

лики Беларусь. – Минск. – Режим доступа: http://gki.gov.by/ru/rezultaty_kadastrvoiv_ocenki.

26. Лапа, В. В. Перспективы повышения плодородия почв пахотных земель Беларуси (по материалам второго тура кадастровой оценки) / В. В. Лапа, Л. И. Шибут, Т. Н. Азаренок // Почвоведение и агрохимия. – 2018. – № 2(61). – С. 7–14.

ACCOUNTING OF AGROCLIMATIC CONDITIONS OF BELARUS BASED ON THE RESULTS OF LAND ASSESSMENT WORKS

**L. I. Shibut, T. N. Azaronak, O. V. Matychenkova, D. V. Matychenkov,
S. V. Shulgina, S. V. Dydysko**

Summary

The article analyzes the dynamics of data describing the agro-climatic conditions of Belarus (the sum of temperatures above 10 °C, precipitation, hydrothermal coefficient, bioclimatic potential). The values of the hydrothermal coefficient, as well as the values of points reflecting the decrease in soil fertility of arable land due to agroclimatic conditions in the republic by regions, individual administrative districts are given on the basis of updated data of the second round of cadastral assessment.

Поступила 30.04.21

УДК 631.4

К ВОПРОСУ О КАЧЕСТВЕННОМ СОСТОЯНИИ ФРАКЦИИ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЛИНЫ ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ЛЕГКОСУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ

С. В. Дыдышко, Т. Н. Азаренок, О. В. Матыченкова

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

ВВЕДЕНИЕ

Почва как особое природное тело является результатом суммарного действия всех факторов и процессов почвообразования, характер проявления которых в значительной степени зависит от ее гранулометрического состава. Гранулометрический состав, являющийся одной из важнейших характеристик почв, оказывает влияние на свойства и режим питания, непосредственно влияет на характер, направленность и скорость почвообразовательных процессов, формирование почвенного плодородия. Особый интерес представляет физическая глина, включающая илистую фракцию, концентрирующую основную массу органического вещества (55–90 %), и выступающая фактором его аккумуляции и стабилизации [1]. Тонкодисперсная составляющая почв отвечает за содержание и качество органи-

ческого вещества, емкость поглощения и состав поглощенных оснований. Поэтому следует подчеркнуть, что в условиях республики именно гранулометрический состав принимается за главный критерий качества почв в интенсивной системе земледелия, и определяет их агроэкологический потенциал для эффективного возделывания сельскохозяйственных культур.

До недавних пор считалось, что гранулометрический состав принадлежит к числу консервативных генетических характеристик почв, поскольку в природных условиях его преобразование протекает достаточно медленно относительно изменений других свойств. Однако хозяйственная деятельность может значительно ускорить ход его преобразования, что подтверждают научные публикации отечественных и зарубежных ученых.

В настоящее время имеются отдельные публикации [2–11], в которых авторы констатируют изменение гранулометрического состава верхней части профиля почв пахотных земель. При этом высказывается мнение о возможности как обеднения пахотного горизонта илистой составляющей, так и обогащения в результате длительного сельскохозяйственного использования почв. Согласно данным одних ученых, при вовлечении дерново-подзолистых почв в сельскохозяйственное производство усиливается процесс обезыливания пахотных горизонтов, то есть теряется их самая тонкая составляющая [3, 4, 6, 7, 8, 12, 13, 14]. Именно илистые частицы неустойчивы и наиболее миграционно способны, а интенсивная антропогенная нагрузка на почву активизирует их миграцию из пахотного горизонта в нижележащие иллювиальные горизонты, что находит отражение в перераспределении ила по профилю почвы [4, 15]. Согласно результатам В. В. Канева, глубокая вспашка дерново-подзолистой почвы (на глубину 30–40 см) способствует активизации элювиальных процессов в пахотном и нижележащем слоях почвы, а также смещению горизонта накопления ила вниз по профилю – на глубину 70–110 см [3], то есть интенсивный вынос тонкодисперсных частиц из верхних горизонтов способствует элювированию толщи мощностью до 70 см. Исследования А. Ф. Тюлина также позволили выявить, что в результате постоянного роста глубины обработки почвы происходит смещение на глубину границы подзолистого горизонта [16]. Другие исследователи, наоборот, считают, что окультуривание почв дерново-подзолистого типа сопровождается относительным накоплением ила в верхней части профиля [2, 9, 10, 11]. Существует мнение о том, что в дерново-подзолистых почвах существенного изменения гранулометрического состава не происходит [17, 18, 19]. Например, Г. В. Пироговская [17] отмечает, что в дерново-подзолистых почвах песчаного гранулометрического состава в стационарных полевых опытах не происходит изменения содержания тонкодисперсной составляющей почвы.

В результате агрогенеза наблюдаются различия в соотношении гранулометрических фракций. Так, процесс обезыливания пахотных горизонтов сопровождается накоплением в физической глине пылеватых фракций, и наоборот, увеличение содержания ила способствует меньшему их накоплению, что оказывает влияние на содержание и качество гумуса, и уровень потенциального плодородия почв [11, 20, 21].

