

---

# ФІЗИКА ҐРУНТІВ

---

---

УДК 631.41

В. В. Медведєв<sup>1</sup>, А. Словинська-Юркевич<sup>2</sup>, М. Брик<sup>2</sup>

## ФИЗИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ, ЕЁ ДИАГНОСТИКА, АРЕАЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

<sup>1</sup>Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского»

<sup>2</sup>Институт почвоведения и охраны окружающей природной среды, Люблин, Польша

Систематизированы почвенные процессы, которые сопровождают физическую деградацию. Это – снижение агрегирующей способности почв, приводящее к уменьшению содержания в почве агрономически полезных агрегатов, ухудшение их строения и свойств, глыбистость, переуплотнение и консолидация при обработке. Основной диагностический признак физической деградации – потеря почвой способности восстанавливать присущие ей модальные характеристики структурного состава и плотности сложения в природном состоянии. Выявлены технологии и технические средства, при применении которых почва подвергается либо противостоит физической деградации.

*Ключевые слова:* деградация, диагностика, ареалы, способы предотвращения

В. В. Медведєв<sup>1</sup>, А. Словинська-Юркевич<sup>2</sup>, М. Брик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського»

<sup>2</sup>Інститут ґрунтознавства та охорони довкілля, Люблин, Польща

## ФІЗИЧНА ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ, ЇЇ ДІАГНОСТИКА, АРЕАЛИ ПОШИРЕННЯ І ЗАСОБИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Систематизовано ґрунтові процеси, що супроводжують фізичну деградацію. Це – зниження агрегувальної здатності ґрунтів, що призводить до зниження вмісту у ґрунті агрономічно корисних агрегатів, погіршення їхньої будови і властивостей, брилистість, переущільнення і консолидація за обробітку. Основна діагностична ознака фізичної деградації – втрата ґрунтом здатності відновлювати притаманні йому модальні характеристики структурного складу і щільності будови у природному стані. Виявлено технології і технічні засоби, за застосування яких ґрунт піддається або протистоїть фізичній деградації.

*Ключові слова:* деградація, діагностика, ареали, засоби попередження

V. V. Medvedev<sup>1</sup>, A. Slowinska-Jurkiewicz<sup>2</sup>, M. Bryk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Research Institute for Soil Science and Agrochemistry»

<sup>2</sup>Institute of Soil Science, Environment Engineering and Management, Lublin, Poland

## PHYSICAL DEGRADATION OF SOILS, ITS DIAGNOSTICS, AREAS OF DISTRIBUTION AND WAYS OF PREVENTION

Soil processes which accompany with physical degradation are systematized. It is decrease in aggregating of soil ability, leading reduction of the content in soil of agronomical useful units, deterioration of their structure and properties, clodiness, overcompaction and consolidation at tillage. The basic diagnostic attribute of physical degradation – loss by soil of ability to restore modal characteristics of structure and bulk density inherent in a natural condition. Technologies and means at which application the soil is exposed are revealed or resists to physical degradation.

*Keywords:* degradation, diagnostics, areas, ways of prevention.

В проекте государственного стандарта Украины физическую деградацию предлагается оценивать по содержанию агрономически полезной структуры, ее водостойчивости и равновесной плотности сложения. В качестве дополнительных

показателей рекомендуется использовать гранулометрический состав, основные почвенно-гидрологические константы, глубину залегания грунтовой воды и температуру почвы. Степень деградации определяется по отклонению любого из перечисленных показателей от начального или эталонного значения. Например, если отклонение равновесной плотности не превышает 10 %, считается, что деградация отсутствует. Каждые следующие 10 % усиливают степень деградации, а когда отклонение превысит 40 %, деградация считается катастрофической. Под эталоном подразумевается почва с показателями в начальный период использования, а деградированной – почва, приобретшая новые ухудшенные показатели после некоторого периода использования. Важно обратить внимание, что новые показатели должны быть устойчивыми. Иначе говоря, почву, которая способна восстановить природные физические показатели, нельзя назвать деградированной.

Приблизительно такой же подход еще ранее был принят в России (Березин, 2002). Правда, набор индикаторов физической деградации тут был несколько шире. Кроме упомянутых, здесь использовали межагрегатную и внутриагрегатную пористость, коэффициент фильтрации, уменьшение мощности почвы и другие. Некоторые российские ведомства (например, Госкомзем и Минэкологии) рекомендуют пользоваться своими методиками оценки физической деградации почв (Добровольский, 2002), суть которых примерно такая же – оценка ухудшения почвы по отношению к некоторому исходному состоянию.

По данным Международного проекта «Глобальная оценка деградации почв», поддержанного ООН и в котором участвовали около 180 ученых со всего мира, процессы физической деградации распространены на площади около 1,7 млрд. га (Добровольский, 2002). К этому виду деградации отнесены водная и ветровая эрозия, то есть, потеря мощности профиля, а также потеря структуры и переуплотнение. При определении вида и степени физической деградации в этом проекте доминировали экспертные заключения, в большей мере основанные на визуальных и лишь отчасти экспериментальных данных. Разумеется, в тех случаях, когда интенсивность разрушения почвы достигала значительных масштабов, как это происходило с эрозией почв в США в 20–30-е годы минувшего столетия, сомнений в отношении физической деградации не возникало. Точно также явственными процессами коркообразования, глыбистости и переуплотнения, которые обнаруживаются, когда процесс негативной трансформации почвы достигает значительного развития. Вместе с тем, используя качественные, а по сути лишь экспертные оценки и, не имея, как правило, эталона с четко фиксированными начальными показателями, достаточно трудно определить наличие физически деградированной почвы. Тем более, что наблюдений физических свойств, которые можно было бы отнести к эталонным, не было ни при крупномасштабном почвенном обследовании, ни при любом другом обследовании почв. Фактически единственными источниками информации для суждения о наличии физической деградации, являются результаты сравнительных наблюдений на целине и пашне, а также в длительных стационарных полевых опытах.

По этой причине, опираясь именно на эти источники информации, нам представляется важной систематизация процессов в почве, относящихся к физической деградации, установление ее причин, более ясной диагностики, возможных ареалов распространения и поиск путей ее предотвращения.

## МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В статье использованы результаты длительных исследований черноземов типичных, обыкновенных и южных в условиях целины (залежи) и пашни. На основании этих сравнительных исследований сделаны выводы об изменении физических свойств, интерпретируемые нами как деградация. В качестве индикаторов физической деградации использованы результаты изучения макро- и микроморфологического строения почв и отдельных почвенных агрегатов, структурный состав (агрономически полезная фракция, глыбы и пыль), водоустойчивость агрегатов, дифференциальная пористость (соотношение межагрегатной и внутриагрегатной пористости, соотношение вертикальных и

горизонтальных пор – анизотропность). Для наблюдений за равновесной плотностью на заповедном участке и пашне чернозема южного общая продолжительность наблюдений составила 30 лет.

