

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

С. В. Дыдышко¹, Т. Н. Азаренок¹, О. В. Матыченкова¹, С. В. Шульгина²

*¹Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

*²Высшая аттестационная комиссия РБ,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Особенностью современного процесса почвообразования является превалирование антропогенного фактора в формировании компонентного состава почвенного покрова пахотных земель. Интенсивное агрогенное воздействие приводит к сильному преобразованию зональных почв, их ускоренной трансформации и, как следствие, к возникновению антропогенно-преобразованных почв [1, 4, 5, 8, 9–12, 23, 24, 28, 29].

В республике при проведении крупномасштабных почвенных исследований на почвенных картах с достаточной полнотой отражается генезис почвообразующих пород, обуславливающих исходный гранулометрический состав почв. Минералогический и химический составы, общие физические, водно-воздушные, тепловые свойства и режимы, почвообразующих пород наследуются почвами и определяют их морфологические признаки и свойства. Гранулометрический состав в условиях Беларуси является одним из важнейших показателей плодородия почв, который определяет интенсивность протекания почвообразовательных процессов, связанных с превращением, миграцией и аккумуляцией тонкодисперсной фракции (< 0,01 мм), органических и минеральных соединений не только в пахотном горизонте почв, но и метровой корнеобитаемой толще. Строение почвообразующих пород, их генезис и гранулометрический состав оказывают влияние на качество почв, находящихся в интенсивной системе земледелия, определяют их производительную способность и агроэкологический потенциал для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур.

Вовлечение почв в длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменение не только их наиболее динамичных (агрохимических, физико-химических) свойств, но, и как считалось ранее, консервативных (содержание и соотношение гранулометрических фракций) характеристик. С учетом региональных особенностей почвообразования в пахотных почвах происходит накопление, а затем закрепление новых признаков и свойств, ряд которых не характерен для естественного почвообразования: наблюдаются различия в соотношении содержания ила, средней и мелкой пыли, во фракции физической глины, концентрирующей основную массу органического вещества [27]. Различия в соотношении этих гранулометрических фракций в результате агрогенеза и наличие взаимосвязей

с гумусным состоянием почвы оказывают влияние на содержание, качество гумуса и, следовательно, уровень потенциального плодородия почв [2, 7, 13, 17]. Гумусовые вещества почвы, несмотря на сравнительно небольшое содержание, играют важнейшую роль в создании почвенного плодородия и в питании растений. Установлено, что с коллоидными и илистыми частицами связан гумус преимущественно фульватного типа, а с более крупными фракциями – гуматного. Таким образом, особенности гумусонакопления в почвах во многом определяются их гранулометрическим составом и генезисом [3, 7, 14, 20, 25]. С тонкодисперсной составляющей тесно связаны буферные свойства – важнейшая почвенно-химическая характеристика, являющаяся одним из основных показателей поглощательной способности почв. В условиях усиливающегося агрогенного воздействия неизбежно изменение кислотно-основных свойств, что в конечном итоге отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур. Буферные свойства отражают способность не только противостоять резкому изменению свойств почв при внешних воздействиях, но и способность возобновлять предыдущую величину рН во времени и отвечают за реализацию буферных механизмов к подкислению.

Поэтому необходимым и важным представляется разработка таких критериев и показателей, которые позволили бы оперативно определить направленность происходящих изменений и дать объективную оценку агроэкологического состояния почв, обнаружить которые возможно при условии наличия эталона сравнения, а именно, естественных почв. Такими критериями могут являться показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей (содержание ила, средней и мелкой пыли, насыщенность физической глины илом и пылью, содержание гумуса в почве и в физической глине, степень насыщенности физической глины гумусом) и кислотно-основной буферности (площадь буферности в кислотном и щелочном интервалах).

Цель исследования – провести оценку агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава, находящихся в интенсивной системе земледелия.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследований явились пахотные дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся на мощных лессовидных легких суглинках, занимающих 83,7 % в составе пахотных земель ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (балл плодородия – 72,3, индекс окультуренности – 0,92) и пахотные дерново-подзолистые почвы связно- и рыхлосупесчаного гранулометрического состава, подстилаемые с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком, занимающих 52,2 и 11,5 % в составе пахотных земель ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области (балл плодородия – 68,6 и 55,9 соответственно, индекс окультуренности – 0,90 и 0,88 соответственно), а также их естественные аналоги (почвы под лесом) в качестве эталона сравнения (рис. 1).

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [15], общее содержание гумуса, (%) – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91) [22].

