

---

# THEORETICAL ISSUES OF MODERN SOIL SCIENCE

---

---

УДК 631.4

**В. В. Медведев, академик НААНУ, д-р биол. наук, проф.**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии  
им. А. Н. Соколовского», г. Харьков, Украина, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

## **ВРЕМЕННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕТЕРОГЕНИЗАЦИЯ РАСПАХИВАЕМЫХ ПОЧВ**

**V. V. Medvedev, Academician of NAASU, Dr. Sci. (Biol.), Professor**

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute for Soil Science  
and Agrochemistry», Kharkov, Ukraine, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

### **TIME AND SPATIAL HETEROGENIZATION OF SOIL PLOUGHED UP**

In the article the term «heterogenization» is used for a designation of increase of time and spatial heterogeneity (anisotropism) during long soil tillage. Heterogeneity is a consequence of diversity of bedrocks, their non-uniform rock breaking, various forms of a relief and mesorelief, redistributing in space of substances and energy, various lateral and the vertical migratory processes strengthening differentiation of textural elements, density, properties and modes. Except for listed, the considerable contribution to differentiation is brought agricultural machinery, agrotechnologies, reclamation. As a result of the described processes (natural and anthropogenous) it is formed original mosaic of genetic horizons, certainly, in the greatest measure characteristic for superficial layers. The materials received as a result of comparative researches of properties of virgin and ploughed up chernozems typical, ordinary and southern, and also results of studying of soil spatial heterogeneity to Polesye, Forest-steppes and Steppes of Ukraine by imposing on fields of a regular grid of elementary allotments are used.

A microstructure (including, in thin section made in horizontal and vertical directions), and also texture, structure composition and the basic water-physical properties are investigated.

Heterogeneity is inherent in soil already in an initial virgin condition because of anisotropism of textural elements, aggregates, properties and modes. Owing to various speeds of movement of moisture and solutions depending on a vector and in pores of the various size, a configuration and extent arise different directions of movements of thindispersed weights. Growth of roots, activity of microfauna, and also the disorder volumetric changes of a body of soil during humidifying/drying, freezing/defrostation, compaction/decompaction promote development of heterogeneity.

Tillage, influencing aggregates and pores, strengthens soil anisotropism and as a whole reduces stability of bulk density in time, especially in soils with initially lowered mechanical durability of structure.

Long tillage forms specific horizontal and vertical structures on a soil allotment. For a horizontal structure increase of equilibrium density in the lowered elements of a relief and at edges of fields is characteristic. For a vertical structure – accumulation of density in underarable layer (plow pan) and its gradual promotion in depth of root layer. Modern processes claying, lessive and podsolised also promote of heterogeneity.

In soil ploughed up, mainly, due to anisotropism of structure and pore spaces heterogeneity is capable to be supported and amplify in time. The relief is that reason which supports heterogeneity of

a field in a horizontal direction and counteracts alignment of its fertility at tillage and application of fertilizers.

Increase of heterogeneity of soil ploughed up in time is the favorable precondition for development of precise agriculture, that is, differentiations, mainly, of fertilizers application, ways and intensity of tillage depending on soil properties in various parts of ground allotments.

Thus, for a long time the processable soil under action of agricultural use becomes polygenetic formation in which alongside with natural factors active participation accepts the anthropogenous factor.

*Keywords: heterogeneity, vertical and horizontal profiles, influence of soil formation and anthropogenous processes.*

**В. В. Медведев, академик НААНУ, д-р биол. наук, проф.**

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского», г. Харьков, Украина, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

## **ВРЕМЕННАЯ И ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ГЕТЕРОГЕНИЗАЦИЯ РАСПАХИВАЕМЫХ ПОЧВ**

Продолжительное распахивание почв усиливает (по сравнению с целиной) временную и пространственную гетерогенизацию (анизотропность, неоднородность) почв. Она проявляется в формировании анизотропных структур и, как следствие, анизотропного строения со специфическим горизонтальным и вертикальным профилями. Для горизонтального профиля характерно повышение равновесной плотности в пониженных элементах рельефа и на краях полей. Для вертикального профиля – аккумулялирование плотности в подпахотном слое и постепенное ее продвижение в глубину профиля почвы. Релаксация не устраняет неоднородности строения. Процессы оглинивания, лессиважа и оподзоливания также усиливают пространственную неоднородность. Рост неоднородности распахиваемых почв во времени является благоприятной предпосылкой для развития точного земледелия.

*Ключевые слова: неоднородность, вертикальный и горизонтальный профили, влияние почвообразовательных и антропогенных процессов.*

**В. В. Медведєв, академік НААНУ, д-р біол. наук, проф.**

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського», e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

## **ЧАСОВА ТА ПРОСТОРОВА ГЕТЕРОГЕНІЗАЦІЯ ОРНИХ ҐРУНТІВ**

Тривала оранка ґрунтів посилює (у порівнянні із цілиною) часову та просторову гетерогенізацію (анізотропність, неоднорідність) ґрунтів. Це проявляється у формуванні анізотропних структур і, як наслідок, анізотропної будови зі специфічним горизонтальним і вертикальним профілями. Для горизонтального профілю характерне підвищення рівноважної щільності в знижених елементах рельєфу й на краях полів. Для вертикального профілю – акумулювання щільності в підорному шарі й поступове її просування вглиб ґрунту. Релаксація не усуває неоднорідності будови. Процеси оглинювання, лесиважу й опідзолення також підсилюють просторову неоднорідність. Зростання неоднорідності орних ґрунтів з часом є сприятливою передумовою для розвитку точного землеробства.

*Ключові слова: неоднорідність, вертикальний і горизонтальний профілі, вплив ґрунтоутворних і антропогенних процесів.*

Применительно к почвоведению «geteros» (от греческого «другой») обозначает неоднородность почвенного покрова, которая имеет характерные временные и пространственные особенности. В контексте статьи термин «гетерогенизация» используется для обозначения возрастания временной и пространственной неоднородности в процессе длительного распахивания почв. Гетерогенность присуща почве уже в исходном целинном состоянии вследствие анизотропности ее вещественного состава, свойств и режимов. Как увидим далее, анизотропны сама

основа почвы, ее гранулометрические элементы – песок, пыль и глина, порой очень разнородны их соотношения в вертикальном и горизонтальном направлениях, образуя специфические профили, различаются в зависимости от вектора их режимы, обменные и миграционные процессы. Неоднородности и различиям в вертикальном и горизонтальном направлениях содействует поровое пространство, которое никогда не бывает изотропным.

Внутри любого генетического горизонта действуют факторы, содействующие дифференциации гранулометрических элементов, свойств и режимов. Среди причин можно указать на различную интенсивность почвообразовательного процесса по вертикали и по горизонтали. Как известно, последнее явление вызывается хотя бы в силу действия закона Дарси. Именно благодаря различным скоростям движения влаги и растворов в зависимости от вектора и в порах различного размера, конфигурации и протяженности возникают разнонаправленные движения тонкодисперсной массы. Рост корней, деятельность микрофауны, а также неупорядоченные объемные изменения тела почвы в процессе увлажнения/высушивания, замерзания/размерзания, уплотнения/разуплотнения усиливают пространственную дифференциацию.

Стоит также упомянуть о силовых воздействиях воды и ветра, вызывающих деформацию и перемещение частиц, микро- и даже макроагрегатов, постоянных перемещениях почв при обработке почв склонов (техническая эрозия), в процессе геоэкоаномалий (оползнях, просадках, селях) и прочих явлениях.