Гипотетические ареалы распространения деградированных почв установлены с использованием базы данных «Свойства почв Украины». База охватывает наблюдения за физическими свойствами почв, начиная с 60-х гг. минувшего столетия, и почти все пахотные почвы страны, отмеченные на почвенной карте масштаба 1:1500000. Характеристика базы приведена в работе Т. М. Лактионовой и др. (Лактионова, 2010). Кроме того, использованы результаты изучения физических свойств и микроморфометрии структуры в длительных стационарных опытах, проведенных на почвах основных природных зон, описанные в наших прежних публикациях (Медведев, 1988, 2008). Используются также материалы наших коллег из Польши, которые длительное время проводили исследования физических свойств и микроморфологии почв в аналогичном направлении (Bryk, 2004a, 2004b, 2012; Slowinska-Jurkewicz, 2004).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Макро- и микроморфологическое строение почв и агрегатов.* Физическая деградация четко диагностируется по данным сравнительных исследований макро- и микростроения почв и отдельных агрегатов целины и пашни. Агрегаты пашни теряют генетически присущую им форму. Например, зернистая, изометрическая форма агрегатов черноземов на целине становится неправильной, угловатой, несовершенной на пашне. Резко снижается коэффициент оформленности Уэйделла-Кухаренко – с 0,40-0,90 на целине до 0,10-0,30 на пашне. В шлифах губчатая многопорядковая непрерывная структура с разветвленной сетью пор газового и биологического происхождения в агрегатах целины сменяется на пашне преимущественно порами-трещинами, явно меньше становится корней, зато больше неагрегированных тонкодисперсных частиц в порах. Это значит, что на пашне идут активные процессы диспергации почвенной массы, а процессы агрегации тормозятся. На целине, напротив, происходят аккумулятивные процессы с участием поливалентных катионов (отсюда доминирование округлых коагуляционных структур с почти обязательной гидрофобной пленкой по периферии агрегата). Минерализация органического вещества в малых порах при этом замедляется и тем самым сохраняется от потери, чего не происходит на пашне.

Преимущественно трещиноватое анизотропное поровое пространство пашни лучше воспринимает влагу атмосферных осадков, но в нем формируются преференциальные потоки, приводящие к быстрому проникновению влаги и загрязнителей в глубь профиля либо потерям при физическом (непродуктивном) испарении. Такая структура пор не способствует сохранению влаги, ее экономному использованию, активному росту корней. Кроме того, крупнопористое пространство легко уплотняется под действием даже легких машинно-тракторных агрегатов, о чем, как увидим далее, свидетельствует возрастание равновесной плотности на пашне в сравнении с целиной. При этом одновременно возрастает структурная связность отдельных агрегатов.

Результаты микроморфометрических исследований агрегатов и пор целинных и старопахотных почв демонстрируются в табл. 1, из которой следует, что микростроение этих объектов принципиально различно – и в отношении порядковости агрегатов, и соотношения агрегатов высокого и низкого порядков, и в соотношении видимых пор в горизонтальной и вертикальной ориентациях, и в количестве неагрегированного материала в порах.

М. Bryk (2004a), М. Bryk et al. (2004b) также отмечают, что на целине поровое пространство изотропно, а его анизотропность значительно усиливается при действии ходовых устройств машин и интенсивных ливней. Причем почвы, развивающиеся на лессах, имеющие разветвленное поровое пространство и сравнительно большие размеры пор, уплотняются намного сильнее (Slowinska-Jurkewicz, 2004).

Таблица 1

## Микростроение агрегатов и пор в целинных и распахиваемых черноземах

Вариант	Глубина, см	коэффициент оформленности	Агрегаты	порядковость	соотношение агрегатов высшего и низшего порядков (в 20 случайно выбранных объектах)	Поры***		отношение видимых межагрегатных пор к внутренне-агрегатным	
						видимые в шлифах стандартной толщины (%) при ориентации	общая порность >15 мк в вертикальной ориентации****		
						вертикальной	горизонтальной		
								количество неагрегированного материала в порах размером менее 0,05 мм (%)	
			Чернозем типичный мощный среднесуглинистый (Сумская область)						
Целина	3-13	0,40-0,50	5-6	16:4 (>5/<5)	30	24	5,0	8	
Пашня	2-12*	0,10-0,25	2-4	10:10 (>3/<3)	35	38	7,1	35	
То же**		0,20-0,30	3-4	12:8 (>4/<4)	22	28	4,3	28	
			Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый (Днепропетровская область)						
Залежь	4-14	0,50	5-6	17:3 (>5/<5)	32	29	5,3	6	
Пашня	2-12*	0,25-0,30	3-4	12:8 (>4/<4)	35	37	6,8	25	
То же**		0,30-0,35	4	15:5 (>4/<4)	30	33	5,0	15	
			Чернозем южный тяжелосуглинистый (Херсонская область)						
Целина	12-22	0,35-0,45	3-4	12:8 (>4/<4)	15	20	3,8	20	
Пашня	12-22*	<0,10	2	10:10 (>2/<2)	50	48	10,2	80	
То же**		0,10-0,15	2	15:5 (>2/<2)	10	18	2,1	50	

\* сразу после обработки

\*\* при равновесной плотности

\*\*\* ошибка среднего арифметического в пределах 5-15 % при числе измерений в микроскопических препаратах 10-20

\*\*\*\* среднее из 10 полей зрения при увеличении 45 х

Таким образом, физическая деградация с микроморфометрической стороны – это процесс негативной трансформации строения агрегатов и пор, следствием чего является уменьшение качества агрономически полезных агрегатов, уплотнение почвы. Относительно отдельных агрегатов этот процесс получил название консолидации (Ногн, 2000), которая приводит к локальной абитотизации почвы и ослаблению последующих процессов восстановления характерных для целинной почвы параметров структуры и сложения (Медведев, 2011).

*Равновесная плотность сложения* (определенная в середине лета, не менее чем через два месяца после последней обработки) на пашне была существенно выше, чем на целине. Причем для всех исследованных подтипов черноземов разница была достоверной в пахотном и подпахотном слоях. Это, скорее всего, является следствием разрушения структуры и изменения ее формы. Важно подчеркнуть, что равновесная плотность проявляет тенденцию к возрастанию со временем (табл. 2). Мы установили это, используя целинный чернозем южный заповедника «Аскания-Нова» (Херсонская область) и рядом расположенный участок той же почвы, распаханый более 100 лет. Измерения плотности (в 6-ти кратной повторности), произведены в середине лета с интервалом в 15 лет – в 1967, 1982 и 1997 гг. Оказалось, что плотность на целине на протяжении 30 лет оставалась постоянной. В верхнем слое 0–20 см, обогащенном корнями, она была близка к 1,00 г/см<sup>3</sup>, в слое 20–40 см – в пределах 1,15–1,22 г/см<sup>3</sup>, в слое 40–70 см – приближалась к 1,30 г/см<sup>3</sup>, в слое 70–110 см – не выше 1,34 г/см<sup>3</sup>. Эти значения можно рассматривать как наиболее характерные для данной почвы, которая пребывает в природном состоянии, без влияния ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов, уборочной техники, других агроприемов.

На пашне до глубины 60–80 см плотность достоверно выше, причем расхождения в верхнем слое достигают 0,3 г/см<sup>3</sup>. Отметим – это значительное различие, что обуславливает существенные расхождения между целиной и пашней. Подчеркнем – пашня в рыхлом состоянии, то есть, близком к уплотнению целины, пребывает не более 2-х месяцев. На протяжении остального времени года, не менее 10 месяцев, она переуплотнена. Уже в 1967 г. она была в переуплотненном, явно отличном от природного, состоянии. Ясно, что это аккумулятивное уплотнение является следствием продолжительной распашки и применения других технологических операций. В последующие 30 лет уплотнение распространялось глубже по профилю – с 60 до 80 см. Верхняя часть профиля при этом оставалась в том же состоянии.

