
THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. V. Medvedev 


Academician of NAAS
of Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 631.43

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry Research»,
Chajkovska str., 4, Kharkov, Ukraine, 61024*

AGRIZEM AS A NEW 4-DIMENSIONAL POLYGENETIC FORMATION

Abstract. Morphological (horizontal and vertical profiles of soils), micromorphological (mainly, anisotropism of aggregates and pores), physical properties (structure, density, differential porosity and their transformation for an appreciable length of time – time profiles), features of formation of descending (preferential) and ascending waterstreams were investigated. Chernozems (typical, ordinary, southern) were objects of the research. In the article the results of comparative researches of the soils which are in various conditions of use – from absolutely reserved virgin soil to variants in industrial and experimental conditions are stated. On a virgin soil there are aggregates of mainly isometric roundish form. On an arable land anisotropic lumps (blocks) of the wrong form, the size, as a rule, more than 10 (20) mm, and silting structure dominate. At tillage characteristic stability for a virgin soil pore spaces is broken, the length of a time of one diameter decreases. Pores A are filled with microaggregates and thindispersed not aggregated material. On a virgin soil the density at its analysis in vertical and time aspects throughout 30 years remained a constant. On an arable land, since 30 to depth of 60–80 cm density authentically above (it, most likely, forrow bottom). Under the influence of long tillage mobility of thindispersed parts increase, its reorientation to a place and periodic descending migration from horizon H (A) in horizon of Hp (AB₁) is observed. Essential feature of ploughed up and especially irrigated soil in comparison with the virgin consists in distinct display of the plastic deformation which are at the bottom of raised consolidation of soil. The structurally-modular structure of soils in the conditions of long arable land in comparison with a virgin soil considerably changes: the quantity agronomical valuable fraction, its water stability, mechanical durability decreases. On an arable land preferential streams of a moisture (or a failure filtration on large pores) are formed. The executed researches of soils in the conditions of a virgin soil and an arable land allow to ascertain that the mode of receipt and the moisture expense, aeration, growth of roots, exchange processes and in general ecological and productive functions on these objects are various. On an arable land soilformation process gets other orientation. As a result of researches essential distinctions between natural and ploughed up soil are established for a long time, and distinctions have appeared so essential that have allowed to confirm – under the influence of long agricultural use the natural soil is transformed in agrizem, has essentially other properties and modes and can quite be called as new polygenetic (natural-anthropogenous) formation. Till now existence of agrizem remains a debatable question and that it was really recognised new soil and has got «the

 Tel.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmmedvedev@ukr.net

DOI: 10.15421/041601

ISSN 1684–9094. Gruntoznavstvo. 2016. Vol. 17, no. 1–2

5

citizenship» rights additional proofs are necessary. Features of agrizem as new soil in comparison with a virgin soil: anisotropism, bimodality of pore spaces, consolidation of soil aggregates, seasonal and long-term dynamics of density and properties, infringement of convertibility of soils owing to loss and labilization of organic substance, occurrence of new horizontal, vertical and time profiles, aridization and biodiversity reduction. Agrizem loses ability to restore inherent in it modal, characteristic for natural analogue, parametres. Owing to strengthening of spatial heterogeneity for agrizem gradual transition from continuity to step-type behaviour of a soil cover, and as a whole – local easing of sod – with reference to chernozems – soil formation process is characteristic. Agrizem as the new type of soil demands reflexion in the nomenclature and classification, the account in division into districts and the differentiated system of use.

Polygenetic is a formation principal cause of agrizem. Agrizem – a product of natural, economic (industrial, technological) and social factors. Today the person and its activity on the earth becomes the leading factor of formation of new soils.

Keywords: agrizem, a microstructure, properties, profiles, modes.

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

АГРОЗЕМ ЯК НОВЕ 4-ВИМІРНЕ ПОЛІГЕНЕТИЧНЕ УТВОРЕННЯ

Анотація. У статті зроблено спробу виявити розходження між природним і орним ґрунтом. Об'єктами дослідження були чорноземи (типові, звичайні, південні) в умовах цілини (тривалого перелугу) і ріллі. Через те, що розходження між цілиною й ріллею виявилися дуже істотними й стійкими, то це дозволило стверджувати – під впливом тривалого землеробського використання природний ґрунт трансформується в агрозем, має принципово інші властивості й режими й цілком може називатися новим полігенетичним (природно-антропогенним) утворенням. Підставою для такого твердження послужили результати порівняння мікробудови пор і агрегатів, горизонтального, вертикального й часового профілів, а також, головним чином, фізичних властивостей.

Особливості агрозему як нового ґрунту в порівнянні із цілиною: анізотропність, бімодалність порового простору, консолідація ґрунтових агрегатів, сезонна й багаторічна динаміка щільності будови й властивостей, порушення оборотності ґрунтів унаслідок втрати й лабілізації органічної речовини, виникнення нових горизонтальних, вертикальних і часових профілів, аридизація й зменшення біорізноманіття. Агрозем втрачає здатність відновлювати властиві йому модалні, характерні для природного аналога, параметри. Внаслідок посилення просторової неоднорідності (гетерогенності) для агрозему характерний поступовий перехід від континуальності до дискретності ґрунтового покриву, і в цілому – локальне послаблення дернового – стосовно до чорноземів – процесу ґрунтоутворення. Агрозем як новий тип ґрунту вимагає відбиття в номенклатурі й класифікації, урахуванні в районуванні й диференційованій системі використання.

Полігенетичність – основна причина формування агроземів. Агрозем – продукт природних, економічних (виробничих, технологічних) і соціальних факторів. Сьогодні людина та її діяльність на землі стає провідним чинником формування нових ґрунтів.

Ключові слова: агрозем, мікробудова, властивості, профілі, режими.

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Національний науковий центр «Інститут почвознавства та агрохімії
ім. А. Н. Соколовського», вул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

АГРОЗЕМ КАК НОВОЕ 4-МЕРНОЕ ПОЛИГЕНЕТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Аннотация. В статье сделана попытка выявить различия между природной и давно распаханной почвой. Объектами исследования были черноземы (типичные, обыкновенные,

южные) в условиях целины (длительной залежи) и пашни. Так как различия между целиной и пашней оказались настолько существенными и устойчивыми, то это позволило утверждать – под влиянием длительного земледельческого использования природная почва трансформируется в агрозем, имеет принципиально иные свойства и режимы и вполне может называться новым полигенетическим (природно-антропогенным) образованием. Основанием для такого утверждения послужили результаты сравнения микростроения пор и агрегатов, горизонтального, вертикального и временного профилей, а также, главным образом, физических свойств.

