

УДК 631.48

Э. А. КОРНБЛЮМ, И. Н. ЛЮБИМОВА, А. М. ИВАНОВ

**О РОЛИ ИЗМЕНЕНИЙ ПЛОТНОСТИ И ТВЕРДОСТИ
В ОБРАЗОВАНИИ СЛИТЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ КУБАНИ**

Описаны морфологические особенности, определены объемный вес (методами радиационным и режущих цилиндров), твердость (микропенетрометром МВ-2), полевая влажность и удельный вес твердой фазы двух профилей выщелоченного и слитого черноземов Кубани, находящихся в идентичных литолого-геоморфологических условиях. Показано, что при одной и той же влажности эти черноземы имеют резко различную твердость, но одинаковые плотность и пористость. Подчеркивается ведущая роль процессов упрочнения почвенной массы за счет изменения ее поверхностных свойств в образовании слитости на начальных этапах становления слитых черноземов Кубани.

К числу нерешенных почвенно-генетических задач относится происхождение слитости. Слитыми называют почвы, имеющие не менее одного слитого горизонта. К слитым относят очень плотные горизонты, которые в сухом состоянии обладают очень высокой твердостью, а при увлажнении становятся мягкими и пластичными [9]. Поэтому при изучении почв в поле определение их принадлежности к слитым основывается на оценке их плотности, твердости и пластичности. Очень высокая твердость, обнаруживаемая при копке разреза и отробовании его стенки, дает основание лишь предполагать наличие слитости, и только наблюдения над пористостью и пластичностью почвенной массы позволяют отличить слитые горизонты от близких к ним по твердости горизонтов, сцементированных карбонатами, гипсом, окислами железа, кремния и т. п.

Согласно нашей гипотезе [9], процесс слитообразования в естественных условиях и при орошении складывается из: 1) факультативных подготовительных изменений вещественного состава, поверхностных свойств и строения почв, обеспечивающих последующие изменения их плотности и твердости (прочности), 2) процессов уплотнения (консолидации) почвы, 3) процессов развития особых твердостных (прочностных) свойств — разных для сухой и влажной почвы — за счет возникновения новых межчастичных и межагрегатных связей из-за уплотнения почвы и изменения поверхностных свойств слагающих ее частиц.

Можно предполагать, что процессы уплотнения и упрочнения могут развиваться до некоторой степени независимо друг от друга. Действительно, если уплотнение почв всегда должно быть [16] причиной увеличения их твердости, то изменение поверхностных свойств почвенных частиц может привести к образованию более прочных межчастичных связей и повышению твердости (упрочнению) почв без изменения их плотности. Поскольку агропроизводственное и мелиоративное значение плотности и твердости почв далеко не одинаково, полезно различать роль в процессе слитообразования: 1) упрочнения почв в результате их уплотнения, 2) упрочнения почв за счет изменения поверхностных свойств почвенных частиц. Однако материалы для оценки вклада каж-

дого из этих двух процессов в образование слитости практически отсутствуют, так как твердость почв, за редкими исключениями, не определяется.

С целью получения данных для выяснения роли обоих видов упрочнения в образовании слитости почв мы изучили морфологические особенности и определили объемный вес, пористость, твердость и влажность основных генетических горизонтов слитого и выщелоченного черноземов Кубани.

Слитые черноземы Кубани — классические представители слитых почв на территории СССР. В системе гумидно-предгорной зональности Предкавказья они образуют зону, параллельную Главному Кавказскому хребту. С приближением к горам и усилением увлажнения слитые черноземы сменяют черноземы выщелоченные и в свою очередь сменяются серыми лесными почвами со слитым иллювиальным горизонтом. Описание слитых почв Яковлевым [20] положило начало систематическому изучению свойств и генезиса этих почв в Советском Союзе и за рубежом. После Яковлева морфологические и физические свойства слитых и выщелоченных черноземов Кубани исследовались неоднократно [1, 2, 4, 8, 17, 18 и др.]. Основные результаты этих исследований были недавно обобщены Быстрицкой и Тюрюкановым [3] и Егоровым [7].

При описании слитых черноземов всегда подчеркивалась чрезвычайная трудоемкость всех видов их обработки, связанная с высокой твердостью [8, 18]. Повышенная твердость слитых почв объяснялась их высокой плотностью, а иногда и отождествлялась с последней. Поэтому для количественной характеристики слитости слитых черноземов Кубани, как и других слитых почв, использовались только такие показатели, как объемный вес и пористость.

С целью выяснения природы слитости слитые черноземы сравнивали с предкавказскими мицеллярно-карбонатными черноземами. Поэтому главной причиной слитости Яковлев и Коссович [20] считали вымывание карбонатов и образование «несвернутых коллоидов». Однако выщелоченные черноземы, переходное между мицеллярно-карбонатными и слитыми черноземами образование, не содержат карбонатов в верхней и средней частях профиля и в то же время не являются слитыми. Это указывает, что почвенные факторы развития слитости по мере усиления увлажнения не исчерпываются теми особенностями почв, которые обусловлены вымыванием карбонатов. Поэтому выщелоченные черноземы Кубани представляют собой более выгодный объект для сравнения со слитыми [11] и решения генетических вопросов с помощью сравнительно-географического метода. Преимущества выщелоченного чернозема определяются еще и тем, что в смежных пограничных полосах обеих предгорных зон легко найти одновозрастные, идентичные в литоморфогенетическом отношении территории. Сравнение почв таких территорий дает возможность проследить изменения плотности и твердости, вызванные только ростом атмосферного увлажнения, и оценить вклады консолидации почв и изменения их поверхностных свойств в образование слитости.

Объекты наших исследований — разрезы слитого и выщелоченного черноземов — располагались соответственно в районах станций Гиагинская и Гончарка б. Армавир-Туапсинской железной дороги примерно в 2 км к югу от линии последней на расстоянии 10 км один от другого. Яковлев отметил особенно быстрое нарастание признаков слитости в черноземах при движении от Гиагинской к Гончарке. В верхних, вершинных частях очень пологих склонов двух однотипных увалов расчлененной высокой террасы р. Кубани, сложенных однотипными породами, на одинаковой абсолютной высоте (170 м над ур. м.) на участках, занятых слитым и выщелоченным черноземами, было заложено по разрезу длиной в 5 и глубиной до 3 м.

Индексацию и описание генетических горизонтов проводили согласно «Руководству» ФАО, что дало возможность зафиксировать морфологические особенности почв на основе более четких критериев оценки формы их проявления и степени выраженности, чем это обычно практикуется [10].

Объемную массу основных генетических горизонтов определяли двумя методами — режущих цилиндров и радиационным (с помощью глубинного гамма-плотномера ГПП-1), а объемную массу почвообразующих пород на глубинах от 3 до 5 м — только радиационным. Так как каждому из этих методов свойственны недостатки, их совместное применение повышает надежность выводов относительно сходства или различия объемной массы сравниваемых почв.

Определения объемной массы методом режущих цилиндров [12] проводили в 11-кратной повторности бурами объемом около 600 см³. В случае маломощных горизонтов использовали буры объемом около 300 см³. Определения вели на горизонтальных площадках, устраиваемых на заданных глубинах. После извлечения бура и срезания излишков почвы бур с почвой немедленно взвешивали и из средней части каждого керна в алюминиевый бокс отбирали образец почвы для определения ее влажности термостатно-весовым методом.