<p>Полюяма 6–22 заложена на пахотных землях ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области за д. Леонтьевичи (53°46'46,9" с.ш. 27°29'51,9" в. д.), h = 198 м (р/у № 41, э/у № 235) Культура: яровой ячмень. Удобрения: N₇₈P₆₂K₁₂₀.</p>	
<p>Полюяма 8–22 заложена на пахотных землях ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области за д. Скориничи (53°48'17,7" с. ш. 27°31'7,60" в. д.), h = 223 м (р/у № 23, э/у № 132) Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₁₆₅P₉₁K₁₅₇</p>	
<p>Почвы: дерново-палево-подзолистые суглинистые почвы, развивающиеся на мощных лессовидных легких суглинках</p>	
<p>Полюяма 1–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области за а/г Голоцк (53°42'02,7" с. ш. 27°50'14,5" в. д.), h = 184 м Культура: многолетние травы. Удобрения: N₁₀₀.</p>	
<p>Полюяма 2–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области около д. Пески (53°42'50,1" с. ш. 27°48'59,5" в. д.), h = 183 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Почвы: дерново-подзолистые супесчаные почвы, развивающиеся на пылевато-песчанистых связных супесях, подстилаемых с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком</p>	
<p>Полюяма 9–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области за д. Токарня (53°41'42,3" с. ш. 27°49'12,3" в. д.), h = 186 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Полюяма 10–22 заложена на пахотных землях ОАО «Голоцк» Пуховичского района Минской области около д. Пески (53°42'33,7" с. ш. 27°49'17,2" в. д.), h = 182 м Культура: озимая тритикале. Удобрения: N₂₀₀₊₁₁₀.</p>	
<p>Почвы: дерново-подзолистые супесчаные почвы, развивающиеся на водно-ледниковых рыхлых супесях, подстилаемых с глубины до 0,5–1,0 м моренным суглинком</p>	

Рис. 1. Морфологический облик дерново-подзолистых почв-объектов исследования (фрагмент)

Показатели гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей рассчитаны по методике В. С. Крыщенко с соавторами [17]: базовое значение ила (a_{dt} , %) и пыли (b_{dt} , %) в физической глине, насыщенность физической глины илом (V_a , %) и пылью (V_b , %), константы динамического равновесия (K_a , K_b), содержание гумуса в физической глине (x_p , %) и насыщенность физической глины гумусом (W , %):

y – содержание физического песка в почве, %;

z – содержание физической глины в почве, %;

a_{ϕ} – содержание илистой фракции, %;

b_{ϕ} – содержание пылеватых фракций физической глины, %;

$a_{dt} = 0,01 \cdot z^2$ – базовое детерминантное расчетное содержание илистой фракции в почве как статистически наиболее вероятная величина для данного значения z , %;

$b_{dt} = z - a_{dt} = 0,01 \cdot y \cdot z$ – базовое расчетное содержание пылеватых фракций физической глины почвы, %;

$K_a = a_{\phi}/a_{dt}$ – константа динамического равновесия при $a_{\phi} > b_{\phi}$;

$K_b = b_{\phi}/a_{dt}$ – константа динамического равновесия при $b_{\phi} > a_{\phi}$;

K_a и K_b могут принимать значения $> 1,0$ (физическая глина насыщена илом (пылью)), $< 1,0$ (физическая глина не насыщена илом (пылью)) и равные $1,0$ при $a_{\phi} = a_{dt}$;

$V_a = 100 \cdot a_{\phi}/z$ – степень насыщенности физической глины илом при $a_{\phi} > b_{\phi}$, %;

$V_b = 100 \cdot b_{\phi}/z$ – степень насыщенности физической глины пылью при $a_{\phi} < b_{\phi}$, %;

y_r – содержание гумуса в почве, %;

$x_p = y_r \cdot K$ – расчетное содержание гумуса в физической глине при $K > 1,0$, %;

$x_p = y_r / K$ – расчетное содержание гумуса в физической глине при $K < 1,0$, %;

$W = 100 \cdot x_p/z$ – степень насыщенности физической глины гумусом, %.

Определение кислотно-основной буферности проводили по методу Аррениуса [16]. Оценка показателей кислотно-основной буферности основана на определении сдвига величины рН почвенных суспензий при добавлении к ним кислот или щелочей различной концентрации. В качестве базисной кривой использована кривая титрования суспензии кварцевого песка. Показатели естественной буферной способности в кислотном и щелочном интервале рассчитывали по П. П. Надточему [18].

Коэффициент трансформации почв (КТП) определялся по формуле (1) [26]:

$$\text{КТП} = \sum \text{индексов} - (n-1), \quad (1)$$

где, $\sum \text{индексов}$ – сумма числовых выражений индексов,

n – количество используемых индексов.

Коэффициент устойчивости почв (КУП) определялся по формуле (2) [19]:

$$\text{КУП} = \frac{\sum \text{показателей классов}}{n} - (n-1) \quad (2)$$

где, n – количество используемых классов.

Алгоритм оценки агроэкологического состояния почв, находящихся в длительном сельскохозяйственном использовании, приведен на рисунке 2.

