

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

УДК 631.439

### ВЛИЯНИЕ ТИПА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2021 г. И. Н. Курганова<sup>а</sup> \*, В. О. Лопес де Гереню<sup>а</sup>, Е. Н. Смоленцева<sup>б</sup>,  
М. П. Семенова<sup>с</sup>, В. И. Личко<sup>а</sup>, Б. А. Смоленцев<sup>б</sup>

<sup>а</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
ул. Институтская, 2, Пушкино, Московская обл., 142290 Россия

<sup>б</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 Россия

<sup>с</sup>Российский университет дружбы народов, экологический факультет,  
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, 119198 Россия

\*e-mail: ikurg@mail.ru

Поступила в редакцию 07.03.2021 г.

После доработки 31.03.2021 г.

Принята к публикации 07.04.2021 г.

Система землепользования и агротехнические приемы оказывают значительное влияние на агрегатный состав и многие физические свойства почв. Приведена сравнительная оценка плотности, наименьшей влагоемкости (НВ) в образцах нарушенного сложения и агрегатного состава (метод сухого просеивания) черноземов глинисто-иллювиальных элювирированных (Luvic Greyzemic Chernozem), расположенных на территории Предалтайской лесостепной почвенной провинции в Западной Сибири и сформированных под длительно используемой и новоосвоенной пашней, 27-летней залежью и целинной степной растительностью. На каждом участке были отобраны по 3 смешанных образца из следующих слоев гумусового горизонта: 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. Влияние землепользования отразилось на изменении плотности только в верхнем 0–5 см слое, разуплотнение которого в течение 27-летнего залежного режима было статистически значимым. Различия по плотности между двумя пахотными участками и между залежью и целиной не были достоверными. Изменение величины НВ изученных почв в зависимости от землепользования проявлялось в слое 0–20 см. За 6 лет использования залежи под посевы зерновых, ее агрегатный состав стал практически идентичным таковому на старопашотном участке. На основании количества агрономически ценных агрегатов и значения коэффициента структурности агрегатное состояние всех изученных почв можно оценить как отличное. Таким образом, черноземы глинисто-иллювиальные лесостепной зоны Западной Сибири в условиях длительного использования под посевы сельскохозяйственных культур проявляют высокую степень устойчивости и сохраняют природную комковато-зернистую структуру.

*Ключевые слова:* агрегатный состав почв, структура почв, водно-физические свойства почв, изменение землепользования, чернозем глинисто-иллювиальный элювирированный, Luvic Greyzemic Chernozem

DOI: 10.31857/S0032180X21090045

#### ВВЕДЕНИЕ

Являясь эталоном почв, черноземы лесостепной и степной зон в их целинном или залежном состоянии характеризуются мощным гумусовым горизонтом, достаточной обеспеченностью питательными элементами, высокой водоудерживающей способностью и водостойчивой комковато-зернистой структурой, которая создает оптимальный водно-воздушный режим и способна противостоять как водной эрозии, так и механическим воздействиям [13–15]. На черноземных почвах нашей страны размещено более половины пахотных угодий и производится около двух третей всей сельскохозяйственной продукции [40, 41]. След-

ствием длительной агрогенной эволюции черноземов является их дегумификация и дезагрегация [5, 31, 34], ведущие к переуплотнению пахотного слоя и образованию плужной подошвы [15, 21]. Восстановлению и сохранению уникальных свойств черноземных почв способствует их перевод в залежное состояние [18, 20, 46]. Именно эти процессы выведения почв из сельскохозяйственного использования были широко распространены в черноземной зоне России в эпоху экономического кризиса в начале 90-х годов прошлого столетия [18, 53]. Начиная с 2005 г., в нашей стране и на всей территории постсоветского пространства начался обратный процесс активного вовлечения

этих стихийно заброшенных почв, и в первую очередь черноземов, в сельскохозяйственное производство [16]. Так, согласно данным официальной статистики, площадь посевных площадей в Российской Федерации с 2005 по 2019 гг. увеличилась на 4 млн га [24]. Сегодня площадь вновь освоенных залежных земель в Центральном Черноземье составляет около 1.7 млн га, в Южном федеральном округе — 0.7 млн га, в Северо-Кавказском и Приволжском федеральном округах — более 1.0 млн га.

При повторном вовлечении залежных почв в обработку, как правило, происходит ухудшение их структурного (агрегатного) состояния и других физических свойств [14, 20, 43]. Таким образом, агрегатный состав почв — это динамическая характеристика, на которую в значительной степени влияют особенности землепользования [27, 28, 43] и агротехнические приемы [36, 54]. От почвенной структуры зависит динамика органического вещества (ОВ) в почве [39, 47, 64], и наоборот, содержание ОВ и режим его поступления в свою очередь влияют на агрегатное состояние почв [11, 58, 59]. Таким образом, изучение структуры почв имеет важное значение с точки зрения регулирования круговорота углерода в почвах и увеличения их углерод-депонирующего потенциала. Кроме того, почвенная структура, наряду с другими свойствами, определяет, насколько быстро вода и воздух проникают в почву и движутся через нее, что влияет на доступность почвенных ресурсов для растений и на среду обитания для микроорганизмов [30, 44, 47]. Размер почвенных агрегатов также оказывает существенное влияние на таксономический состав и функциональное состояние микробиома в целом [6]. Все вышесказанное определяет высокую степень актуальности изучения почвенной структуры и связанных с нею других физических свойств почвы.

Влияние землепользования на структурное состояние и другие физические характеристики почв наиболее исследовано на примере типичных черноземов Курской области [11, 20, 48–50, 55], обыкновенных и южных черноземов Оренбуржья [25–27]. Значительно меньше внимания уделялось изучению агрегатного состава и других физических свойств черноземных почв в условиях различного землепользования в лесостепной зоне Западной Сибири. Исследования, посвященные влиянию агрогенных и постагрогенных трансформаций на физические свойства черноземов этого региона, в последние 20 лет практически не проводились. Вместе с тем черноземы Предалтайской провинции Западной Сибири характеризуются более легким, преимущественно среднесуглинистым гранулометрическим составом [36], в отличие от черноземов европейской части России, сформированных преимущественно на тяжелых суглинках и глинах [17, 41]. В них также, как и в восточно-европейских черноземах, суммарно преоблада-

ют крупно-пылеватая и илистая фракции, однако содержание фракции крупной пыли больше, а ила наоборот — меньше. Такая региональная особенность гранулометрического состава черноземов Западной Сибири и их агрогенных аналогов, отражается на комплексе физических свойств этих почв и обуславливает их специфику по сравнению с черноземами европейской части России [36].

На сегодняшний момент для всех регионов распространения черноземов злободневными как в теоретическом, так и практическом отношении являются вопросы: 1 — насколько длительным должно быть состояние залежи для восстановления структуры и других физических характеристик черноземов и 2 — как быстро происходит дезагрегация и уплотнение пахотного горизонта залежных черноземов при повторной распашке.

В связи с этим цель представляемого исследования заключалась в сравнительной оценке агрегатного состояния, плотности и наименьшей влагоемкости черноземов глинисто-иллювиальных, сформированных под длительно используемой и новоосвоенной пашней, старовозрастной залежью и целинной степной растительностью в лесостепной зоне Западной Сибири.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

**Природно-климатические условия, растительность и почвы.** Исследования проводили в лесостепной зоне Западной Сибири (Искитимский район, Новосибирская область). По почвенно-экологическому районированию эта территория относится к Предалтайской лесостепной почвенной провинции [8], в почвенном покрове которой преобладают черноземы глинисто-иллювиальные и миграционно-мицелярные и их агрогенные аналоги [29]. Почвенный покров провинции характеризуется значительной агрогенной трансформацией: доля пашни составляет 48–61% от общей площади территории провинции [8].

Геоморфологически территория представляет собой возвышенную холмисто-увалистую равнину с высотными отместками по водоразделам 160–220 м над ур. м. [1]. Равнина сильно расчленена долинами малых рек и ручьев, оврагами, логами и балками, что является ее характерной морфологической особенностью. Водораздельные пространства занимают от 15–20 до 25% от всей площади, имеют куполовидные и гребневидные формы; склоны сложные — прямые, выпуклые, вогнутые. Почвообразующие породы представлены ранне-поздне-неоплейстоценовыми лёссами [1].