В результате описанных процессов (природных и антропогенных) формируется своеобразная мозаичность генетических горизонтов, разумеется, в наибольшей мере характерная для поверхностных слоев.

Неоднородность также является следствием пестроты подстилающих пород, неравномерного их выветривания, различных форм рельефа и мезорельефа, перераспределяющих в пространстве вещества и энергию, разнообразных латеральных и вертикальных миграционных процессов, усиливающих дифференциацию гранулометрических элементов, сложения, свойств и режимов. Кроме перечисленного, немалый вклад в дифференциацию вносят сельскохозяйственная техника, агротехнологии, мелиорации. Следствием антропогенных воздействий может быть оглинивание, усиление нисходящего перемещения тонкодисперсных элементов. Пространственная дифференциация бывает следствием причин в прошлом (реликтовая дифференциация) или причин, активно действующих сегодня (рецентная дифференциация). Кажется, наличие пространственной дифференциации в почвенном покрове или в почвенном профиле – очевидное доказательство неустойчивости почв под действием природных и антропогенных причин, нарушений в естественном ходе почвообразовательных процессов. Как видим, причин дифференциации множество. В то же время ее следствия не столь разнообразны. Главное из них – усиление варибельности свойств и режимов в вертикальном и горизонтальном направлениях, что, конечно же, должно быть учтено в генетических, агрономических и экологических целях. Мы уверены, что пространственная дифференциация должна стать обязательным объектом исследований, ибо ее решающее влияние на почву, свойства и процессы, и в равной мере, на земледельческие технологии очевидно.

Закономерности неоднородности почвенного покрова лучше изучены на макроуровне (глобальном, континентальном, зональном, провинциальном, ландшафтном) и хуже – на уровне земельной делянки, то есть, там, где изменения факторов почвообразования не столь заметны. В то же время наличие неоднородности на этом уровне чрезвычайно важно, так как обуславливает развитие нового направления – точного земледелия, эффективного как в экономическом, так и в природоохранном аспектах.

В статье будет рассмотрена неоднородность почв в условиях целины и пашни и приведены аргументы в пользу возрастания гетерогенизации морфологического строения и свойств почв в условиях длительной распашки. Последнее означает, что точное земледелие является перспективным направлением в сельскохозяйственном использовании почв и его актуальность со временем возрастет.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В статье использованы материалы лаборатории геоэкофизики почв ННЦ «ИПА им. А.Н. Соколовского», полученные в результате длительных сравнительных исследований свойств целинных и распаханых преимущественно черноземов типичных, обыкновенных и южных, а также результаты изучения пространственной неоднородности земельных участков в Полесье, Лесостепи и Степи Украины.

Исследованы микростроение (в том числе, в шлифах, изготовленных в горизонтальном и вертикальном направлениях), а также гранулометрический, структурно-агрегатный составы и основные водно-физические свойства. Подробнее объекты и методы исследования изложены в наших работах (Медведев, 1988, 2004, 2007, 2008, 2009).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Неоднородность гранулометрических элементов.** Наличие пространственной дифференциации гранулометрических элементов в отдельном горизонте хорошо диагностируется в прозрачных ориентированных шлифах с использованием поляризационного микроскопа. Верхние генетические горизонты почвы, в которой присутствуют нисходящие процессы перемещения тонкодисперсных частиц, обычно имеют свободные от неагрегированных частиц поры, а поверхности первичных минералов в них «отмыты» от пелитовых продуктов. Глубже по профилю, в иллювирированных горизонтах появляются следы грубых форм ориентированной глины в виде натеков на стенках пор и поверхностях агрегатов. Чем больше в данном горизонте выражены процессы аккумуляции (иллювирирования) тонкодисперсных частиц. В то же время наличие в горизонте слабо развитых форм ориентированной глины (полоски, «искорки» и др.) свидетельствует лишь об активизации тонкодисперсной части почвы, но отнюдь не о ее перемещении. Именно такие формы ориентированной глины свидетельствуют о метаморфизации (преобразовании) почвенного материала на месте.

Скоагулированная плазма из округлых многопорядковых агрегатов обычно прочно закреплена и лишена каких либо признаков подвижности.

Количественной мерой пространственной дифференциации могут служить данные исследования содержания физической глины в черноземе типичном, полученные в 45 точках опробования на поле размером 50 га. Точки опробования были приурочены к узлам взаимно пересекающихся маршрутов, равномерно проложенных на поле. Результаты этого исследования подробно отражены в табл. 1 и на рис. 1.

Как видно из таблицы и рисунка, несмотря на умеренные показатели варибельности, почти нормальный характер пространственного распределения показателей в выборке и небольшие показатели асимметрии, пространственная неоднородность физической глины очевидна. Она доказывается достоверным отклонением автокорреляционной функции от нуля, наличием ясно выраженных пиков на спектральной плотности дисперсии, а также достаточно пестрыми 2-D- и 3-D – диаграммами.

Представляет интерес совмещение вариограмм разных свойств (рис. 2). Напомним, что такое совмещение показывает, насколько похожи или различны в пространстве характеристики неоднородности. Этот анализ лишней раз подчеркивает,

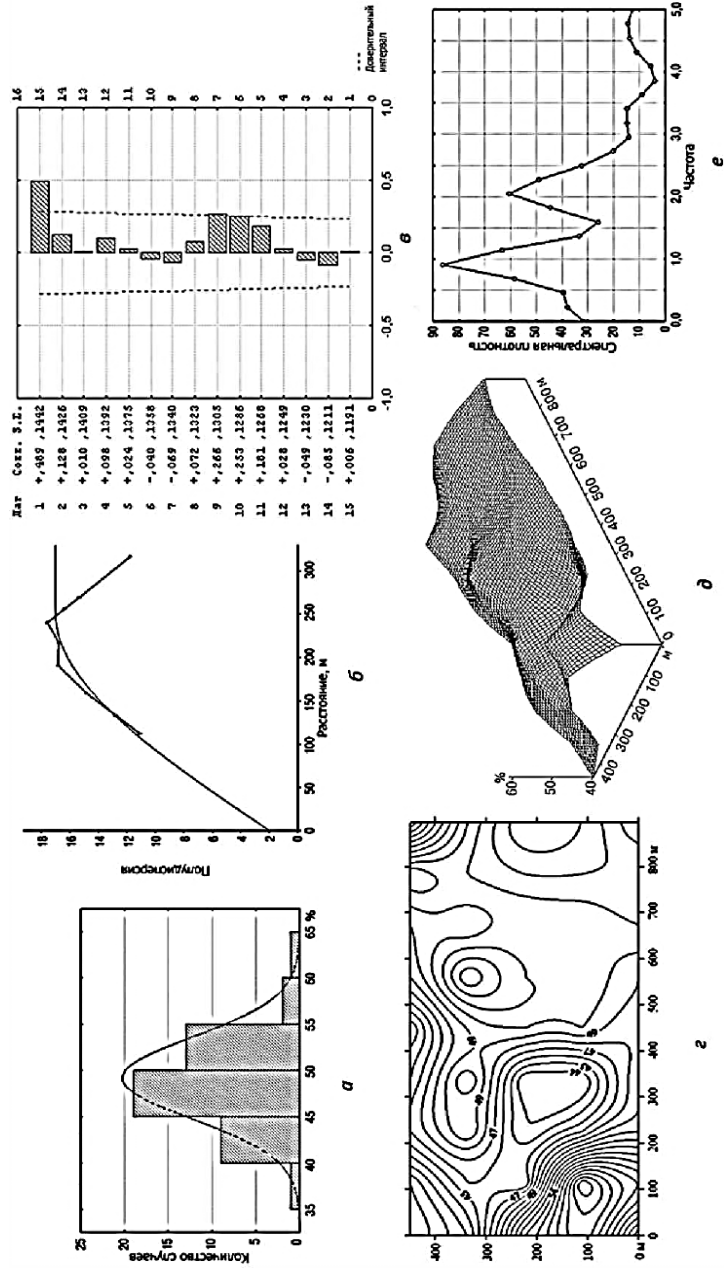


Рис. 1. Пространственные геостатистические оценки физической глины в черноземе типичном:  
*a* – гистограмма распределения значений; *b* – экспериментальная и аппроксимированная вариограмма;  
*c* – автокорреляционная функция (Covt – коэффициент корреляции; SE – стандартная ошибка;  
 Лаг – нормированное расстояние между точками опробования); *d* – 2-D-диаграмма;  
*e* – спектральная плотность дисперсии;  
*жс* – площади контуров с различными значениями показателей