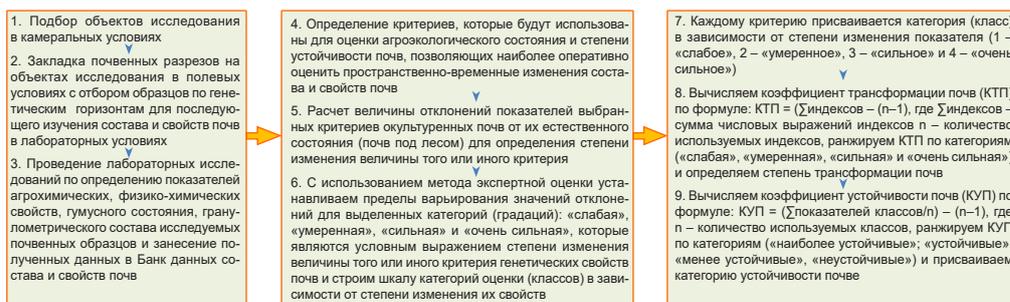


Рис. 2. Алгоритм оценки трансформации агроэкологического состояния почв в результате длительного агрогенного воздействия

Определение криволинейных коэффициентов корреляции (η) по Б. А. Доспехову [6] между показателями гумус-гранулометрических отношений и кислотно-основной буферности с производительной способностью выполнено только для пахотных горизонтов окультуренных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава на которых проведены учеты урожайности сельскохозяйственных (зерновых) культур методом полевых мелкоделяночных учетов ($S = 1 \text{ м}^2$) в производственных посевах. Проверка выборки на нормальность распределения проводилась на основании вычисления показателей асимметрии и эксцесса с использованием программы Excel (вставка Формулы – «Статистические»). Показатель асимметрии отражает отклонение вершины реальной кривой распределения от идеальной по оси абсцисс, величина показателя эксцесса характеризует подъем или снижение вершины распределения, то есть – отклонения по оси ординат. Далее на основании формул Е.И. Пустыльника [21] вычислялись критические значения асимметрии и эксцесса с последующим их сравнением с полученными значениями асимметрии (A_s) и эксцесса (E_s). Значения асимметрии (A_s) ($|0,17| - |0,80|$) и эксцесса (E_s) ($|0,03| - |1,21|$) для легкосуглинистых почв оказались меньше критических значений (0,90 и 3,00 соответственно, $n = 56$); значения A_s ($|0,03| - |0,86|$) и E_s ($|0,18| - |2,28|$) для связносупесчаных почв оказались меньше критических значений (0,96 и 2,95 соответственно, $n = 52$); значения A_s ($|0,01| - |0,63|$) и E_s ($|0,02| - |2,11|$) для рыхлосупесчаных почв оказались меньше критических значений (1,20 и 3,45 соответственно, $n = 32$), что указывает на нормальность распределения данных в выборках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрим порядок проведения оценки агроэкологического состояния почв на примере зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава:

1. Подбираем объекты исследования в камеральных условиях.
2. В полевых условиях закладываем почвенные разрезы и полуямы с их морфологическим описанием, привязкой по GPS и характеристикой рабочих участков, отбором почвенных образцов по генетическим горизонтам для аналитических исследований состава и свойств почв в лабораторных условиях.
3. Результаты лабораторных исследований заносятся в Банк данных агроэкологического состояния почв (рис. 3). Систематизированные данные послужат

основой проведения статистических расчетов с целью получения развернутой характеристики трансформации состава и свойств исследуемых почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования.

	E	F	G	H	U	V	AB	AP	AQ	AR	AS	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX
1	Област	Region	Plant	Ноз	N_Profil	Year	Soil_Kod_2	Horizon_inde	Horizon_in	Horizon_Probe	Horizon_P	Includes_size	Gran_1	Gran_2	Gran_3	Gran_4	Gran_5	Gran_6	Gran_7	Silt	Clay
2	Область	Район	Форма предприятия (СПК, колхоз и т.д.)	Название предприятия	Номер разреза	Год закладки и разреза	Классификационное положение почвы (на уровне равновидности)	Обозначение горизонта (индекс)	Обозначение горизонта (интервала)	Глубина отбора образца, см	Глубина взятия образца	Гранулометрический состав (>3 мм)	Гранулометрический состав (% 3-1 мм)	Гранулометрический состав (% 1-0,5 мм)	Гранулометрический состав (% 0,25-0,05 мм)	Гранулометрический состав (% 0,05-0,01 мм)	Гранулометрический состав (% 0,01-0,005 мм)	Гранулометрический состав (% 0,005-0,001 мм)	Содержание ила (%)	Содержание физической глины (%)	
3	текстовый	текстовый	текстовый	текстовый	числовой	числовой	текстовый	текстовый	текстовый	числовой	числовой	текстовый	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой	числовой
4	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5-15	10	0,5	2,9	12,3	4	28,5	35,5	5,4	6	4,9	16,3
5	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	20-30	25	0,8	3,4	12	3,7	23,5	40,7	5,5	5,4	5	15,9
6	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	B ₁	B ₁	35-45	40	0,2	2,8	7,4	1,8	20,2	44,2	3,7	2,4	17,3	23,4
7	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5-15	10	0,3	3,5	11,2	3,5	26,3	39,4	5,8	6,1	3,9	15,8
8	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	20-30	25	0,8	3,4	9,6	3,2	25,3	41,3	6	5,4	5	16,4
9	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	11УР-	2021	дерново-	B ₁	B ₁	35-45	40	0	2,9	8	2,5	21,9	42	4,1	3,4	15,2	22,7
10	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	12УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5-15	10	0	2,8	5,7	2,1	31,2	38,4	7,8	7	5	19,8
11	Минская	Пухович	ОАО	Голоцок	12УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	35-45	40	0,1	2,3	13,8	4	27,7	35,9	5,7	4,5	6	16,2
12	Минская	Минский	ОАО	Голоцок	12УР-	2021	дерново-	A ₁	P	5-15	10	0	3,1	6,2	2,4	31	37,6	8	6,6	5,1	19,7
13	Минская	Минский	ОАО	Голоцок	12УР-	2021	дерново-	A ₁	E	30-40	35	0	2,6	10,4	2,9	22,3	44,7	8,4	6,3	2,4	17,1
14	Минская	Минский	ОАО	Голоцок	12УР-	2021	дерново-	A ₁ B ₁	BE	35-45	40	0,1	2	13,4	3,7	28,1	36,3	5,9	4,3	6,2	16,4