Климат региона резко континентальный, среднегодовая температура воздуха за 50-летний период (1969–2018 гг.) составила 1.4°C, а среднегодовое количество осадков за тот же период

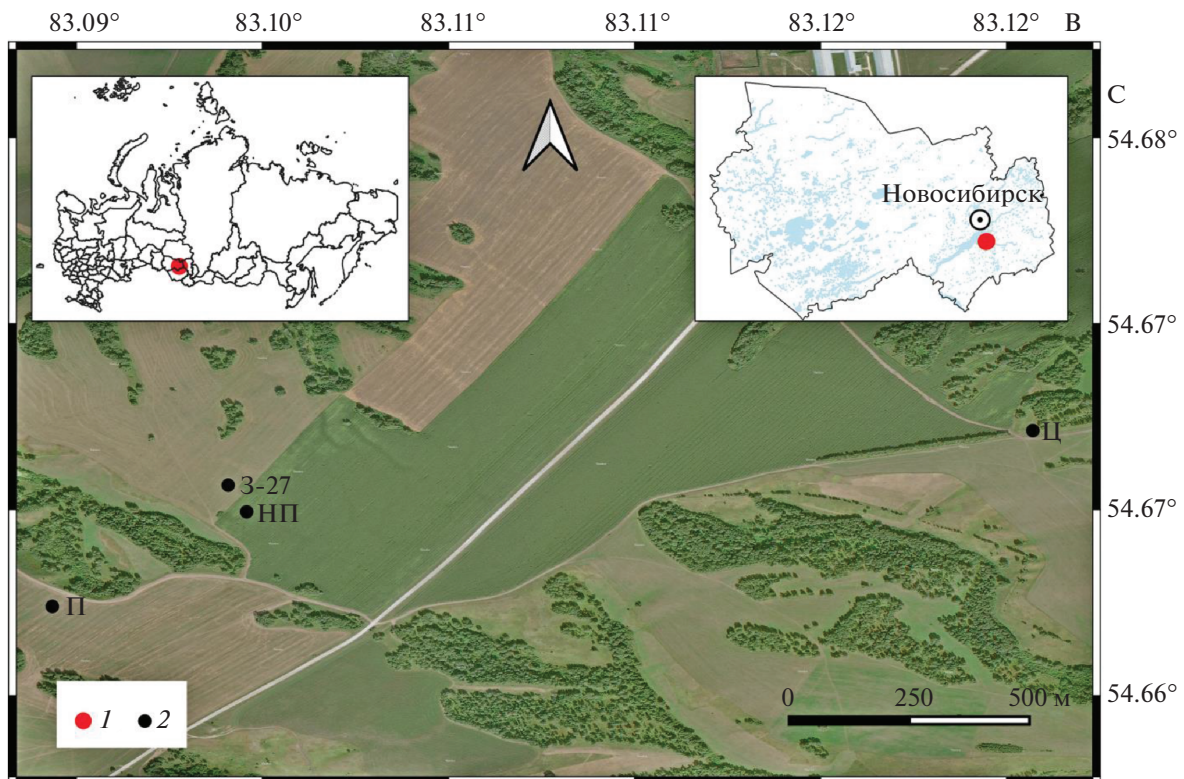


Рис. 1. Расположение объектов исследования на территории РФ (вверху слева) и на местности (космический снимок свободного доступа Yandex Satellit): 1 – исследуемый участок, 2 – места отбора проб (здесь и далее: П – пашня, НП – новоосвоенная пашня, 3-27 – залежь 27 лет, Ц – целина).

равнялось 639 мм [3]. Среднеголетняя годовая амплитуда температур воздуха составляет около 37°C, с минимальным значением в январе (–17.5°C), а максимальным – в июле (19.4°C). Летний гидротермический коэффициент Селянинова в регионе проведения исследований составляет 1.11.

Отбор почвенных проб проводили летом 2020 г. на участках различного землепользования, представляющих собой (рис. 1): 1 – старопашотный участок (П; 54.6628 N, 83.0931 E), засеянный ячменно-вико-овсяной смесью; 2 – залежь 27-летнего возраста (3-27; 54.6668 N, 83.0989 E), которая не возделывается с 1993 г. и на ней сформировался злаково-разнотравный луг с преобладанием вейника наземного (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.); ковра безостого (*Bromus inermis* Leys.); ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.); льнянки обыкновенной (*Linaria vulgaris* Mill.); горошка приятного (*Vicia amoena* Fisch); подмаренника белого (*Galium* L.); скерды сибирской (*Crepis ruprechtii* Boiss) и других видов; 3 – новоосвоенную пашню (НП; 54.6685 N, 83.1249 E) с посевами кукурузы, которая ранее была частью участка 3-27 и которую вновь стали использовать под посевы 6 лет назад (с 2015 г.); 4 – целинный участок (Ц; 54.6628 N, 83.0931 E), представляющий собой бобово-разнотравно-злаковую луговую степь. До-

минирующие виды: вейник наземный (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth.); коостер безостый (*Bromus inermis* Leys.); ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.); льнянка обыкновенная (*Linaria vulgaris* Mill.); горошек приятный (*Vicia amoena* Fisch); зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa* (L.) Moench); Скерда сибирская (*Crepis ruprechtii* Boiss); вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.); купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.) и др.

На каждом участке были заложены полнопрофильные почвенные разрезы и выполнены их подробные морфологические описания, что позволило диагностировать [23] исследуемые почвы как агроземы темные глинисто-иллювиальные элювирированные (участки П и НП), чернозем глинисто-иллювиальный элювирированный (Ц) и чернозем глинисто-иллювиальный элювирированный постагрогенный (3-27). Согласно международной классификации [65], почвам участков П и НП соответствует Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic, Aric), а почвам участков 3-27 и Ц – Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic). В рамках подходов “Классификации и диагностики почв СССР” [10] все почвы являются черноземами оподзоленными.

Исследование физических характеристик почв и их агрегатного состава проводили в пределах гуму-

Таблица 1. Общая характеристика изучаемых почв (слой 0–10 см)

Участок	Почва [9]	Формула профиля	Название почвы согласно WRB [65]	Песок/пыль/ил, %		C <sub>орг</sub> , г С/кг почвы	N <sub>общ</sub> , г N/кг почвы	pH <sub>KCl</sub>
				по Качинскому	WRB [65]			
П	Агрозем темный глинисто-иллювиальный элювированный	PU-BI-BCA-Cca	Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic, Aric)	12/74/14	12/67/21	37.0 ± 0.8	3.21 ± 0.06	5.68
НП				13/78/9	13/71/16	38.0 ± 0.5	3.24 ± 0.05	5.60
3-27	Чернозем глинисто-иллювиальный элювиированный постагрогенный	AUd-AUra-BI-BCA-Cca	Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic)	17/76/7	17/69/14	42.3 ± 1.4	3.66 ± 0.12	5.12
Ц	Чернозем глинисто-иллювиальный элювиированный	AUd-AU-BI-BCA-Cca	Luvic Greyzemic Chernozem (Siltic)	22/71 /7	22/64/14	54.6 ± 1.5	4.66 ± 0.12	5.68

сового горизонта, который представлен в агроземах (участки П и НП) агротемногумусовым (PU) горизонтом (табл. 1), в черноземе глинисто-иллювиальном (участок Ц) – темно-гумусовым (AU) задернованным в верхней части (слой 0–5 см) горизонтом, в черноземе глинисто-иллювиальном постагрогенном (участок 3-27) – темно-гумусовым постагрогенным (AUra) горизонтом, также имеющим пятисантиметровый дерновый горизонт с поверхности.

*Плотность почв* определяли в разрезах на глубинах 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см в четырехкратной повторности. Образцы ненарушенной почвы отбирали буром известного объема (50.63 см<sup>3</sup>), затем высушивали в течение 6 ч при температуре 105°C и взвешивали с точностью до 0.01 г.

Для определения общих свойств почв, наименьшей влагоемкости (НВ) и агрегатного состава на каждом из четырех участков вблизи разреза в трех разных точках закладывали по 3 прикопки глубиной 50 см, из которых отбирали смешанные пробы из слоев 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. В общей сложности было сформировано 48 смешанных образцов по 350–400 г. В почвенных пробах естественной влажности слабым нажатием пальцами разминали крупные почвенные отдельности (>20–30 мм), выбирали корни и другие включения, и затем образцы подсушивали до воздушно-сухого состояния.