Содержание физической глины, %	Площадь	
	%	га
40–44	6,62	2,66
44–48	23,94	9,61
48–52	53,29	21,39
52–56	11,54	4,63
56–60	4,42	1,77
60–64	0,18	0,07

что между различными показателями имеется определенная синхронность их изменения в пространстве, и она действительно в значительной мере управляется гранулометрическим составом.

Таблица 1

Статистические и геостатистические оценки пространственного распределения физической глины в черноземе типичном

Статистические и геостатистические оценки, единицы измерения	Параметры
Размах колебаний, %	21
Полусумма крайних значений, %	50,5
Минимальное значение, %	40,0
Верхний квартиль, %	46,0
Медиана, %	50,0
Нижний квартиль, %	51,0
Максимальное значение, %	61,0
Среднее значение, %	49,2
Стандартное отклонение	4,39
Дисперсия	19,3
Коэффициент вариации	0,089
Коэффициент асимметрии	0,113
Наггет-эффект	2
Порог дисперсии	16
Радиус корреляции, м	240

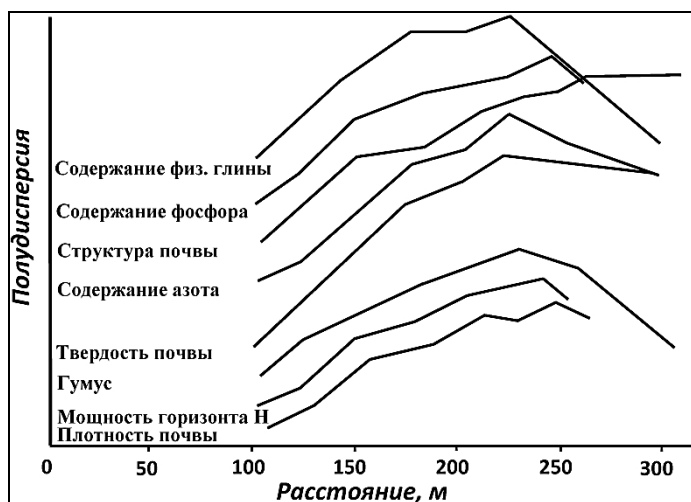


Рис. 2. Ковариограммы пространственного распределения полудисперсии физической глины с другими свойствами почв

**Оглинивание** – вероятно, начальная стадия формирования неоднородности почв под действием обработки. Одним из первых на возможность оглинивания в черноземах (генетически недифференцированных почвах) под действием длительного сельскохозяйственного использования обратил внимание И. А. Крупеников (1978), в дальнейшем существование оглинивания в черноземных почвах обнаружили Ф. Ш. Гарифуллин (1979), А. В. Королев (2008). В нашей работе (Медведев, 1988) этот процесс также нашел свое подтверждение. Правда, по результатам гранулометрического анализа трудно было доказать повышение

содержание ила в длительно распахиваемой пашне по сравнению с абсолютно заповедной целиной. Однако, если определить удельную поверхность почвы по сорбции молекул воды из пара с упругостью 0,2 (по Кутилеку), суммарную активную поверхность (по сорбции воды из паров с упругостью от 0,35 до 0,98 в соответствии с рядом Обермиллера) и ультрапористость (по сорбции молекул бензола – неполярная жидкость – при упругости его паров от 0,23 до 0,8 кПа), то можно получить доказательства изменения качества поверхности почв после длительной обработки. Как известно, названные жидкости достаточно хорошо отражают даже небольшие изменения состояния поверхности почвы. При этом по сорбции влаги можно получить наиболее адекватное представление о величине поверхности почвы (Воронин, 1959), по сорбции бензола – о ее ультрапористости (Антипов-Каратаев, 1948), а при сопоставлении этих данных (при одинаковом рF) – о гидрофильности и гидрофобности почв как сорбентов (эластичности или жесткости их структуры). Оказалось, что черноземы представляют собой преимущественно сорбенты нежесткой эластичной структуры, потому что последняя изменяется в процессе самой сорбции (Медведев, 1988).

**Неоднородность (анизотропность) структуры и сложения.** В процессе продолжительного воздействия на почву почвообрабатывающих рабочих органов изменяется размер, форма и поровое пространство агрегатов. Если для целины чаще всего присуще изотропное (или близкое к нему) строение, при котором свойства почвы слабо зависят от направления – вектора, то для пашни характерно анизотропное строение, свойства которого различаются в зависимости от выбранного направления. Иллюстрацией этого факта служат результаты микроморфометрирования почвенных агрегатов в шлифах, изготовленных в двух ориентациях – горизонтальной и вертикальной (табл. 2). Анизотропность сложения, как это логично предположить, обусловлена анизотропностью размеров структурных комочков.

Таблица 2

**Микроморфометрические исследования структуры и видимой пористости почв целины и пашни в ориентированных шлифах (среднее из 25 объектов)**

Почва	Тип использования	Размер преобладающих отдельных, мм	Суммарная видимая пористость (более 15 мк, в % к площади шлифа)	
			в горизонтальной ориентации	в вертикальной ориентации
Чернозем типичный среднесуглинистый	залежь пашня	2,0 x 3,0 x 0,8	28	30
		1,0 x 1,5 x 0,7	33	20
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый	залежь пашня	1,5 x 2,0 x 1,5	27	27
		1,2 x 1,0 x 0,9	21	15
Чернозем южный слабосолонцеватый легкоглинистый	целина пашня	0,5 x 0,5 x 0,5	11	9
		0,4 x 0,4 x 0,3	40	16

В агрегатах пашни, как правило, отсутствует почти обязательная для агрегатов целины окантовка гуматной (предположительно гидрофобной, сообщающей ему дополнительную устойчивость) пленкой, резко возрастает рельефность, деформированность, а вместе с ними – снижается совершенство их очертаний. Коэффициент оформленности агрегатов (по типу коэффициента окатанности галек Уэйделла-Кухаренко, по Атласу текстур и структур осадочных пород, 1962) для агрегатов обрабатываемых слоев достигает 0,15–0,30, а в черноземе южном – ниже 0,10 против 0,40–0,50 на целине при максимуме по эталону 0,90. Значительно изменяются порядковость агрегатов и соотношение агрегатов высокого и низкого порядков.