Несмотря на противоречивые данные в научных публикациях, большинство исследователей констатируют изменения консервативной характеристики почвы под влиянием антропогенного фактора, обнаружить которые и оценить их на-

правленность возможно при условии наличия «нулевой точки отсчета», а именно, естественных эталонных почв. Таким образом, исследования по изучению гранулометрического состава являются актуальными и относятся к числу наиболее важных и труднорегулируемых, так как гранулометрический состав непосредственно приводит к изменению всех других свойств почв и в итоге сказывается на их производительной способности.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований были выбраны естественные (почвы под лесом), принятые в качестве «нулевой точки отсчета», и пахотные дерново-палево-подзолистые почвы, сформировавшиеся мощных лессовидных легких суглинках, занимающих 14 % пахотных земель республики и являющихся одними из самых плодородных (балл бонитета 72,3).

Лабораторные исследования по определению гранулометрического состава проведены методом «пипетки» по Н. А. Качинскому (ГОСТ 12536-2014) [22]. Широкое применение данного метода для определения гранулометрического состава почв обусловлено его низкой затратностью, простотой и доступностью использования в лабораторных условиях.

Баланс фракций физической глины, а именно средней и мелкой пыли, и ила (относительного процента потери (–) и накопления (+) фракций по отношению к содержанию их в почвообразующей породе) рассчитывали по формуле Б. Г. Розанова [18]:

$$\frac{A_{in} - A_{io}}{A_{io}} \cdot 100,$$

где A_{in} – процентное содержание средней и мелкой пыли/ила в n -м горизонте; A_{io} – процентное содержание средней и мелкой пыли/ила в почвообразующей породе.

Для выявления показателей гумус-гранулометрических отношений и взаимосвязей выполнены расчеты следующих показателей: 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 , %) по методике В. С. Крыщенко [21]:

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 криволинейных коэффициентов корреляции (η) между показателями гумус-гранулометрических отношений с производительной способностью выполнено только для пахотных горизонтов исследуемых почв, расположенных на территории Минского района, на которых проведены учеты урожайности сельскохозяйственных культур методом полевых мелкоделяночных учетов ($S = 1 \text{ м}^2$) в производственных посевах.

Для инвентаризации разносторонних сведений о гранулометрическом составе исследуемых почв создан Банк данных (БД) (рис. 1). Систематизированные данные являются основой проведения статистических расчетов с целью получения развернутой характеристики о содержании и соотношении отдельных фракций гранулометрического состава окультуренных почв в условиях длительного сельскохозяйственного использования по сравнению с лесными аналогами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв под лесом и их пахотных аналогов позволил установить, что в исследуемых почвах преобладает содержание фракции крупной пыли, которая довольно равномерно распределяется по всей толще почвенных профилей. В естественных почвах ее максимальное содержание отмечается в иллювиальном горизонте B_1 – 65,4 %, а минимум – в элювиальном горизонте A_2 – 56,0 %. В окультуренных почвах наибольшее содержание фракции крупной пыли наблюдается в переходном к почвообразующей породе горизонте B_3C (62,7 %) и наименьшее – в пахотном горизонте A_n (59,1 %) (табл. 1).

По содержанию фракции физической глины и ила в исследуемых почвах наблюдается дифференциация по профилю. Так, в лесных и в пахотных почвах максимальное накопление физической глины (25,8 % и 25,4 %) и ила (17,8 % и 16,2 %) отмечается в иллювиальном текстурном горизонте B_{2t} , а минимальное содержание физической глины (19,5 % и 20,3 %) и ила (7,8 % и 7,6 %) – в элювиальном горизонте A_2 соответственно.

По содержанию фракций средней и мелкой пыли (0,01–0,001 мм) также наблюдаются различия: в естественных почвах наибольшее содержание данных фракций отмечено в гумусовом (элювиальном) горизонте – 12,6 %, а наименьшее – в иллювиальном горизонте – 7,8 %; в окультуренных почвах максимальное содержание наблюдается в пахотном горизонте – 14,0 %, а минимальное – в иллювиальном текстурном горизонте – 9,1 % соответственно.

Таблица 1
Гранулометрический состав дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных легких суглинках

Генетический горизонт	Размер фракций (мм) и их количество в % на абсолютно сухую почву							в том числе			
	Глубина отбора образца, см	хрящ (>3)	гравий (3-1)	Песок			пыль крупная (0,05-0,01)	физическая глина (менее 0,01)	пыль средняя (0,01-0,005)	пыль мелкая (0,005-0,001)	ил (менее 0,001)
				крупный (1-0,5)	средний (0,5-0,25)	мелкий (0,25-0,05)					
Почвы под лесом											
A ₁ (A ₂)	2-20	-*	0,5	1,3	1,1	19,3±8,9** 16	57,9±9,7 16	21,5±1,4 19	6,9±1,4 19	5,7±1,8 19	9,0±2,8 19
A ₂	20-30	-	-	-	0,6	23,7±5,6 7	56,0±4,4 7	19,5±1,6 9	6,7±2,4 9	5,0±1,3 9	7,8±2,2 9
B ₁	30-50	-	-	-	0,6	10,4±11,5 11	65,4±12,2 11	24,2±2,3 12	4,1±2,3 12	3,7±1,5 12	16,4±4,6 12
B _{2t}	60-80	-	-	1,0	0,6	14,4±10,0 11	59,7±12,0 11	25,4±3,2 12	3,5±1,8 12	4,5±1,0 12	17,4±3,1 12
B _{3C}	85-105	-	-	1,0	0,6	14,5±10,6 10	62,2±11,0 10	23,5±4,3 11	6,3±1,0 11	4,2±2,5 11	13,0±2,4 11
Окультуренные почвы											
A _n	5-25	0,1	0,6	1,4	0,5	17,7±6,6 62	59,1±7,1 62	22,2±1,7 70	7,5±1,7 70	6,5±1,8 70	8,2±2,5 70
A ₂	30-40	1,8	2,3	2,6	0,5	18,5±5,8 21	59,8±7,3 21	20,3±2,3 24	6,6±1,2 24	6,1±1,2 24	7,6±1,6 24
A ₂ B ₁	45-55	-	-	0,2	0,2	16,9±3,8 13	60,4±4,0 13	22,4±2,3 16	6,7±1,8 16	4,8±2,0 16	10,9±3,5 16
B _{2t}	60-85	0,5	3,1	3,6	0,5	13,8±7,8 54	59,3±8,8 54	25,4±3,2 61	4,1±1,5 61	5,0±1,5 61	16,2±3,8 61
B _{3C}	95-110	-	2,2	3,2	0,2	13,9±8,3 42	62,7±10,1 42	23,0±4,7 46	4,3±2,0 46	5,0±1,5 46	13,7±3,6 46