**Анализ общих свойств почв.** Содержание органического углерода (C<sub>орг</sub>) и общего азота (N<sub>общ</sub>) определяли в образцах, растертых до состояния пудры на автоматическом CHNS анализаторе (Leco, США) в трехкратной повторности. Определение величины pH проводили в образцах почв, просеянных через сито 2 мм, в 1M растворе KCl (соот-

ношение почва : раствор 1 : 2.5) на pH-метре Metler-Toledo (Швейцария). Гранулометрический состав определяли для каждого участка в смешанном образце из слоя 0–10 см методом пипетки с диспергацией пиррофосфатом натрия [33]. Содержание фракций песка, пыли и ила по WRB [65] в слое 0–10 см изученных почв определяли методом перерасчета результатов анализа гранулометрического состава [37].

*Определение наименьшей влагоемкости* проводили в образцах нарушенного сложения [4], отобранных послойно из прикопок и просеянных через сито диаметром 2 мм. Для этого использовали пластиковые трубочки с перфорированным дном, имеющие длину 18 см и внутренний диаметр 27 мм. Увлажнение почв проводили методом капиллярного насыщения до появления водного слоя на поверхности почвы и вытеснения пузырьков воздуха. Величина НВ соответствовала влажности почвы нарушенного сложения после полного насыщения образца влагой при свободном оттоке гравитационной воды.

*Структурный (агрегатный) анализ почв* проведен методом сухого просеивания по Саввинову [33]. Для этого образец почвы массой ~200 г встряхивали на ситах с диаметром отверстий 10, 5, 2 и 0.25 мм в течение 3 мин с использованием шейкера. Полученные фракции взвешивали с точностью 0.01 г и затем определяли весовую долю каждой фракции в исследуемом образце (M<sub>i</sub>, %). Агрономически ценными считаются агрегаты размерами 10–0.25 мм, поскольку именно они придают почвенной структуре ее уникальный вид и определяют почвенное плодородие [38]. Наиболее распространенными показателями, отражающими агрегатное состояние почв, являются

ся: доля агрономически ценных агрегатов (АЦА, %), средневзвешенный диаметр (СВД, мм) и коэффициент структурности ( $K_{стр}$ ), расчет которых базируется на результатах, полученных методом сухого просеивания [33].

СВД (мм) агрегатов для каждого слоя определяли с учетом доли каждой фракции в общей массе образца по формуле:

$$\text{СВД} = \sum_{i=0}^n \bar{x}_i M_i, \quad (1)$$

где  $M_i$  – весовой % фракции агрегатов со средним диаметром  $\bar{x}_i$ ,  $n$  – количество фракций [33].

$K_{стр}$  определяли как отношение (по массе) суммы агрегатов размером 0.25–10 мм к сумме агрегатов диаметром >10 и <0.25 мм:

$$K_{стр} = \frac{\Sigma(0.25-10 \text{ мм})}{\Sigma(>10 \text{ мм}, <0.25 \text{ мм})}. \quad (2)$$

Агрегатное состояние почвы считается отличным, если  $K_{стр} > 1.50$ , хорошим – при  $K_{стр} = 0.67-1.50$  и неблагоприятным – при  $K_{стр} < 0.67$  [33]. По содержанию АЦА агрегатное состояние почв относят к неудовлетворительному, если фракция 0.25–10 мм составляет <40%, хорошему – при доле АЦА 40–60% и отличному – при доле АЦА > 60% [33].

Статистическую обработку результатов и визуализацию данных проводили с использованием программы Microsoft Excel 2013 и Статистика 6. В таблицах и на графиках приведены средние значения и стандартная ошибка (SE). Все статистические процедуры выполняли при уровне значимости  $p = 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

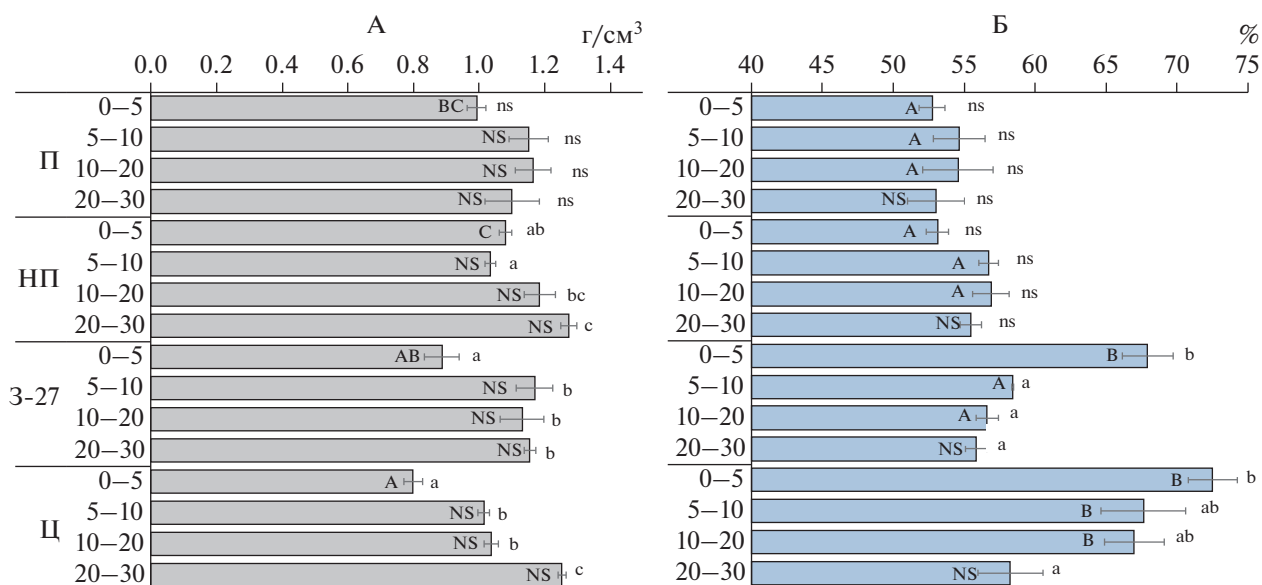
**Общая характеристика почв.** Все исследуемые почвы по классификации Качинского [33] относятся к среднесуглинистым крупнопылеватым (табл. 1). По международной классификации [65] гранулометрический состав (Soil Texture Class) в слое 0–10 см всех изученных почв соответствует суглинка пылеватому (silt loam). Значения  $pH_{KCl}$  в слое 0–10 см изменяются от 5.12 (на участке 3–27) до 5.60–5.68 в почвах всех остальных объектов. Содержание  $C_{орг}$  и  $N_{общ}$  в почвах старопахотного участка и новоосвоенной пашни составляет 37–38 г С/кг почвы и 3.2 г N/кг почвы. В почве целинного участка содержание этих элементов самое высокое (~55 г С/кг почвы и 4.7 г N/кг почвы), а почвы залежи занимают промежуточное положение.

**Плотность почв и наименьшая влагоемкость.** В пределах гумусового горизонта (0–30 см) самые низкие значения плотности (0.80–0.99 г/см<sup>3</sup>) на всех участках были характерны для слоя 0–5 см за

исключением новоосвоенной пашни (рис. 2, А). С глубиной плотность почв возрастала, достигая максимальных значений (1.04–1.27 г/см<sup>3</sup>) в слоях 10–20 или 20–30 см. И только в почвах 27-летней залежи максимальная плотность (1.17 г/см<sup>3</sup>) отмечалась на границе дернового горизонта (слой 5–10 см). В почве пахотного участка различия по плотности между отдельными слоями не были достоверными, а в почвах всех других участков с глубиной наблюдалось статистически значимое увеличение плотности. Влияние землепользования отразилось только на плотности верхнего (0–5 см) слоя, разуплотнение которого в течение 27-летнего залежного режима было статистически значимым. Вместе с тем различия по плотности между двумя пахотными участками и между залежью и целиной не были достоверными.