При обработке нарушается характерная для целины стабильность порового пространства, уменьшается длина пор одного диаметра. Поры заполняются микроагрегатами и тонкодисперсным неагрегированным материалом. В обрабатываемом слое формируются два типа скоплений агрегатов: индивидуальные обособленные и искусственно сближенные. При обработке происходит резкое взрыхление отдельностей, их разрушение (в шлифе в этой фазе обнаруживается большое количество пор и отдельных макро- и микроагрегатов), далее отдельности сближаются по вертикальной оси, плотность быстро нарастает и формируются макроагрегаты. Характерны изменения строения агрегатов в процессе восстановления равновесной плотности: растет их порядковость вследствие агрегации неагрегированного материала, улучшается оформленность (видимо, в результате роста корней и деятельности почвенной фауны).

При обработке резко возрастает количество межагрегатных пор (обычно поры размером 15–20 мк), которые даже при увлажнении, равном наименьшей влагоемкости (28–32 % от массы почвы) не могут удержать капиллярную влагу (расчет по формуле Жюрена). Поры такого размера характеризуются высокой влагопроводностью (именно поэтому впитывание влаги на пашне в первые часы наблюдений, существенно выше, чем на целине). Вода в них не задерживается: она либо стекает в нижележащие слои почвы, либо испаряется. Ценность таких пор в обеспечении растений влагой невелика. Их роль сводится к восприятию осадков и осуществлению процессов газообмена с атмосферой. Если исходить из того, что оптимальное соотношение меж- и внутриагрегатных пор должно приближаться к единице (Дояренко, 1963), то полученные соотношения указывают на избыточное количество межагрегатных пор во всех исследованных черноземах даже на целине, при этом обработка еще более ухудшает их соотношение. Важно подчеркнуть, что чем выше порядковость агрегатов, тем более они содержат внутриагрегатных обводненных пор, где происходит водно-минеральное питание растений.

В процессе релаксации (восстановления модальной плотности, характерной для целины) анизотропность сохраняется. Непосредственно после обработки резко возрастает видимая пористость в шлифах, причем ее размер по горизонтали существенно превышает размер по вертикали. В дальнейшем по мере оседания поднятого плугом пласта почвы пористость падает, но различие в видимой пористости по горизонтали и вертикали не уменьшается. Более того, в старопашотной почве осколки разрушенных агрегатов накапливаются в горизонтальных порах, кольматируя их. В результате в равновесном состоянии распахиваемые почвы характеризуются повышенной анизотропностью по сравнению с целиной (залежью), что, очевидно, служит непосредственной причиной более высокой вариабельности водно-физических свойств на пашне. В то же время вертикальные поры относительно чистые. Именно по этим порам устремляются преференциальные (турбулентные, хаотические) потоки влаги, которая может проникнуть вглубь почвы, не взаимодействуя с ней.

Анизотропность достаточно хорошо коррелирует с водоустойчивостью почвенных агрегатов. Чем она выше, тем выше подвижность тонкодисперсной органической и минеральной частей почвы и ниже водоустойчивость агрегатов. К сожалению, мы не располагаем результатами векторного изучения водно-физических и физико-механических свойств почв, однако некоторые (правда, немногочисленные) данные подтверждают существенные различия свойств почв в зависимости от выбранного вектора (Talsma, 1960; Sagauan, 1965).

Детальные исследования гидравлической проводимости в вертикальной и горизонтальной ориентациях провели С. G. Soracco et al. (2010) из Аргентины на лугово-черноземных солонцеватых почвах (Luvic Phaeozems). Оказалось, что обрабатываемый слой почвы независимо от способа обработки обладал выраженной анизотропностью. Горизонтальная гидропроводимость была в 5 раз выше



вертикальной. Важно, что даже на нулевой обработке сохранялись отчетливые признаки, видимо, реликтовой, анизотропности. В то же время в подпахотном слое анизотропность почти отсутствовала, как и в нашем исследовании на целинной почве.

Е. Б. Скворцова (2009) рекомендует оценки деградированности почв по физическим показателям дополнять пространственно-геометрическими признаками почвенной структуры и пор. Так, в процессе длительного использования почв изменяется форма агрегатов от комковатой до угловато-блоковой, формируется плитчатая структура с горизонтальной ориентацией пор, исчезают обособленные структурные отдельности и возникает массивная структура. Эти наблюдения, полагаем, подтверждают установленное нами положение об усилении анизотропности в длительно распахиваемых почвах. Причем, как установил К. Г. Моисеев и др. (2004), с увеличением длительности распашки прочность агрегатов снижается. Можно предположить, что с длительностью распашки возрастают анизотропные свойства почв.

Наличие анизотропности в длительно используемых подзолистых почвах было подтверждено с помощью электрического зондирования (Поздняков, 2009).

Таким образом, обработка, воздействуя на агрегаты и поры, усиливает анизотропность почв и, в целом, снижает стабильность сложения во времени, особенно в почвах с исходно пониженной механической прочностью структуры, как это прослеживалось на примере чернозема южного.

**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 в процессе длительной механической обработки. Важно подчеркнуть, что равновесная плотность проявляет тенденцию к возрастанию со временем. Мы установили это, используя целинный чернозем южный заповедника «Аскания-Нова» (Херсонская область) и рядом расположенный участок той же почвы, распахиваемый 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  $1,00 \text{ г/см}^3$ , в слое 20–40 см – в пределах  $1,15\text{--}1,22 \text{ г/см}^3$ , в слое 40–70 см – приближалась к  $1,30 \text{ г/см}^3$ , в слое 70–110 см – не выше  $1,34 \text{ г/см}^3$ . 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  $0,3 \text{ г/см}^3$ . 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 (рис. 3).

Таким образом, длительное сельскохозяйственное использование почвы существенно изменило профиль плотности сложения и продолжает аккумулировать уплотнение в его глубине, что не может не усилить пространственную неоднородность обрабатываемой почвы в вертикальном направлении по сравнению с целиной.