* «-» – фракции не характерны для почв данного генезиса.

** В числителе – количественное содержание фракции, в знаменателе – количество определений.

В естественных и окультуренных почвах наибольшее содержание фракции мелкого песка наблюдается в верхней части профиля с максимумом в элювиальном горизонте A_2 – 23,7 % и 18,5 %, а наименьшее – в нижней части профиля с минимальным содержанием в горизонтах B_1 и B_{2t} – 10,4 % и 13,8 % соответственно.

Вовлечение почв в длительное сельскохозяйственное использование вызывает изменения наиболее ценной составляющей гранулометрического состава, определяющей плодородие почв – количественного содержания фракций физической глины (средней и мелкой пыли, и ила). С использованием метода баланса установлено распределение фракций физической глины, средней и мелкой пыли, и ила относительно их содержания в почвообразующей породе и выявлено, что:

- в естественных почвах по содержанию физической глины отрицательный баланс отмечается по всему профилю с минимальными потерями в иллювиальном текстурном горизонте B_{2t} – –1,2 % и наибольшими – в элювиальном горизонте A_2 – –24,1 %; по содержанию средней и мелкой пыли положительный баланс характерен для верхней части профиля на глубине 2–30 см с наибольшим накоплением в гумусовом (элювиальном) горизонте $A_1(A_2)$ – +14,5 % и наибольшими потерями в иллювиальном горизонте B_1 – –29,1 %, причем с увеличением глубины потери средней и мелкой пыли снижаются; по содержанию ила положительный баланс наблюдается только в горизонтах B_1 и B_{2t} – +11,6 и +18,4 % соответственно, а наибольшие потери характерны для горизонта A_2 – –46,9 %, что свидетельствует о четкой дифференциации профиля по илу (табл. 2);

- в окультуренных почвах по содержанию фракций физической глины и ила наблюдается отрицательный баланс по всему профилю с наибольшими потерями частиц в элювиальном горизонте A_2 – –29,5 % и –58,0 % и уменьшением отрицательных значений с глубиной до минимальных в иллювиальном текстурном горизонте B_{2t} – –11,8 % и –10,5 % соответственно, где содержание данных фракций наибольшее; по содержанию средней и мелкой пыли отмечаются разнонаправленные изменения: положительный баланс характерен для верхней части профиля с наибольшим накоплением пылеватых фракций в пахотном горизонте A_n – +29,6 % и отрицательный баланс в нижней части профиля с наибольшими потерями в иллювиальном текстурном горизонте B_{2t} – –15,7 %, причем с увеличением глубины потери средней и мелкой пыли снижаются.

Таблица 2

Баланс фракций физической глины дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв, %

Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Физическая глина (менее 0,01 мм)	Пыль средняя и мелкая (0,01–0,001 мм)	Ил (менее 0,001 мм)
Почвы под лесом				
$A_1(A_2)$	2–20	–16,3	+14,5	–38,8
A_2	20–30	–24,1	+6,4	–46,9
B_1	30–50	–5,8	–29,1	+11,6
B_{2t}	60–80	–1,2	–27,3	+18,4
B_3C	85–105	–8,6	–4,5	–11,6
C^*	120–130	25,7	11,0	14,7

Генетический горизонт	Глубина отбора образца, см	Физическая глина (менее 0,01 мм)	Пыль средняя и мелкая (0,01–0,001 мм)	Ил (менее 0,001 мм)
Окультуренные почвы				
A _n	5–25	–22,9	+29,6	–54,7
A ₂	30–40	–29,5	+17,6	–58,0
A ₂ B ₁	45–55	–22,2	+6,5	–39,8
B _{2t}	60–85	–11,8	–15,7	–10,5
B ₃ C	95–110	–20,1	–13,9	–24,3
C*	120–130	28,8	10,8	18,1

* Значения показателей по содержанию физической глины, средней и мелкой пыли, и ила для почвообразующей породы С исследуемых почв взяты из банка данных почвенных профилей.

Метод баланса показал, что в результате длительного сельскохозяйственного использования исследуемых почв в их физической глине отмечается значительное варьирование иловатой и пылеватой составляющих, т. е. изменяется ее качественный состав, что оказывает существенное влияние на содержание и качественный состав гумуса, и, соответственно, на уровень потенциального плодородия почв.

