющих "агробиоценоза". Выбор способа и глубины обработки, типов и параметров рабочих органов может быть произведен только после детального изучения распределения реальной плотности почвы по глубине.

Плотность почвы хорошо коррелируется с содержанием в ней гумуса. Повышение содержания в почве гумуса до 3,5-4,0% и более приводит к тому, что равновесная плотность становится равной оптимальной плотности. Почвы с таким содержанием гумуса не требуют механической обработки и являются основным полигоном для использования технологии "no-tillage".

### Список литературы

1. Ревут И. Б. Физика почв. - Л.: Колос, 1964. - 320 с.
2. Ревут И. Б. Как правильно обрабатывать почву. - М.: Знамя, 1966. - 319 с.
3. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. Л. Методы исследования физических свойств почвы. - М.: Агропромиздат, 1986. - 416 с.
4. Кушнарєв А. С., Мацєпуро В. М. Уменьшение вредного воздействия на почву рабочих органов и ходовых систем машинных агрегатов при внедрении индустриальных технологий возделывания сельскохозяйственных культур - М.: ВСХИЗО, 1986. - 56 с.
5. Тарасєнко Б. И. Плотность сложения пахотного слоя и урожайность сельскохозяйственных культур на черноземе Кубани // Почвоведение. - 1979. - №8. - С. 54-60.
6. Гуков Л. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. - К., 2007. - 276 с.
7. Кушнарєв А. С., Кушнарєв С. А. Пути экономии топлива при обработке почв степной зоны Украины (практические рекомендации). - Запорожье: ИМТУААН, 1995. - 27 с.
8. Почвоведение. Типы почв, их география и использование / Под ред. В. А. Ковды, Б. Г. Розанова. - М.: Высш. шк., 1988. - 368 с.
9. Атлас почв Украинской ССР. - Киев: Урожай, 1979. - 159 с.
10. Шикуня Н. К., Назарєнко Г. В. Минимальная обработка черноземов и воспроизводство их плодородия. - М.: Агропромиздат, 1990. - 319 с.