Для почв пахотных участков (П и НП) в пределах слоя 0–30 см были характерны самые низкие значения НВ (52.7–56.9%), а различия по глубине и в пределах одной глубины между почвами П и НП не были статистически значимыми (рис. 2, Б). В почвах залежного и целинного участков величина НВ была максимальной в верхнем 0–5 см слое (67.9–72.5%) и с глубиной достоверно уменьшалась до 55.8–58.2% в слое 20–30 см. Статистически достоверными были различия по величине НВ между целинной почвой и пахотными участками в слое 0–20 см. Величина НВ в слое 0–5 см в почве залежного участка достоверно не отличалась от таковой в целинном, а значения НВ в слое 5–30 см – от таковых в пахотных участках. Таким образом, тип землепользования не повлиял на величину НВ только в самом нижнем слое гумусового горизонта (20–30 см). Влагоемкость почв в равной мере зависит от содержания ОВ и гранулометрического состава [33]. Поскольку исследуемые почвы характеризуются близкой текстурой, то влияние на величину НВ главным образом оказывает обогащенность почв ОВ. Расчеты показали, что для всей выборки наших данных вариабельность величины НВ на 55% определялась содержанием  $C_{орг}$ , а для слоя 0–10 см доля объясненной дисперсии величины НВ составляла уже 79% (данные по содержанию  $C_{орг}$  в этой работе не приводятся).

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что фактор “глубина” объяснял 43% дисперсии плотности почвы, а фактор землепользования отвечал только за 8.8% вариабельности этого показателя (табл. 2). Влияние изучаемых факторов было обратным в случае с величиной НВ, когда на факторы “глубина” и “землепользование” приходилось соответственно 10.6 и 55.7% объясненной дисперсии. Взаимодействие факторов отвечало за 21% дисперсии в случае обоих параметров.



**Рис. 2.** Изменение плотности (А) и наименьшей влагоемкости (Б) в гумусовом горизонте (слой 0–30 см) черноземов глинисто-иллювиальных в условиях различного землепользования. Маленькими буквами показаны значимые различия между слоями в пределах одного участка, заглавными – значимые различия между почвами разного землепользования в пределах одного слоя; ns (NS) – различия не значимы.

**Распределение агрегатов по фракциям.** Самой представительной фракцией в почвах всех изученных участков и на всех глубинах является фракция мелких макроагрегатов (0.25–2 мм), доля которой составляет от 31 до 42% (рис. 3). В почве старопахотного участка содержание этой фракции больше в верхнем (0–10 см) слое по сравнению с нижней частью гумусового слоя (10–30 см). На целинном участке тенденция обратная, и самая нижняя часть гумусового горизонта (20–30 см) обеднена мелкими макроагрегатами по сравнению с верхней частью. Почвы двух других участков (НП и 3–27) в отношении распределения фракции 0.25–2 мм в пределах гумусового горизонта не проявляли четких тенденций. Сумма крупных макроагрегатов (2–10 мм) самая представительная в почве залежи (36–41%), а в почвах всех других участков содержание этой фракции

варьировало в более широких пределах – от 30–32 до 37–40%. Доля пылеватой фракции (или микроагрегатов, <0.25 мм) в почвах целинного участка была выше (26–31%), чем во всех других почвах (22–28%), причем наиболее обогащены этой фракцией были слои 10–20 и 20–30 см. В новоосвоенной пашне вследствие механической обработки за 6 лет произошло увеличение доли микроагрегатов по сравнению с почвой залежного участка на 6.7 и 3.2% в слоях 0–5 и 5–10 см соответственно. По сравнению с почвой старопахотного участка в почве 27-летней залежи незначительно (на 1.8–2%) уменьшилось содержание микроагрегатов в слое 0–10 см, но при этом возросло содержание фракции 5–10 мм на 8.8 и 3.8% и фракции >10 мм на 2.2 и 0.7% в слоях 0–5 и 5–10 см соответственно.

**Таблица 2.** Влияние глубины и вида землепользования на плотность почвы и величину полной влагоемкости в пределах старопахотного горизонта (результаты двухфакторного дисперсионного анализа)

Фактор	Плотность почв			Наименьшая влагоемкость		
	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$ , %	<i>F</i>	<i>p</i>	$\eta^2$ , %
Глубина (Г)	25.0	<0.0001	43.0	8.7	0.0002	10.6
Землепользование (З)	5.1	0.0038	8.8	45.7	<0.0001	55.7
Взаимодействие Г × З	4.0	0.0007	20.8	5.7	0.0001	20.7
Ошибка			27.5			13.0

Примечание. *F* – фактическое значение отношения Фишера, *p* – уровень вероятности;  $\eta^2$  – доля дисперсии (%), обусловленная каждым фактором и их взаимодействием (Г × З).