Гранулометрический состав, а именно его наиболее ценная составляющая – фракция физической глины – тесно связан с другими элементами почвенной системы, в частности, с гумусом почвы. При исследовании гумус-гранулометрических отношений показатели условно разделяются на два блока [21]: первый характеризует гранулометрические фракции почвенных образцов, второй – их гумусированность. В пределах первого блока представляются фактический гранулометрический состав почвенных образцов (z – содержание физической глины, a_{ϕ} – ила, b_{ϕ} – средней и мелкой пыли), базовые (эталонные) значения ила (a_{dt}), степень насыщенности физической глины илом или пылью (по преобладающей фракции) (V_a , V_b), а также константы динамического равновесия (K_a , K_b). Базовое значение ила используется в качестве эталона сравнения. Во втором блоке дается характеристика почвенных образцов по двум показателям – содержанию гумуса в почве (y_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 разбавленное массой, которая мало или вовсе не содержит гумуса, т.е. физическим песком. В данном случае играет роль не только количество физического песка, но и отношение ила и пыли в физической глине. Избыток ила и пыли в физической глине, по отношению к базовому значению ила, усиливает разбавляющий эффект. В этом случае содержание гумуса в физической глине намного превышает его содержание в почве, а константы динамического равновесия имеют наибольшие значения.

Проведенными исследованиями установлено, что распределение ила и пыли в физической глине исследуемых почв различается, несмотря на то, что показатели содержания самой физической глины находятся на одном уровне (табл. 3). Так, дерново-палево-подзолистые почвы под лесом имеют пылеватую физическую

глину – фактическое содержание пылеватых фракций (b_{ϕ}) в горизонте $A_1(A_2)$ превышает фактическое содержание ила (a_{ϕ}): 12,6 % против 9,0 %, которая насыщена пылью – фактическое содержание пылеватых фракций (b_{ϕ}) больше базового содержания ила (a_{dt}): 12,6 % против 4,64 %. Степень насыщенности физической глины пылью (V_b) составляет 58,37 % (средняя степень, б), а илом (V_a) составляет соответственно 41,63 %.

Таблица 3

Среднестатистические показатели гумус-гранулометрических отношений в дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах

Горизонт, глубина отбора образца, см	Фактическое содержание фракций, %			Базовое содержание фракций, %		Насыщенность физической глины илом, % V_a	Насыщенность физической глины пылью, % V_b
	<0,01 мм	<0,001 мм	0,001–0,01 мм	<0,001 мм	0,001–0,01 мм		
	z	a_{ϕ}	b_{ϕ}	a_{dt}	b_{dt}		
Почвы под лесом							
$A_1(A_2)$, 2–20	21,5±1,4	9,0±2,8	12,6±2,8	4,64±0,62	16,86±0,83	41,63±12,48	58,37±12,48*
A_2 , 20–30	19,5±1,6	7,8±2,2	11,7±3,5	3,80±0,61	15,70±0,96	40,76±14,15	59,24±14,15
B_{11} , 30–50	24,2±2,3	16,4±4,6	7,8±3,4	5,90±1,15	18,30±1,11	67,07±16,08	32,93±16,08
B_{21} , 60–80	25,4±3,2	17,4±3,1	8,0±1,6	6,55±1,63	18,85±1,58	68,22±6,38	31,78±6,38
B_{3C} , 85–105	23,5±4,3	13,0±2,4	10,5±3,1	5,69±2,22	17,81±2,14	55,87±7,75	44,13±7,75
Окультуренные почвы							
A_n , 5–25	22,2±1,7	8,2±2,5	14,0±2,3	4,96±0,76	17,24±0,96	36,57±10,32	63,43±10,31*
A_2 , 30–40	20,3±2,3	7,6±1,6	12,7±2,2	4,19±0,93	16,15±1,39	37,23±6,64	62,27±7,56
A_2B_1 , 45–55	22,4±2,3	10,9±3,5	11,5±2,3	5,08±1,06	17,34±1,26	48,02±12,11	51,98±12,11
B_{21} , 60–85	25,4±3,2	16,2±3,8	9,1±2,1	6,56±1,63	18,85±1,63	63,22±9,94	36,87±9,87
B_{3C} , 95–110	23,0±4,7	13,7±3,6	9,3±2,5	5,51±2,40	17,50±2,31	59,52±9,52	40,60±9,34
Горизонт, глубина отбора образца, см	Константы динамического равновесия $K_{a,b}$	Гумус		Насыщенность физической глины гумусом, % W			
		в почве, %	в физической глине, %				
		U_r	X_p				
Почвы под лесом							
$A_1(A_2)$, 2–20	2,94±0,43	3,02±1,32	8,77±4,01	40,48±18,01			
A_2 , 20–30	3,31±0,42	0,65±0,23	2,19±0,88	11,31±4,71			
B_{11} , 30–50	2,95±0,41	0,35±0,07	1,04±0,25	4,38±1,19			
B_{21} , 60–80	2,72±0,38	0,30±0,10	0,81±0,28	3,27±1,28			
B_{3C} , 85–105	2,51±0,60	0,25±0,06	0,62±0,21	2,78±1,11			
Окультуренные почвы							
A_n , 5–25	2,92±0,56	2,37±0,70	6,89±2,32	31,67±12,58			
A_2 , 30–40	3,11±0,50	0,71±0,44	2,06±1,16	10,28±5,86			
A_2B_1 , 45–55	2,72±0,41	0,37±0,13	1,01±0,43	4,56±2,02			
B_{21} , 60–85	2,61±0,32	0,37±0,16	0,98±0,46	4,02±2,39			
B_{3C} , 95–110	2,81±0,65	0,23±0,09	0,66±0,30	3,14±1,80			

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

Окультуренные почвы относятся к почвам с пылевой физической глиной – в горизонте A_n $b_{\text{ф}} > a_{\text{ф}}$: 14,0 % против 8,2 %, которая также насыщена пылью – $b_{\text{ф}} > a_{\text{дт}}$: 14,0 % против 4,96 % – показатель V_b составляет 63,43 % (средняя степень, б), а V_a соответственно 36,57 %.