Особенности агрозема как новой почвы в сравнении с целиной: анизотропность, бимодальность порового пространства, консолидация почвенных агрегатов, сезонная и многолетняя динамика сложения и свойств, нарушение обратимости почв вследствие потери и лабилизации органического вещества, возникновение новых горизонтальных, вертикальных и временных профилей, аридизация и уменьшение биоразнообразия. Агрозем теряет способность восстанавливать присущие ему модальные, характерные для природного аналога, параметры. Вследствие усиления пространственной неоднородности (гетерогенности) для агрозема характерен постепенный переход от континуальности к дискретности почвенного покрова, и в целом – локальное ослабление дернового – применительно к черноземам – процесса почвообразования. Агрозем как новый тип почвы требует отражения в номенклатуре и классификации, учета в районировании и дифференцированной системе использования.

Полигенетичность – основная причина формирования агроземов. Агрозем – продукт природных, экономических (производственных, технологических) и социальных факторов. Сегодня человек и его деятельность на земле становится ведущим фактором формирования новых почв.

Ключевые слова: агрозем, микростроение, свойства, профили, режимы.

ВВЕДЕНИЕ

Из факторов почвообразования антропогенный занимает особое место. Его действие на почву началось после того, как почва была сформирована. Если процесс почвообразования под действием природных факторов (климата, породы, растительности и рельефа) продолжался примерно несколько десятков миллионов лет и продолжается теперь, то действие антропогенного фактора началось всего несколько тысячелетий тому назад и резко усилилось в последние примерно 100–150 лет. Действие человека на почву (и к тому же на все факторы почвообразования) настолько значительно и многообразно, что не может не изменить почвы. Пожалуй, лучше других об этом сказал В. В. Докучаев (Dokuchaev, 1953) в своей книге «Наши степи прежде и теперь», изданной еще в конце 19 века. В этой работе было обращено внимание на резкое ухудшение физических свойств распахиваемых почв в сравнении с природной почвой, потерю в них органического вещества, усиление эрозионных процессов. Но в то время вопрос о том, сформировалась ли новая почва под действием антропогенной деятельности или нет, не ставился. Утверждение о том, что целина и старопашотная почвы – по сути две различные почвы, появилось много позже (Bogdanov, 1959). А полноценное место в классификации агрозем получил совсем недавно, да и то только в классификациях почв некоторых стран. В классификации почв Украины (Polupan et al., 2005) всего лишь допускается возможность корректировки основного процесса для длительно используемой почвы на уровне варианта без изменения основной природной направленности почвообразования. Еще ранее примерно также трактовали процесс окультуривания А. М. Гринченко и др. (Grinchenko et al., 1966). В их интерпретации окультуривание означало возможность сохранения и даже улучшения агрономически важных свойств почв в условиях длительного рационального использования при неизменности основного типа природного почвообразования. В Украине, кажется, только Д. Г. Тихоненко (Tichonenko, 2012) является сторонником самостоятельности агрозема как нового типа почвы.

До сих пор существование агрозема остается дискуссионным вопросом и для того, чтобы он действительно был признан новой почвой и приобрел права «гражданства», нужны дополнительные доказательства.

Нами, начиная с 60-х годов минувшего столетия, проводились сравнительные исследования преимущественно черноземных почв, находящихся в различных условиях использования – от абсолютно заповедной целины до вариантов в производственных и опытных условиях, где применяли разнообразные агроприемы. Изучали основные свойства и режимы, в результате чего был накоплен значительный массив информации. В настоящей статье сделана попытка выявить наиболее существенные различия между природной и давно распаханной почвой, причем, сразу же отметим, различия оказались настолько существенными, что позволили нам уверенно утверждать – под влиянием длительного земледельческого использования природная почва трансформируется в агрозем, имеет принципиально иные свойства и режимы и вполне может называться новым полигенетическим (природно-антропогенным) образованием.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали морфологические (горизонтальные и вертикальные профили почв), микроморфологические (главным образом, анизотропность агрегатов и пор), физические свойства (структуру, плотность, дифференциальную пористость и их трансформацию в течение продолжительного времени – временной профиль), особенности формирования нисходящих (преференциальных) и восходящих потоков влаги на целине и в пашне. Применяли общепринятые аналитические (полевые и лабораторные), статистические и геостатистические методы. Объектами исследования были черноземы (типичные, обыкновенные, южные) в условиях целины (длительной залежи) и пашни. Использовали также данные, собранные в базе «Свойства почв Украины» (Laktionova et al., 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микростроение агрегатов и пор целины и пашни. В черноземных почвах целины встречаются агрегаты преимущественно изометрической (с примерно одинаковыми размерами во всех направлениях) округлой формы. Такая форма агрегатов, как правило, свидетельствует об аккумулятивных процессах с активным участием поливалентных катионов. Округлая форма агрегатов присуща всем почвам с дерновым процессом почвообразования.

Агрегаты имеют размер менее 10 мм, пронизаны корнями и не расплываются под действием ливня, если даже снять дернину, обладают достаточно высокой механической прочностью. Заметной динамики структурного состояния в течение теплого периода года не отмечается.

Для целинных черноземов характерно губчатое умеренно плотное сложение, в котором отсутствуют неагрегированные компоненты. В таких условиях практически не идут процессы, тормозящие агрегацию. Поэтому она достигает здесь наибольшего развития. Пожалуй, лишь в почве под дубовым лесом можно найти еще более совершенную структуру. Агрегаты, формирующие такое сложение, имеют сложное строение, многопорядковую структуру (их порядковость обычно 4–5), разветвленную сеть меж- и внутриагрегатных пор. Губчатое плотное сложение может рассматриваться в качестве эталона, потому что по отношению к нему легко диагностируются все изменения, связанные с распашкой.

После распашки целины обособление агрегатов становится вполне ясным и их порядковость практически никогда не превышает 2–3. Губчатое сложение сразу же разрушается и трансформируется во фрагментарное, а затем в слитое, причем его плотность становится ощутимо выше, чем в исходном целинном состоянии. Причина такой трансформации заключается в изменении формы агрегатов – от округлой изометрической правильной к неправильной угловатой.