Рис. 3. Фото фрагмента Банка данных состава и свойств дерново-подзолистых почв Беларуси

4. В условиях Беларуси именно гранулометрический состав принимается за один из главных критериев качества почв. Наибольшее значение имеет наиболее подвижная составляющая – фракция физической глины, определяющая почвенное плодородие. Содержание физической глины в естественных и окультуренных почвах различной степени агрогенной трансформации одинакового гранулометрического состава находится на одном уровне, но распределение ила и пылеватых фракций в них различается, существенно изменяя ее качественный состав. Тонкодисперсная составляющая тесно связана с другими элементами почвенной системы, в частности с гумусом почвы: количественное содержание и качественный состав фракции физической глины влияет на содержание гумуса и его качество, и, следовательно, на уровень потенциального почвенного плодородия. Поэтому в качестве критериев для оценки агроэкологического состояния почв нами использованы показатели гумус-гранулометрических отношений (a_{ϕ} , b_{ϕ} , V_a , V_b , u_r , x_p , W) (табл. 1), имеющие связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур (корреляционное отношение η изменяется от 0,47 до 0,93).

При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [17]. Первый блок характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов (z – содержание физической глины, a_{ϕ} – ила, b_{ϕ} – средней и мелкой пыли), базовые значения ила (a_{dt}) и пыли (b_{dt}), степень насыщенности физической глины илом (V_a) или пылью (V_b), а также константы динамического равновесия (K_a , K_b) по преобладающей фракции. Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от базового значения ила (a_{dt}), которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной и используется в качестве эталона сравнения. Второй блок характеризует гумусированность почвенных образцов по двум показателям – содержанию гумуса в почве (u_r) и в физической глине (x_p). Гумусированность фракций физической глины предопределяет величину содержания гумуса в почве, которую можно рассматривать как содержание гумуса в физической глине, механически

разбавленной массой, которая мало или вовсе не содержит гумуса, т. е. физическим песком. В данном случае играет роль не только количество физического песка (частицы $> 0,01$ мм), но и отношение ила и пыли в физической глине. Избыток ила или пыли в физической глине, по отношению к базовому значению ила, усиливает разбавляющий эффект. В этом случае значение x_p намного превышает y_r , а константы имеют наибольшие значения. Показатель x_p несет информацию о дисперсности почвенного образца, где концентрация гумуса в физической глине изменена («разбавлена») через константу равновесия (K) до значения y_r .

Константы ($K_{a,b}$) сводятся к тому, чтобы привести к единому масштабу показатели содержания гумуса в почве, и сопоставить друг с другом, так как они приводятся к общему знаменателю, т. е. выполняют функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной.

Важное теоретическое и практическое значение имеет показатель степени насыщенности физической глины гумусом (W), совокупно выражающий общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций ($K_{a,b}$) во взаимосвязи с гумусностью физической глины (x_p) и содержанием гумуса в почве (y_r).

Установлено, что естественные почвы (под лесом) различного гранулометрического состава и их окультуренные аналоги относятся к группе почв с пылеватой физической глиной – фактическое содержание пылеватых фракций (b_{ϕ}) в гумусовых (гумусово-элювиальных) и пахотных горизонтах превышает фактическое содержание илистой фракции (a_{ϕ}). Причем физическая глина насыщена пылью – фактическое содержание b_{ϕ} больше базового содержания ила (a_{dt}). Исследуемые почвы характеризуются «средней» степенью насыщенности физической глины пылью, за исключением окультуренных рыхлосупесчаных, для которых характерна «сильная» степень насыщенности пылью.