Показатели фактического ($a_{\text{ф}}$ и $b_{\text{ф}}$) и базового ($a_{\text{дт}}$ и $b_{\text{дт}}$) содержания ила и пыли, степени насыщенности физической глины пылью/илом по преобладающей фракции (V_a/V_b) изменяются с увеличением глубины почвенного профиля. В гумусовом (элювиальном) и элювиальном горизонтах естественных почв наблюдается превышение $b_{\text{ф}}$ по сравнению с $a_{\text{ф}}$ и $a_{\text{дт}}$, поэтому физическая глина насыщена пылью. Так, показатели V_b возрастают от 58,37 % в горизонте $A_1(A_2)$ до 59,24 % в A_2 , а показатели V_a снижаются в этом же направлении с 41,63 % до 40,76 %. И, наоборот, в иллювиальном, иллювиальном текстурном и переходном к почвообразующей породе горизонтах наблюдается превышение $a_{\text{ф}}$ по сравнению с $b_{\text{ф}}$ и $a_{\text{дт}}$, поэтому физическая глина на глубине 30–105 см насыщена илом. Показатели V_a снижаются с 68,22 % в горизонте B_{2t} до 55,87 % в B_3C , а показатели V_b возрастают в этом же направлении с 31,78 % до 44,13 %.

В пахотном, элювиальном и элювиально-иллювиальном горизонтах окультуренных почв наблюдается превышение $b_{\text{ф}}$ по сравнению с $a_{\text{ф}}$ и $a_{\text{дт}}$, поэтому физическая глина насыщена пылью. Так, показатели V_b снижаются с 63,43 % в горизонте A_n до 51,98 % в A_2B_1 , а показатели V_a возрастают в этом же направлении с 36,57 до 48,02 %. И, наоборот, в иллювиальном текстурном и переходном горизонтах наблюдается превышение $a_{\text{ф}}$ по сравнению с $b_{\text{ф}}$ и $a_{\text{дт}}$, поэтому физическая глина насыщена илом. Показатели V_a снижаются с 63,22 % в горизонте B_{2t} до 59,52 % в B_3C , а показатели V_b возрастают в этом же направлении с 36,87 % до 40,60 %.

Содержание гумуса в физической глине значительно превышает его содержание в почве, поскольку для исследуемых почв константы динамического равновесия ($K_{a,b}$) $> 1,0$, что свидетельствует об избытке ила/пыли в физической глине (в зависимости от преобладающей фракции) относительно $a_{\text{дт}}$. Термин «константа» введен в связи с тем, что данный показатель состояния почвы всегда зависит от значения $a_{\text{дт}}$, которое для каждого содержания физической глины является величиной постоянной. Константы 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. Следовательно, константа выполняет функцию универсального коэффициента пропорциональности между гранулометрическим составом, гумусностью почв и ее физической глиной.

Как видно из таблицы 3, в естественных почвах под лесом в горизонте $A_1(A_2)$ содержание гумуса в почве составляет 3,02 %, а в физической глине – 8,77 % (т. е. в 2,94 раза больше). В горизонте A_2 на глубине 20–30 см константа достигает наибольшего значения 3,31, а содержание гумуса в почве и в физической глине – 0,65 и 2,19 % соответственно. Далее вниз по профилю константы динамического равновесия (K), содержание гумуса в почве (y_r) и в физической глине (x_p) снижаются, достигая наименьших значений в горизонте B_3C – 2,51, 0,25 % и 0,62 % соответственно.

В пахотном горизонте A_n окультуренных почв содержание гумуса в физической глине в 2,92 раза превышает его содержание в почве – 6,89 против 2,37 % соот-

ветственно. Содержание большего количества гумуса в исследуемых естественных почвах по сравнению с окультуренными аналогами подтверждаются исследованиями Н. И. Туренкова [23]. В элювиальном горизонте A_2 константа достигает максимального значения – 3,11, а содержание гумуса в физической глине – 2,06 против 0,71 % в почве. С увеличением глубины константа динамического равновесия снижается до 2,61 в горизонте B_{2t} и несколько возрастает в горизонте B_3C до 2,81, показатели u_r и x_p снижаются, достигая наименьших значений в горизонте B_3C – 0,23 % и 0,66 % соответственно. Эти параметры гумусового состояния «очищены» теперь от индивидуальных переменных величин, которые всегда имеют место, если речь идет о содержании гумуса в почве. Полученные таким образом значения гумуса почвенных образцов абсолютно сопоставимы друг с другом, так как приведены к общему знаменателю.