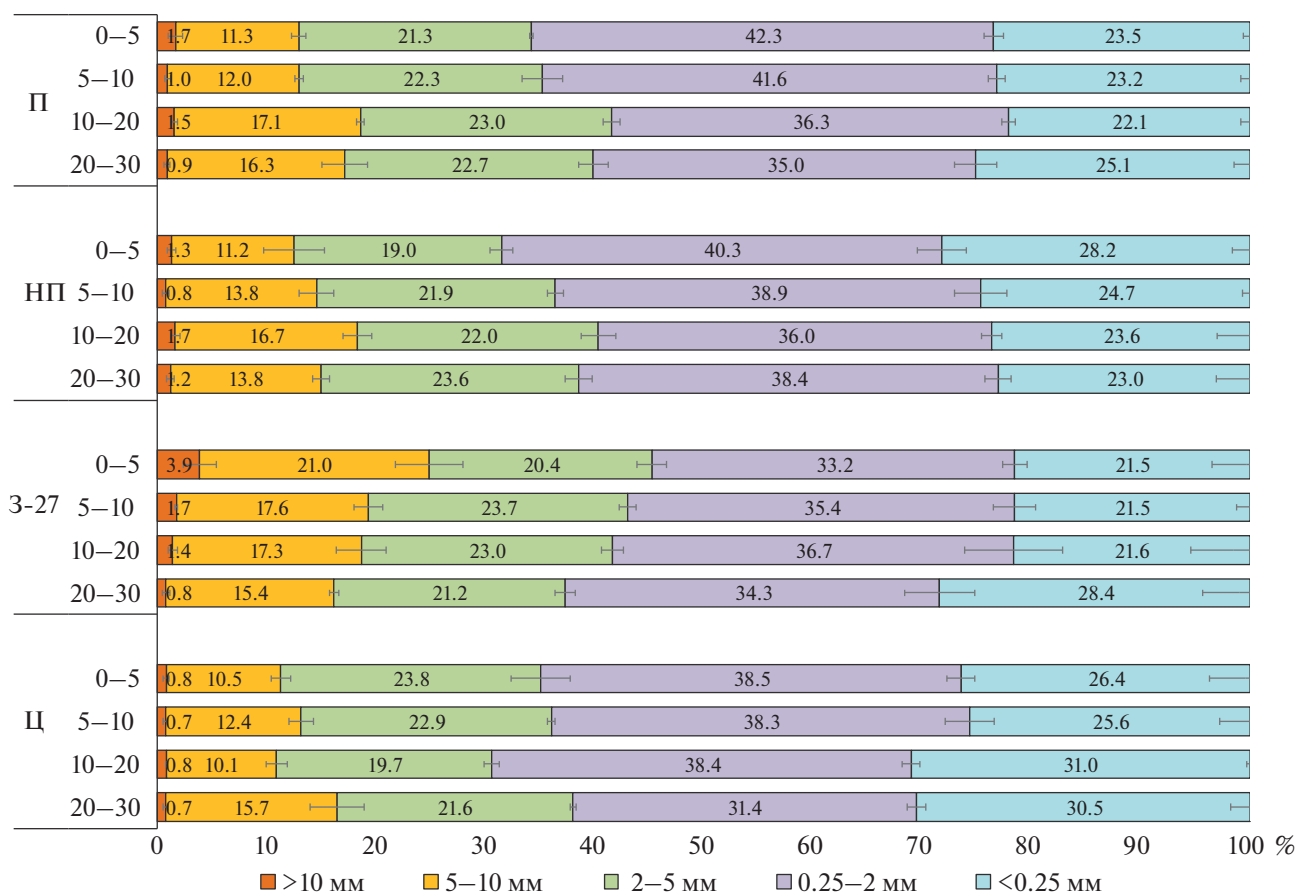


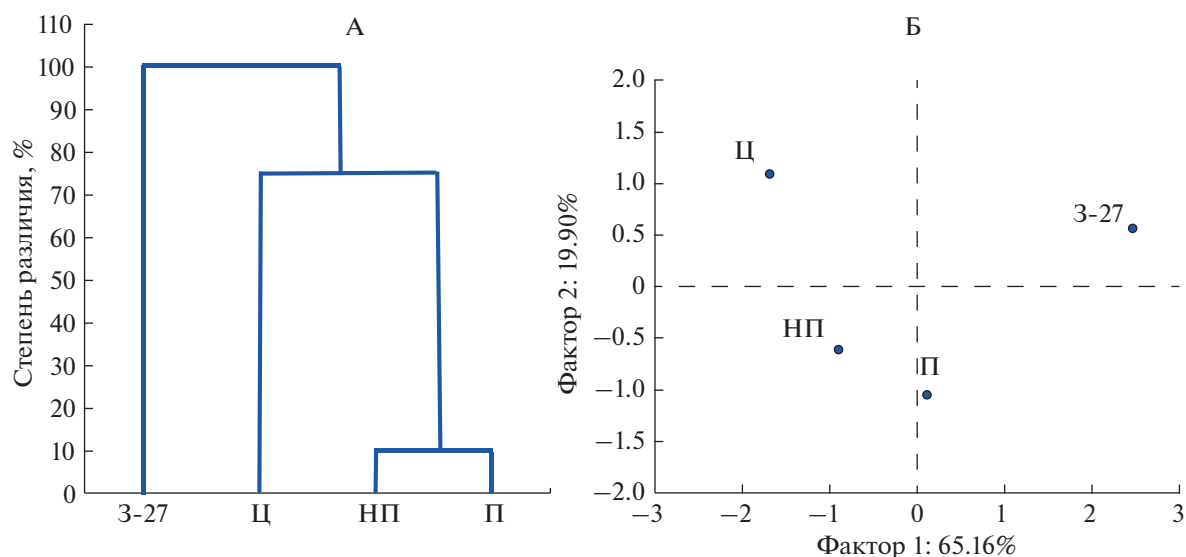
Рис. 3. Распределение агрегатов разного размера в различных слоях гумусового горизонта черноземов глинисто-иллювиальных в условиях различного землепользования.

Если гумусовый горизонт в пределах изучаемого слоя рассматривать как единое целое, то различия в распределении агрегатов по фракциям между участками различного землепользования проявляются более отчетливо. Однофакторный дисперсионный анализ показал, что пахотный и старопахотный участки по агрегатному составу достоверно между собой не отличаются (табл. 2). В почве 27-летней залежи доля фракции размером 5–10 мм значимо выше, чем в почвах всех других участков за счет уменьшения доли мелких макроагрегатов (0.25–2 мм). В почве целинного участка содержание микроагрегатов достоверно больше (на 3.5–5.1%), чем в почвах всех других видов землепользования, но в тоже время здесь меньше самых крупных фракций: >10 и 5–10 мм (табл. 3).

Для интерпретации результатов агрегатного состояния почв различного землепользования, полученных методом сухого просеивания, использован кластерный анализ (КА) и метод главных компонент (МГК), которые были успешно применены для разделения типичных черноземов разного использования в Курской области [48, 49].

В рамках настоящего исследования для разделения черноземов различного использования на группы использовали средние значения содержания фракций в слое 0–30 см. Результаты кластеризации показали, что наименьшая степень различий (10%) наблюдается между почвами двух пахотных участков, а наивысшая – между почвой под 27-летней залежью и всеми остальными почвами (рис. 4, А). Сходная картина была получена при использовании МГК, который четко разделил исследуемые почвы по их агрегатному составу (рис. 4, Б). Выявлено, что фактор 1, который наиболее сильно коррелирует с долей агрегатов размером >10 мм ( $r = 0.98$ ), 5–10 мм ( $r = 0.98$ ) и <0.25 мм ( $r = -0.79$ ) описывает 65.2% информации, а фактор 2, который коррелирует с долей мелких микроагрегатов ( $r = -0.79$ ) – только 19.9%.

Таким образом, в пределах верхнего (0–30 см) слоя совокупное распределение агрегатов по фракциям в черноземах глинисто-иллювиальных определялось особенностями землепользования. Наиболее важная роль в классификации объектов исследования принадлежит агрегатам >10 и 5–10 мм. За 6 лет использования залежи



**Рис. 4.** Дендрограмма иерархической группировки (различия, %) черноземов глинисто-иллювиальных, сформированных в условиях различного землепользования по результатам кластерного анализа (А) и распределение объектов по методу главных компонент (Б) с использованием данных агрегатного состава.

под посевы зерновых ее агрегатный состав стал практически идентичным таковому на старопашотном участке. Агрегатное состояние целинной почвы занимает промежуточное положение между пахотными участками и почвой на 27-летней залежи. Наряду с особенностями землепользования на структурную организацию почв оказывают влияние исходные различия в ее текстуре.

**Анализ показателей агрегатного состояния черноземов.** Доля агрономически ценных агрегатов, представленных суммой мелких (0.25–2 мм) и крупных (2–10 мм) макроагрегатов, в почвах целинного участка составляла 68–74% (табл. 4) и была незначительно меньше, чем в почвах всех других объектов (74–77%).

Значения СВД в пределах верхнего 0–30 см слоя почв всех исследуемых участков варьировали от 3.61 до 4.36 мм, принимая самые низкие значения в почвах целинного участка за счет более высокого содержания здесь микроагрегатов. С глубиной изменение СВД в изучаемых почвах не было однонаправленным. Коэффициент структурности в зависимости от глубины и вида землепользования изменялся от 2.14 до 3.32, что позволяет отнести все изучаемые почвы к отлично оструктуренным. Изменение  $K_{стр}$  с глубиной в изучаемых почвах не было закономерным.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что влияние глубины отбора почвенных проб в пределах верхнего (0–30 см)

**Таблица 3.** Усредненные значения доли фракций различного размера в пределах гумусового горизонта ( $n = 12$ ) черноземов глинисто-иллювиальных, сформированных в условиях различного землепользования

Вид землепользования	Показатель, %	Размер фракции, мм				
		>10	5–10	2–5	0.25–2	< 0.25
Пашня	Среднее	1.27 <sup>ab</sup>	14.2 <sup>a</sup>	22.3 <sup>ns</sup>	38.8 <sup>ns</sup>	23.5 <sup>a</sup>
	SE	0.21	0.9	0.6	1.1	0.5
Новоосвоенная пашня	Среднее	1.23 <sup>ab</sup>	13.9 <sup>a</sup>	21.6 <sup>ns</sup>	38.4 <sup>ns</sup>	24.9 <sup>ab</sup>
	SE	0.18	1.0	0.7	0.9	1.2
Залежь, 27 лет	Среднее	1.96 <sup>b</sup>	17.8 <sup>b</sup>	22.1 <sup>ns</sup>	34.9 <sup>ns</sup>	23.3 <sup>a</sup>
	SE	0.49	1.1	0.6	1.3	1.9
Целина	Среднее	0.79 <sup>a</sup>	12.2 <sup>a</sup>	22.0 <sup>ns</sup>	36.6 <sup>ns</sup>	28.4 <sup>b</sup>
	SE	0.08	0.9	0.8	1.1	1.3

Примечание. Буквенные обозначения около средних значений показывают значимые различия между почвами различного землепользования; ns – различия не значимы.



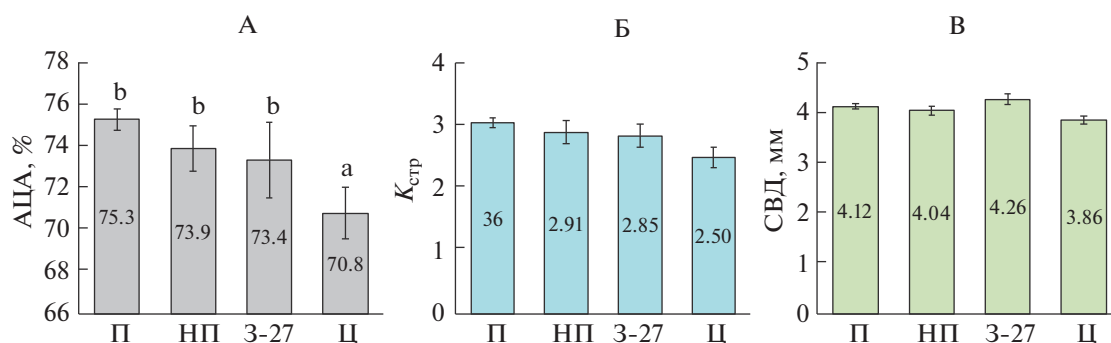


Рис. 5. Средние значения показателей агрегатного состояния гумусового горизонта черноземов глинисто-иллювиальных в условиях различного землепользования. Вертикальные линии показывают величину стандартной ошибки (SE).