Содержание гумуса в физической глине (x_p) значительно превышает его содержание в почве (y_r), поскольку константы динамического равновесия (K_b) $> 1,0$, что свидетельствует об избытке пыли в физической глине относительно базового содержания ила (a_{dt}) в рассматриваемых горизонтах. Насыщенность физической глины гумусом (W) изменяется в почвах под лесом от 40,97 % в связносупесчаных до 54,96 % – в рыхлосупесчаных; в пахотных аналогах – от 33,20 % в легкосуглинистых до 98,93 % в рыхлосупесчаных почвах.

Важное значение имеют и буферные свойства, тесно связанные с тонкодисперсной составляющей, отражающие физико-химический аспект плодородия почв. Буферность почвы обусловлена присутствием в ней коллоидов, содержащих способные к обмену ионы: ионы водорода определяют буферность по отношению к щелочам, а ионы основания – к кислотам. Таким образом, буферные свойства отражают способность почв противостоять резкому изменению ее свойств при внешних воздействиях и отвечают за реализацию буферных механизмов к подкислению. Поэтому для оценки агроэкологического состояния почв нами также использованы и показатели площадей буферности в кислотном (S_k) и щелочном ($S_{щ}$) интервалах (табл. 2), имеющие связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур (корреляционное отношение η изменяется от 0,41 до 0,86). Установлено, что почвы под лесом независимо от гранулометрического состава характеризуются «средней» буферностью к подщелачиванию и «очень низкой» – к подкислению; окультуренные аналоги – «низкой» буферностью к подщелачиванию и «средней» – к подкислению.

Таблица 1

Количественное содержание фракций физической глины по профилю дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава и их взаимосвязь с содержанием гумуса в почве

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %			Базовое содержание фракций, %		Насыщенность физической глины илом, %	Насыщенность физической глины пылью, %	Константы динамического равновесия	Гумус, %		Насыщенность физической глины гумусом, %			
	< 0,01 мм		0,001–0,01 мм	< 0,001 мм	0,001–0,01 мм				V _a	V _b		K _{a,b}	Y _r	X _p
	z	a _ф	b _ф	a _{дт}	b _{дт}									
Естественные легкосуглинистые почвы, б*														
A ₁ , 4–9	21,5±1,5	7,6±1,9	13,9±2,0	4,63±0,64	16,83±0,88	35,27±7,84	64,73±7,84*	3,03±0,43	3,15±1,45	9,46±4,60	43,68±20,79			
Окультуренные легкосуглинистые почвы, б														
A _п , 5–25	22,4±1,6	8,0±2,0	14,4±2,0	5,04±0,71	17,36±0,88	35,51±8,65	64,49±8,65	2,91±0,48	2,55±0,24	7,33±1,82	33,20±9,99			
Естественные связносупесчаные почвы, б														
A ₁ A ₂ , 3–7	17,1±0,5	7,2±0,4	9,9±0,1	2,94±0,15	14,20±0,30	42,16±1,28	57,84±1,28	3,38±0,16	2,08±0,14	7,02±0,38	40,97±2,67			
Окультуренные связносупесчаные почвы, б														
A _п , 5–15	17,8±0,7	6,3±1,0	11,5±1,2	3,17±0,24	14,62±0,42	35,20±5,86	64,80±5,86	3,65±0,31	2,46±0,17	8,97±0,72	50,48±4,43			
Естественные рыхлосупесчаные почвы, б														
A ₁ A ₂ , 5–10	13,3±1,1	4,9±0,5	8,4±0,6	1,78±0,28	11,52±0,78	36,82±0,67	63,18±0,67	4,77±0,43	1,55±0,35	7,33±2,89	54,96±20,26			
Окультуренные рыхлосупесчаные почвы, в														
A _п , 5–15	13,3±1,0	3,8±0,2	9,6±1,0	1,79±0,27	11,54±0,76	28,40±2,23	71,60±2,23	5,37±0,33	2,44±0,14	13,11±1,10	98,93±15,37			

* а) 50,0–54,9 % – слабая степень насыщенности физической глины илом или пылью; б) 55,0–64,9 % – средняя; в) 65,0–74,9 % – сильная; г) > 75,0 % – очень сильная.