Важное теоретическое и практическое значение имеет степень насыщенности физической глины гумусом (W). Этот показатель совокупно выражает общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв, учитывая все многообразие отношений гранулометрических фракций во взаимосвязи с гумусностью физической глины (x_p) и содержанием гумуса почвы (u_r). Значения W являются довольно объективными параметрами для оценки почвенного плодородия. Согласно полученным данным, показатель W снижается в почвах под лесом с 40,48 % в горизонте $A_1(A_2)$ до 2,78 % в горизонте B_3C . В окультуренных почвах показатель снижается с 31,67 % в пахотном горизонте A_n до 3,14 % в переходном горизонте B_3C . Причем показатели W в горизонтах $A_1(A_2)$ и A_2 лесных почв выше (40,48 и 11,31 %) по сравнению с горизонтами A_n и A_2 окультуренных почв (31,67 и 10,28 %), а в горизонтах B_1 , B_{2t} и B_3C ниже (4,38, 3,27 и 2,78 %) по сравнению с горизонтами A_2B_1 , B_{2t} и B_3C окультуренных аналогов (4,56, 4,02 и 3,14 %). Таким образом, показатели u_r , x_p и W имеют тенденцию к снижению вниз по профилю в исследуемых почвах.

Анализ и обобщение результатов научных исследований позволили установить, что между гранулометрическим составом, содержанием гумуса и продуктивностью дерново-подзолистых почв имеются корреляционные зависимости. Так, между содержанием физической глины и урожайностью сельскохозяйственных культур, и содержанием гумуса на контрольных вариантах песчаных и легкосуглинистых почв ($r = 0,42$ и $r = 0,55$, Н. И. Смяян, Г. С. Цытрон), урожайностью ячменя ($r = 0,88$, А. К. Магил), урожайностью озимой ржи и яровой пшеницы на легкосуглинистых почвах ($r = 0,44$ и $0,99$, С. Г. Муралев); между содержанием гумуса и урожайностью сельскохозяйственных культур ($r = 0,50$ – $0,70$, Н. И. Смяян, В. А. Семенов, А. К. Магил, Б. П. Ахтырцев), урожайностью ярового ячменя, озимой ржи и яровой пшеницы на легкосуглинистых почвах ($r = 0,73$ – $0,93$, С. Г. Муралев), между содержанием подвижных гумусовых веществ и урожайностью сахарной свеклы ($r = 0,78$, Г. Я. Чесняк), между содержанием лабильных форм гумуса и урожайностью ячменя, озимой ржи и озимой пшеницы на связноупесчаных почвах ($r = 0,51$, $1,00$ и $0,89$ соответственно, А. И. Горбылева) [24–30]. Между показателями гумус-гранулометрических отношений и производительной способностью дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв на территории Минского района найдена тесная связь – коэффициенты криволинейной корреляции (η) изменяются от 0,70 до 0,79 (табл. 4).

Коэффициенты криволинейной корреляции между гумус-гранулометрическими показателями и производительной способностью для пахотных горизонтов исследуемых почв

Показатель	Коэффициент (η)	Уравнение
Содержание физической глины (z), %	0,79	$y = -1,0517x^2 + 40,347x - 301,96$
Содержание ила (a_{ϕ}), %	0,71	$y = 2,0513x^2 - 31,672x + 186,82$
Содержание средней и мелкой пыли (b_{ϕ}), %	0,70	$y = 1,6979x^2 - 48,84x + 418,47$
Степень насыщенности физической глины илом (V_a), %	0,79	$y = 0,1221x^2 - 8,534x + 212,65$
Степень насыщенности физической глины пылью (V_b), %	0,79	$y = 0,1222x^2 - 15,895x + 580,6$
Содержание гумуса в почве (y_r), %	0,72	$y = -16,526x^2 + 94,275x - 52,873$
Содержание гумуса в физической глине (x_p), %	0,74	$y = -0,9188x^2 + 17,968x - 3,7141$
Насыщенность физической глины гумусом (W), %	0,74	$y = -0,0386x^2 + 3,5932x + 2,3533$

Для показателей содержания гумуса в физической глине и степени насыщенности физической глины гумусом, отражающих общий принцип связи гранулометрического состава и гумусности почв и позволяющих охарактеризовать плодородие почв, коэффициенты криволинейной корреляции с производительной способностью составили 0,74 (рис. 2).

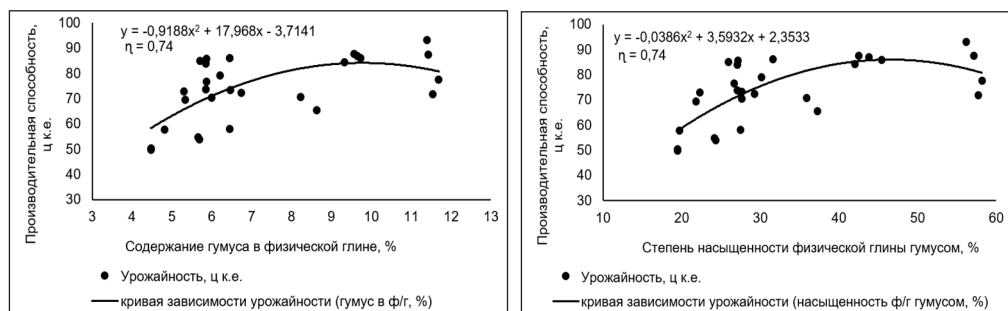


Рис. 2. Зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от содержания гумуса в физической глине (слева) и степени насыщенности физической глины гумусом (справа)

Так, в пахотных горизонтах дерново-палево-подзолистых почв, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, отмечается тенденция увеличения урожайности с возрастанием содержания гумуса в физической глине с 4 до 12 %, а степени насыщенности физической глины гумусом – с 20 до 60 %.