Для определения объемной массы радиационным методом на расстояниях в 1,3 и 5 м от передней стенки каждого разреза параллельно ей заложили 3 ряда из семи скважин каждый. Расстояния между скважинами в рядах 1 м, глубина срединных скважин каждого ряда 6,0 м, остальных — 2,0 м, диаметр 50 мм. При бурении скважин отбирали образцы почв для определения влажности. Измерения с помощью глубинного гамма-плотномера ГПП-1 [5] производили через каждые 20 см до глубины 2,2 м, а ниже — через каждые 50 см. Исходные данные этих измерений получали в виде скоростей счета импульсов в почве и контрольно-калибровочном устройстве. Рассчитывали отношения этих скоростей и пересчитывали полученные результаты на величины объемной массы с помощью уравнения регрессии $\hat{Y} = -1,41X + 3,55$ ($r = -0,82$), где $\hat{Y}$ — искомая объемная масса, X — отношение скоростей счета импульсов в почве и контрольно-калибровочном устройстве. Уравнение было выведено по данным определения объемных масс методом режущих цилиндров и расчета отношений скоростей счета импульсов в скважинах на глубинах до 3 м. Его использовали и для расчета объемной массы более глубоких (3—5 м) горизонтов, так как зависимость между значениями отношений скоростей счета и объемной массы была линейной, причем точки, принадлежащие тем верхним горизонтам материнской породы, для которых имелись данные, полученные обоими методами, не обнаружили каких-либо аномалий положения внутри корреляционного поля.

Твердость почв определяли микропенетрометром МВ-2 конструкции ВСЕГИНГЕО [13] в 36-кратной повторности на свежезачищенных горизонтальных площадках (на которых после еще одной зачистки определяли объемный вес методом режущих цилиндров). Точки опробования размещали на расстоянии 7 см друг от друга в шахматном порядке. О твердости судили по глубине погружения конуса пенетрометра, отсчитываемой с точностью 0,25 мм. Предельное сопротивление сдвигу (P_0) рассчитывали по формуле

$$P_0 = \alpha \frac{P_m K h}{h^2}, \text{ кг/см}^2 \text{ [13]},$$

где α — константа конуса, равная в нашем случае 1,11 (для конуса с углом при вершине 30°), P_m — максимальная нагрузка на конус при наибольшем растяжении пружины, кг, K — постоянный параметр пружины, кг/см, h — средняя глубина погружения конуса, см.

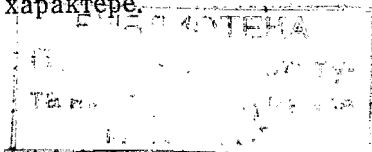
Морфологические особенности почв. Схемы строения характерных профилей выщелоченного (ВЧ) и слитого (СЧ) черноземов Кубани приводятся на рис. 1, А, Б, а морфологические описания профилей — в табл. 1 и 2. Больше всего отличаются друг от друга профиль ВЧ—Б, характеризующий типичный выщелоченный чернозем (рис. 1, А) и профиль СЧ-Б, представляющий слитый чернозем со средней степенью слитости (рис. 1, Б). Два других профиля (ВЧ-А и СЧ-А) обладают промежуточными свойствами. Различия свойств выщелоченного и слитого черноземов особенно велики для средних частей их профилей.

На поверхности пахотных горизонтов обеих почв лежит возникающий при самоульчировании тонкий (1—2 см) рыхлый слой, состоящий из зернистых отдельностей или мелких угловато-глыбистых агрегатов, сложенных небольшим числом прижатых друг к другу зерен. Структура нижележащих частей пахотных горизонтов обеих почв угловато-глыбистая, с отдельностями, состоящими из прижатых друг к другу зерен, однако у слитого чернозема ребра этих зерен более острые, грани покрыты очень тонкими глинистыми кутанами с гладкой поверхностью, а сами угловато-глыбистые агрегаты заметно прочнее и мельче.

При сравнении гумусовых подпахотных А1 и А1m горизонтов обеих почв, имеющих одинаковую влажность (табл. 1, 2 и 5), бросаются в глаза различия в твердости: гор. А1m слитого чернозема значительно тверже, чем гор. А1 выщелоченного. Особенно высока твердость горизонта А1m в профиле СЧ-Б. В профиле СЧ-А твердость аналогичного горизонта заметно меньше. Самая низкая твердость свойственна горизонту А1 профиля ВЧ-Б выщелоченного чернозема. Кроме твердости слитый гор. А1 слитого чернозема отличается менее частыми, чем в выщелоченном черноземе, но широкими трещинами и ржавыми стяжениями размером с булавочную головку.

Более значительно отличаются нижележащие горизонты: В1m слитого чернозема и сходные по положению в профиле А3k и (А+В)k чернозема выщелоченного. Для них сохраняются различия в твердости и прибавляются отличия в строении, связанные с активной деятельностью почвенной фауны в выщелоченном черноземе. В гор. А3 и (А+В)k последнего, особенно в профиле ВЧ-Б, очень много кротовин (рис. 1, А), сложенных почвенной массой из других горизонтов. Почвенная масса кротовин, как и гор. А3k и (А+В)k в целом, основательно переработана дождевыми червями. На срезах этих горизонтов, особенно (А+В)k, хорошо видна мозаика из мелких участков темно-серого, серого, бурого и красновато-бурого цветов. В то же время в слитых гор. В1m ни кротовин, ни копрогенной мозаичности обнаружить не удалось. В обоих черноземах в гор. В1m, А3k и (А+В)k встречаются гумусовые затеки (Вh).

Переходные к породе горизонты обеих почв мало отличаются друг от друга в морфологическом отношении, хотя в слитом черноземе их твердость несколько выше. Самые яркие отличия состоят и здесь в выраженности кротовин и копрогенной мозаики. По сравнению с вышележащими горизонтами число кротовин в карбонатных гор. В2ca² и (В+А)sa, ca², k выщелоченного чернозема резко возрастает, а в слитом черноземе следы зоогенеза вообще впервые появляются только ниже границы вскипания (рис. 1, Б). Однако кротовины и копрогенные пятна в слитом черноземе имеют нерезкие контуры и мало отличаются по цвету и консистенции от вмещающей массы. Этим они отличаются от свежих кротовин и копрогенных пятен, ярко выделяющихся на стенке разреза карбонатных горизонтов выщелоченного чернозема. «Стертость» морфологических признаков кротовин слитого чернозема, отсутствие кротовин выше границы вскипания, в более активно промываемой и подверженной педотурбациям части почвенного профиля, свидетельствуют, по-видимому, о реликтовом их характере.