слоя почв на выбранные показатели структурности (доля АсА,  $K_{стр}$  и СВД) не было достоверным. Это позволяет рассматривать гумусовый горизонт как единое целое и оценить влияние типа землепользования на усредненные показатели агрегатного состояния для всего слоя 0–30 см (рис. 5).

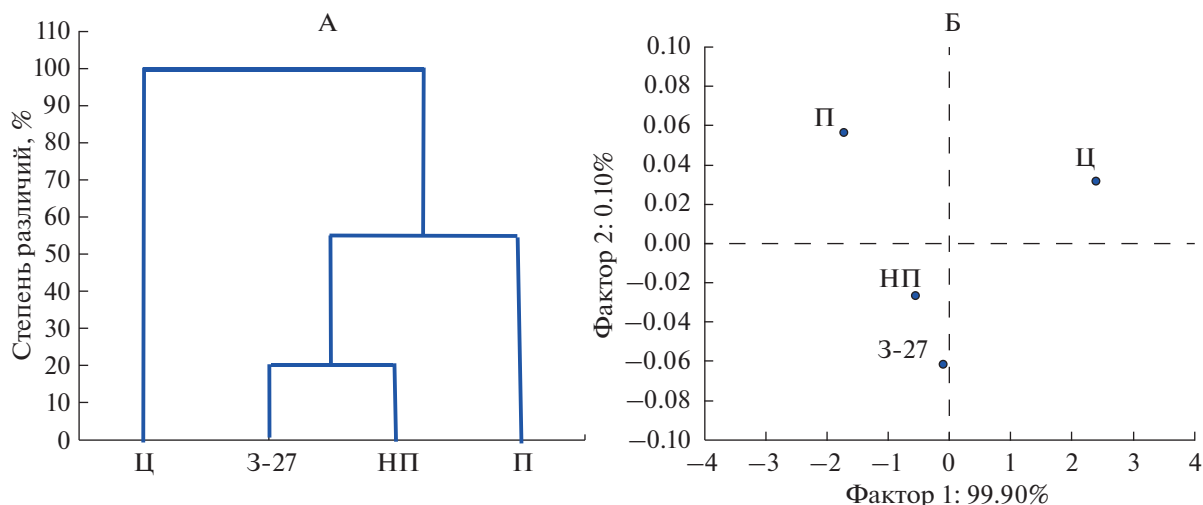
Доли АсА в слое 0–30 см пахотных почв и под залежью между собой достоверно не отличались и были достоверно выше, чем в целинной почве. Другие показатели структурного состояния ( $K_{стр}$  и СВД), оцененные для гумусового слоя в пределах 0–30 см, в почвах различного землепользования статистически значимо между собой не различались. В пределах всей совокупности данных ( $n = 48$ ) тесные взаимосвязи ( $R^2 = 0.69–0.71$ ;  $p < 0.001$ ) были выявлены между значениями СВД с

$K_{стр}$  и долей АсА. Вместе с тем сколько-нибудь значимых корреляционных связей между показателями структурности и такими свойствами почв как содержание углерода, наименьшая влагоемкость и плотность выявлено не было.

Для разделения исследуемых черноземов методом КА и МГК использовали средние значения показателей агрегатного состояния (АсА,  $K_{стр}$ , СВД) в слое 0–30 см. Результаты кластеризации показали, что по этим показателям наименьшая степень различий (20%) наблюдается между почвами 27-летней залежи и новоосвоенной пашни, которые ранее представляли участки одного поля. Наивысшая степень различий выявлена между почвой под целиной и всеми остальными почвами (рис. 6, А). При использовании МГК была

Таблица 4. Показатели агрегатного состояния (среднее (SE)) на разных глубинах гумусового горизонта черноземов глинисто-иллювиальных в условиях различного землепользования

Объект	Слой, см	АсА, %	СВД, мм	$K_{стр}$
Пашня	0–5	74.9 (0.2)	3.96 (0.03)	2.98 (0.03)
	5–10	75.9 (1.1)	4.05 (0.08)	3.16 (0.18)
	10–20	76.4 (1.0)	4.31 (0.05)	3.25 (0.19)
	20–30	74.0 (1.3)	4.18 (0.15)	2.87 (0.19)
Новоосвоенная пашня	0–5	70.5 (1.6)	3.74 (0.19)	2.41 (0.19)
	5–10	74.6 (0.4)	4.07 (0.07)	2.93 (0.06)
	10–20	74.7 (2.6)	4.21 (0.18)	3.04 (0.41)
	20–30	75.8 (2.9)	4.15 (0.16)	3.26 (0.57)
Залежь, 27 лет	0–5	74.8 (3.0)	4.36 (0.24)	3.04 (0.44)
	5–10	76.7 (1.2)	4.36 (0.04)	3.32 (0.23)
	10–20	71.3 (1.2)	4.06 (0.23)	2.49 (0.15)
	20–30	70.8 (3.9)	3.98 (0.17)	2.56 (0.51)
Целина	0–5	72.8 (3.5)	3.89 (0.23)	2.79 (0.47)
	5–10	73.6 (2.6)	3.99 (0.13)	2.86 (0.38)
	10–20	68.1 (0.2)	3.61 (0.04)	2.14 (0.02)
	20–30	68.7 (1.6)	3.93 (0.17)	2.22 (0.16)



**Рис. 6.** Дендрограмма иерархической группировки (различия, %) черноземов глинисто-иллювиальных, сформированных в условиях различного землепользования по результатам кластерного анализа (А) и распределение объектов по методу главных компонент (Б) с использованием показателей структурного состояния.

получена сходная картина (рис. 6, Б) и показано, что фактор 1, который тесно коррелирует со всеми показателями агрегатного состояния описывает 99.9% информации.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что по плотности и величине НВ в пределах верхнего 0–30 см слоя пахотные участки (П и НП) достоверно между собой не отличались. Использование 20-летней залежи под посевы сельскохозяйственных культур в течение шести лет было достаточным, чтобы различия по плотности и величине НВ в верхнем 0–5 см слое новоосвоенной пашни и участка 3-27, который все это время продолжал находиться в залежном состоянии, стали статистически значимыми. В то же время за 27 лет залежного режима в результате образования дернового горизонта плотность и величина НВ в слое 0–5 см целинного и залежного участков стали идентичными и статистически не отличались. Значения НВ в слое 5–20 см на залежи не отличались от пахотных участков и были достоверно меньше, чем в целинной почве. Перевод пахотных угодий в залежное состояние и снятие сельскохозяйственной нагрузки запускает процессы восстановления естественного растительного покрова, что ведет к накоплению в почвах ОБ, наиболее выраженному в самой верхней части бывшего пахотного горизонта [51, 53]. Благодаря этим процессам различия по величине НВ между почвами целины и залежи не проявлялись.

На примере черноземов в лесостепной и степной зонах Зауралья показано, что за 10 лет залежного режима на бывших пахотных почвах восста-

новилась естественная растительность, что привело к уменьшению плотности и улучшению водно-физических свойств бывшего пахотного слоя [12]. В черноземах обыкновенных в степной зоне Оренбургской области пахотные почвы за 15–20 лет залежного режима в результате восстановления естественной растительности по многим физическим свойствам (плотности, водопроницаемости, агрегатному состоянию) приблизились к своим целинным аналогам [27]. Сходное влияние на физические свойства черноземов южных в условиях засушливой степи Предуралья оказало заметное (в 2.7 раза) сокращение пастбищной нагрузки, которое привело к увеличению доли злаков и восстановлению видового состава естественной растительности степных экосистем [25, 26]. Таким образом, длительно используемые в сельском хозяйстве черноземы степной и лесостепной зон обладают высокой природной способностью к самовосстановлению после снятия сельскохозяйственной нагрузки.