Таблица 2

**Равновесная плотность сложения чернозема южного в условиях целины и продолжительной распашки (г/см<sup>3</sup>)**

Глубина, см	1967 г.		1982 г.		1997 г.	
	целина	пашня	целина	пашня	целина	пашня
0–10	1,01	1,27*	0,97	1,24*	1,00	1,20*
10–20	1,04	1,22*	1,02	1,25*	1,02	1,28*
20–30	1,18	1,26*	1,14	1,28*	1,11	1,24*
30–40	1,22	1,34*	1,21	1,37*	1,17	1,34*
40–50	1,28	1,36*	1,27	1,35*	1,22	1,33*
50–60	1,28	1,34*	1,29	1,36*	1,23	1,36*
60–70	1,31	1,33	1,28	1,35*	1,36	1,34*
70–80	1,29	1,33	1,33	1,33	1,28	1,36*
80–90	1,33	1,32	1,33	1,32	1,30	1,33
90–100	1,33	1,32	1,34	1,32	1,32	1,31
100–110	1,32	1,32	1,34	1,31	1,32	1,33

\*Разница достоверна при уровне вероятности ≤0,95 (±0,04 г/см<sup>3</sup>)

Установленная величина равновесной плотности сложения в пахотном слое одновременно означает некий потенциал сопротивления почвы внешней механической нагрузке последнего периода механизации земледелия. Из полученных многочисленных данных, опубликованных, например, в книге «Переуплотнение пахотных почв...» (1987),

известно, что аналогичная почва может уплотняться до 1,40 и даже 1,50 г/см<sup>3</sup>. Если же равновесная плотность исследованного чернозема южного составила 1,20–1,28 г/см<sup>3</sup>, то это означает, что почва разуплотнилась. Поэтому, 1,20–1,28 г/см<sup>3</sup> – это характеристика емкости сопротивления данной почвы внешней нагрузке. Иначе говоря, пашня уже не может разуплотниться до величины уплотнения в природном состоянии, но еще может разуплотниться с 1,40–1,50 до 1,20–1,28 г/см<sup>3</sup>. Легко прогнозировать, что сохранение современной преимущественно невысокой культуры земледелия, которая сопровождается уменьшением содержания гумуса в почве, разрушением структур, декальцинацией, приведет к дальнейшему увеличению равновесной плотности и соответственно уменьшению емкости сопротивления почвы внешней нагрузке.

*Консолидация.* Существенная особенность распахиваемой и особенно орошаемой почвы заключается в отчетливом проявлении пластической деформации, являющейся причиной повышенной консолидации почвенной массы. Напомним, что под консолидацией подразумевается уплотнение почвы, при котором происходит не только уменьшение пористости (эта стадия называется собственно уплотнением), но и выдавливание влаги из внутриагрегатных промежутков (Норн, 2000). Так, плотность отдельных структурных агрегатов чернозема южного размером 5–3 мм на целине составляет 1,50, пашне – 1,60, а при орошении – 1,68 г/см<sup>3</sup>. Фактически речь здесь уже идет о слитообразовании, при котором достигается очень высокая плотность упаковки микроагрегатов за счет их взаимной ориентации (Медведев, 1982).

*Структурный состав.* При длительной распашке структурный состав исследованных черноземов претерпевает значительные изменения (табл. 3). Достоверное снижение содержания в пахотном слое по сравнению с той же глубиной целины агрегатов агрономически полезного размера (10–0,25 мм) сопровождается одновременным увеличением содержания глыб (>10 мм). Распыления почвы при этом не происходит.

Коэффициент структурности, рассчитанный по отношению содержания агрегатов размером от 10 до 0,25 мм к сумме пылеватых и глыбистых структур, снижается в 1,6–2,9 раза. Описанные особенности структурного состава черноземов на целине и на пашне наглядно отражаются на треугольнике (рис. 1), где структурность оценивается всего лишь одной точкой вместо громоздкой таблицы. Точки целины концентрируются в правом нижнем углу треугольника, потому что здесь максимальное содержание полезной структуры и минимальное количество глыб. Левее от них располагаются точки пашни вследствие заметного снижения содержания ценной структуры и увеличения содержания глыб.

*Водоустойчивость агрегатов.* Характерным является резкое снижение водоустойчивости агрегатов пашни, причем на этом фоне практически исчезают водоустойчивые агрегаты крупнее 3 мм (табл. 3). Можно утверждать, что это является следствием потери органического вещества. Ведь в черноземе типичном содержание общего гумуса в верхнем слое 0–10 см снижается с 7,76 до 4,58, а в черноземе южном – с 4,39 до 3,22 % (Медведев, 2008). Отчетливо пониженная водоустойчивость агрегатов пашни по данным жесткого метода Саввинова несколько преувеличивается, так как при применении более мягкого способа подготовки образцов к мокрому просеиванию, когда минимизируется разрушительное действие заземленного воздуха, различия в водоустойчивости между целиной и пашней становятся менее контрастными. Причина этого – различное внутреннее строение агрегатов целины и пашни. Строение агрегата целины характеризуется наличием постоянных водотоков, укрепленных сильно развитой корневой системой и органическим веществом. Структурные отдельности пашни меньше пронизаны корнями и имеют нестабильное поровое пространство. Это различие существенно сказывается при жестких условиях просеивания, позволяя заземленному воздуху покидать агрегаты целины по сформировавшимся водотокам, не разрушая их. Менее прочные поры на пашне остаются неразрушенными только при медленном капиллярном насыщении агрегатов.

В орошаемых условиях либо под действием уплотняющего действия ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов формируются более водоустойчивые агрегаты, однако при длительном предварительном капиллярном насыщении влагой (по П. В. Вершинину, 1959) их водоустойчивость оказалась ложной (Медведев, 2008).

Таблица 3

## Структурно-агрегатный состав целинных и распаханых черноземов

Варианты	Глубина, см	Количество агрегатов при сухом просеивании (%) размером (мм)						Коэффициент структурности	Количество агрегатов при мокром просеивании (%)			Коэффициент водоустойчивости	
		Количество агрегатов при сухом просеивании (%) размером (мм)							>3	>1	>0,25		<0,25
		>10	10-0,25	>1	>0,25	<0,25							
Чернозем типичный	4-14	7	84	65	91	9	5,9	9	26	65	35	0,7	
	0-25	17	72*	61	89	11	2,5	1	10	46**	54	0,5	
Чернозем обыкновенный	4-14	9	77	50	86	14	3,3	4	11	41	59	0,5	
	0-25	15	66*	45	81	19	2,0	0	1	23**	77	0,2	
Чернозем южный	12-22	0	81	42	81	19	4,0	2	20	53	47	0,7	
	0-25	41	59**	85	100	0	1,4	0	1	24**	76	0,3	

\* Различия достоверны при уровне вероятности 0,90.

\*\* То же при уровне 0,95.

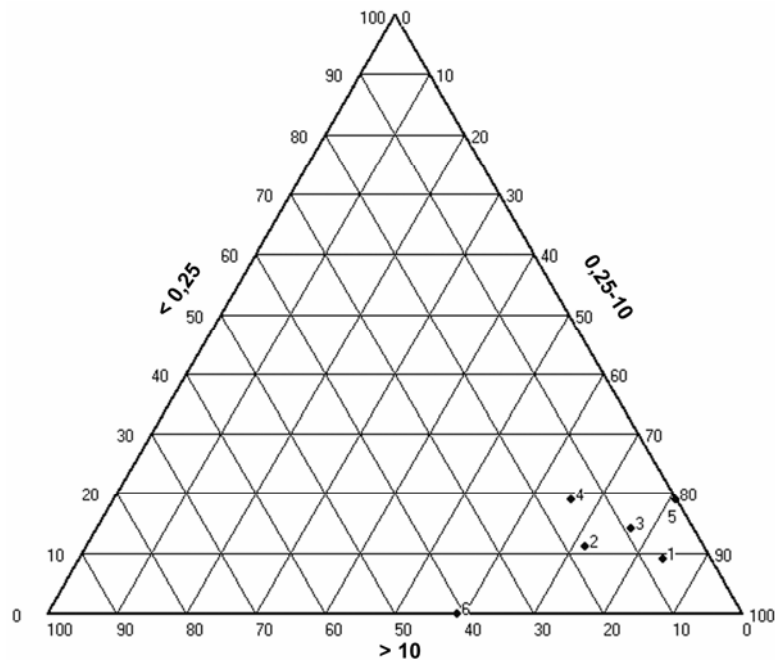


Рис. 1. Структурный состав (сухое просеивание, содержание в %, размер отдельных в мм) верхнего слоя черноземных почв: 1, 2 – соответственно целина и пашня чернозема типичного, 3, 4 – то же чернозема обыкновенного, 5, 6 – то же чернозема южного

Меж- и внутриагрегатная пористость почв и агрегатов. При распашке целины значительно изменяется соотношение основных компонентов сложения и дифференциальная пористость: возрастает межагрегатная пористость, снижается внутриагрегатная пористость, снижаются объем твердой фазы макроагрегатов и общий объем твердой фазы почвы (рис. 2).