На пашне после многолетней обработки доминируют анизотропные комки (глыбы) неправильной формы, размером, как правило, более 10 (20) мм, и

пороховидная структура. В типичном черноземе глыб может быть до 20 %, а в южном – до 60 %. Комки содержат мало корней, после летнего ливня или в орошаемых условиях расплываются и образуют корку. Обращает на себя внимание изменение на пашне размера, формы, внешнего и внутреннего строения агрегатов. У последних, 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 (Atlas., 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 изменяется соотношение агрегатов высокого и низкого порядков. Причем в черноземе южном по сравнению с другими подтипами порядковость агрегатов (то есть, их сложность, губчатость) выражена слабее, а способность изменяться под действием обработки сильнее.

При обработке количество неагрегированного материала во всех черноземах возрастает: в наибольшей мере у чернозема южного, в наименьшей – у чернозема обыкновенного.

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 отдельных частей, их разрушение (в шлифе в этой фазе обнаруживается большое количество пор и отдельных макро- и микроагрегатов), далее отдельные части сближаются по вертикальной оси, плотность быстро нарастает и формируются, скорее всего, ложные 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).

Как показало микроморфометрирование ориентированных шлифов, анизотропность сложения является важным генетическим признаком и обусловлена анизотропностью размеров структурных комочков.

Восстановление равновесной плотности исследованных почв сопровождается более интенсивным уменьшением видимой пористости по вертикали, чем по горизонтали. В результате в равновесном состоянии рыхлимые почвы характеризуются повышенной анизотропностью по сравнению с целиной (залежью), что, очевидно, служит непосредственной причиной более высокой варибельности водно-физических свойств на пашне.

При обработке резко возрастает количество межагрегатных пор (обычно поры размером 15–20 мкм), 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 влагонепроводностью (именно поэтому впитывание влаги на пашне в первые часы наблюдений существенно выше, чем на целине). Вода в них не задерживается: она либо стекает в ниже лежащие 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 (Dojajenko, 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.

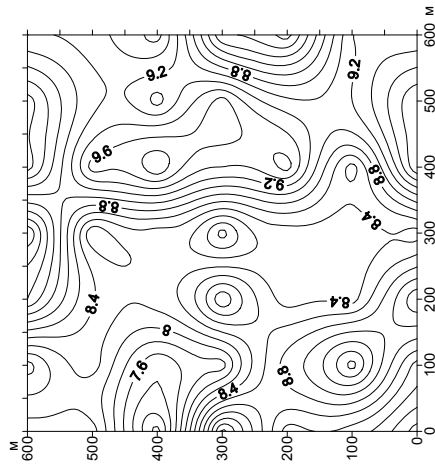
Горизонтальный профиль целины и пашни. Попытки установить закономерности горизонтального пространственного распределения почв и их свойств ранее предпринимались неоднократно. По сути, учение о структуре почвенного покрова (Frydland, 1972) – одна из важнейших концепций, развитых в этом направлении. Еще ранее исследовали различные почвенные комплексы, комбинации, катены. Однако, как справедливо заметил С. В. Горячкин (Gorjachkin, 2006), учение о горизонтальном профиле почв находится на начальном этапе своего развития и, к тому же, стало популярным лишь в географии почв. Что же касается гидрологии, физики, микробиологии, минералогии и других разделов почвоведения, то тут в этом отношении вообще мало что известно. Также, впрочем, как и о трансформации пространственных структур при активном сельскохозяйственном освоении почв.

Ниже покажем примеры горизонтального профиля почв на целине и пашне, используя для этого результаты геостатистической обработки пространственных данных, в частности, 2-D- и 3-D-диаграммы (рис. 1). Хорошо заметна существенно более выраженная горизонтальная пестрота содержания фосфора на пашне (коэффициент пространственной вариации 56 %) в сравнении с целиной (9 %). Стоит обратить внимание на то, что почти 30-летний опыт применения фосфорных удобрений на пашне в данном объекте не только не устранил пространственную вариабельность содержания фосфора в почве, что логично было бы ожидать, но и существенно ее увеличил. Аналогичный пример нами был найден в работе английского исследователя R. J. Godwin et al. (2002), правда, опыт применения удобрений там был несколько больше – почти 150 лет.

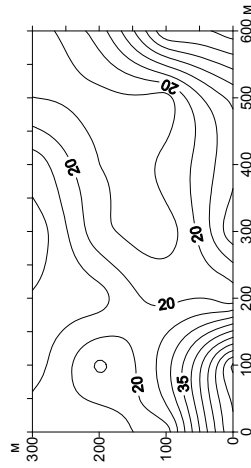
Вертикальный и временной профили целины и пашни. Рассмотрим этот вопрос на примере равновесной плотности сложения чернозема южного. Измерения (в 6-ти кратной повторности) произведены в середине лета с интервалом в 15 лет – в 1967, 1982 и 1997 гг. (табл. 1). Как известно, на целине, залежи, в лесу, в почве, не используемой в сельскохозяйственном производстве, отсутствует основной фактор, воздействующий на плотность, – механическая обработка. Цикл превращения элементов в этих условиях не сопровождается их изъятием, как это происходит при возделывании полевой культуры. В природных условиях в почву не поступают удобрения, способствующие активизации микробиологической деятельности, не осуществляются мелиоративные мероприятия. Иначе говоря, это замкнутая термодинамически равновесная система. Конечно, и здесь продолжает действовать целый ряд факторов, способных изменить плотность. Это влага, роющие животные, температура, атмосферное давление, и их сложные трансформации в течение года, сезона, суток. Замерзание и оттаивание влаги, нагревание и охлаждение, способное вызвать деформации сложения, соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз.

Тем не менее оказалось, что плотность при ее анализе в вертикальном и временном аспектах 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, начиная с 30 см до глубины 60–80 см плотность достоверно выше (это, скорее всего, плужная подошва). Особенно существенны – до $0,3 \text{ г/см}^3$ – расхождения в плотности в верхнем слое. Отметим: это значительное различие, именно оно обуславливает различия между целиной и пашней в отношении практически всех режимов. Подчеркнем – пашня в рыхлом состоянии, то есть, близком к уплотнению целины, пребывает, как покажем далее, не более 2-х месяцев.