Площади буферности в щелочном и кислотном интервале относительно кривой буферности кварцевого песка

Генетический горизонт, глубина отбора образца, см		Площадь буферности		Естественная буферность	
		в щелочном интервале ($S_{щ}$), см ²	в кислотном интервале (S_k), см ²	в щелочном интервале ($S_{щ}$), %	в кислотном интервале (S_k), %
Легкосуглинистые	A ₁ , 4–9	22,8±1,0	2,3±0,1	45,0±2,1	15,6±0,6
	A _п , 5–25	10,7±2,4	11,3±2,9	20,9±4,7	47,3±6,9
Связносупесчаные	A ₁ A ₂ , 3–7	17,7±1,4	2,0±0,3	34,4±2,8	14,1±1,2
	A _п , 5–15	11,9±1,4	7,7±1,5	23,0±2,7	38,2±4,3
Рыхлосупесчаные	A ₁ A ₂ , 5–10	16,4±1,2	1,9±0,2	31,8±2,3	13,5±1,2
	A _п , 5–15	7,8±0,8	10,9±2,2	15,1±0,2	46,6±5,2

5. Для отражения изменения количественных показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности в верхнем корнеобитаемом слое производим расчет величин отклонений показателей гумус-гранулометрических отношений и буферности почв пахотных земель от таковых в исходном (естественном) состоянии.

6. Оценка степени изменения свойств почв во времени под влиянием антропогенного фактора требует создания соответствующей шкалы, позволяющей дифференцировать изменения почвенных критериев по степени проявления. На основе величин отклонений, с использованием метода экспертной оценки, устанавливаем пределы варьирования значений отклонений для выделенных категорий (градаций), которые являются условным выражением степени изменения величины того или иного критерия генетических свойств почв (табл. 3).

Шкала степени изменения критериев генетических свойств почв в результате длительного сельскохозяйственного использования

№	Критерий	Степень изменения величины критерия:			
		1 – «слабая»	2 – «умеренная»	3 – «сильная»	4 – «очень сильная»
1	Содержание ила, $a_{ф}$, %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
2	Содержание пыли в ф/г, $b_{ф}$, %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
3	Насыщенность ф/г илом, V_a , %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
4	Насыщенность ф/г пылью, V_b , %	≤ 5	5,1–15	15,1–30	> 30
5	Содержание гумуса в почве, u_r , %	≤ 5	5,1–20	20,1–40	> 40
6	Содержание гумуса в ф/г, x_p , %	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
7	Насыщенность ф/г гумусом, W , %	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
8	Буферности в кислотном интервале, S_k , см ²	≤ 20	20,1–50	50,1–100	> 100
9	Буферности в щелочном интервале, $S_{щ}$, см ²	≤ 5	5,1–30	30,1–60	> 60

7. Каждому критерию присваиваем категорию (класс) в зависимости от степени изменения показателя (1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное») как со знаком «+» так и «-», то есть имеет двойственный характер (табл. 4).

8. Рассчитываем коэффициент трансформации почв (КТП) по формуле 1, ранжируем КТП по категориям с одинаковым шагом и определяем степень трансформации почв: в данном случае для легкосуглинистых почв КТП = 10, что соответствует «умеренной» степени трансформации; для связносупесчаных почв КТП = 15 («умеренная» степень трансформации); для рыхлосупесчаных почв КТП = 19 («сильная» степень трансформации).

Таблица 4

Оценка агроэкологического состояния дерново-подзолистых почв

Критерий	Естественная почва	Величина отклонения, %	Категория (класс) изменения*	КТП и степень трансформации почв**	КУП и категория устойчивости почв***
	A ₁ (A ₂)				
Легкосуглинистые почвы					
a _ф , %	7,6	+5,3	2	10 («умеренная»)	1,50 («устойчивые»)
b _ф , %	13,9	+3,6	1		
V _а , %	35,27	+0,7	1		
V _б , %	64,73	-0,4	1		
y _г , %	3,15	-19,3	2		
x _р , %	9,46	-22,5	2		
W, %	43,68	-24,0	2		
S _щ , см ²	22,8	-53,1	3		
S _к , см ²	2,3	+391,3	4		
Связносупесчаные почвы					
a _ф , %	7,2	-12,5	2	15 («умеренная»)	2,75 («менее устойчивые»)
b _ф , %	9,9	+16,2	3		
V _а , %	42,16	-16,5	3		
V _б , %	57,84	+12,0	2		
y _г , %	2,08	+18,3	2		
x _р , %	7,02	+27,8	2		
W, %	40,97	+23,2	2		
S _щ , см ²	17,7	-32,8	3		
S _к , см ²	2,0	+285,0	4		
Рыхлосупесчаные почвы					
a _ф , %	4,9	-22,4	3	19 («сильная»)	3,75 («неустойчивые»)
b _ф , %	8,4	+14,3	2		
V _а , %	36,82	-22,9	3		
V _б , %	63,18	+13,3	2		
y _г , %	1,55	+57,4	4		
x _р , %	7,33	+79,4	3		
W, %	54,96	+81,4	3		
S _щ , см ²	16,4	-52,4	3		
S _к , см ²	1,9	+473,7	4		

* 1 – «слабое» изменение, 2 – «умеренное», 3 – «сильное» и 4 – «очень сильное»;

** Коэффициент трансформации почв (КТП) и степень трансформации: 1–8 – «слабая» степень трансформации, 9–16 – «умеренная», 17–24 – «сильная» и > 24 – «очень сильная»;

*** Коэффициент устойчивости почв (КУП) и категория устойчивости: КУП ≤ 1,00 – «наиболее устойчивые»; 1,01–2,00 – «устойчивые»; 2,01–3,00 – «менее устойчивые»; > 3,00 – «неустойчивые».