ВЫВОДЫ

В результате исследований получены среднестатистические количественные данные гранулометрического состава, отражающие содержание и динамику наиболее ценных фракций (физической глины: средней и мелкой пыли, и ила) в

пахотных и естественных дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках. Наибольшее содержание физической глины и ила отмечается в горизонтах B_{2t} – 25,4 % и 16,2 % пахотных почв против 25,8 % и 17,8 % в почвах под лесом, средней и мелкой пыли – в горизонтах A_n и $A_1(A_2)$ – 14,0 % против 12,6 % соответственно. Установлено количественное перераспределение фракций физической глины в процессе агрогенеза: в почвах пахотных земель и в естественных аналогах баланс физической глины отрицательный по всему профилю с максимумом в горизонтах A_2 – –29,5 против –24,1 %, в горизонтах A_n и $A_1(A_2)$ баланс составляет –22,9 % против –16,3 % соответственно; по содержанию пыли и ила наблюдаются разнонаправленные изменения: положительный баланс пыли отмечается в горизонтах A_n , A_2 и A_2B_1 пахотных и $A_1(A_2)$, A_2 лесных почв с максимумом в горизонтах A_n и $A_1(A_2)$ – +29,6 и +14,5 % и отрицательный – в иллювиальных и переходных горизонтах с максимумом в горизонтах B_{2t} и B_1 – –15,7 и –29,1 %, т. е. в пахотных почвах возрастает содержание пыли по сравнению с лесными; по содержанию ила в пахотных почвах наблюдается отрицательный баланс во всей метровой толще с максимумом в горизонте A_2 – –58,0 %, кроме того, в верхнем 0–40 см слое значения баланса ила практически равны (колебания составляют 3–4 %), т. е. для пахотных почв характерно отсутствие дифференциации профиля по илу и увеличение элювиальной части вплоть до метровой глубины, в лесных почвах ил накапливается в горизонтах B_1 и B_{2t} – превышение на 11,6 и 18,4 % по сравнению с почвообразующей породой, отрицательный баланс наблюдается только в верхней и нижней части профиля с максимумом в горизонте A_2 – –46,9 %. Таким образом, в пахотных почвах не только увеличивается мощность элювиальной части профиля по сравнению с естественными, но и возрастает перераспределение ила: в горизонте $A_1(A_2)$ баланс ила составляет –38,8 %, а в горизонте A_n – –54,7 %.

Результаты исследования позволили установить, что в горизонтах $A_1(A_2)$, A_2 лесных почв и A_n , A_2 , A_2B_1 окультуренных аналогов физическая глина по преобладающей фракции пылеватая со средней и слабой (горизонт A_2B_1 пахотных почв) степенью насыщенности пылью, а в горизонтах B_1 , B_{2t} , B_3C лесных почв и B_{2t} , B_3C окультуренных аналогов – иловатая со средней и сильной (горизонт B_3C лесных почв) степенью насыщенности илом. Показатели содержания гумуса в почве (y_r), в физической глине (x_p) и насыщенности физической глины гумусом (W) в исследуемых почвах имеют тенденцию к снижению вниз по профилю, причем в горизонтах $A_1(A_2)$ и A_2 лесных почв эти показатели выше по сравнению с горизонтами A_n и A_2 окультуренных аналогов. Это связано как с разным содержанием в почвах физического песка и физической глины, так и с разным соотношением ила и пыли в самой физической глине, что предопределяет варьирование гумусности почв.

Таким образом, приведена новая интерпретация гранулометрического состава дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв и показано наличие общего принципа взаимосвязи между фракциями физической глины и гумусом почвы через константы динамического равновесия, а также между показателями гумус-гранулометрических отношений и производительной способностью почв (коэффициенты η изменяются от 0,70 до 0,79). Полученные данные могут быть применены для характеристики агроэкологического состояния дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Травникова, Л. С.* Закономерности гумусонакопления: новые данные и их интерпретация / Л. С. Травникова // Почвоведение. – 2002. – № 7. – С. 832–843.
2. *Горбачева, Е. В.* Агроземы культурные и их качественная оценка: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.03 / Е. В. Горбачева; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2012. – 21 с.
3. *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.
4. *Караваева, Н. А.* Агрогенные почвы, условия среды, свойства и процессы / Н. А. Караваева // Почвоведение. – 2005. – № 12. – С. 1518–1529.
5. *Михеева, И. В.* Статистическая характеристика «формулы гранулометрического состава почв» / И. В. Михеева, Е. Д. Кузьмина // Почвоведение. – 2000. – № 7. – С. 818.
6. Антропогенное элювиирование дерново-подзолистых почв и методы его изучения / Г. М. Белоненко [и др.] // Минералогия почв: генезис, география, значение в плодородии и экологии / РАСХН; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1996. – С. 160–168.
7. *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.
8. *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.
9. *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.
10. *Никитин, Б. А.* Окультуривание пахотных почв Нечерноземья и регулирование их плодородия / Б. А. Никитин. – Л.: Агропромиздат, 1986. – 277 с.
11. *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.
12. *Бубен, И. И.* Деградация моренных и лессовидных почв гомогенного строения под влиянием природных и агрогенных процессов / И. И. Бубен, В. Д. Лисица, А. С. Саханьков // Почва – удобрение – плодородие – урожай: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. С. Н. Иванова и 90-летию со дня рожд. Т. Н. Кулаковской, 16–18 фев. 2009 г. / редкол.: В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – С. 18–20.
13. Генетико-гранулометрический анализ как метод изучения агрогенеза текстурно-дифференцированных почв / Ф. И. Козловский [и др.] // Минералогия почв: генезис, география, значение в плодородии и экологии / РАСХН; Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. – М., 1996. – С. 125–144.