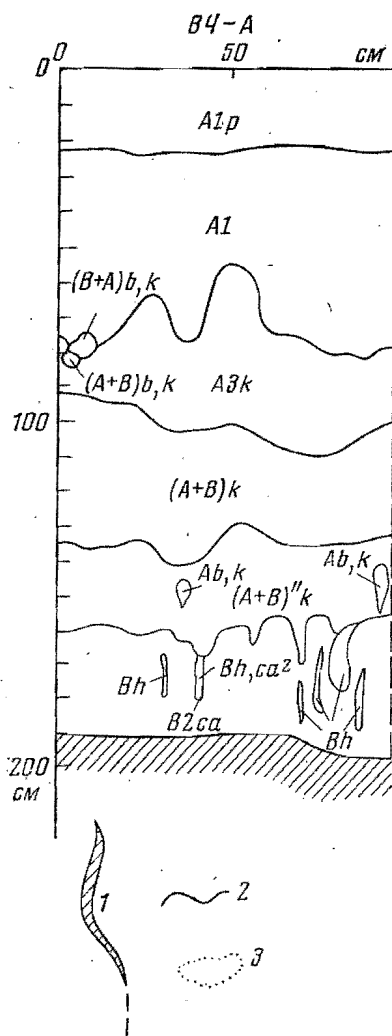


Рис. 1(1)

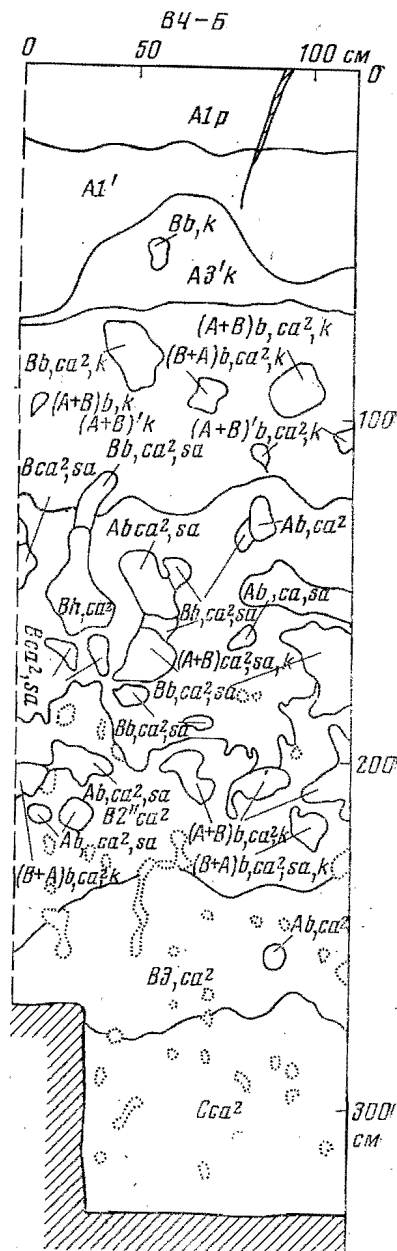


Рис. 1(2)

Рис. 1. Схема строения характерных участков профилей выщелоченного (ВЧ-А и ВЧ-Б) и слитого (СЧ-А и СЧ-Б) черноземов

1 — крупные трещины, 2 — границы генетических горизонтов и других морфонов, 3 — границы крупных карбонатных конкреций

Горизонты материнской породы (Cca^2) обеих почв практически не отличаются по своим свойствам. Это влажные бурые тяжелые суглинки, мягкие и пластичные, которые имеют сглаженно-угловато-глыбистую структуру. Однако в породе слитого чернозема, в отличие от выщелоченного, встречаются не только карбонатные, но и черные (железомарганцевые) конкреции.

Морфологические признаки описанных нами почв совпадают с признаками, отмеченными Яковлевым и другими исследователями [1, 4, 8,

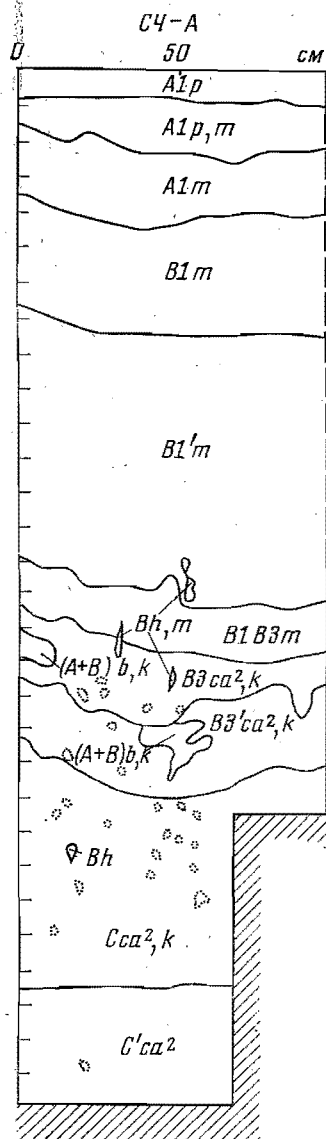


Рис. 1(3)

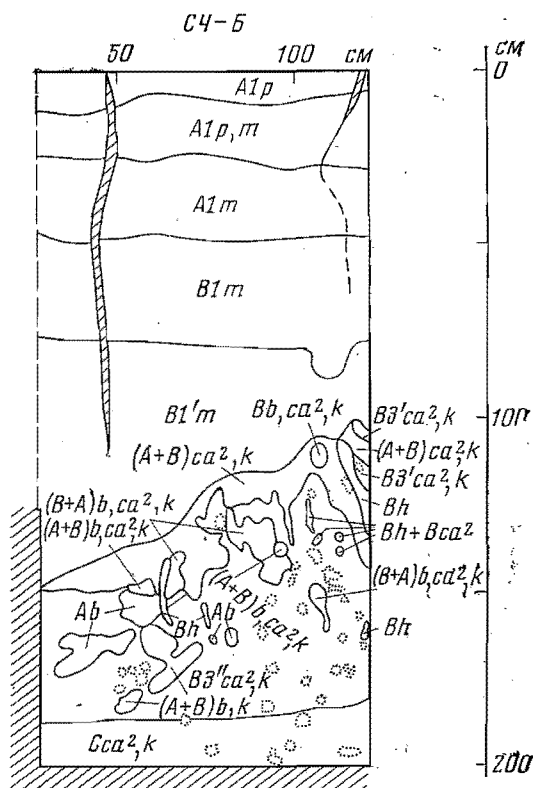


Рис. 1(4)

17, 20, и др.], а облик их профилей соответствует изображениям слитого и выщелоченного («тяжелого глинистого») черноземов на цветных иллюстрациях в книге Яковлева.

Известно [3, 7, 20], что среди слитых черноземов Предкавказья различают почвы, у которых слитой горизонт сложен глыбистыми агрегатами, состоящими из прочно соединенных друг с другом зернистых отдельностей (Блажний [1] отнес их к уплотненным тяжелосуглинистым черноземам, переходным между слитыми и выщелоченными), и почвы, у которых зернистые отдельности внутри глыб слитых горизонтов различаются с трудом. Описанный нами слитой чернозем относится к первой группе. Учитывая полыновское положение об относительной самостоятельности отдельных почвообразовательных процессов в одной и той же почве [15], изучение ранних стадий слитообразования предоставляет

Морфологические особенности
Местоположение разреза: Краснодарский край, 2 км к юго-западу от станции Гиалинская,
терраса р. Кубани,