9. Рассчитываем коэффициент устойчивости почв (КУП) по формуле 2, ранжируем КУП по категориям с одинаковым шагом и определяем категорию устойчивости почв: в данном случае для легкосуглинистых почв КУП = 1,50 (соответствует категории «устойчивые»); для связносупесчаных почв КУП = 2,75 («менее устойчивые»); для рыхлосупесчаных почв КУП = 3,75 («неустойчивые»).

Таким образом, критерии, основанные на показателях гумус-гранулометрических отношений и буферности, могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки агроэкологического состояния почв при проведении научных, мониторинговых исследований, учебном процессе, разработке мероприятий по сохранению и повышению плодородия почв. Следовательно, оценка устойчивости дерново-подзолистых почв к агрогенным воздействиям, находящихся в условиях длительного сельскохозяйственного использования, имеет комплексный подход и актуальный характер в условиях государственной экологической политики рационального использования почв.

ВЫВОДЫ

В статье приведены методические аспекты оценки агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв легкосуглинистого, связно- и рыхлосупесчаного гранулометрического состава, находящихся в условиях длительного сельскохозяйственного использования, по отдельным критериям их генетических свойств.

В качестве критериев использованы показатели гумус-гранулометрических отношений и буферности в кислотном и щелочном интервалах, имеющих связи с производительной способностью сельскохозяйственных (зерновых) культур – корреляционное отношение η изменяется от 0,41 до 0,93. В основе оценки применены расчетные величины отклонений вышеперечисленных показателей почв пахотных земель от исходного (естественного) состояния с последующим определением степени изменения величины того или иного критерия («слабая», «умеренная», «сильная» и «очень сильная») и вычислением коэффициента трансформации почв (КТП) и коэффициента устойчивости почв (КУП).

Согласно полученным данным установлено, что почвы легкосуглинистого и связносупесчаного гранулометрического состава характеризуются «умеренной» степенью трансформации (КТП составили 10 и 15 соответственно), а рыхлосупесчаные – «сильной» (КТП составил 19). По категории устойчивости к агрогенным воздействиям почвы легкосуглинистого гранулометрического состава характеризуются как «устойчивые» (КУП составил 1,50), связносупесчаные – «менее устойчивые» (2,75), а рыхлосупесчаные – «неустойчивые» (КУП составил 3,75). Таким образом, результаты вышеизложенных исследований указывают на четкую зависимость степени трансформации изученных разновидностей почв от их гранулометрического состава: почвы более легкого гранулометрического состава сильнее подвержены трансформации, и, следовательно, характеризуются более низкой устойчивостью к агрогенным воздействиям.

Полученные данные могут быть использованы для усовершенствования системы показателей оценки и контроля агроэкологического состояния зональных дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава в учебном процессе, при проведении научных, мониторинговых исследований, разработке мероприятий по сохранению плодородия почв и их рациональному использованию, построению моделей плодородия почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрогенная трансформация гранулометрического состава агродерново-подзолистых почв / С. В. Шульгина [и др.] // Антропогенная трансформация природной среды: сб. ст. междунар. конф; [отв. ред. С. А. Кулакова] / Пермс. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – Т. 1. – Ч. 2. – С. 322–329.
2. *Артемьева, З. С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы / З. С. Артемьева. М.: ГЕОС, 2010. – 240 с.
3. Ахтырцев, Б. П. Зависимость состава гумуса от гранулометрического состава в почвах лесостепи / Б. П. Ахтырцев, Л. А. Яблонских // Почвоведение. – 1986. – № 7. – С. 114–121.
4. *Гаргарина, О. С.* Влияние генезиса и гранулометрического состава суглинистых почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв при выращивании зерновых культур: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03. / О. С. Гаргарина; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Горки, 2002. – 117 с.
5. *Градусов, Б. П.* Факторы и процессы увеличения ила в пахотных горизонтах дерново-подзолистых суглинистых почв / Б. П. Градусов // Почвоведение и агрохимия. – 2005. – № 1(34). – С. 93–95.
6. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
7. *Дьяконова, К. В.* Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К. В. Дьяконова. – М.: Агропромиздат, 1990. – 32 с.
8. *Иванов, И. А.* Изменение свойств подзолистых и дерново-подзолистых почв на песчаных породах при окультуривании / И. А. Иванов, А. И. Иванов, Н. А. Цыганова // Почвоведение. – 2004. – № 4. – С. 487–499.
9. К проблеме облегчения гранулометрического состава дерново-подзолистых почв пахотных земель Беларуси / С. В. Шульгина [и др.] // Почва – удобрение – урожай: материалы Международной научно-практической конференции; редкол.: И. Р. Вильдфлуш (отв. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – С. 238–240.
10. *Канев, В. В.* Трансформация свойств подзолистых почв подзоны средней тайги при освоении и окультуривании / В. В. Канев, В. В. Мокиев // Почвоведение. – 2008. – № 3. – С. 349–359.
11. *Караваева, Н. А.* Агрогенные почвы, условия среды, свойства и процессы / Н. А. Караваева // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1518–1529.
12. *Коротков, А. А.* Характер почвообразовательного процесса и свойства дерново-подзолистых почв при интенсивном их окультуривании / А. А. Коротков // Окультуривание почв нечерноземной зоны в условиях ускоренной интенсификации сельского хозяйства. – Л., 1977. – С. 12–16.
13. *Крыщенко, В. С.* Матричные черты гумус-гранулометрических отношений в полидисперсной системе почв / В. С. Крыщенко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки – 2003. – № 4. – Ч. 2. – С. 102–110.
14. *Лебедь, В. В.* Генезис и диагностика черноземных почв однолесовых террас рек Левобережной Лесостепи Украины: автореф. дис. ... канд. биологических