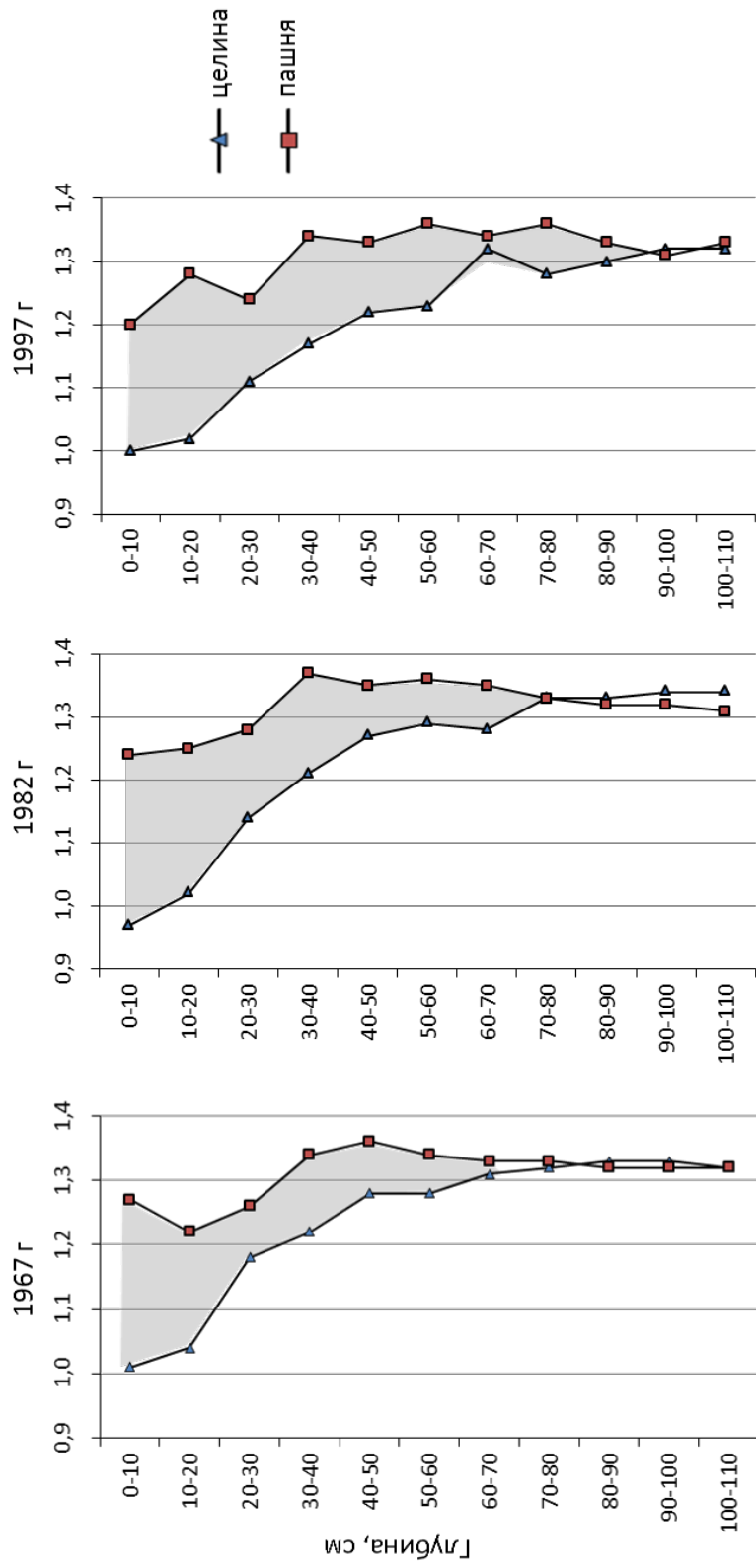


Рис. 3. Равновесная плотность слоения чернозема южного в условиях целины и продолжительной распашки (г/см<sup>3</sup>)

Важно заметить, что наиболее дифференцированный профиль по уплотнению характерен для черноземных почв, наименее дифференцирован у почв с выраженным подзолистым и солонцовым процессами. Оказалось, что Н-горизонт черноземных почв примерно на 30–35 % разуплотнен в сравнении с почвообразующей породой – лессом или лессовидным суглинком. Напротив, в дерново-подзолистых почвах и солонцах мера разуплотнения минимальна – 1–15 %, остальные почвы занимают промежуточное положение (Медведев, 2004). Значит, мера разуплотнения почв (по отношению к породе) может быть важным диагностическим признаком почвообразовательного процесса. Правда, интерпретация этих данных несколько отличается от традиционной, где, например, черноземные почвы считаются наименее, а подзолистые и солонцы – наиболее дифференцированными.

Конечно, наибольшее разуплотнение черноземов по отношению к породе – следствие усиленного развития корней, что сопутствует дерновому процессу почвообразования, агрегации и, особенно, микроагрегации. Этому же содействует доминирование в почвенном поглощающем комплексе кальция. По этой причине верхние горизонты таких почв оказались наиболее преобразованными по отношению к породе (табл. 3).

Таблица 3

**Матрица парной корреляции между показателями плотности сложения в отдельных генетических горизонтах и породе**  
(над чертой – коэффициент корреляции, под чертой – число дат, вовлеченных в анализ)

Генетические горизонты	1	2	3	4	5	6
1		$\frac{0.83}{86}$	$\frac{0.69}{90}$	$\frac{0.32}{71}$	$\frac{0.19}{57}$	$\frac{-0.05}{13}$
2			$\frac{0.79}{211}$	$\frac{0.68}{210}$	$\frac{0.63}{157}$	$\frac{0.57}{216}$
3				$\frac{0.87}{234}$	$\frac{0.78}{170}$	$\frac{0.69}{241}$
4					$\frac{0.87}{168}$	$\frac{0.73}{239}$
5						$\frac{0.88}{175}$
6 (порода)						

Как следует из таблицы, плотность сложения почв унаследована от плотности породы, а процесс почвообразования снижает плотность сложения почв и формирует характерный профиль ее распределения – для дернового процесса ясно дифференцированный, подзолистого и солонцового – наименее дифференцированный. Эти рассуждения, как представляется, несколько обогащают традиционную интерпретацию почвообразовательных процессов и доказывают состоятельность плотности сложения почв как генетически важного показателя. Это же означает, что дифференциация профиля содействует неоднородности.

**Горизонтальная неоднородность.** Важной особенностью обрабатываемой почвы по сравнению с целиной является возрастание ее неоднородности в горизонтальном направлении. Для доказательства этого приведем результаты изучения пространственной неоднородности содержания в почве общего гумуса (показатель обычно умеренно вариабельного показателя) и подвижного фосфора (показатель повышенной вариабельности) на целинной и распаханной земельной делянке (табл. 4).

Таблица 4

**Пространственная вариабельность содержание гумуса и подвижного фосфора  
на целине и пашне чернозема типичного, слой 0–20 см (Сумская обл.)**

Показатель	Коэффициент пространственной вариабельности	
	Абсолютно заповедная целина	Пашня свыше 100 лет использования
Содержание общего гумуса	0,08	0,12
Содержание подвижного фосфора	0,09	0,56

Из этого совпадения напрашивается вывод о том, что рельеф является той причиной, которая поддерживает во времени неоднородность поля в горизонтальном направлении и противодействует выравниванию его плодородия при обработке. Более того, под действием длительной обработки в почвенном покрове формируется своеобразный горизонтальный профиль (Медведев, 2010). Края полей из-за более высокого уровня воздействия машинно-тракторных агрегатов, как правило, переуплотнены, а после обработки образуют повышенную глыбистость, препятствующую качественной разделке почвы и точному высеву семян при посеве (рис. 4).

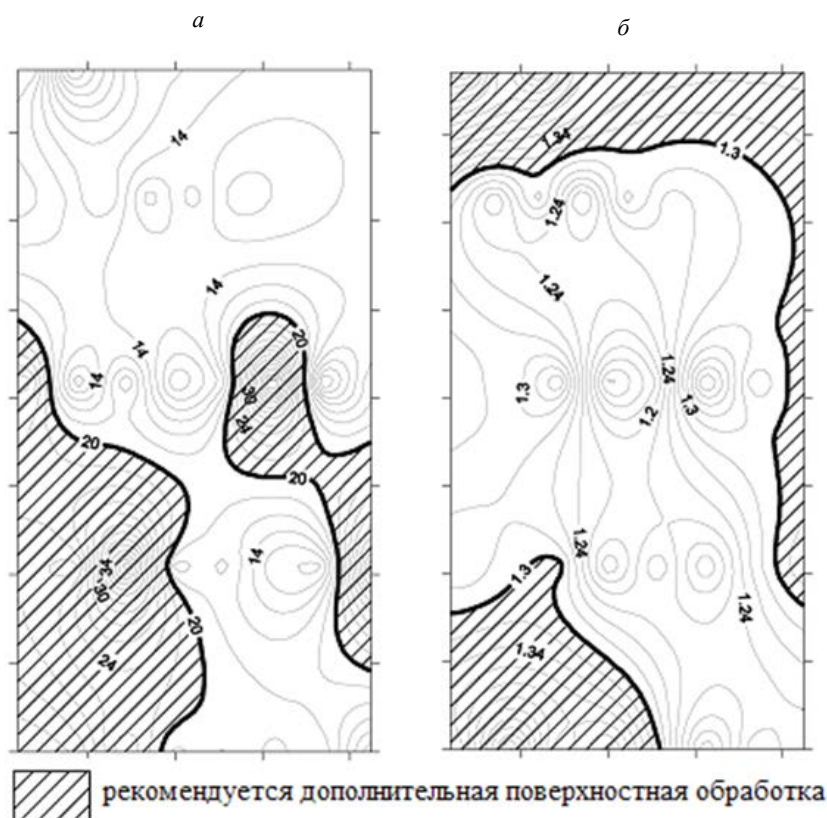


Рис. 4. Содержание глыб (а, %) плотность слоения (б, г/см<sup>3</sup>)  
в поверхностном слое 0–5 см перед посевом озимой пшеницы  
на дерново-подзолистой почве (с. Ведильцы, Черниговская область)