Горизонт	Глубина, см	Влажность ¹	Цвет	Пятна* (цвет, количество, размер, мм)	Структура (размер отдельностей, мм)
A1p	0—17 (28)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Нет	Угловато-глыбистая (5—50)
A1'	17 (27) — 35 (95)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Желтовато-красные, 1а, черные, 3в; бурые, 2, а, б	Угловато-глыбистая (5—50)
A3'k	35 (83) — 35 (99)	1	Темный серый (10YR 4/1)	Очень темные серые, 3б, в; очень темные серовато-бурые, 2б	Угловато-глыбистая (5—50)
(A ↔ B)k	65 (99) — 116 (192)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Желтовато-красные, 1а; бурые, 2а, б	Угловато-глыбистая (5—50)
B ↔ A)ca ² , 3а, k	116 (162) — 176 (204)	2	Темный серовато-бурый (10YR 4/2)	Очень темные серые, 2а, б, в; бурые, 3а, б, в; белые 2а, б	Сглаженно-угловато-глыбистая (5—20)
B2 ¹¹ ca ²	164 ¹ (216) — 231 (258)	2	Бурый (10YR 4/3)	Темные серые, 1а, б; бурые, 3а, б	Комковато-зернистая (1—10)
B3ca ²	131 (258) — 266 (280)	2	Бурый (10YR 5/3)	Очень темные серовато-бурые, 1а, б; яркие палево-бурые, 2а, б	Сглаженно-угловато-глыбистая (5—50)
Cca ²	266 (280) — 330	3	Темный серовато-бурый (10YR 4/2)	Очень темные серые, 1—2а, б; палево-бурые, 1б	Сглаженно-угловато-глыбистая (5—50)

* Все горизонты имеют тяжелосуглинистый механический состав.

** Дополнительные индексы: ca² — для горизонтов, кротовин и «потеков», содержащих карбонатные условия обозначения. 1) Влажность: 0 — сухой; 1 — свежий; 2 — влажноватый, 3 — влажный; 3) Поры-каналы (корневые ходы); ширина: 1 — тонкие, 2 — очень тонкие; количество: а — больше, б — меньше; толщина: 1 — тонкие, 2 — средние; распространение: а — непрерывное, б — прерывистое, в — пятнами; в — пятнами; в — пятнами.

Таблица 1

выщелоченного чернозема (ВЧ-Б) *

1,5 км к югу от линии Армавир-Туапсинской железной дороги. Расчлененная высокая вершина увала, поле пшеницы (стерня)

Твердость	Поры ²	Трещины ⁴		Глинис- тые кута- ны ⁵	Конк- реции ⁶	Вски- пание от HCl ⁷	«Кротовины», гумусовые потеки **
		I	II				
Мягкий	16	2—10	10—30	0	Нет	—	Нет
Очень твер- дый	16	<5	1—10	1a	Fe, Mn, Ca	—	Кротовина Bb, k — очень темная серая, с темными серовато-бурыми, бурыми и красновато-бурыми пятнами.
Очень твер- дый	26	<5	1—10	16	Ca	—	Кротовина Bb, k — очень темная серая, с бурыми и темными серовато-бурыми пятнами
Очень твер- дый	16, 26	<2	1—10	1a	Ca	—	Гумусовые потеки Bb, m — очень темные серые, с бурыми пятнами; кротовины Ab; (A + B)b, k; Bb — темные серые, с бурыми пятнами; Ab, ca — темные серые, с бурыми пятнами; (A + B)b, ca ² ; (A + B)b, ca ² , k; (B + A)b, ca ² , k; Bb, ca ² , Bb, ca ² , k — очень темные серые, с бурыми пятнами; Bca ² ; sa — бурые, с серовато-бурыми, белыми, яркими палево-бурыми пятнами
Твердый	16	<2	1—5	16	Ca	+	Кротовины Ab, ca ² ; Bb, h, ca ² — очень темные серые, с бурыми пятнами; Bb, ca ² , sa; Bca ² , sa — бурые, с очень темными серыми, белыми, яркими палево-бурыми пятнами; Ab, ca, sa — очень темные серые, с темными серовато-бурыми, желтовато-красными, белыми пятнами
Очень мягкий	26	Нет		16	Ca, Mn	+	Кротовины Ab, ca ² , sa; Ab ¹ , ca ² , sa; (B + A)b, ca ² , sa, k — бурые, с очень темными серовато-бурыми, палево-бурыми, белыми пятнами; Ab, ca ² ; (A + B)b, ca ² , k; (B + A)b, ca ² ; k — от темно-серого до бурого, с бурыми, очень темными бурыми, белыми пятнами
Очень мягкий	2в	»		26	Ca, Mn	+	Кротовина A ¹ b, ca ² — темная серовато-бурая, с темно-серыми и палево-бурыми пятнами
Очень мягкий	2в	»		26	Ca	+	Нет

конкреции; k — для горизонтов и кротовин, имеющих копрогенную мозаичность окраски.
 жный: 2) Пятна, количество: 1 — малое, 2 — среднее, 3 — большое; размер: а — <5 мм, б — 5—15 мм, в —
 шое; б — среднее; в — малое; 4) Трещины: 1 — ширина, мм; II — расстояние между трещинами, см; 5) Ку-
 нистое; 6) Конкреции: Mn — железомарганцевые, Fe — железистые, Ca — карбонатные; 7) Вскипание от

Горизонт	Глубина, см	Влаж- ность	Цвет	Пятна (цвет, количество, размер, мм)	Структура (размер отдельностей, мм)
A1p	0—6 (11)	0	Темно-серый (10YR 4/1)	Нет	Комковато-зерни- стая (2—>10 мм)
A1p, m	6 (11) — 16 (28)	0	От очень темно- го серого до темно-серого (10YR 3/1— 4/1)	Желтовато-красные, 1а	Зернисто-комкова- тая (2—>10 мм)
A1m	16 (28) — 48 (50)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Желтовато-красные, 1а	Призмовидная (20— 100 мм) и сгла- женно-угловато- глыбистая (10— 50 мм)
B1m	48 (50) — 78 (89)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Желтовато-бурые, 1а; темные красновато- бурые, 1а	Угловато-глыбистая (5—50 мм)
B1 ¹ m	78 (89) — 101 (150)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Черные, 1а, б; желто- вато-красные, 1а	Призмовидная (10— 100 мм) и угло- вато-глыбистая (5—50 мм)
(A2B)ca ² , k	101 (150) — 116 (153)	1	Очень темный серый (10YR 3/1)	Бурые, 1а, б; белые, 1а; яркие палево- бурые, 1а	Угловато- и сгла- женно-угловато- глыбистая (5— 50 мм)
B3 ¹ ca ² , k	116 (153) — 181 (188)	2	Бурый (10YR 4/3)	Очень темные, серые, 1а, б; белые, 1а	Сглаженно-углова- то-глыбистая (5— 50 мм)
Cca ² , k	181 (188) — 200	2	Бурый (10YR 4/3)	Очень темные серые и темно-серые, 1а; бе- лые, 1а; яркие пале- во-бурые, 1а, б	Сглаженно-углова- то-глыбистая (5— 50 мм)

* Механический состав всех горизонтов — тяжелосуглинистый.

большие возможности для того, чтобы выявить, насколько согласуются между собой такие его составляющие, как уплотнение и упрочнение.

Влажность. Полевая влажность заметно различается лишь у пахотных горизонтов сравниваемых почв: она выше у гор. A1p слитого чернозема из-за дождя, прошедшего незадолго до определения. Влажность всех горизонтов нижележащих частей обоих профилей, включая и горизонты породы, варьирует в пределах 20—26% (по весу). При этом слитые горизонты слитого чернозема и аналогичные по положению в профиле горизонты выщелоченного чернозема имеют практически одинаковую влажность, что дает возможность относить различия в твердости сравниваемых почв за счет других факторов.