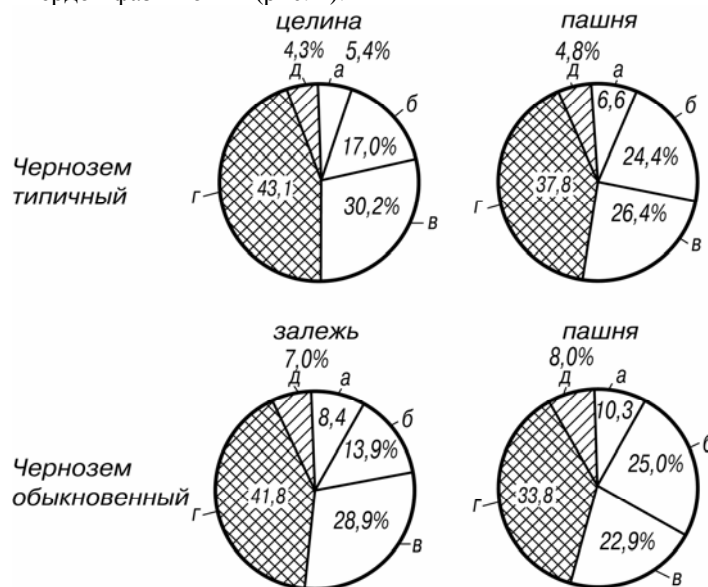


Рис. 2. Циклограммы сложения верхнего слоя целинных и распаханых черноземов: а – пористость микроагрегатов; б – пористость межагрегатная; в – пористость внутриагрегатная; а + б + в – общая пористость; г + д – твердая фаза почвы; г – твердая фаза агрегатов; д – твердая фаза микроагрегатов; а + д – объем микроагрегатов; в + г – объем макроагрегатов



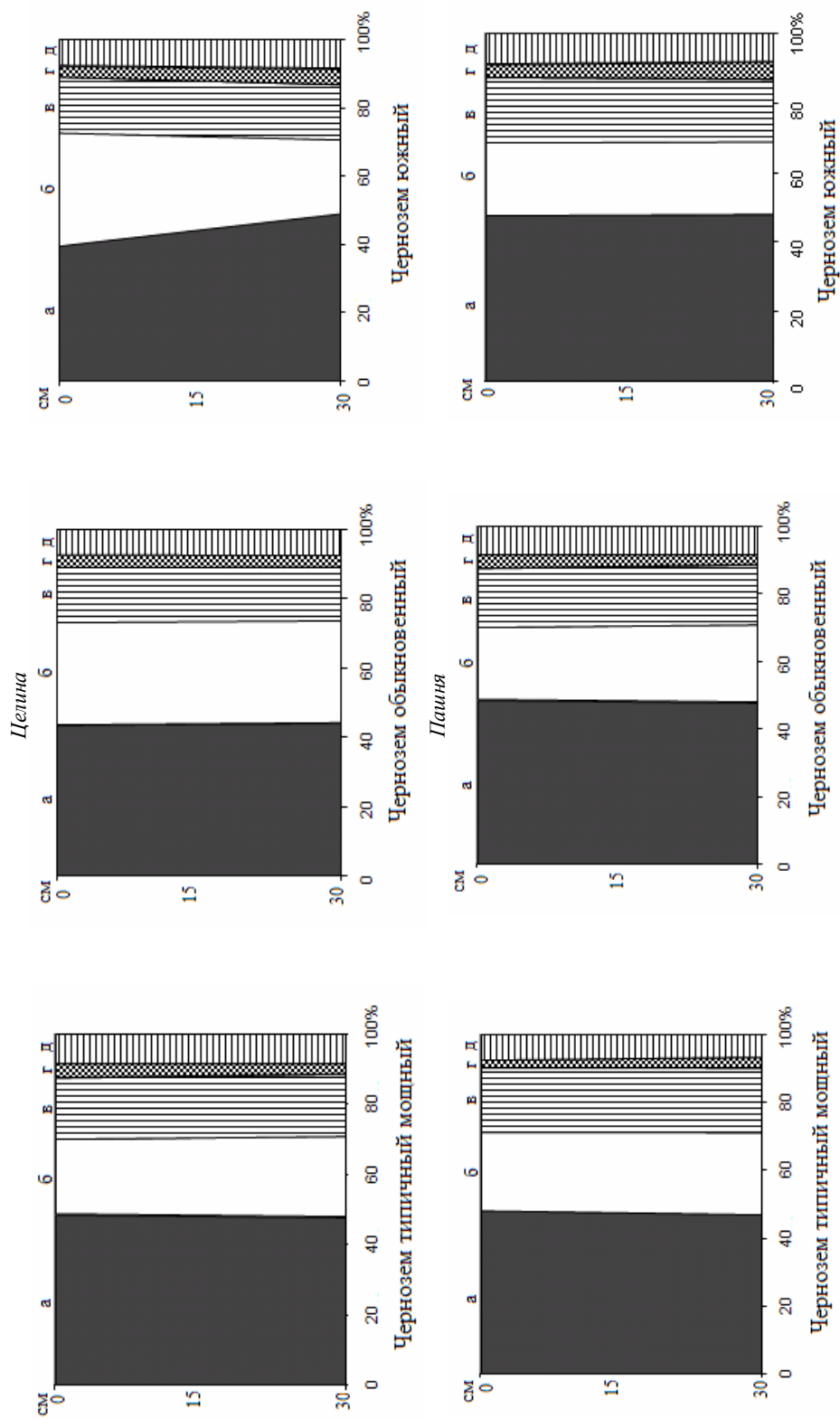


Рис. 3. Дифференциальная пористость целины и пашни в пахотном слое:

а – твердая фаза почвы, б – поры аэрации, в – капиллярная, г – рыхлосвязанная, д – прочносвязанная влага

Явственно различимы параметры дифференциальной пористости целины и пашни при их демонстрации с помощью способа Н. А. Качинского (рис. 3). При увлажнении, равном наименьшей влагоемкости (а именно при этом увлажнении построены диаграммы), пашня имеет значительно меньше пор аэрации и больше капиллярных пор. Казалось бы, хорошо, однако нужно иметь в виду, что такой уровень увлажнения в почве встречается очень непродолжительное время, только весной после снеготаяния либо после обильных дождей. Иначе говоря, преимущество пашни в дифференциальной пористости фактически лишь потенциальное, которое может быть реализовано при очень рациональной и продуманной агротехнике, минимизирующей физическое испарение, либо в условиях орошения.