Содержание P_2O_5 в слое 0–20 см, мг/100 г	Площадь	
	%	га
<7,5	4,64	0,59
7,5–8,0	5,94	2,14
8,0–8,5	30,65	11,03
8,5–9,0	26,47	9,53
9,0–9,5	26,04	9,38
>9,5	9,25	3,33



Содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы	Площадь	
	%	га
<15	2,1	0,6
15–25	67,0	20,1
25–35	23,0	6,9
35–45	4,5	1,4
45–55	2,5	0,8
55–65	0,8	0,2
>65	0,1	0,02

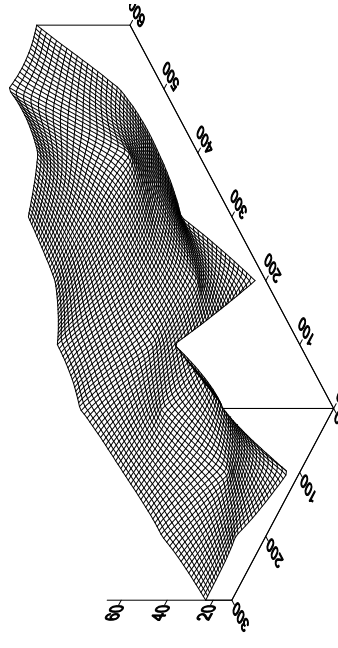
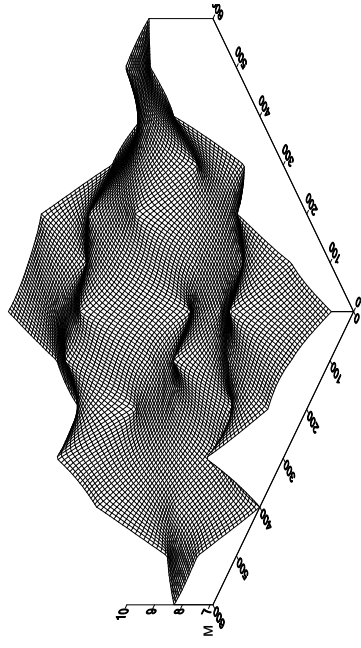


Рис. 1. 2-D- и 3-D-диаграммы горизонтальной пространственной неоднородности, площади контуров с различным содержанием подвижного фосфора на целине (вверху) и на пашне (внизу). Размеры поля в метрах

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 1

Вертикальный и временной профили равновесной плотности сложения чернозема южного в условиях целины и пашни (г/см³)

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 $\leq 0,95$ ($\pm 0,04$ г/см³)

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...» (Pereuplotnenie, 1987), известно, что аналогичная почва может уплотняться до 1,40 и даже 1,50 г/см³. Если же равновесная плотность исследованного чернозема южного составила 1,20–1,28 г/см³, то это означает, что почва разуплотнилась. Поэтому, 1,20–1,28 г/см³ – 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 1,4–1,50 до 1,20–1,28 г/см³.

Наблюдения за сезонной динамикой плотности сложения на целине показывают, что изменения плотности все же присутствуют, но они не могут считаться существенными (табл. 2). Это значит, что упомянутые выше воздействия на целине не в состоянии изменить плотность. Видимо, каждый фактор оказывает двойственное воздействие на почву. С одной стороны, это уплотнение, с другой – разуплотнение. Скорее всего, так действуют растущие корни, в одном участке уплотняя, в соседнем разрыхляя почву. Такое же действие оказывают мениски влаги, кристаллики льда при замораживании жидкой влаги.

Фактором, стабилизирующим плотность во времени, является корневая система. Особенно значительное действие на почву оказывают корневые системы лесных культур. Так, по данным Н. А. Качинского (Kachynsky 1965), дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва в полевом севообороте и в лесу в верхнем слое имеет плотность соответственно 1,26 и 1,08 г/см³. Еще более значительная разница была отмечена в работе Н. Domzal et al. (1980) – соответственно 1,32 на пашне и 1,02 г/см³ в лесу в горизонте А₁ черноземовидной почвы.

Вследствие этого плотность сложения почвы в природных условиях – квазиравновесная величина, характерная для почвенно-климатических и эдафических условий, в условиях пашни – это неравновесная величина.

Плотность сложения чернозема южного тяжелосуглинистого на абсолютно заповедной целине в течение сезона, г/см³ (средние данные за 3 года)

Глубина, см	Весной	В конце лета	Осенью
12–22	1,02	1,06	1,01
30–40	1,26	1,32	1,28

Если на целине диапазон изменений плотности в зависимости от изменений влажности и температуры находится в пределах $\pm 0,05$, а в зависимости от типа корневой системы несколько шире – $\pm 0,20$ – $0,30$ г/см³, то в зависимости от механической обработки он намного шире. Так, в черноземной средне- или тяжелосуглинистой почве он может достигать $\pm 0,40$ г/см³. Такой перепад плотности сложения (при плотности твердой фазы 2,60) соответствует почти 16 % общей пористости и более чем 20 % воздухоемкости, если последнюю измерить при наименьшей влагоемкости. Иначе говоря, механическая обработка и вызванные ею изменения в плотности сложения служат основной причиной динамики водно-физических свойств на пашне.

Обычно осенью после вспашки почва среднего и тяжелого гранулометрического состава (при условии, что вспашка проводится при влажности наилучшего крошения) имеет минимальную плотность – 0,85–1,00 г/см³. Перед наступлением зимы, если после вспашки прошло 1,5–2,0 месяца, формируется равновесная, точнее квазиравновесная, плотность, равная примерно 1,15–1,25 г/см³. Далее весной после нескольких циклов замораживания-оттаивания (обычно в средней полосе – это 6–7 циклов) почва вновь уплотняется – до 1,05–1,10 г/см³ (рис. 2).

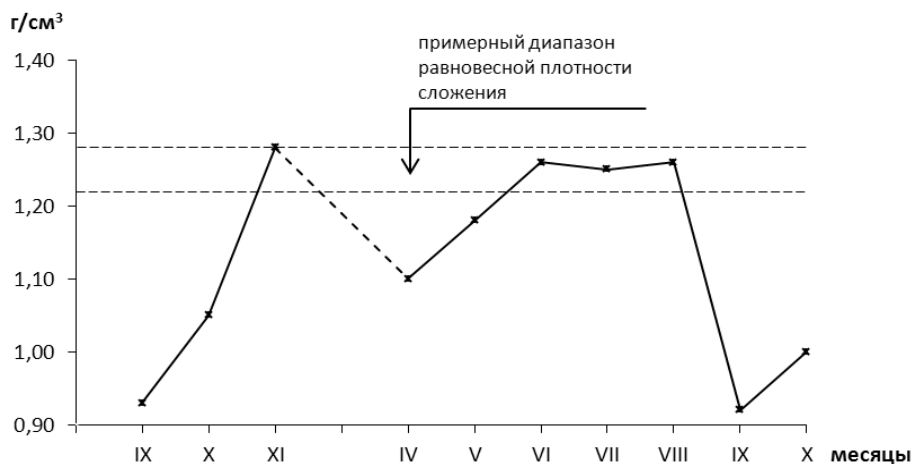


Рис. 2. Динамика уплотнения (г/см³) чернозема типичного в слое 0–10 см в течение одного календарного года

Весной после боронования и обычно двух культиваций плотность вновь снижается. При правильной технологии весенних предпосевных обработок плотность посевного слоя в это время достигает примерно 1,00 г/см³, что при одновременно благоприятном структурном составе позволяет осуществить качественный (по глубине и прямолинейности формируемых рядков) сев. Затем после прикатывания и естественных процессов оседания обрабатываемый слой вновь приобретает равновесную плотность, которая впоследствии может изменяться только после сильного увлажнения (вновь разуплотняется). В посевах пропашных культур при проведении междурядных («прополочных») рыхлений наблюдается дифференциация

плотности – в междурядье почва уплотняется, причем различия с плотностью в ряду сохраняются до уборки сахарной свеклы (Kolomiets, Nedashrivsky, 1976).