**Дифференциация профиля** при обработке является широко известным фактом, неоднократно описанным в литературе. Причем независимо от того, сопровождается обработка почвы оборотом пласта или нет, дифференциация профиля по плотности сложения, а значит, и всем другим свойствам и режимам, присутствует всегда. Пахотный слой это уже не просто слой почвы, который обрабатывается. Фактически это новый генетический горизонт со специфическим строением, свойствами, экологическими функциями в отношении режимов восприятия влаги, эмиссии, обмена веществ и энергии. Если к этому добавить достаточно четкое подразделение этого горизонта на отдельные ясно выделяемые морфологически и функционально посевной и подпосевной слои (ведь они постоянно и по разному обрабатываются), а также часть, куда заделываются семена и удобрения, и, кроме того, также ясно обособленную плужную подошву, то не кажется преувеличением утверждение о формировании в результате продолжительной обработки фактически новой почвы. Ее, как мы знаем, уже признали и ввели в классификацию почв почвоведы многих стран и назвали агроземом или антропогенно преобразованной почвой.

Весьма примечательно, что плужная подошва, характерная практически для всех распаиваемых почв (Медведев, 2011), не имеет оплошности в пределах поля и тем самым существенным образом усложняют пространственную неоднородность сложения корнеобитаемого слоя почв (рис. 5).

Кроме новых черт, которые привносятся в почву обработкой и связанных с пространственно-временными изменениями ее строения, структуры и плотности сложения, одновременно следует различать трансформации почвообразовательного процесса. Фактически давно обрабатываемая почва под действием продолжительной обработки становится полигенетическим образованием, то есть, образованием, в котором наряду с природными факторами почвообразования активное участие принимает антропогенный фактор.

В черноземных почвах, где дифференциация профиля в отношении тонкодисперсной части отсутствует, длительная механическая обработка вызывает ее активизацию на месте (*in situ*) и начальные признаки слабой нисходящей миграции (Медведев, 1989). В почвах с дифференцированным профилем (дерново-подзолистые, и другие) длительная обработка содействует формированию культурного агрозема с мощным аккумулятивным верхним горизонтом и почти оптимальными параметрами. Это при условии, что сопровождается применением элементов высокой культуры земледелия (удобрения + известкование) (Смеян, 2007). Однако, независимо от направленности почвообразовательного процесса, длительная обработка, скорее всего, усиливает дифференциацию профиля по сравнению с природным аналогом во всех, без исключения, почвах.

Рассмотрим этот вопрос несколько подробнее, обратив особенное внимание на отдельные процессы, содействующие дифференциации профиля.

**Лессиваж.** В черноземных почвах легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава под действием длительной обработки появляются микроморфологические признаки ориентированной глины и ее миграции (Медведев, 1989). Правда, чешуйчато-волокнистые формы глины, которые могут свидетельствовать о ее нисходящей миграции выражены слабо, но активизация тонкодисперсной части в виде оптически ориентированных глин струйчатого строения и, следовательно, ее метаморфизация на месте очевидна. Факторами, благоприятствующими лессиважу в пахотных типичных черноземах, можно считать их выщелоченность относительно целины, уменьшение в поглощающем комплексе Са и сужение соотношения между Са и Mg, подкисление почвенного раствора, уменьшение содержания гумуса и его лабилизацию, ослабление прочности органо-минеральных связей, диагностируемое по разрушению агрегатов, увеличение показателя анизотропности (соотношение величин видимой пористости в вертикальной и горизонтальной ориентации), более выраженную пульсацию

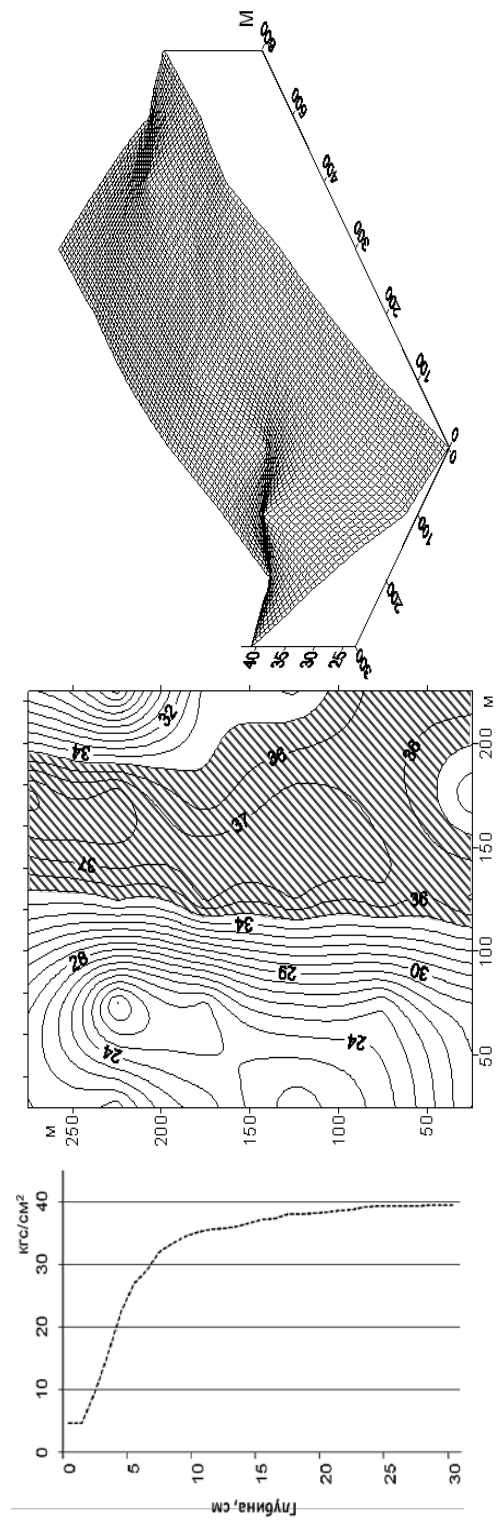


Рис. 5. 1-D- (в центре земельной делянки), 2-D- и 3-D-диаграммы твердости в плужной подошве земельной делянки с черноземом типичным (Харьковская обл.). На 2-D-диаграмме заштрихована часть поля с плужной подошвой, требующей разуплотнения

гидротермического режима, приводящую к развитию пор-трещин, периодическое глубокое промачивание, усиление гидрофильности и снижение жесткости при соответствующем увеличении эластичности поверхности структурных отдельностей.