Многочисленные исследования показывают, что изменения в характере землепользования влияют на структурное состояние почв, поскольку тип землепользования определяет продуктивность наземной и подземной фитомассы, влияет на количество поступающего в почву ОБ и скорость его разложения [42, 58, 59, 62]. Чаще всего количественную оценку структуры почв проводят по результатам сухого или мокрого просеивания на основании распределения содержания агрегатов в соответствии с их размерами на макро- (крупные, средние и мелкие, >250 мкм) и микро- (<250 мкм) агрегаты. Подобный подход является общепринятым и вполне согласуется с концепцией “иерархической организации почвенной струк-

туры”, согласно которой элементарные почвенные частицы, размером  $<20$  мкм, связываются в микроагрегаты (20–250 мкм), образующие в свою очередь макроагрегаты  $>250$  мкм [48, 50, 61]. При этом связывающие агенты для иерархических единиц разные, и прочность образующихся структур уменьшается с увеличением их размера [47]. Так, формирование макроагрегатов из микроагрегатов происходит под действием менее стойких связующих агентов (гифы грибов, корни растений, полисахариды микробного и растительного происхождения) по сравнению с “клеящим веществом” микроагрегатов, основой которого являются гуминовые соединения и поливалентные катионные комплексы [60]. Именно этим объясняется большая устойчивость микроагрегатов по сравнению с макроагрегатами при различных видах воздействий, включая распашку. С наличием микроагрегатов связывают и неблагоприятное агрофизическое состояние почвенной структуры [38, 57]. Макроагрегаты обычно содержат больше ОВ [58, 59], они менее подвержены эрозии и имеют более крупные поры для лучшего проникновения воды и воздуха, чем микроагрегаты [54, 61]. По сравнению с микроагрегатами, макроагрегаты менее устойчивы и при сельскохозяйственном использовании почв они могут разрушаться за счет не только механического воздействия сельскохозяйственной техники, но и уменьшения поступления свежего органического вещества в почвы агроценозов [50, 59].

Многочисленные исследования показывают, что распашка целинных и залежных земель обычно сопровождается нарушением сложения верхней части почвенного профиля, его структуры и агрегатного состава [2, 19]. При распашке происходит разрушение агрегатов, высвобождение внутриагрегатного ОВ и его разложение [48, 60]. По мнению некоторых исследователей [22], деградация почвенной структуры в ходе агрогенной эволюции почв идет на двух уровнях. Первый – макроуровень, сопряженный с очевидными морфологическими изменениями в строении агрегатов, их пространственным расположением. Второй уровень деградации затрагивает внутренние процессы, которые заключаются в старении ОВ почвы из-за отсутствия поступления свежих растительных остатков и разрушения органо-минеральных и минеральных взаимодействий.

В результате проведенного структурного анализа было выявлено, что за 6 лет в новоосвоенной пашне вследствие механической обработки произошло существенное увеличение доли микроагрегатов в слое 0–10 см по сравнению с почвой залежного участка, что согласуется с выводами, полученными при исследовании влияния типа землепользования в серых лесных почвах и черноземах [20, 57]. Также обнаружено значимое превышение доли микроагрегатов в верхнем (0–30 см)

слое почвы целинного участка по сравнению с почвами всех других видов землепользования, что противоречит общепринятым представлениям. Возможно, отмеченные особенности агрегатного состава целинной почвы связаны с выявленной разницей в текстуре почв, а именно большей долей песка в их составе (табл. 1), а не с особенностями землепользования. Более высокое содержание микроагрегатов в целинной почве определило и более низкие значения других показателей агрегатного состояния –  $K_{стр}$  и СВД. Тем не менее, в почвах всех исследованных участков преобладает агрономически ценная фракция, содержание которой варьирует от 68 до 77%, свидетельствуя об отличной структуре верхнего гумусового горизонта черноземов, независимо от их использования. Величина коэффициента структурности изменяется от 2.1 до 3.3, что также говорит об отличной оструктуренности черноземов всех видов землепользования. Таким образом, на основании проведенных исследований можно предположить, что черноземы южной лесостепи Западной Сибири в условиях длительного использования под посевы сельскохозяйственных культур и выраженной дегумификации верхнего горизонта, способной сохранять свою структуру благодаря установившемуся равновесию между естественными почвообразовательными процессами и процессами агрогенной деградации. Опираясь на терминологию, предложенную Караваевой [7], можно сказать, что изученные черноземы демонстрируют сопротивление агрогенным воздействиям, проявляя высокую степень устойчивости.

Забрасывание пахотных угодий сопровождается снятием сельскохозяйственной нагрузки и запускает сложный процесс восстановления зонального растительного покрова и образованием подстилки или дернового горизонта [18, 45, 63], сравнительно быстрой дифференциацией пахотного горизонта по содержанию ОВ [48, 53] и восстановлением почвенной структуры [12, 20, 27, 43]. Согласно нашим исследованиям, в почве 27-летней залежи по сравнению с почвой старопахотного участка, незначительно уменьшилось содержание микроагрегатов в слое 0–10 см, но при этом возросло содержание самых крупных фракций ( $>5$  мм). По мнению Холодова [48, 49], в восстановлении почвенной структуры при снятии сельскохозяйственной нагрузки крупные агрегаты играют важную роль. В процессе постагрогенного развития из глыбистых частиц  $>10$  мм начинают формироваться крупные макроагрегаты, содержание которых является важной характеристикой черноземов. Именно доля фракций размером  $>10$  и 5–10 мм составила основу фактора 1 при использовании метода главных компонент, позволяющего наиболее отчетливо отделить почву залежного участка от всех остальных почв (рис. 3).

Проведенные исследования позволяют заключить, что пребывание пахотных черноземов в состоянии залежи в течение 27 лет было достаточным для восстановления дернового горизонта и уменьшения плотности верхнего 0–5 см слоя, а также сокращения доли микроагрегатов и увеличения доли крупных макроагрегатов, играющих важную роль в восстановлении структуры. Распашка и последующее использование залежных черноземов под посевы зерновых культур в течение шести лет привели к конвергенции пахотных почв по изучаемым характеристикам – плотности, величине наименьшей влагоемкости и агрегатному составу.

### ВЫВОДЫ

1. В течение 27-летнего залежного режима произошло образование дернины и статистически значимое разуплотнение верхнего (0–5 см) слоя бывшей пахотной почвы, что свидетельствует о постагрогенной трансформации почвы и может быть использовано как индикатор этого процесса. Различия по плотности между двумя пахотными участками и между залежью и целиной не были достоверными.

2. В зависимости от вида использования изменение величины наименьшей влагоемкости изученных почв проявлялось только в слое 0–20 см, не затрагивая более глубокую (20–30 см) часть гумусового горизонта. Для всей выборки данных доля объясненной дисперсии величины НВ в слое 0–10 см на 79% объяснялась содержанием органического углерода в почвах.

3. В пределах верхнего (0–30 см) слоя распределение агрегатов по фракциям зависело от особенностей землепользования. Наиболее важная роль в разделении объектов исследования принадлежит агрегатам 5–10 и >10 мм. За 6 лет использования залежи под посевы зерновых, ее агрегатный состав стал практически идентичным таковому на старопашотном участке. Агрегатное состояние целиной почвы занимает промежуточное положение между пахотными участками и почвой на 27-летней залежи.

4. Независимо от вида использования черноземы глинисто-иллювиальные характеризуются отличным агрегатным состоянием гумусового горизонта (слой 0–30 см): доля АЦА в них превышает 68%, а коэффициент структурности в зависимости от глубины и вида землепользования варьирует от 2.14 до 3.32.