Трансформация плотности сложения во временном и вертикальном измерениях в распахиваемом черноземе сопровождается нехарактерным для целинных черноземов новым процессом лессиважа. В черноземных почвах легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава под действием длительной обработки появляются микроморфологические признаки ориентированной глины и ее миграции (Medvedev, 1989). Правда, чешуйчато-волокнистые формы глины, которые могут свидетельствовать о ее нисходящей миграции, выражены слабо, но активизация тонкодисперсной части в виде оптически ориентированных глинистых 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 гидротермического режима, приводящую к развитию пор-трещин, периодическое глубокое промачивание, усиление гидрофильности и снижение жесткости при соответствующем увеличении эластичности поверхности структурных отдельных частей (Medvedev, 2014).

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_р (АВ₁). 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_р проявляется тенденция ее сосредоточения в порах и околопоровом пространстве. Изложенное свидетельствует о начальных признаках превращения чернозема типичного мощного в чернозем типичный мощный с иным типом вертикальной трансформации тонкодисперсной части.

Консолидация. Существенная особенность распахиваемой и особенно орошаемой почвы в сравнении с целинной 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 (Horn et al., 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/см³. Фактически речь здесь уже идет о слитообразовании, при котором достигается очень высокая плотность упаковки микроагрегатов за счет их взаимной ориентации (Medvedev, 1982).

Физические свойства целины и пашни. Структурно-агрегатный состав почв в условиях длительной распашки в сравнении с целиной значительно изменяется: уменьшается количество агрономически ценной фракции, ее водоустойчивость, механическая прочность, возрастает глыбистость (табл. 3). Одним из наиболее существенных следствий уменьшения стабильности порового пространства на старопашке, как мы уже упоминали, является динамика показателей плотности и пористости почвы в период между обработкой и сбором урожая культуры, и плужная подошва, которая тормозит потоки влаги и рост корней. Не менее важны изменения химических, физико-химических и биологических свойств, из которых нужно

подчеркнуть снижение содержания гумуса, изменения его качества, реакции почвенного раствора, емкости поглощения, соотношения обменных катионов, микробного пула и микробиологической активности. Не все из перечисленных изменений представлены и обсуждены в статье, но о правомерности высказанных суждений можно судить из большого количества разнообразных публикаций, например, из фундаментального обобщения, выполненного под редакцией В. А. Ковды и Е. М. Самойловой «Русский чернозем. 100 лет после Докучаева» (Russian chernozem., 1983).

Таблица 3

**Усредненные параметры 0–30 см слоя целины и пашни
чернозема типичного среднесуглинистого (Сумская область)**

Параметры, единицы измерения	Природная почва	Деградированная почва
Структура: глыбистость (>10 мм), %	5–7	18–20
агрономически ценные агрегаты (10–0,25 мм), %	80–85	50–60
пыль (<0,25 мм), %	8–10	14–16
коэффициент водоустойчивости	0,7–0,8	0,5
механическая прочность агрегатов, %	92	66
Плотность сложения:		
во время сева яровых культур, г/см ³	1,0–1,1	1,1–1,2
равновесная, г/см ³	1,1–1,2	1,2–1,3
Содержание гумуса, %	6,3	4,6
Водопроницаемость при равновесной плотности:		
за 6 часов, мм/час	65–70	50–52
коэффициент затухания	1,1–1,2	3,5–4,0
Фактор дисперсности	4,0	7,5
Почвенно-гидрологические константы при равновесной плотности, %:		
ВЗ	11,0–11,5	12,0–12,5
ВРК	16,0–17,0	18,0–19,0
НВ	25,0–26,0	24,0–25,0
ДАВ	5–6	6,0

Представляет интерес сравнение водно-физических условий при контрастных параметрах плотности, характерных для целины и пашни (табл. 4).

Таблица 4

**Водно-физические свойства чернозема южного на целине и пашне
в равновесном состоянии уплотнения (слой 0–20 см)**

Показатели	Равновесная плотность сложения, г/см ³	
	1,00 (целина)	1,35 (пашня)
Общая пористость, %	60,8	45,1
Пористость агрегатов 3–5 мм, %	41,9	38,4
Плотность агрегатов 3–5 мм, г/см ³	1,48	1,57
Воздухоёмкость при НВ, %	35,3	8,7
Воздухоёмкость агрегатов 3–5 мм, %	15,6	2,0
Водопроницаемость, мм/час	65	53

Параметры целины мы оцениваем как оптимальные (Medvedev, 1979). Параметры пашни – совершенно иначе. Обращает на себя внимание пористость отдельных агрегатов и особенно их воздухоёмкость. Последний параметр оказался для нас совершенно неожиданным. Его величина, равная 2,0 %, может свидетельствовать о возможном накоплении внутри агрегатов продуктов неполного разложения органических веществ, существенном снижении микробиологической активности, локальном присутствии восстановительных реакций, совершенно не

характерных для дернового процесса почвообразования. Это вполне вероятно весной и во время продолжительных осадков, когда уровень увлажнения близок к наименьшей влагоемкости. Да и в другое время также возможно, но приурочено к пространству внутри агрегатов, ибо их пористость крайне низка – 38,4 %, а плотность сложения, напротив, очень высока – 1,57 г/см³. При таких показателях минерализация органических веществ и трансформационная деятельность микроорганизмов замедляется. Можно гипотетически представить, что дерновый процесс в уплотненной почве как бы съезживается, локализуясь на поверхности агрегатов, где последние контактируют с межагрегатной пористостью. Внутри почвенных агрегатов типичный дерновый процесс уже не является сплошным, он чередуется с иным процессом превращения органических веществ, который, как кажется, следует изучить подробнее и найти ему место в современной таксономии подобных процессов. Подчеркнем: в верхнем слое, примерно 0–30 см, из-за периодической обработки он выражен слабо либо вообще не выражен. Зато в слое 30–70 см его присутствие совершенно очевидно. Это своеобразный метаморфизированный (преобразованный *in situ*) современный (новый) генетический горизонт как следствие многолетнего накопления в этом слое переуплотнения. *Пониженное поступление внутрь агрегатов влаги, повышенная плотность агрегатов, ухудшение условий для гумусообразования – все это можно трактовать как ослабление черноземного почвообразования.*