**Водопроницаемость и водоудерживающая способность.** Сразу после обработки чернозем в максимально взрыхленном состоянии характеризуется высокой водопроницаемостью (среднее за 6 ч наблюдений 120–142 мм/ч); в состоянии равновесной плотности водопроницаемость снижается более чем в 2 раза (50–62 мм/ч). На целинных участках водопроницаемость относительно стабильна (65–93 мм/ч).

Водоудерживающую способность (с помощью применения последовательно усиливающегося отрицательного давления) почвенной влаги целинных и распаханых черноземов исследовали в интервале наиболее доступной влаги – от 4,9 до 78,4 кПа.

Учитывая, что метод, которым мы пользовались, в процессе отсасывания влаги приводил к нарушению естественного сложения почвы, работы проводили с образцами, подготовленными в лаборатории. Исследовали средний образец (растерт и просеян через сито с отверстиями размером 1 мм), макроагрегаты – размером 3 мм (отсеяны из почвы) и пылеватую фракцию (средний образец растерт и просеян через сито с отверстиями размером 0,25 мм). Полученные результаты представлены рис. 4 в виде влажностных кривых (зависимость содержания влаги от давления) и на рис. 5 в виде дифференциальной пористости (с расчетом диаметра пор по Жюрену).

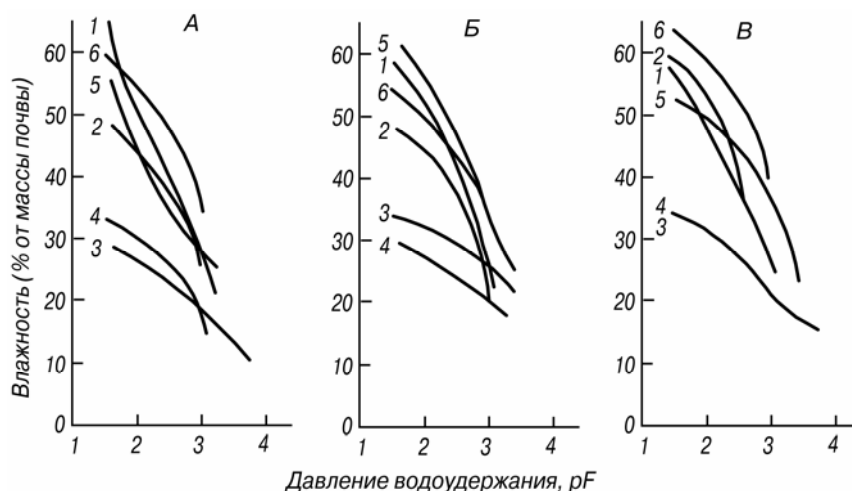


Рис. 4. Водоудерживающая способность агрегатных фракций черноземов типичного (А), обыкновенного (Б) и южного (В): 1 – почва целины; 2 – то же пашня; 3 – фракция макроагрегатов целины; 4 – то же, пашня; 5 – пыль целины; 6 – то же, пашня

В черноземе обыкновенном на залежи влажностные кривые для всех исследованных образцов располагаются выше соответствующих кривых пашни. Это свидетельствует о более высокой водоудерживающей способности у этой почвы залежи в рассматриваемом диапазоне давлений. Для чернозема типичного эта закономерность сохраняется только для образца «вся почва», а в черноземе южном, наоборот, водоудерживающая способность распаханых вариантов выше, чем

целинных. Полученные факты являются, видимо, следствием того, что взятые с пашни образцы чернозема типичного и, особенно, чернозема южного наименее механически устойчивы. При растирании образцов пашни у этих почв более заметно, чем у целинных черноземов, возрастало количество мелких микроагрегатов, водоудерживающая способность которых выше, чем у макроагрегатов.

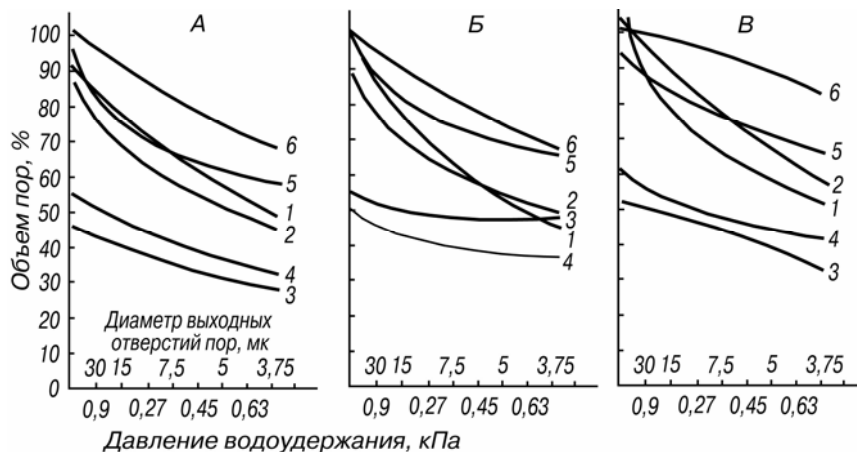


Рис. 5. Дифференциальная пористость агрегатных фракций черноземов типичного, обыкновенного и южного. Обозначения см. на рис. 4.

Весьма характерны различия в дифференциальной пористости исследованных образцов. Для всех почв около 90 % пор при плотности сложения, близкой к  $1,0 \text{ г/см}^3$ , имеют размеры менее 60 мк, из них около половины – за пределами определений (менее 3 мк). Для микроагрегатов такие же группы пор составляют соответственно около 95 и 60 %. Макроагрегаты резко отличаются по структуре порового пространства от указанных фракций. Значительная часть пор в них имеет размеры более 60 мк (около 50 %) и менее 3 мк (около 30 %) и лишь менее 20 % пор оказалось возможным дифференцировать в интервале давлений почвенной влаги от 4,9 до 78,4 кПа (промежуточные размеры между 60 и 3 мк). Иначе говоря, у макроагрегатов поровое пространство бимодального строения (преобладание пор двух размеров), у микроагрегатов – модального (преобладание одного размера пор).

Длительная распашка относительно более устойчивой к механическим воздействиям почвы (чернозем обыкновенный) увеличивает в макроагрегатах количество крупных и уменьшает количество мелких пор, т.е. приводит к усилению в такой почве потенциальной сухости макроагрегатов, а значит, ухудшает их агрономическую ценность. В черноземах типичном и южном влияние обработки на водно-воздушный режим сказывается более благоприятно.

Таким образом, длительная распашка черноземных почв изменяет их водоудерживающую способность в сравнении с целиной. Различия наиболее существенны в интервале низких давлений почвенной влаги. Если распашка сопровождается накоплением мелких агрегатов, потенциальная водоудерживающая способность пашни в сравнении с целиной резко возрастает, однако устойчивость этого запаса доступной влаги в почве невысока, при увеличении давления влаги ее содержание быстро падает. Поровое пространство длительно обрабатываемой пашни, видимо, может постепенно трансформироваться от бимодального к модальному строению, характеризующемуся преобладанием (при равновесной плотности) тонких пор.