Твердость. Слитой и выщелоченный черноземы значительно отличаются друг от друга по твердости (табл. 3). Средние значения твердости горизонтов выщелоченного чернозема колеблются от 0,2 до 7,8 кг/см², слитого — от 0,2 до 29,4 кг/см². Наименьшую среднюю твердость имеют пахотные горизонты, особенно с поверхности, что связано с «самомульчированием».

Таблица 2

дарский край, 5 км к юго-востоку от станции Гончарка, 3 км к югу от линии Аржавир-р. Кубань, вершина увала, поле пшеницы (стерня)

Твердость	Поры	Трещины		Глинис- тые кута- ны	Конкреция	Вски- пание от HCl	«Кротовины», гумусовые потеки
		I	II				
Мягкий	1а, 2а	5—10	>50	Нет	Нет	—	Нет
Твердый	1а, 2а	10—50	>50	1в	»	—	»
Очень твер- дый	2б	5—10	>50	1а	»	—	»
Крайне твер- дый	2б, в	5—10	>50	1а	Мп	—	»
Крайне твер- дый	2б	5—10	>50	1а	Мп	—	»
Крайне твер- дый	2б	5—10	50	1а	Са, Мп	+	Гумусовые потеки Bh, m, черные, с бурыми пятнами; кротовины (A+B)b, са ² , k; (B+A)b, са ² , k; Bb, са ² , k; Bb, са ² , k — бурые, с темными серыми, яркими палево-бурыми и желтова- то-красными пятнами
Мягкий	2а	Нет		1а	Са	+	Гумусовые пятна (Bh+Bca) ² , серые; кротовины Ab; (A+B)b, k; (A+B)b, са ² , k — серовато-бурые, с бу- рыми и желтовато-бурыми пятнами
Очень мягкий	2б	Нет		1а	Са, Мп	+	Нет

Твердость подпахотных горизонтов обоих профилей выщелоченного чернозема (ВЧ-А и ВЧ-Б) колеблется в очень узких пределах (4,3—7,8 кг/см²). Наиболее низкие значения свойственны перерытым горизон-там (B+A)sa, са², k профиля ВЧ-Б (4,3 кг/см²), а также (A+B)k и B2ca² профиля ВЧ-А (4,8—5,2 кг/см²). Несколько более высокая твер-дость (7,4—7,8 кг/см²) отмечена в горизонтах, лежащих непосредствен-но под пахотным.

Твердость подпахотных горизонтов слитого чернозема заметно выше. Особенно высокую твердость (8,3—29,4 кг/см²) имеют гор. A1m и B1m. Максимальное среднее значение твердости отмечено для слитого гор. B1m профиля СЧ-Б. Немногом менее тверды примыкающие в нему сверху и снизу гор. A1m и B1m. Суммарная мощность очень твердой части профиля достигает в слитом черноземе 120 см.

Анализ кривых распределения показателей твердости для каждого горизонта (рис. 2) показал, что для горизонтов породы и примыкающих к ним переходных ВЗ горизонтов обеих почв распределения близки к

нормальным, средние арифметические и моды мало отличаются друг от друга, пределы колебаний значений твердости уже, а коэффициенты варьирования ниже, чем в вышележащих горизонтах (табл. 3). Для горизонтов средних частей почв характерны двух- или трехвершинные, плосковершинные или асимметричные одновершинные распределения. Так, подпахотным гумусовым горизонтам правой, перерытой землероями части разреза выщелоченного чернозема (профиль ВЧ-Б), свойст-

Таблица 3

Глубина погружения конуса пенетрометра и твердость выщелоченного и слитого черноземов

Индекс профи- ля	Горизонт	Глуби- на, см	v, %	Твердость, кг/см²		
				пределы колебаний	$\bar{M}$	Mo
Выщелоченный чернозем						
A	A1p	0	19,4	0,44—0,11	0,17	0,14
A	A1	40	21,5	19,06—3,22	7,41	13,20; 6,80
Б	A1'	45	25,5	20,99—2,70	7,41	7,41; 4,40
A	A3k	85	15,3	12,40—3,22	7,77	9,80
Б	(A + B)' k	85	12,5	12,40—4,58	7,41	7,41; 5,52
А	(A + B) k	120	11,1	8,01—3,22	5,23	4,44
Б	(B + A) ca², sa, k	150	34,8	6,42—2,13	4,27	4,44; 3,22
A	B2'ca²	170	9,1	7,38—2,87	4,81	4,81
Б	B3ca²	250	12,9	14,08—4,44	7,41	7,80
Слитой чернозем						
Б	A1p	0	6,3	0,41—0,15	0,21	0,18
А	A1p	10	40,0	47,51—0,72	5,52	6,63
Б	A1p	10	51,0	59,66—0,15	2,19	2,87
А	A1	25	31,2	80,65—4,12	13,24	19,10; 6,76
Б	A1	32	59,7	80,65—0,51	19,15	80,65
То же, «засыпка» по трещине						
А	B1	55	33,1	2,87—0,23	0,72	—
Б	B1	60	24,4	29,27—4,23	11,10	12,40; 5,20
То же, «засыпка» по трещине						
Б	B1'	95	30,1	80,65—15,10	29,41	59,94; 33,63; 15,1
То же, «засыпка» по трещине						
Б	B1'	95	18,0	5,52—0,44	1,42	—
То же, «засыпка» по трещине						
Б	B1'	95	18,0	59,94—14,01	25,9	59,94; 29,14
То же, «засыпка» по трещине						
А	B1'	105	22,5	2,87—0,61	1,84	—
А	B1	140	19,6	29,27—4,12	8,30	9,11; 5,20
А	B1	140	14,9	8,01—1,73	4,81	5,82
А	B3ca², k	170	20,4	16,17—2,65	7,41	7,41
Б	Csa², k	200	16,4	12,40—1,60	4,23	4,23

Примечание. $\bar{M}$ — арифметические средние, Mo — главные моды, v, % — коэффициенты вариации.

венна четко выраженная двухвершинность с намечающейся третьей вершиной, а горизонтам левой, менее перерытой части траншеи (профиль ВЧ-А), — асимметричность кривых распределения, что связано с различным содержанием рыхлого материала, внесенного землероями и дождевыми червями. Горизонтам слитого чернозема наряду с двух- и трехвершинными распределениями свойственны и резко выраженные асимметричные одновершинные распределения, в том числе типа пуассоновских. Средние арифметические и моды значений твердости для этих горизонтов не совпадают, а коэффициенты вариации заметно выше, чем в горизонтах выщелоченного чернозема, за исключением перерытого, с карбонатными конкрециями, гор. (B+A)sa, ca², k. Гор. A1m (32 см) профиля СЧ-Б выделяется резким преобладанием участков с твердостью 80,6 кг/см². В то же время рыхлый материал из вышележащих горизонтов, заполняющий часть редких широких трещин этого горизонта, имеет твердость 2,9—0,2 кг/см². В гор. B1m (60 см) значения твердости составляют 80,6—15,1 кг/см², однако преобладают участки с