Потоки влаги на целине и пашне. Преференциальные (предпочтительные) потоки влаги (или провальная фильтрация по крупным порам) формируются в давно обрабатываемой почве за счет присутствия в ней глыбистых отдельностей. В целинной почве глыбы (комки крупнее 10 мм) отсутствуют (Medvedev, 2008). Хорошо известно, что даже небольшое отклонение влажности в момент обработки от влажности физической спелости приводит к образованию глыб. Именно поэтому свыше 82 % пахотных почв страны образуют глыбы, причем около 12 % пашни склонны к этому в значительной степени (Medvedev, 2008). Географически – это солонцеватые почвы сухой Степи, Винницкий остров эродированных серых оподзоленных почв, оглеенные почвы Предкарпатья и Закарпатья, а также повсеместно многие регионы Лесостепи и Степи. Это явление характерно почти для всех почв, исключая песчаные и супесчаные разновидности. В Степи Украины, где время пребывания почвы в состоянии физической спелости очень непродолжительно, вероятность образования глыб при обработке значительно возрастает.

Именно за счет глыбистости влага атмосферных осадков по крупным порам проваливается вглубь профиля. Как показывают сравнительные исследования фильтрационной способности различных структурных фракций, для почти мгновенного нисходящего передвижения влаги нужно всего лишь небольшое количество глыбистых отдельностей и соответственно крупных пор (Medvedev et al., 2003a). Причем, если в обрабатываемом слое преференциальные потоки формируются за счет глыбистых отдельностей, то в глубине профиля – за счет крупных пор биологического происхождения (Medvedev et al., 2003b). В этом исследовании подтверждена экспоненциальная связь, то есть, многократное нарастание фильтрации, как только в почве появляется лишь небольшое количество глыб (Osnovy agrofiziki, 1959).

Вполне обоснованно к преференциальным можно отнести и восходящие потоки влаги, которые приводят к непроизводительным потерям продуктивной влаги в результате процессов физического испарения. И опять-таки этому содействуют глыбы в поверхностном слое (Medvedev et al., 2004; Medvedev, 2008). Следовательно, под влиянием длительной механической обработки и почти неизбежного обесструктурирования почвы ее водный режим в сравнении с целиной ухудшается – за счет нисходящих (за пределы корнеобитаемого слоя) и восходящих (в результате усиления испарения) водных потоков.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Почва – арена действия многих факторов. Первыми следует вспомнить те из них, которые содействуют началу почвообразовательного процесса. Это температура, влажность и атмосферное давление. Изменения этих факторов (годовые, сезонные, суточные) диспергируют плотную породу и далее, уже при участии интродуцированного микробиологического населения, образуют сначала примитивную, а со временем полноценную зональную почву. Несмотря на то, что указанные факторы действуют постоянно, зональная почва может не изменяться на протяжении длительного времени. Причина равновесного состояния природной почвы та, что годовой баланс веществ и энергии в ней приблизительно равен нулю. Это значит, что в почве разрушительные и созидательные процессы уравновешены.

Это относится к синтезу и разложению гумуса, аккумуляции, выщелачиванию и перераспределению веществ, окислению-восстановлению, высвобождению и фиксации элементов. Перечисленные процессы трансформации веществ и потоки, которые по своей сути, являются противоположными, тем не менее, не приводят к изменению почв. Иначе говоря, в почвах действуют механизмы стабилизации. Можно назвать несколько механизмов, которые поддерживают равновесное состояние природной почвы.

Биологический механизм, который обеспечивается остаточным микробиологическим пулом. В почве даже после наиболее суровой зимы сохраняется (в тончайших порах, где создаются условия для выживания) хотя бы небольшое количество микробной массы, которая с наступлением благоприятных параметров влаги и тепла способна быстро восстановить свою исходную массу и функции. Так же действует постоянно возобновляемая система обеспечения почвы свежим органическим веществом, которое частично минерализуется, а частично превращается в гумус, а со временем тоже минерализуется. Этот процесс идет на протяжении столетий, пока весь гумус не обновляется полностью. В черноземах ориентировочно на это нужно 400–600 лет. То есть, каждые 400–600 лет органическая часть почвы обновляется.

Комплексный механизм – за счет биохимического круговорота, нисходящих и восходящих потоков в природных почвах поддерживается постоянный вещественный состав во времени. Биоразнообразие почвенного покрова – это также своеобразный механизм поддержания почв и границ между ними в пространстве. Мозаика почвенного покрова в естественных условиях поддерживается на протяжении неопределенно длительного времени (по меньшей мере, до тех пор, пока не происходит геоаномалий или существенных пространственных трансформаций).

Ситуация кардинально меняется, когда почва осваивается человеком и превращается в естественно-антропогенное тело. Здесь могут возникнуть, по меньшей мере, два сценария: 1) полное необратимое разрушение почвы – вследствие строительства, асфальтирования, открытых разработок ископаемых и т.п.; 2) разные трансформации в результате действия агротехники, агрохимикатов, мелиорации, техногенных выбросов. Последний сценарий рассмотрим несколько подробнее.

Потоки антропогенного происхождения не присущи системе природных факторов, которые формируют почву. Агротехнологические приемы, внесение химикатов, мелиоративные мероприятия, сбор урожая, разного рода техногенные загрязнения чужды этой системе, они вызывают изменения характерного для естественных условий обмена веществ и энергии. Освоенная почва активно противодействует антропогенному вмешательству. Для этого она имеет несколько механизмов, которые включаются, когда почва осваивается человеком. Это – биологический механизм, а именно самоочистительная способность, а также физико-химический механизм (буферность, адсорбция, барьерная функция). Благодаря существованию этих механизмов почва способна уменьшать отрицательные следствия ксенобиотических вмешательств. Каждая почва имеет определенную емкость противодействия, после превышения которой она необратимо изменяется.