*Гипотетические ареалы распространения физической деградации почв.* Исходя из сравнения структурного состава, плотности сложения и некоторых других свойств на целине и пашне, следует признать, что все старопашотные черноземные почвы следует считать деградированными. Для этого достаточно еще раз обратиться к табл. 3, чтобы убедиться, сколь существенны потери агрономически полезной

структуры и ее водоустойчивости на пашне по сравнению с целиной. Это значит, что такой вывод будет справедлив для всех черноземных почв Лесостепи и Степи страны, по крайней мере, для тех из них, которые находятся в пашне не менее 100 лет, ибо именно такого возраста пашня была объектом нашего исследования. Вместе с тем, сопоставив уровни оструктуренности на пашне с известными оценками (Кузнецова, 1979), можно утверждать, что структура старопашотного чернозема продолжает оставаться хорошей и удовлетворительной. Из этого следует два важных вывода: 1) физическая деградация, если учесть, кроме структуры и плотности, другие исследованные показатели, является объективно существующим фактом; 2) степень физической деградации, скорее всего, является слабой или средней. Последнее может относиться к случаю невысокой культуры земледелия в течение достаточно продолжительного времени, как это мы отметили в нашей работе (Медведев, 1988).

Важный диагностический признак физической деградации – неспособность почв восстановить присущие ей показатели структурного состава и плотности сложения в природных условиях. Правда, как показывают наши данные, когда объектом исследования было продолжительное содержание почвы в залежном состоянии, показатели структурности и плотности сложения все же могут восстанавливаться до целинного состояния, хотя и очень медленно. Для этого нужно не менее 15–25 лет, так как только за это время могут постепенно сформироваться характерные для целины процессы трансформации органического вещества и гумификации и разуплотниться консолидированные агрегаты. По этой причине совершенно очевидное состояние физической деградации, в котором пребывают современные старопашотные черноземные почвы, можно считать временным. В качестве доказательства того, что потенциальные возможности старопашотного чернозема к реанимации структуры сохраняются, служат результаты расчетов фактора дисперсности Н. А. Качинского, которые на целине и пашне практически одинаковы (Медведев, 1988).

Сегодня чрезвычайно актуальным является выявление ареалов предрасположенности почв к физической деградации – потере агрономически полезной структуры, проявлениям глыбистости, переуплотнения (рис. 6, 7) – и применение именно здесь наиболее эффективных профилактических мер.

Таблица 4

**Распределение пахотных почв по содержанию макроагрегатов крупнее 10,0 мм (глыбистость)**

Оценка возможной глыбистости	Содержание фракции, %	Площадь почв	
		%	млн. га
Очень низкая	<10	5,9	1,8
Низкая	11-30	71,7	21,5
Средняя	31-50	11,0	3,3
Высокая	51-70	1,1	0,3
Бесструктурные почвы	–	9,6	2,9
Нет данных	–	0,8	0,2

Таблица 5

**Площади почв с различными возможными условиями переуплотнения при обработке**

Опасность переуплотнения почв	Площадь пашни	
	%	млн. га
Отсутствует	2,9	0,9
Слабо выражена	12,2	3,7
Умеренная	9,3	2,8
Сильно выражена	57,3	17,2
Чрезвычайно высокая	15,5	4,7
Нет данных	2,7	0,8

Наиболее важно выявить среди старопашотных почв средне- и сильнодеградированные, потому что как раз такие почвы не выгодно использовать в пашне (Сайко, 2000; Новаковский, 2000; Медведев, 2007). Решение этой задачи станет возможным, если наблюдения за физическими свойствами войдут в

программу мониторинга почв или хотя бы в программу агрохимической паспортизации. Нужно всего лишь 1 раз в 5 лет определить структурно-агрегатный состав и плотность сложения в равновесном состоянии (Медведев, 2002).

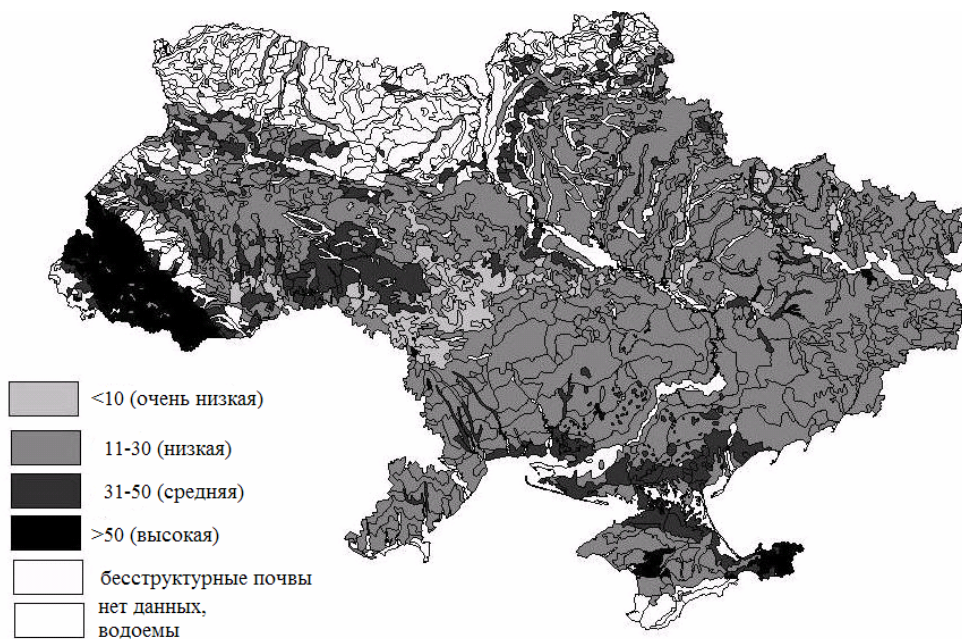


Рис. 6. Предрасположенность почв образовывать глыбы при основной плужной обработке, %

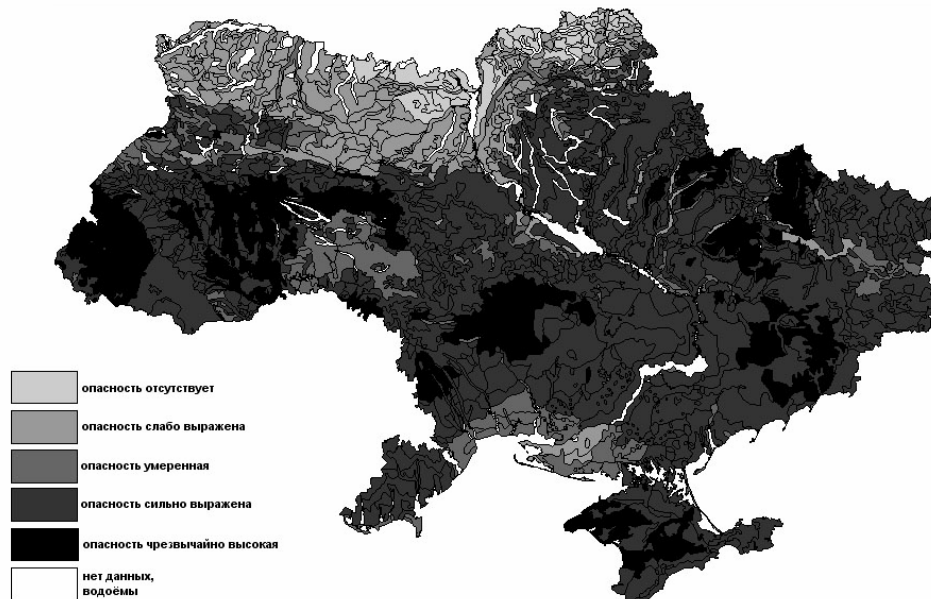


Рис. 7. Прогноз переуплотнения почв при обработке

*Технические средства и технологии, содействующие и противостоящие деградации.* Как ясно из изложенного, наиболее радикальный метод преодоления физической деградации – вывести часть земель из пашни под залужение и оставить ее в залежном состоянии на достаточно длительный срок. Не менее эффективна