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

15. *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.

16. *Тюлин, А. Ф.* Вопросы почвенной структуры в лесу (о механизме накопления гумуса в почве под лесом) / А. Ф. Тюлин // Почвоведение. – 1955. – № 1. – С. 33–44.

17. *Пироговская, Г. В.* Влияние различных систем удобрения на изменение минеральной части дерново-подзолистой песчаной почвы / Г. В. Пироговская, С. Д. Астапова, А. Ф. Санько // Почвоведение. – 2004. – № 1. – С. 92–103.

18. *Розанов, Б. Г.* Генетическая морфология почв / Б. Г. Розанов. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1975. – 293 с.

19. *Цытрон, Г. С.* Устойчивость гранулометрического состава дерново-подзолистых почв Беларуси к антропогенным воздействиям / Г. С. Цытрон, С. В. Шульгина, О. В. Матыченкова // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграрных навук. – 2014. – № 2. – С. 69–74.

20. *Лисица, В. Д.* К вопросу необратимости изменений косной части почв Беларуси в процессе их естественной и техногенной эволюции / В. Д. Лисица, С. В. Шульгина, Д. В. Матыченков // Тез. докл. III съезда Докучаевского о-ва почвоведов, Москва, 11–15 августа 2000 г. / Почв. ин-т им. В. В. Докучаева; редкол.: Г. В. Добровольский [и др.]. – Суздаль, 2000. – Кн. II. – С. 340–341.

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

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

23. *Туренков, Н. И.* Палево-подзолистые почвы Белоруссии / Н. И. Туренков. – М.: Наука и техника, 1980. – 215 с.

24. *Смеян, Н. И.* Зависимость урожая сельскохозяйственных культур от типовых различий почв и их гранулометрического состава / Н. И. Смеян, Л. И. Шибут // Почвоведение и агрохимия: сб. науч. Тр. / БелНИИ почвоведения и агрохимии; редкол.: И. М. Богдевич (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 1993. – Вып. 28. – С. 39–44.

25. Оптимальные параметры плодородия почв / Т. Н. Кулаковская [и др.]; под общ. ред. Т. Н. Кулаковской. – М.: Колос, 1984. – 271 с.

26. *Муралев, С. Г.* Агропроизводственное значение гранулометрического состава почв и его использование в оценке качества сельскохозяйственных земель: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 03.02.13 / С. Г. Муралев; Нижегородская госуд. сельскохозяйств. академия. – М., 2011. – 19 с.

27. *Семенов, В. А.* Свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур в северо-западной зоне РСФСР: автореф. ... док. с.-х. наук, 06.01.03 / В. А. Семенов; Ленинградский сельскохозяйств. ин-т. – Л., 1983. – 46 с.

28. *Ахтырцев, Б. П.* Гумус подтипов среднерусских черноземов разного гранулометрического состава / Б. П. Ахтырцев, Е. В. Ефанова // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 803–811.

29. Чесняк, Г. Я. Определение параметров свойств черноземов типичных мощных разного уровня плодородия / Г. Я. Чесняк // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почв. – М., 1980. – С. 42–50.

30. 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.

TO THE QUESTION OF THE QUALITATIVE STATE OF THE PHYSICAL CLAY FRACTION SODDY-PALE-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOILS

S. V. Dydyshka, T. N. Azarenok, O. V. Matychenkova

Summary

Using the balance method, the features of the quantitative content of fractions of physical clay (medium and fine dust, and silt) relative to their content in the parent rock were established, and the features of their ratio and redistribution in physical clay as a result of prolonged agrogenic impact in comparison with natural soils were revealed. A new interpretation of the granulometric composition of soddy-pale-podzolic light loamy soils is presented and the presence of a general principle of the relationship between the fractions of physical clay and soil humus through the constants of dynamic equilibrium, as well as between the indicators of humus-granulometric ratios and the productivity of soils is shown. The data obtained can be applied as a new method for assessing soil fertility.

Поступила 15.04.21

УДК 631.43

ПЕДОТРАНСФЕРНЫЕ ФУНКЦИИ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И УСТОЙЧИВОСТИ К ЭРОЗИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ЛЕССОВИДНЫХ СУГЛИНКАХ

**И. А. Логачев, Н. Н. Цыбулько, В. Б. Цырибко,
А. М. Устинова, И. И. Касьяненко**

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

ВВЕДЕНИЕ

Почвенное плодородие во многом зависит от ее физического состояния, одним из важнейших показателей которого является структурно-агрегатный состав.

Структура обуславливает водный, воздушный, тепловой режимы почвы, влияет на формирование и развитие почвенной биоты.

На формирование агрегатов влияет широкий перечень факторов. Размер и форма структурных отдельностей в значительной степени определяются содер-