Сравнивая целинные и распахиваемые почвы, исследователи констатируют большие различия между ними, но не решаются, при некоторых исключениях, отнести их к генетически разным почвам. Как кажется, целина и старопашка продолжают оставаться генетически родственными почвами, но относительно пашни действие антропогенного фактора настолько значительно, что привело к существенному преобразованию, деградации экологических и продуктивных функций. До недавних пор почвоведы словно бы не замечали антропогенно преобразованных почв. Им не находилось места в классификациях почв, в уточнении специфики их пригодности к выращиванию тех или других культур, технологии почти не корректировались в зависимости от уровня измененности (деградированности).

Таким образом, мы констатируем: все старопашотные почвы вследствие неуравновешенного баланса веществ и энергии в сравнении с их естественными аналогами изменены. Квазиравновесное состояние, которое наступает в пахотном слое спустя некоторое время после распашки целины (Chesnjak et al., 1966) скорее всего не соответствует действительности. Точнее, как кажется, быстрые темпы ухудшения почвы непосредственно после распашки (например, дегумификация) сменяются более медленными. Равновесного состояния почв на фоне отрицательного баланса веществ и энергии достичь невозможно

Выполненные исследования почв в условиях целины и пашни позволяют констатировать, что режим поступления и расхода влаги, аэрация, рост корней, обменные процессы и вообще экологические и продуктивные функции на этих объектах различны. На пашне почвообразовательный процесс приобретает иную направленность.

Кажется, не лишним будет подчеркнуть, что повышенная равновесная плотность на пашне является очень опасной еще и потому, что восстановление умеренной плотности, вероятнее всего замедленный, а может даже в отдельных случаях, – невозможный процесс. Причина – резко ограниченные условия для освоения агрегатов корнями и проникновения влаги. Ведь то и другое – основные факторы разуплотнения почв.

Отдельного внимания заслуживает характеристика порового пространства, указывающая на отношение межагрегатных пор к внутриагрегатным. На пашне доля межагрегатных пор резко возрастает в ущерб внутриагрегатным. Такое строение пашни обуславливает ее повышенную способность запасать влагу, но и быстро ее терять.

Сужение соотношения «почва-раствор», обнаруживаемое при переуплотнении, увеличение объема термодинамически связанной воды, уменьшение протяженности пор вертикальной ориентации приводит к снижению проницаемости почвы для воды, воздуха, элементов, растворов, миграционной способности и консервации элементов на месте. Не менее важным следствием является замедление превращения веществ в рамках большого и малого циклов. Вертикальные перемещения влаги и веществ, судя из достаточно выраженной водопроницаемости не прекращаются, а скорее всего, локализируются в относительно крупных межагрегатных порах. Это и будут так называемые «preferential flow» – преимущественные (предпочтительные) потоки. В межагрегатных порах влага перемещается намного быстрее, так как не подвержена действию капиллярных сил, на нее действуют преимущественно гравитационные силы. Поэтому она быстрее достигает больших глубин и меньше взаимодействует с поверхностью почвенных агрегатов. Именно эта особенность миграции влаги объясняет, почему в рассматриваемых вариантах пашни глубина промачивания больше чем на целине, несмотря на повышенную плотность пашни.

Вместе с тем, нельзя не подчеркнуть, что влагоемкость распаханной почвы, ее способность воспринимать влагу и равномерно распределять по всему объему корнеобитаемого слоя существенно хуже, чем целины.

Впитывание влаги в рыхлую почву сопровождается ее уплотнением, быстрым наступлением равновесного состояния. Одновременно с этим резко уменьшается поступление влаги в почву. Затухание тем стремительнее, чем рыхлее и хуже

оструктурена исходная почва. Причина затухания впитывания – уменьшение градиента капиллярно-сорбционного потенциала. Сухая почва, имеющая максимальный потенциал, при увлажнении его быстро исчерпывает (снижает). При снижении потенциала до нуля скорость впитывания становится постоянной и равняется коэффициенту фильтрации или насыщенной гидравлической проводимости.

Впитывание влаги – плохо поддающийся формализации изменчивый процесс, управляемый большим числом факторов. Если поры крупные, впитывание продолжается дольше, тонкие – короче. Но так как в почве имеются поры различного размера, то мелкие быстрее заполняются водой, насыщаются. Поток в них становится ламинарным (прямолинейным, параллельным) и подчиняется закону Дарси, то есть, пропорционален гидравлическому градиенту. Легко предположить, чем плотнее почва и чем меньше крупных пор она содержит, тем скорее завершается фаза впитывания (ненасыщенный поток) и наступает фильтрация (насыщенный поток). Именно поэтому, черноземы пашни в сравнении с целиной характеризуются контрастным водным режимом.

Чем выше равновесная плотность, тем выше вероятность возникновения поверхностного и горизонтального внутрипочвенного стока. Любые перепады плотности в профиле замедляют потоки влаги. Если поверхностный рыхлый слой сменяется уплотненным (например, в черноземе плужная подошва в основании пахотного слоя), весьма вероятно застаивание влаги, временное внутрипочвенное либо внутриагрегатное переувлажнение.

Повышенная равновесная плотность на пашне негативным образом сказывается на воздухоемкости почвы. В черноземе типичном среднесуглинистого и тяжелосуглинистого грансостава уже при плотности 1,3–1,4 г/см³ содержание воздуха опускается до критического уровня – менее 15 %.

ВЫВОДЫ

На основании сравнения микростроения пор и агрегатов, горизонтального, вертикального и временного профилей, а также, главным образом, физических свойств целинных и распахиваемых черноземов, и учитывая существенные различия между ними сделан вывод о правомерности выделения агрозема как самостоятельного типа почвы.

Полигенетичность – основная причина формирования агроземов. Агрозем – продукт природных, экономических (производственных, технологических) и социальных факторов. Сегодня человек и его деятельность на земле становится ведущим фактором формирования новых почв. В результате антропогенной эволюции постепенно формируется новая почва с иными свойствами и режимами в сравнении с целинным аналогом.

Особенности агрозема как новой почвы в сравнении с целиной следующие: анизотропность, бимодальность порового пространства, консолидация почвенных агрегатов, сезонная и многолетняя динамика сложения и свойств, начальные признаки трансформации тонкодисперсной минеральной части по типу лессиважа, нарушение обратимости почв вследствие потери и лабилизации органического вещества, возникновение новых горизонтальных, вертикальных и временных профилей, аридизация и уменьшение биоразнообразия. Агрозем теряет способность восстанавливать присущие ему модальные, характерные для природного аналога, параметры. Вследствие усиления пространственной неоднородности (гетерогенности) для агрозема характерен постепенный переход от континуальности к дискретности почвенного покрова, и в целом – локальное ослабление дернового – применительно к черноземам, процесса почвообразования.