минимизация технологий возделывания культур, которая должна включать обязательное использование маршрутизации движения всех машинно-тракторных средств по полям, исключая лишние ее проходы при обработке, проведении уборочно-транспортных работ, внесении органических и минеральных удобрений. Минимизация должна соблюдаться в отношении удельного давления ходовых систем машин (точнее, их давление не должно превышать национального стандарта – 4521:2006. В. Г. Євтенко, 2007), а также рабочих почвообрабатывающих органов. Последние должны проектироваться с учетом суммарной величины сопротивления сдвигу, внутреннему трению и сцеплению агрегатов агрономически полезного размера. При этом угол атаки рабочего органа и число рабочих поверхностей на нем должно по возможности снижаться. При этом гарантируется сохранение структурного состояния и устраняется возможность наиболее грубой деформации почвы по типу смятия-раздавливания, после которой восстановление исходных присущих данной почве параметров структуры замедляется либо становится невозможным (Медведев, 2007). К сожалению, вследствие непопулярности физико-механических исследований почв названные параметры остаются почти неизвестными для большинства пахотных почв страны. Однако, признавая важность преодоления физической деградации, мы должны планировать такого рода измерения. Более того, без знания этих же параметров невозможно рациональное конструирование агроландшафтов в целях защиты почв от эрозии. В США для внедрения наиболее совершенной системы моделирования эрозионных процессов WEPP (Water Erosion Predicting Project), в которой оценка эрозионной опасности устанавливается на основе изучения силовых взаимодействий в системе «внешнее воздействие – связность почвенного агрегата», пришлось создать несколько десятков физико-механических лабораторий. Только после этого была получена корректная оценка эрозионной опасности и в соответствии с ней выделены инвестиции для внедрения противозерозионных мероприятий.

Наконец, для сохранения физических свойств почв все виды обработок должны осуществляться при физической спелости почв. Диапазон влажности, при котором почва пребывает в мягкопластичном состоянии, достаточно широк, и время, при котором почва может сохранять такое состояние, позволяет произвести все виды обработок в благоприятном интервале крошения. Это способствует качественной разделке почвы без ее разрушения и минимизирует затраты (Медведев, 2007).

Не менее важно исключить многооперационные технологии, основанные на применении отдельных операций обработки, посева, внесения химических средств. Предпочтение нужно отдать комбинированным машинам с допустимым удельным давлением на почву, и комбинированной системе обработки, предусматривающей максимально возможное включение минимальных по числу и глубине способов обработки. Особого внимания заслуживают точные и нулевые технологии, почвозащитная сторона которых совершенно очевидна (Медведев, 2007, 2009, 2010). Нужно также привести структуру севооборотов в соответствие с зональными рекомендациями, использовать все имеющиеся способы пополнения почвы органическим веществом.

В заключение сделаем несколько важных замечаний, касающихся преодоления деградации пахотных почв страны.

Почвенный покров Украины на 60 % состоит из черноземов – уникальных тел природы по своему строению, свойствам и потенциальному плодородию. Эти почвы отличает сверхглубокий (более 1 м) гумусированный слой, прекрасно выраженная структура, почти идеальная плотность сложения, хороший и умеренный запас питательных элементов. Однако такие образцовые объекты сохранились лишь в целинных условиях. Оказалось, что лучшая в мире почва («царь почв» по В. В. Докучаеву) очень уязвима к антропогенному вмешательству и под влиянием особенно интенсивного вмешательства способна превратиться в выпаханную деградированную почву. На такой почве трудно реализовать потенциал

продуктивности (а это более 60 млн тонн зерна) и почти невозможно поддерживать комфортные экологические условия.

Почвы Украины достаточно хорошо изучены, однако это не стало препятствием для интенсивного развития процессов деградации. Около трети пашни эродировано, потеряно около четверти органического вещества, почти вся пашня в подпахотном слое переуплотнена, заметно снижаются запасы питательных веществ, многочисленные проблемы обнаруживаются на мелиорированных землях.

Главные причины неблагополучия – недооценка реальной угрозы, которую формирует деградация почв для настоящего и особенно будущих поколений, отсутствие действенных механизмов выполнения законов об охране почв, несбалансированное и научно необоснованное землепользование. Приходится констатировать, что деградация является очень сложной проблемой. Нужна переориентация всех слоев общества на решение этой проблемы, широкая просветительская деятельность и активная пропаганда знаний, гармонизация между наукой, властью и гражданским обществом, постепенное формирование нового отношения к почве.

Деградация почв характерна для стран с высокоинтенсивным земледелием. Деградация проявляется в дегумификации, обесструктурировании, переуплотнении, эрозии, подкислении, вторичном осолонцевании, засолении, и других негативных процессах, которые значительно ухудшают агрономические свойства почв, их продуктивность и, кроме того, приводят к экологически неблагоприятным следствиям (загрязнение водохранилищ, рек, сельскохозяйственной продукции).

Главная причина обострения проблемы в Украине – приостановка (фактически с 1991 г.) действия государственной и областных программ охраны земель. По основным параметрам программ к концу 80-х гг. были достигнуты весомые результаты. Однако в последующие годы объемы работ по повышению плодородия почв уменьшились до минимальных величин. Не осуществляются агролесомелиоративные меры, значительно уменьшились объемы применения минеральных и органических удобрений, немало земель не обрабатывается, засорено и вообще заброшено. Как следствие, усилилась эрозия, снизилось содержание питательных веществ, почвы стали кислее, ухудшились физические свойства.

К сожалению, проблеме мониторинга состояния почв в Украине не уделяется нужного внимания. Это относится к научной сфере, где из-за недостаточного финансирования не ведутся полноценные исследования распространения, причин возникновения и путей устранения деградации. Это же относится к законодательной и исполнительной власти, где не разработаны действенные механизмы исполнения почвозащитных законов. Вообще в обществе нет атмосферы максимального содействия сохранению почвенного покрова как незаменимого национального достояния. Средства массовой информации и просветительские учреждения безразличны к этой проблеме.

Украина имеет амбиции стать ведущей аграрной страной с большим экспортным потенциалом сельскохозяйственной продукции. И для этого есть немало благоприятных предпосылок, но перед этим нужно решить ряд проблем.

Чрезмерное расширение пашни, в том числе на малопродуктивных, деградированных и пойменных почвах, допущенное в прошлые годы, привело к нарушению экологически сбалансированного соотношения сельскохозяйственных угодий, лесов и водохранилищ и обусловило неблагоприятные следствия техногенной нагрузки на экосферу.

Экологизация образования в почвоведении позволит по-новому взглянуть на вопросы деградации почв. Ведь деградация есть следствие, прежде всего избыточной агрономизации (освоенности) земельных ресурсов. В природных условиях почва, как правило, находится в равновесном состоянии, она устойчива в течение достаточно длительного времени, по крайней мере, до того, пока не меняются факторы почвообразования. В природных условиях почва как тело природы обладает значительным потенциалом устойчивости, способностью к саморегуляции, поддержанию основных своих параметров и свойств во времени. При сельскохозяйственном использовании почва попадает в неравновесное состояние, ибо

баланс биофильных элементов обычно дефицитен, почва подвержена эрозии, загрязнению и другим деградациям (обесструктуриванию, переуплотнению и др.). При достаточно длительном неравновесном состоянии изменения приобретают необратимый характер, и почва трансформируется в антропогенно преобразованное деградированное тело. При этом продуктивная и экологическая функции нарушаются. Это общие законы эволюции освоенных почв независимо от зоны и социального устройства страны.

Деградация – почти неизбежный спутник человечества на протяжении многих веков его развития. Различия в этом процессе, конечно, есть и зависят они, главным образом, от уровня развития общества, понимания им закономерностей формирования почв, экономического состояния. Деградацию почв нужно рассматривать как результат неблагоприятного состояния общества, негармонизированных связей между разными его слоями, как результат недостаточных знаний и неумения организовать соответствующую работу.