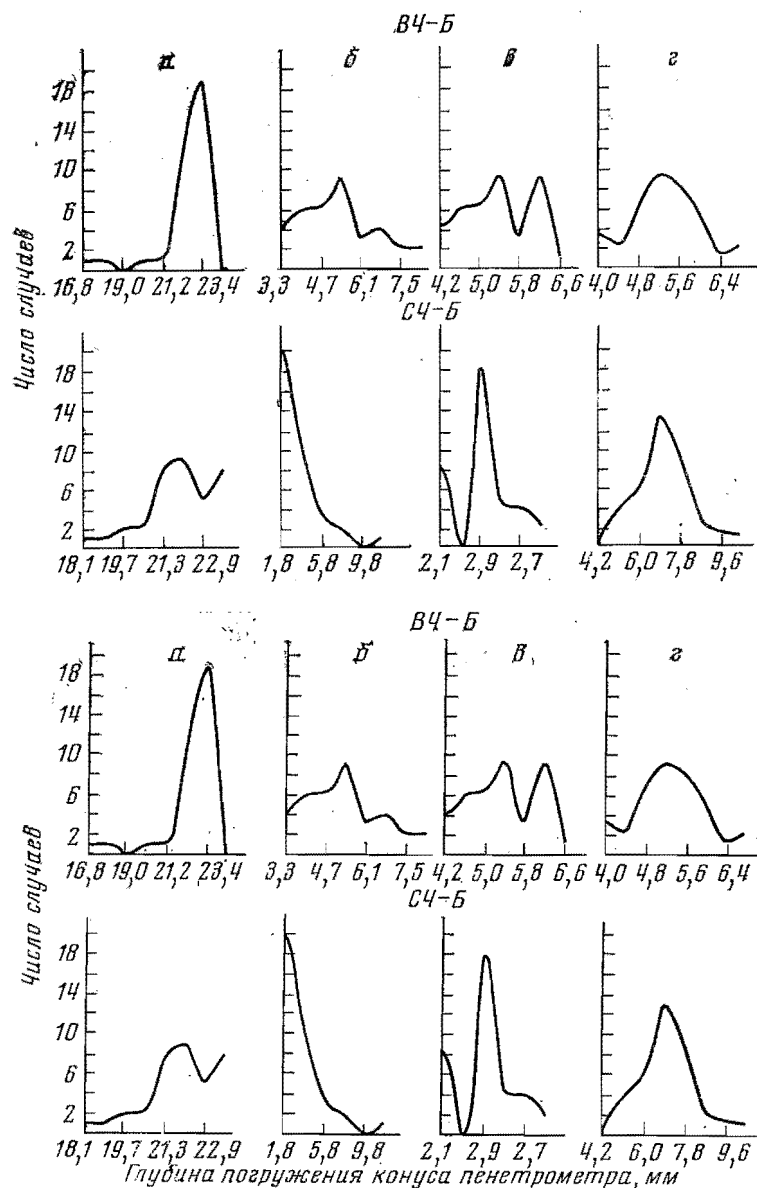


Рис. 2. Статистические распределения глубин погружения конуса микропенетromетра для основных генетических горизонтов профилей выщелоченного (ВЧ-Б) чернозема (а—А_{1р}, 0 см; б—А_{1'}, 45 см; в—(А+В)_к, 85 см; г—ВЗса², 250 см) и слитого (СЧ-Б) чернозема (а—А_{1р}, 0 см; б—А_{1т}, 32 см; в—В₁'т, 95 см; г—Сса², к, 200 см)

твердостью 59,9 и 33,6 кг/см². «Засыпки» по трещинам, составляющие очень небольшую часть горизонта (их твердость была измерена также и отдельно), очень мягки (5,5—0,4 кг/см²). К гор. В_{1т} близок по твердости и нижележащий гор. В_{1т} (95 см). В пахотных горизонтах обеих почв кривые распределения значений твердости имеют одну вершину и асимметричны, что связано с различиями в плотности упаковки твердых первичных агрегатов.

Полиmodalность и асимметричность кривых распределения значений твердости горизонтов исследованных почв можно объяснить: 1) пониженной твердостью притрещинных зон крупных отдельностей, 2) за-

сыпкой по трещинам рыхлого материала из вышележащих горизонтов в слитом черноземе, 3) деятельностью землероев и дождевых червей в выщелоченном черноземе, 4) наличием твердых карбонатных стяжений в карбонатных горизонтах обеих почв.

Объемная масса. Согласно данным, полученным радиационным методом, материнские породы обеих почв имеют близкую объемную массу (табл. 4). На глубинах 505—565 см она составляет 1,51—

Таблица 4

Объемная масса (радиационным методом) и влажность выщелоченного и слитого чернозема

Глубина, см	Выщелочен- ный чернозем		Слитой чернозем		Глубина, см	Выщелоченный чернозем				Слитой чернозем			
	объемная масса, г/см³					объемная масса, г/см³		влажность, %		объемная масса, г/см³		влажность, %	
	$\bar{M}^*$	v, %	$\bar{M}^*$	v, %		$\bar{M}^{**}$	v, %	$\bar{M}^{**}$	v, %	$\bar{M}^{**}$	v, %	$\bar{M}^{**}$	v, %
0—40	1,12	10,70	1,12	10,70	205—245	1,49	4,02	21,39	0,29	1,59	1,26	21,11	8,95
20—60	1,15	6,09	1,20	14,16	255—295	1,53	5,88	21,21	3,96	1,58	1,89	23,09	1,21
40—80	1,21	6,61	1,26	11,11	305—345	1,57	0,63	22,66	3,44	1,58	1,26	22,54	3,59
60—100	1,29	7,75	1,31	9,92	355—395	1,49	4,02	24,43	2,79	1,53	2,01	24,96	3,62
80—120	1,34	7,46	1,34	10,44	405—445	1,46	1,37	24,06	5,44	1,48	0	24,63	3,49
100—140	1,39	6,47	1,36	8,82	455—495	1,46	2,74	24,85	0,88	1,48	3,37	24,55	7,94
120—160	1,39	5,75	1,42	8,43	505—545	1,51	1,98	23,44	2,77	1,55	0,64	22,80	4,07
160—200	1,45	6,20	1,56	2,56	525—565	1,53	4,57	22,04	2,90	1,56	2,56	23,05	6,29

* Среднее из 63 определений (по 3 определения для каждой из указанных глубин в каждой из 2 скважин).

** Среднее из 9 определений (по 3 определения для каждой из указанных глубин в каждой из 3 скважин). Сведения о влажности почв на глубинах 0—200 см приведены в табл. 5.

1,53 г/см³, а на глубинах 405—495 см, с изменением механического состава, уменьшается до 1,46 в выщелоченном и 1,48 г/см³ в слитом черноземе. Затем объемная масса снова возрастает до 1,57 г/см³ на глубине 305—345 см в выщелоченном черноземе и 1,59 г/см³ на глубине 205—245 см в слитом черноземе, после чего постепенно уменьшается к поверхности. Средние значения объемной массы собственно почвенных горизонтов слитого чернозема, в том числе наиболее твердых горизонтов на глубинах 20—100 см, большей частью на 0,02—0,05 г/см³ выше, чем у лежащих на тех же глубинах горизонтов выщелоченного чернозема, однако эти различия статистически недостоверны (критерии Стьюдента и Фишера). На глубинах 80—120 см значения объемной массы обоих черноземов одинаковы, а на глубинах 100—140 см объемная масса выщелоченного чернозема несколько выше.