Перечисленные факты свидетельствуют о том, что в типичных пахотных черноземах под влиянием длительной обработки наблюдается возрастание подвижности тонкодисперсной части, ее переориентация на месте и периодическая нисходящая миграция из горизонта Н (А) в горизонт Н<sub>р</sub> (АВ<sub>1</sub>). Это косвенно доказывается наличием отчетливой горизонтально-вертикальной делимости структур, кремнеземистой присыпки, а также характером перераспределения глины. Если в горизонте Н последняя относительно равномерно распределена в массе, то в горизонте Н<sub>р</sub> проявляется тенденция ее сосредоточения в порах и околопоровом пространстве. Изложенное свидетельствует о начальных признаках превращения чернозема типичного мощного в чернозем типичный мощный деградированный.

**Оподзоливание.** В дерново-подзолистых почвах, в которых дифференциация профиля является генетически присущей, под действием длительной обработки возможны различные направления преобразования профиля. Один из них, как следствие увеличения глубины промачивания и образования преференциальных потоков, сопровождается усилением элювиальных процессов, другой – формированием нехарактерного для дерново-подзолистых почв агрогенно-преобразованного гумусо-аккумулятивного генетического горизонта, имеющего интенсивно-темно-серую или темно-серую однородную окраску и довольно прочную мелкокомковатую, комковато-зернистую и зернистую структуру, умеренно плотное сложение и плотную подошву. При этом агрогенно-преобразованная почва приобретает следующие параметры: рН – 6,59; содержание гумуса 3,75–4,01 % (Смеян, 2007).

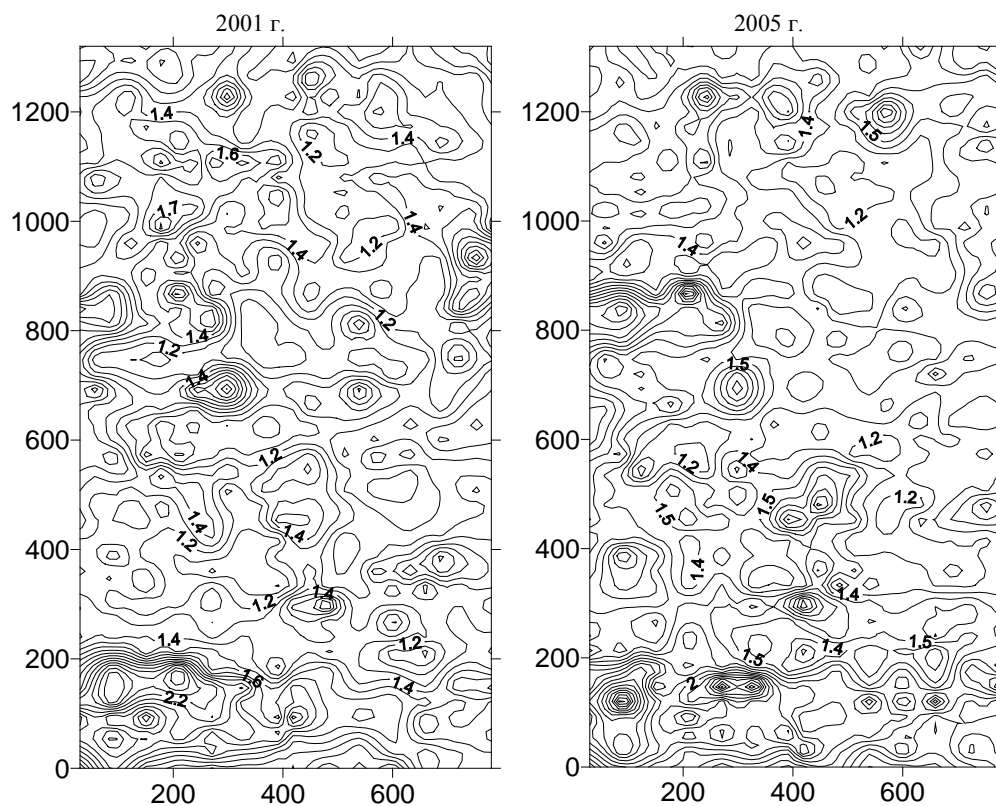
Таким образом, характерный для дерново-подзолистых почв элювиально-иллювиальный с кислой реакцией почвенного раствора тип профиля усложняется современным почвообразовательным процессом, очень похожим на дерновый аккумулятивный процесс.

В литературе можно найти и иные примеры трансформации профиля почв под действием сельскохозяйственного использования, а именно: постепенное неявное увеличение мощности иллювиального горизонта дерново-подзолистой почвы в Полесье под влиянием комплекса удобрительных и мелиоративных мероприятий, то есть активизация процессов оподзоливания и миграции (Ковалишин, 1982).

**Устойчивость неоднородности почв в пространстве и во времени.** Рассмотрим, как изменились границы между отдельными контурами на одной из исследованных делянок в Полесье в результате агрохимической паспортизации, проведенной с интервалом в 4 года с помощью наложения регулярной сетки (исследования выполнил А. И. Мельник). Изменения содержания гумуса на поле, произошедшие между двумя сроками обследования, наиболее удобно продемонстрировать на 2-D-диаграммах с одновременным расчетом площадей контуров.

Между двумя сроками обследования произошли заметные изменения в содержании гумуса. Подчеркнем, что они более заметны, чем это можно было ожидать, учитывая весьма значительную консервативность этого показателя. Вместе с тем, следует учесть, что исследованные нами почвы имеют легкий гранулометрический состав, как известно, характеризующийся невысокой устойчивостью к внешним «химическим» воздействиям. С другой стороны, нельзя не обратить внимание на то, что между 2001 и 2005 гг. значительная часть поля находилась в условиях естественного залужения, что и сказалось на возрастании содержания гумуса. В результате существенно уменьшилась площадь с уровнем содержания гумуса менее 1,3 % и, соответственно, возросла площадь с содержанием гумуса в интервале 1,3–1,9 %. Однако, выравнивания в содержании гумуса в почвах

поля не произошло, так как площадь поля с минимальным содержанием гумуса продолжает оставаться достаточно высокой (свыше 20 %). Отметим также весьма высокую воспроизводимость контуров по результатам 2001 и 2005 гг. (рис. 6).



Содержание гумуса в слое 0–20 см, %	Площадь контура	
	%	га
<1,1	12,4	13,0
1,1–1,3	33,8	35,5
1,3–1,5	32,9	34,6
1,5–1,7	12,4	13,0
1,7–1,9	4,0	4,2
1,9–2,1	2,5	2,6
>2,1	2,0	2,1

Содержание гумуса в слое 0–20 см, %	Площадь контура	
	%	га
<1,1	0,1	0,1
1,1–1,3	20,6	21,6
1,3–1,5	41,5	43,7
1,5–1,7	23,0	24,2
1,7–1,9	8,4	8,8
1,9–2,1	3,8	4,0
>2,1	2,5	2,6

Рис. 6. 2-D – диаграммы и площади контуров содержания гумуса в почвах исследованной делянки по результатам обследований 2001 и 2005 гг. (размеры делянки в м)

## ВЫВОДЫ

Неоднородность присуща почве уже в исходном целинном состоянии из-за анизотропности ее вещественного состава, свойств и режимов. Вследствие различных скоростей движения влаги и растворов в зависимости от вектора и в порах



различного размера, конфигурации и протяженности возникают разнонаправленные движения тонкодисперсной массы. Рост корней, деятельность микрофауны, а также неупорядоченные объемные изменения тела почвы в процессе увлажнения/высушивания, замерзания/размерзания, уплотнения/разуплотнения содействуют развитию неоднородности.