наук: 03.00.18 / В. В. Лебедь; Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского. – Харьков, 2021. – 24 с.

15. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-2014. – Введ. 05.12.2014. – М.: Стандартинформ, 2019. – 23 с.

16. Методические указания по химическому анализу почв для студентов IV курса специальности «Почвоведение» (Определение катионнообменной способности почв) / сост. О. А. Йонко. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. – С. 16–18.

17. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения / В. С. Крыщенко [и др.] // Живые и биокосные системы. – 2013 – № 2. – 15 с.

18. *Надточий, П. П.* Определение кислотно-основной буферности почв / П. П. Надточий // Почвоведение. – 1993. – № 4. – С. 34–39.

19. Оценка степени устойчивости дерново-подзолистых почв Беларуси к агрогенным воздействиям / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2013. – № 2(51). – С. 43–55.

20. *Полупан, Н. И.* Почвы Украины и повышение их плодородия. Экология, режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты / Н. И. Полупан. – К.: Урожай, 1988. – Том 1. – 296 с.

21. Подготовка данных к дисперсионному анализу [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9113829/page:34/>. Дата доступа: 15.03.2023.

22. Почвы. Методы определения органического вещества: ГОСТ 26213-91. – Введ. 29.12.91. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 8 с.

23. *Самодуров, П. С.* Об изменениях минеральной основы почвенного поглощающего комплекса дерново-подзолистых почв под влиянием процессов окультуривания / П. С. Самодуров // Почвенные условия и применение удобрений: Труды ин-та почвоведения. – М., 1968. – Вып. 5. – С. 56–82.

24. *Самофалова, И. А.* Изменения стабильного свойства почвы (гранулометрического состава) в результате длительного применения различных систем удобрения / И. А. Самофалова / Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы междунар. науч. конф.; под ред. Б. Ф. Апарина. – СПб., 2011. – С. 97–99.

25. Состав и активные формы гумуса дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почв и их связь с урожаем сельскохозяйственных культур: отчет о НИР (промеж.) / БГСХА; рук. темы А.И. Горбылева. – Горки, 1985. – 13 с. – № ГР 84010948.

26. Специфика антропогенной трансформации свойств отдельных типов почв пахотных земель Беларуси / С. В. Шульгина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 1(60). – С. 42–48.

27. *Травникова, Л. С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832–843.

28. *Цытрон, Е. В.* Влияние строения почвообразующих пород на производительную способность дерново-подзолистых почв: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е. В. Цытрон; Ин-т почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2003. – 113 с.

29. *Чижикова, Н. П.* Изменение минералогического состава тонкодисперсных фракций почв под влиянием агротехногенеза / Н. П. Чижикова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 867–875.

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING THE
AGROECOLOGICAL STATE OF SOILS UNDER CONDITIONS
OF LONG-TERM AGRICULTURAL USE**

S. V. Dydyska, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, S. V. Shul'gina

Summary

Methodological aspects of assessing the agroecological state of zonal soddy-podzolic soils of various granulometric composition under conditions of long-term agricultural use are presented. The assessment is based on the calculated deviations of the indicators of humus-granulometric ratios and buffer capacity in the acidic and alkaline range of arable land soils from the initial (natural) state, followed by determining the degree of change in the value of one or another criterion ("weak", "moderate", "strong" and "very strong") and the calculation of transformation coefficients and soil stability. The obtained criteria can be used to improve the system of indicators for assessing and monitoring the agroecological state of soils in the educational process, when conducting scientific and monitoring studies, developing measures to preserve soil fertility and their rational use, and building models of soil fertility.

Поступила 20.04.23