Агрозем как новый тип почвы требует отражения в номенклатуре и классификации, учета в районировании и дифференцированном использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Atlas tekstur I struktur osadochnykh gomykh porod. Ch. 1. Oblomochnye i glinistyie porody, 1962 [The Atlas of sedimentary structures of rocks. P. 1. Rock debris and clay breeds]. Editor A. V. Habakov. Publishing house of the literature on geology and protection of bowels, Moscow (in Russian).
- Bogdanov, N. I., 1959. Voprosy pochvennoy struktury [Questions of soil structure]. Works Omsk agr. Institute 34, 43–55 (in Russian).
- Chesnjak, O. A., Chesnjak, G. J., Zakharova, V. A., 1966. Dinamika pitatelnykh veshchestv i mikrobiologicheskie protsessy v moshchnom chernozeme pri dlitelnom ego sel'skokozyajstvennom ispolzovanii [Dynamics of nutrients and microbiological processes in powerful chernozem at its long agricultural use]. Trudy Khark. Selhosinstitute im. V. V. Dokuchaeva 49, 17–24 (in Russian).
- Dojarenko, A. G., 1963. Izbrannye sochineniia [The selected compositions]. Publishing house «Selhozgis», Moscow (in Russian).
- Dokuchaev, V. V., 1953. Nashi stepi prezhe i teper [Our steppe before and now]. Selhosgis, Moscow (in Russian).
- Domzal, H., Slowinska-Jurkiewich, A., Turski, R., Palicot, M., 1980. The influence of agricultural cultivation on the density and water retention of soils formed from loesses. Polish J. Soil Science 13, 91–98.
- Frydland, V. M., 1972. Struktura pochvennogo pokrova [Structure of a soil cover]. Idea, Moscow (in Russian).
- 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.
- Gorjachkin, S. V., 2006. Problema prioriteto v sovremennykh issledovaniakh pochvennogo pokrova: strukturno-funktsionalno-informatsionnyj podkhod ili partsialnyj analiz [Problem of priorities in modern researches of a soil cover: the structural-functional-information approach or the partial analysis]. Proceedings «Modern natural and anthropogenous processes in soils and geosystems». Moscow, 53–80 (in Russian).
- Grinchenko, O. M., Chesnjak, O. A., Chesnjak, G. Ja., 1966. Vliianie sel'skokozyajstvennoj kultury na izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv mochshnogo chernozema [An influence of an agricultural crop on change of physical and chemical properties of powerful chernozem]. Sc. works of Kharkiv agriuniversity 49, 7–16 (in Russian).
- Horn, R., Fleige, H., 2000. 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, 109–121.
- Kachynsky, N. A., 1965. Fizika pochv. Ch. 1 [Soil physics. P. 1]. Printing house of MSU, Moscow (in Russian).
- Kolomiets, O. P., Nedashrivsky, O. I., 1976. Shchilnist gruntu i ii reguluvannia protiagom vegetatsii tsukrovykh buriakiv [Soil bulk density and its managing on vegetation of sugar beet]. Visnyk agrarnoy nauky 10, 13–17 (in Ukrainian).
- Laktionova, T. N., Medvedev, V. V., Savchenko, K. V., Bigun, O. N., Shejko, S. N., Nakisko, S. G., 2012. Baza dannykh «Svoystva pochv Ukrainy». Struktura i poriadok ispolzovaniia [«Database of soil properties for Ukraine». Structure and the order of use]. Apostrophe, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 1979. Optymalni agrofizychni parametry gruntiv [Optimum agriphysical soil parameters]. Agrokhimiia i gruntoznavstvo 38, 54–61 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., 1989. O lessivazhe v pakhotnykh tipichnykh chernozemakh [On lessive in arable typical chernozems]. Bulletin Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva 51, 4–5 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2008. Struktura pochvy (metody, genesis, klassifikatsiia, evolyutsiia, geografiia, monitoring, okhrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)]. 13 printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2014. Soderzhanie i zakonomenosti antropogennoj evolyutsii pochv [The content and laws of soil antropogeneous evolution]. Gruntoznavstvo 15(1-2), 17–32 (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., Pocheptsova, L. G., 2003. Vplyv struktury gruntu na filtratsiynu zdatnist [Influence of soil structure on its filtrational ability]. Visnyk agrarnoy nauky 3, 5–8 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., Pocheptsova, L. G., Lysogubov, V. A., Romaschenko, M. I., Korjunenko, V. N., Rjabkov, S. V., Usatyi, S. V., 2003. Osobennosti formirovaniia vertikalnykh vodnykh potokov v chernozeme tipichnom [Features of formation of vertical water streams in

- chernozem typical]. Visnyk KhNAU. Soil Science 1, 37–43 (in Russian).
- Medvedev, V. V., Lyndina, T. E., Laktionova, T. N., 2004. Plotnost slozheniia pochv. Geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekt [Soil bulk density. Genetic, ecological and agronomy aspects]. 13 printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Tsybulko, V. G., 1982. Vliianie orosheniia na izmenenie fizicheskikh i fiziko-mekhanicheskikh svojstv chernozemnykh pochv [The impact of irrigation on dynamic of physical-mechanical properties of chernozemic soils]. Melioratsiia pochv Russkoj ravniny. Science, Moscow, 81–87 (in Russian).
- Osnovy agrofiziki, 1959 [Background of agro-physics]. Editors A. F. Ioffe and I. B. Revut. Physmatgis, Moscow (in Russian).
- Pereuplotnenie pakhotnykh pochv. Prichiny, sledstviia, puti umensheniia, 1987 [Overcompaction of arable soils. The reasons, consequences, ways of reduction]. Editor V. A. Kovda. Science, Moscow (in Russian).
- Polupan, M. I., Solovej, V. B., Velichko, V. A., 2005. Klasyfikatsiia gruntiv Ukrainy [Classification of soils for the Ukraine]. Agrarian science, Kyiv (in Ukrainian).
- Russkij chernozem. 100 let posle Dokuchaeva, 1983 [Russian chernozem. 100 years after Dokuchaev]. Editors V. A. Kovda, E. M. Samojlova. Science, Moscow (in Russian).
- Tichonenko, D. G., 2012. Uchennia pro budovu grun-tovogo pokryvu [Doctrine on soil cover structure]. Agriuniversity named V. V. Dokuchaev, Kharkiv (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 26.01.2016