Длительная распашка усиливает временную и пространственную неоднородность и формирует специфические ее горизонтальный и вертикальный профили. Для горизонтального профиля характерно повышение равновесной плотности в пониженных элементах рельефа и на краях полей, для вертикального профиля – аккумуляирование плотности в подпахотном слое и постепенное ее продвижение в глубь корнеобитаемого слоя. Современные процессы оглинивания, лессиважа и оподзоливания также способствуют неоднородности.

В распахиваемых почвах, главным образом, за счет рельефа и анизотропности структуры и порового пространства неоднородность способна поддерживаться и усиливаться во времени.

Возрастание неоднородности распахиваемой почвы во времени является благоприятной предпосылкой для развития точного земледелия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

**Антипов-Каратаев И. Н.** О почвенном агрегате и методах его исследования / И. Н. Антипов-Каратаев, В. В. Келлерман, Д. В. Хан. – М. : АН СССР, 1948. – 82 с.

Antipov-Karataev, I. N., Kellerman, V. V., Khan, D. V., 1948, "About the soil aggregate and methods of its research", Moscow, Publishing House of AN USSR, 82 p.

**Воронин А. Д.** Характеристика активной поверхности фракций механических элементов комплекса почв светло-каштановой подзоны / А. Д. Воронин // Научн. докл. высшей шк. Биол. науки. – 1959. – № 3. – С. 189-192.

Voronin, A. D., 1959, "Characteristic of an active surface of of mechanical elements fractions of a soil complex of a light-brown subzone", *Science Reports of Supreme School. Biol. Sciences*, no. 3, pp. 189–192.

**Гарифуллин Ф. Ш.** Физические свойства почв и их изменение в процессе окультуривания / Ф. Ш. Гарифуллин. – М. : Наука, 1979. – 156 с.

Harifullin, F. Sh., 1979, "Soil physical properties and their change during of high land use", Moscow, Science, 156 p.

**Ковалишин Д. І.** Зміна родючості і властивостей дерново-підзолистих ґрунтів українського Полісся під впливом тривалого застосування добрив / Д. І. Ковалишин, Г. Ю. Платонова, Р. А. Андрияш // Агрохімія і ґрунтознавство. – К., 1982. – Вип. 43. – С. 12-18.

Kovalishin, D. I., Platonova, G. J., Andriyash, R. A., 1982, "Changes of soil fertility and properties of soddy-podsolic of Ukrainian Polissja under effect of a long time of fertilizers application", *Agrochemistry and Soil Science*, Kyiv, 43, pp. 12–18.

**Королев В. А.** Современное физическое состояние черноземов центра Русской Равнины / В. А. Королев. – Воронеж, Воронежская областная типография, изд. им. Е. А. Болховитинова, 2008. – 314 с.

Korolev, V. A., 2008, "Modern physical condition of chernozems of the center of Russian Plain", Voronezh, The Voronezh regional printing house of E. A. Bolhovitina, 314 p.

**Крупеников И. А.** Чернозем – наше богатство / И. А. Крупеников. – Кишинев : Карта Молдовеняскэ, 1978. – 106 с.

Krupenikov, I. A., 1978, "Chernozem – our riches", Kishinev, Maps of Moldova, 106 p.

**Медведев В. В.** Неоднородность как закономерное проявление горизонтальной структуры почвенного покрова / В. В. Медведев // Ґрунтознавство. – 2010. – Т. 11, № 1-2. – С. 6-15.

Medvedev, V. V., 2010, "Heterogeneity as natural display of horizontal structures of a soil cover", *Ґruntoznastvo*, 11, no. 1-2, pp. 6–15.

**Медведев В. В.** О лессиваже в пахотных типичных черноземах / В. В. Медведев // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. – 1989. – Вып. 51. – С. 4-5.

Medvedev, V. V., 1989, "About lessive in arable typical chernozems", *The bulletin of V. V. Dokuchaev Soil institute*, 51, pp. 4–5.

- Медведев В. В.** Плотность сложения почв (генетический, экологический и агрономический аспекты) / В. В. Медведев. – Х. : 13 типография, 2004. – 244 с.  
Medvedev, V. V., 2004, "Soil bulk density (genetic, ecological and agronomical aspects)", Kharkiv, 13 Publishing printing house, 244 p.
- Медведев В. В.** Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв / В. В. Медведев // Почвоведение. – 2011. – 12. – С. 1487-1495.  
Medvedev, V. V., 2011, "Physical properties and character of plow pan distribution in different types of arable soil", *Eurasian Soil Science*, no. 12, pp. 1487–1495.
- Медведев В. В.** Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 2. Результаты исследований / В. В. Медведев. – Х. : Городская типография, 2009. – 259 с.  
Medvedev, V. V., 2009, "Soil Heterogeneity and Precise Agriculture. Part 2. Results of researches", Kharkiv, The city printing house, 259 p.
- Моисеев К. Г.** Влияние длительной распахивки на прочность почвенных агрегатов / К. Г. Моисеев, М. А. Романов // Почвоведение. – 2004. – 6. – С. 697-701.  
Moiseev, K. G., Romanov, M. A., 2004, "Influence of long tillage on durability of soil aggregates", *Eurasian Soil Science*, no. 6, pp. 697–701.
- Поздняков А. И.** Анизотропия свойств некоторых антропогенно преобразованных почв подзолистого типа / А. И. Поздняков, А. В. Русанов, С. М. Шалагинова, А. Д. Позднякова // Почвоведение. – 2009. – 11. – С. 1308-1319.  
Pozdnjakov, A. I., Rusanov, A. V., Shalaginova, S. M., Pozdnyakov, A. D., 2009, "Anisotropy of properties of the some anthropogenic soil transformed of podsolite type", *Eurasian Soil Science*, no. 11, pp. 1308–1319.
- Скворцова Е. Б.** Изменение геометрического строения пор и агрегатов как показатель деградации структуры пахотных почв / Е. Б. Скворцова // Почвоведение. – 2009. – 11. – С. 1345-1353.  
Skvortsova, E. V., 2009, "Change of a geometrical structure of pores and aggregates as a parameter of degradation of arable soil structure", *Eurasian Soil Science*, no. 11, pp. 1345–1353.
- Смеян Н. И.** Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон. – Минск : РУП «БНИВНФХ в АПК», 2007. – 220 с.  
Smejjan, N. I., Tsytron, G. S., 2007, "Classification, diagnostics and the soil regular list of Belarus", Minsk, RUP «BNIVNFKH in agrarian and industrial complex», 220 p.
- Сгауан, В., Уехара, Г.,** 1965, "Soil anisotropy and its relation to aggregate stability", *Soil Science Soc. of Amer. Proc.*, 29, no. 2, pp. 198–200.
- Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, C., Wood, G. A., Bradley, R. I., Welsh, J. P., Richards, T., Blackmore, B. S., Carver, M., Knight, S.,** 2002, "Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop rotation. Project Report 267, Home-Grown Cereals Authority", London, p. 8.
- Soracco, C. G., Lozano, L. A., Sarli, G. O., Gelati, P. R., Filgueira, R. R.,** 2010, "Anisotropy of saturated hydraulic conductivity in a soil under conservation and no-till treatments", *Soil and Tillage Research*, 109, pp. 18–22.
- Talsma, T.,** 1960, "Measurement of soil anisotropis with piezometers", *J. of Soil Science*, 11, no. 1, pp. 159–171.

Рекомендує до друку  
чл.-к. НАНУ, д-р біол. наук А. П. Травлєєв

Надійшла до редколегії 12.02.13