Значения объемной массы, установленные методом режущих цилиндров, приведены в табл. 5. Максимальные значения получены для нижних горизонтов обеих почв (1,50—1,54 г/см³). Однако они несколько завышены в связи с тем, что липкая и мягкая масса этих горизонтов переуплотнялась при введении бура на 10% (по объему), в связи с чем исправленные значения объемной массы составляют 1,37—1,39 г/см³. В других горизонтах явлений переуплотнения не наблюдали.

С приближением к поверхности почв объемная масса постепенно уменьшается. Из горизонтов средней части профиля наименьшие значения (1,25—1,30 г/см³) свойственны профилю ВЧ-Б выщелоченного чернозема, особенно сильно перерытому землероями и дождевыми червями. В лежащих на тех же глубинах горизонтах трех других профилей (ВЧ-А, СЧ-А, СЧ-Б) значения объемной массы несколько выше, но практически одинаковы и уменьшаются вверх по профилю от 1,45 до 1,23 (ВЧ-А), от 1,47 до 1,36 (СЧ-А) и от 1,43 до 1,33 (СЧ-Б) г/см³.

Самая низкая объемная масса свойственна пахотным горизонтам обеих почв (1,03—1,07 г/см³ в слитом и 1,09—1,13 в выщелоченном черноземах).

Таким образом, определения объемной массы, выполненные методом режущих цилиндров, обнаружили в общем те же особенности изменений ее значений по профилю обеих почв, что и радиационный метод. Хорошо согласующиеся результаты, полученные двумя независимыми методами, дают основание утверждать, что слитые горизонты слитого чернозема не отличаются по объемной массе от аналогичных по положению в профиле горизонтов профиля ВЧ-А выщелоченного чернозема, несмотря на значительные различия в их твердости. С другой стороны, замет-

Таблица 5

Объемная и удельная массы, пористость и полевая влажность выщелоченного и слитого черноземов

Индекс профи- ля	Горизонт	Глубина, см	Объемн. масса, г/см ³		Удельн. масса, г/см ³		Порис- тость, %	Полевая влаж- ность, вес. %	
			М	ν, %	М	ν, %		М	ν, %
Выщелоченный чернозем									
А	A1p	5—15	1,43	3,53	2,67	0,37	57,68	16,01	9,68
Б	A1p	5—15	1,09	5,22	2,63	0,38	58,55	17,50	6,98
А	A1	40—50	1,23	5,69	2,67	0	53,93	23,61	7,24
Б	A1'	45—55	1,30	9,23	2,69	0	51,67	22,17	9,56
А	A3k	85—95	1,37	2,19	2,69	0	49,07	24,97	3,92
Б	(A + B)' k	85—95	1,26	6,90	2,66	0,75	52,63	22,71	5,69
А	(A + B) k	120—130	1,45	2,07	2,71	0,74	46,49	24,77	1,73
Б	(B + A)ca ² , sa, k	150—160	1,25	8,00	2,71	0	55,35	26,33	5,23
А	B2'ca ²	170—180	1,39	2,87	2,71	0,74	48,71	23,85	4,32
Б	B3ca ²	250—260	1,50	1,73	2,75	0	45,45	21,99	2,91
Слитой чернозем									
Б	A1p	1—6	1,03	5,43	2,60	0,38	60,38	26,22*	4,46
А	A1p, m	10—20	1,07	7,01	2,63	0,38	59,32	20,93*	5,42
Б	A1p, m	10—20	1,12	9,82	2,63	0,76	57,41	21,40	7,02
А	A1m	25—35	1,36	3,82	2,66	0,38	48,87	23,46	4,13
Б	A1m	32—42	1,33	3,45	2,67	0,37	50,19	21,66	6,41
А	B1m	55—65	1,35	2,96	2,69	0	48,81	23,21	4,78
Б	B1m	60—70	1,39	4,31	2,71	0,37	48,71	21,42	2,28
Б	B1'm	95—105	1,43	3,14	2,72	0	47,43	21,08	3,03
А	B1'm	105—115	1,41	4,11	2,70	0,37	47,78	21,10	7,53
А	B3ca ² , k	170—180	1,47	2,72	2,73	0	46,15	22,32	4,88
Б	Cca ² , k	190—200	1,54	2,36	2,75	0,36	44,00	21,16	1,98
А	Cca ² , k	240—250	1,52	1,97	2,74	0	44,52	23,07	4,12

* После дождя.

ные различия в плотности горизонтов средней части профилей ВЧ-А и ВЧ-Б не отразились на их твердости, которая оказалась практически одинаковой.

Удельная масса выщелоченного чернозема увеличивается с глубиной от 2,63 до 2,75 г/см³, а слитого — от 2,60 до 2,75 г/см³ (табл. 5). В обеих почвах удельная масса твердой фазы уменьшается с приближением к поверхности и ростом содержания гумуса и достигает самых низких значений в наиболее гумусированных пахотных горизонтах обеих почв. Значения удельной массы наших почв близки к опубликованным [4, 17].

Общая пористость. Наименьшую пористость имеют горизонты материнской породы обеих почв, что, по-видимому, связано с отмеченным выше переуплотнением почвы при введении режущего цилиндра. Исправленные значения пористости для этих горизонтов составляют 49—50%. Из горизонтов средних частей профилей наибольшей пористостью (55%) обладает сильно перерытый горизонт (B + A)sa, ca², k профиля ВЧ-Б выщелоченного чернозема. В остальных профилях обоих черноземов пористость подпахотных горизонтов не обнаруживает суще-

ственных различий: очень твердые подпахотные горизонты профиля СЧ-Б имеют такую же пористость (47—50%), как и мягкие горизонты обоих профилей выщелоченного чернозема (46—54%). Особенно большой пористостью обладают пахотные горизонты.

Сравнение наших данных по объемному весу и пористости с литературными показало, что максимальные значения объемной массы и минимальные значения пористости слитых горизонтов нашего слитого чернозема заметно отличаются от близких к 1,6 и 40% величинам, опубликованным Блажним и Багровым [2], В. Ф. Вальковым, Гаврилюком [4], А. П. Джулаем, Соляником [17], В. И. Уваровым и другими исследователями. Сведения об объемной массе и порозности выщелоченных черноземов Предкавказья немногочисленны, значения их для горизонтов средней части профиля составляют, по данным Соляника [17], 1,29—1,37 г/см³ и 52,1—49,5%, т. е. близки к нашим значениям.

В заключение необходимо подчеркнуть следующее.

Слитые горизонты исследованного нами слитого чернозема Кубани практически не отличаются от неслитых горизонтов выщелоченного чернозема, занимающих сходное положение в профиле, по объемной и удельной массам и порозности, но резко отличаются по твердости. Эти различия не могут быть объяснены различиями влажности сравниваемых почв. Некоторые слитые горизонты имеют такую же влажность, как и неслитые горизонты (табл. 5). В других слитых и неслитых горизонтах содержание влаги отличается на 1—3%, причем эти отличия приходится на такой диапазон значений влажности, в котором, по данным Бахтина [19], даже намного более значительные ее различия существенно не сказываются на сопротивлении почв сдвигу. Корреляция между влажностью и твердостью наших образцов (в свойственном им диапазоне значений влажности) отсутствует ($r = -0,006$). Поэтому столь большие различия в твердости не могут быть отнесены непосредственно за счет различий влажности и должны быть объяснены прежде всего различиями свойств твердой фазы почв. Учитывая приуроченность обоих черноземов к одновозрастным и идентичным элементам рельефа, можно считать, что эти различия возникли при почвообразовании.