Украина имеет выбор: идти по пути Латинской Америки или Африки, где плодородие почв низко и практически отсутствуют какие-либо программы по его повышению, либо по пути Западной Европы и Северной Америки, где имеется высокая культура управления земельными ресурсами, принимаются необходимые меры, предупреждающие деградацию. Ответ, полагаем, очевиден. Нужны лишь последовательные, согласованные, систематические действия власти и всех слоев общества. Что нужно сделать? Главное здесь следующее на ближайшие годы:

- понизить распаханность и приостановить деградацию;
- добиться хотя бы простого воспроизводства плодородия почв;
- минимизировать (нормировать) механические и химические воздействия.

Эти меры, несомненно, повысят экологическую устойчивость почвенного покрова, повысят его продуктивность. Они составят основу новой системы управления земельными ресурсами.

Реализация любых объективных механизмов контроля состояния почв должна найти поддержку в обществе. Для этого нужно повысить рейтинг проблемы защиты и воспроизводства почв в обществе. Необходимо, чтобы государство имплементировало стратегию сбалансированного землепользования, довело ее до каждой области, района, сельхозпредприятия, отыскало средства для финансирования (за счет земельного налога и за счет средств землепользователей). Такая стратегия должна стать базой для отработки и внедрения мероприятий сохранения уникального почвенного покрова, который имеет Украина. Действия государственных органов власти сверху вниз нужно подчинить выполнению стратегии. Этому же должна содействовать деятельность политической элиты общества, высшего, среднего и нижнего звеньев руководства.

В условиях частной собственности на землю значительно возрастает роль общественной поддержки, которая обеспечивается за счет участия организаций, союзов, средств массовой информации. Общественные организации (научные общества, союзы товаропроизводителей, разные фонды экологического, правового и других направлений) как атрибут гражданского демократического общества практически не влияют на решение вопросов рационального использования и сохранения почвенного покрова как важнейшего национального достояния Украины. Их значительный потенциал требуется использовать.

## **ВЫВОДЫ**

Физическая деградация – это диспергация (разрушение) органо-минеральных связей, ухудшение агрегирующей способности, снижение водоустойчивости, механической прочности и ухудшение порового пространства агрегатов, образование корки и глыбистости на поверхности, переуплотнение более глубоких слоев, ухудшение водно-воздушного режима.

Объективным диагностическим признаком физической деградации является потеря почвой способности восстанавливать присущие ей модальные характеристики



структурного состава и плотности сложения в природном состоянии. Несмотря на широкое распространение физически деградированных почв их деградация является временной, ибо при длительном содержании почв в режиме залежи физические свойства, характерные для почв в природном состоянии, восстанавливаются. Об этом же свидетельствуют практически одинаковые для целины и пашни факторы дисперсности почв по Н. А. Качинскому, с помощью которых, как известно, оценивают потенциальные возможности почв к образованию структуры.

Эффективным профилактическим средством, противостоящим физической деградации, является минимизация механического воздействия на почву и приведение его в соответствии с допустимым давлением на почву машинно-тракторных агрегатов и прочностью (структурной связностью) агрегата агрономически полезного размера.

Для преодоления физической деградации пашни страны нужна активизация почвозащитных функций систем земледелия (прежде всего, обработки, севооборотов и удобрений), а также усилий всего общества.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

**Березин П. М.** Физическая деградация почв / П.М. Березин, И.И. Гудима // Деградация и охрана почв. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – С. 168-196.

**Вершинин П. В.** Твердая фаза почвы как основа ее физического режима / П. В. Вершинин // Основы агрофизики. – М. : Гос. изд. физико-математической литературы, 1959. – С. 209-404.

**Деградация** и охрана почв / Под ред. Г. В. Добровольского. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

**Євгенко В.** Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт ДСТУ 4521:2006 / В. Євгенко, Т. Ліндіна, В. Медведєв, В. Цибулько. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 4 с.

**Кузнецова И. В.** О некоторых критериях оценки физических свойств почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1979. – № 3. – С. 48-57.

**Лактіонова Т. М.** Структура та порядок використання бази даних «Властивості ґрунтів України» (Інструкція) / Т. М. Лактіонова, В. В. Медведєв, К. В. Савченко та ін. – Х. : Апостроф, 2010. – 96 с.

**Медведєв В. В.** Мониторинг почв Украины (Концепция, предварительные итоги, задачи) / В. В. Медведєв. – Х. : Антиква, 2002. – 428 с.

**Медведєв В. В.** Нульовий обробіток в європейських країнах / В. В. Медведєв. – Х. : ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 202 с.

**Медведєв В. В.** Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведєв. – М. : ВО «Агропромиздат», 1988. – 160 с.

**Медведєв В. В.** Структура почвы. Методы. Генезис. Классификация. Эволюция. География. Мониторинг. Охрана / В. В. Медведєв. – Х. : Городская типография, 2008. – 406 с.

**Медведєв В. В.** Физические свойства и глубина залегания плужной подошвы в разных типах почв / В. В. Медведєв // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1487-1495.

**Медведєв В. В.** Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины / В. В. Медведєв, Т. Н. Лактіонова. – Х. : Изд-во 13 типография, 2007. – 395 с.

**Медведєв В. В.** Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты / В. В. Медведєв, Т. Е. Лындина, Т. Н. Лактіонова. – Х. : Городская типография, 2004. – 244 с.

**Медведєв В. В.** Влияние орошения на изменение физических и физико-механических свойств черноземных почв / В. В. Медведєв, В. Г. Цибулько // Мелиорация почв Русской равнины. – М. : Наука, 1982. – С. 81-87.

**Новаковський Л. Я.** Консервація деградованих і малопродуктивних земель України / Л. Я. Новаковський, А. П. Канаш, В. О. Леонєць // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 11. – С. 54-59.

Переуплотнение пахотных почв (причины, следствия, пути уменьшения) / Под ред. чл.-кор. АН СССР В. А. Ковды. – М. : Наука, 1987. – 216 с.

**Сайко В. Ф.** Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їх раціональне використання. Методичні рекомендації / В. Ф. Сайко, В. В. Медведєв і ін. – К. : Аграрна наука, 2000. – 38 с.

**Bryk M.** Indices of shape in the classification of soil structure // Polish Journal of Soil Science. – 2004. – V. 37, no. 1. – 1-10.

**Bryk M., Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B.** Wplyw systemu uprawy na zawartosc wengla organicznego w glebie. Ann. UMCS.E. – 2004. – 59,1, 345-352.

**Bryk M., Slowinska-Jurkewicz A., Medvedev V.V.** – 2012.

Guidelines for General Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation (Ed. By L.R.Oldeman. Int. Soil Reference and Inf. Centre. Wageningen. April. – 1988. № 8814. – 12 p.

**Horn R., Fleige H.** Prediction of the mechanical strength and ecological properties of subsoils for a sustainable landuse. Proc. of the workshop “ Experiences with the impact of subsoil compaction. Uppsala. Sweden. 2000. – P. 109-121.

**Lynden G.W.J. van.** Guidelines for the Assessment of Soil Degradation in Central and Eastern Europe (SOVEUR Project). Revised edition, 1997. ISRIC.Wageningen. – P. 22.

**Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B., Bryk M.** Wplyw zabiegow agrotecnicznych na structure gleby pylowey – ocena morfometryczna macroporow. Ann. UMCS.E. – 2004, 59,1, 329-335.

*Надійшла до редколегії 12.04.12*