По предположению С. А. Яковлева и П. С. Коссовича [20], современной фазе развития почв предшествовала более аридная фаза, и предшественниками слитых черноземов были черноземы, близкие к современным выщелоченным. Действительно, об этом свидетельствуют слабо выраженные следы бывшей активной деятельности землероев и дождевых червей, которые сохранились в слитом черноземе ниже границы вскипания и тождественны по форме и размерам свежим признакам двойной зоогенной переработки, наблюдающимся сейчас в выщелоченном черноземе. Поэтому пространственные изменения почвенных свойств с переходом от выщелоченных черноземов к слитым могут рассматриваться как аналог изменений, которые имели место в слитых черноземах в недалеком прошлом*.

Как показывают наши данные, начальные этапы образования слитости при становлении слитых черноземов могут происходить без изменения плотности почв, только за счет их упрочнения в результате изменения силы связей между почвенными частицами. Подобное явление известно и в грунтоведении [6, 16]. Хотя упрочнение дисперсных грунтов в большинстве случаев вызывается их уплотнением, однако иногда оно происходит за счет цементации или склеивания грунтов природными соединениями (так называемое сцепление упрочнения [6]). Необходимо подчеркнуть, что при слитообразовании цементации не происходит. Сли-

* Не отрицается возможность более далекого гидроморфного прошлого, одинакового для наших слитого и выщелоченного черноземов, приуроченных к одному и тому же элементу морфоскульптуры.

тые почвы становятся мягкими и пластичными при увлажнении, что несвойственно сцементированным почвам и грунтам. Упрочнение почв при слитообразовании происходит в результате «склеивания». В нашем случае природа такого упрочнения неясна и должна быть объектом специального исследования. Заметим, что по литературным данным [2, 4, 17, и др.] дальнейшее увеличение увлажнения почв с приближением к Главному Кавказскому хребту, или в нижних частях склонов, или в замкнутых понижениях рельефа приводит к их уплотнению, что, при прочих равных условиях, не может не привести к дальнейшему увеличению твердости.

Упрочнение почв без изменения их плотности (как при преобразовании выщелоченного чернозема в слитой) или, по меньшей мере, упрочнение, опережающее уплотнение, могут, по-видимому, наблюдаться и при вторичном слитообразовании в орошаемых почвах. Такие изменения особенно вероятны для тех почв тяжелого механического состава, которые плотны и в естественном состоянии и которые могут упрочниться и даже стать слитыми в результате одних лишь изменений поверхностных свойств почвенной массы. Подобные изменения наблюдаются, например, судя по данным Позняка [14], в орошаемых южных черноземах правобережной Украины. Наибольшее увеличение твердости в результате орошения произошло в горизонте В этих почв, тогда как пористость особенно снизилась в пахотных горизонтах.

В заключение заметим, что в почвенно-гидрологическом и почвенно-гидрохимическом отношениях упрочнение почв без их уплотнения, по-видимому, неравноценно росту твердости в результате увеличения плотности. Главными причинами изменения гидрологических и гидрохимических свойств почв, твердость которых растет за счет уплотнения, являются уменьшение общей пористости и изменение строения порового пространства в результате переупаковки почвенных частиц. Изменения плотности далеко не всегда сопровождаются общими изменениями поверхностных свойств почвенных частиц и последние в ряде случаев — например, при искусственном уплотнении почв и грунтов — изменяются только в местах новых контактов, тогда как свойства стенок пор остаются неизменными. Напротив, упрочнение без уплотнения повлияет на свойства почв благодаря изменению свойств не только закрытых, но и открытых участков почвенной массы, непосредственно взаимодействующих с почвенным раствором. Особенно значительные изменения свойств почв происходят в случаях, когда оба типа упрочнения сочетаются.

Литература

1. Блажний Е. С. Почвы водораздела рек Лаба — Белая в их среднем течении. Тр. Всес. ин-та табачной промышленности, вып. 103, 1933.
2. Блажний Е. С., Багров Ю. И. О физических свойствах слитых черноземов. Почвоведение, 1960, № 12.
3. Быстрицкая Т. Л., Тюрюканов А. Н. Черные слитые почвы Евразии. «Наука», 1971.
4. Гаврилюк Ф. Я. Черноземы Западного Предкавказья. Изд.-во Харьковск. гос. ун-та, 1955.
5. Глубинный гамма-плотномер. Техническое описание и инструкция по эксплуатации ТО-48-111-67. Внешторгиздат, 1967.
6. Денисов Н. Я. О природе деформаций глинистых пород. М., Изд.-во Мин. речного флота, 1951.
7. Егоров В. В. Слитые почвы на территории СССР (тип смолниц). В сб.: 1-й Национальный конгресс почвовед., 1969, София, 1972.
8. Кириченко К. С. Почвы Краснодарского края. Краснодар, 1953.
9. Корнблум Э. А., Любимова И. Н. Почвенные факторы и механизм слитообразования. Прогноз слитообразования в орошаемых почвах. Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, вып. V, 1972.
10. Корнблум Э. А., Смирнова С. Ф. Руководство ФАО по описанию почв. Почвоведение, 1970, № 12.
11. Любимова И. Н. К изучению почвенных факторов слитообразования. Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, вып. V, 1972.

12. Методическое руководство по изучению почвенной структуры (под ред. И. Б. Ревута и А. А. Роде). «Колос», 1969.
13. Микропенетrometer MB-2. Технический паспорт и инструкция по эксплуатации, 1971.
14. Позняк С. П. Изменение свойств южных черноземов правобережной Украины под влиянием орошения. Автореферат дис. Одесса, 1974.
15. Полянов Б. Б. О генетических почвенных горизонтах. В сб.: Избранные труды. Изд-во АН СССР, 1956.
16. Сергеев Е. М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р. С., Осипов В. И., Трофимов В. Т. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1971.
- ✓ 17. Соляник Г. М. К характеристике почв степных западин. Уч. зап. Краснодарск. пед. ин-та, вып. 24, 1959.
- ✓ 18. Тюрменов С. И. Почвы Северо-Кавказского края. Ростов-на-Дону, 1926.
19. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. «Колос», 1970.
20. Яковлев С. А. Почвы и грунты по линии Армавир-Туапсинской железной дороги. Из Бюро по земледелию и почвоведению. Уч. ком. Г.У.З. и З., сообщение XVI. СПб., 1914.

Почвенный институт
им. В. В. Докучаева

Дата поступления
15.IV.1975 г.

Е. А. KORNBLUM, I. N. LYUBIMOVA, A. M. IVANOV

THE ROLE OF DENSITY AND HARDNESS CHANGES IN THE FORMATION OF COMPACT CHERNOZEMS (VERTISOLS)

A study of morphology, bulk density (by two different methods), hardness (by means of micropenetrometer), moisture content and specific gravity has been made in profiles of cultivated leached and compact chernozems of Kuban region. Both soils occur under similar lithologic-geomorphological conditions in adjoining parts of their pre-mountain zones. It has been found that under the same content of moisture these chernozems differ greatly in hardness but are similar in density and porosity. The processes of soil hardness increase due to changes in soil surface properties are thought to be responsible for soil compactness formation at the initial stages of compact chernozems genesis in Kuban region.