5. Черноземы Предалтайской лесостепной почвенной провинции Западной Сибири при длительном использовании под посевы сельскохозяйственных культур и выраженной дегумификации верхнего горизонта проявляют высокую

степень устойчивости и сохраняют отличное агрегатное состояние.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-04-00773) в рамках Государственного задания ФИЦ ПНЦБИ РАН (рег. № АААА-А18-118013190177-9) и частично по государственному заданию ИПА СО РАН.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г., Жигалов С.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М 1 : 1000000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2015. 392 с.
2. Булыгин С.Ю., Лисецкий Ф.Н. Микроагрегированность как показатель противозероэрозийной стойкости почв // Почвоведение. 1991. № 12. С. 98–104.
3. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485.
4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
5. Верхошеницева Ю.П., Гунякова А.А., Маськова А.Ю. Влияние пахотного использования на генетические свойства степных черноземов Оренбургского Предуралья // Вестник ОГУ. 2012. № 6(142). С. 86–89.
6. Иванова Е.А., Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Чернов Т.И., Першина Е.В., Маркина Л.Г., Андронов Е.Е., Козут Б.М. Структура микробного сообщества агрегатов чернозема типичного в условиях контрастных вариантов сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1367–1382. <https://doi.org/10.7868/S0032180X15110088>
7. Караваева Н.А. Агрогенные почвы: условия среды, свойства и процессы // Почвоведение. 2005. № 12. С. 1518–1529.
8. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Авторы и составители: И.С. Урусевская, И.О. Алябина, В.П. Винюкова, Л.Б. Востокова, Е.И. Дорофеева, С.А. Шоба, Л.С. Щипихина М 1 : 2500000 / Под ред. Г.В. Добровольского, И.С. Урусевской. М., 2013. 16 л.
9. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004.
10. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
11. Козут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А. Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного

- чернозема при разном землепользовании // Почвоведение. 2012. № 5. С. 555–561.
12. *Козленко Е.А., Укенов Б.С.* Естественное восстановление свойств лесостепных и степных черноземов Зауралья под многолетней залежью // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2017. № 9(209). С. 20–22.
  13. *Крупеников И.А.* Черноземы (возникновение, совершенство, трагедия деградации, пути охраны и возрождения). Кишинев: Pontos, 2008. 290 с.
  14. *Кузнецова И.В.* Изменения физического состояния черноземов типичных и выщелоченных Курской области за 40 лет // Почвоведение. 2013. № 4. С. 434–441.  
<https://doi.org/10.7868/80032180X13040084>
  15. *Кузнецова И.В.* Содержание и состав органического вещества черноземов и его роль в образовании водопроходной структуры // Почвоведение. 1998. № 1. С. 41–50.
  16. *Курганова И.Н.* Могло ли освоение целины ускорить изменение климата на планете? // Степной бюллетень, осень–зима. 2018–2019. № 51–52. С. 4–8.
  17. *Лебедева И.И.* Гранулометрический профиль черноземов Восточной Европы и его дифференциация // Почвоведение. 1996. № 7. С. 821–829.
  18. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваяева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010.
  19. *Максимова Н.Б., Вороничев А.А., Морковкин Г.Г., Барышников Г.Я.* Изменение структурного состава черноземов и каштановых почв по природным зонам юго-запада Алтайского края при длительном использовании в составе пахотных угодий // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2017. № 5(151). С. 71–75.
  20. *Мамонтов В.Г., Родионова Л.П., Артемьева З.С., Крылов В.А., Клышбекова Г.К.* Агрогенная и постагрогенная трансформация структурного состояния чернозема типичного Курской области // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 5(371). С. 35–39.  
<https://doi.org/10.24411/2587-6740-2019-15081>
  21. *Медведев В.В.* Физические свойства и характер залегания плужной подошвы в разных типах пахотных почв // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1487–1495.
  22. *Моисеев К.Г., Романов И.А.* Влияние длительной распашки на прочность почвенных агрегатов // Почвоведение. 2004. № 6. С. 697–701.
  23. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
  24. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Стат. сб. М.: Росстат, 2020. 1242 с.
  25. *Русанов А.М.* Восстановление естественной растительности и экологических функций засушливых степей Предуралья // Экология. 2014. № 4. С. 243–249.  
<https://doi.org/10.7868/S0367059714040118>
  26. *Русанов А.М.* Почва как фактор восстановления растительности естественных пастбищ // Экология. 2011. № 1. С. 34–42.
  27. *Русанов А.М., Тесля А.В.* Изменение основных свойств степных черноземов как результат их постагрогенной трансформации // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2012. № 6. С. 98–102.
  28. *Скворцова Е.Б., Баранова О.Ю., Нумеров Г.Б.* Изменение микростроения почв при зарастании пашни лесом // Почвоведение. 1987. № 9. С. 101–109.
  29. *Смоленцева Е.Н.* Черноземы Западной Сибири: региональные и зонально-провинциальные особенности // Отражение био-, гео- и антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Томск, 2020. С. 90–94.
  30. *Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Полянская Л.М.* Выделение закиси азота бактериями в почвенных агрегатах // Почвоведение. 1996. № 8. С. 973–976.
  31. *Суховеркова В.Е.* Изменения гумусового горизонта черноземов при длительно й распашке в Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 6. С. 5–7.
  32. *Телеснина В.М., Богатырев Л.Г., Бенедиктова А.И., Земсков Ф.И., Маслов М.Н.* Динамика поступления растительного опада и некоторых свойств лесных подстилок при постагрогенном лесовосстановлении в условиях южной тайги // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2019. № 4. С. 3–10.
  33. Теории и методы физики почв / Под ред. Е.В. Шейна, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
  34. *Титлянова А.А., Наумов А.В.* Потери углерода из почв Западной Сибири при их сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 1995. № 11. С. 1357–1362.
  35. *Хасанова Р.Ф.* Агроэкологический анализ и оптимизация свойств черноземов Зауралья при фитомелиорации. Дис. ... докт. биол. н. Уфа, 2020. 302 с.
  36. *Хмелев В.А.* Лёссовые черноземы Западной Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 201 с.
  37. *Шейн Е.В.* Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификаций // Почвоведение. 2009. № 3. С. 309–317.
  38. *Шейн Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
  39. *Шейн Е.В., Милановский Е.Ю.* Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53–61.
  40. *Щеглов Д.И.* Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
  41. *Щеглов Д.И.* Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования // Сб. материалов научной конф. Воронеж: Издательско-полиграфический центр “Научная книга”, 2017. С. 5–18.
  42. *Angers D.A., Caron J.* Plant-induced changes in soil structure: Processes and feedbacks // Biogeochemistry. 1998. V. 42. P. 55–72.

43. *Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Pochikalov A.V., Kudryarov V.N.* Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution // *Eurasian Soil Sci.* 2017. V. 50. № 3. P. 327–334.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229317030024>
44. *Gehring C.A.* Introduction: Mycorrhizas and Soil Structure, Moisture, and Salinity // Chapter 13: Mycorrhizal Mediation of Soil: Fertility, Structure, and Carbon Storage. 2017. P. 235–240.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804312-7.00013-9>
45. *Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L.* Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia. Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // *Geoderma.* 2009. V. 152. P. 35–42.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.05.014>
46. *Kalinina O., Krause S.-E., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Giani L.* Self-restoration of post-agrogenic Chernozems of Russia: soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools // *Geoderma.* 2011. V. 162. P. 196–206.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.005>
47. *Kholodov V.A.* The capacity of soil particles for spontaneous formation of macroaggregates after a wetting-drying cycle // *Eurasian Soil Sci.* 2013. V. 46(6). P. 660–667.  
<https://doi.org/10.7868/S0032180X13040072>
48. *Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Farkhodov Y.R., Belobrov V.P., Yudin S.A., Frid A.S., Aydiev A.Y., Lazarev V.I.* Changes in the ratio of aggregate fractions in humus horizon of Chernozems in response of the type of their use // *Eurasian Soil Sci.* 2019. V. 52. № 2. P. 162–170.
49. *Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Lazarev V.I., Frid A.S.* Interpretation of data on the aggregate composition of Typical Chernozems under different land use by cluster and principal component analyses // *Eurasian Soil Sci.* 2016. V. 49. P. 1026–1032.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229316090076>
50. *Kogut B.M., Artemyeva Z.S., Kirillova N.P., Yashin M.A., Soshnikova E.I.* Organic matter of the air-dry and water-stable macroaggregates (2–1 mm) of Haplic Chernozem in contrasting variants of land use // *Eurasian Soil Sci.* 2019. V. 52. P. 141–149.  
<https://doi.org/10.1134/S106422931902008X>
51. *Kurganova I.N., Telesnina V.M., Lopes de Gerenyu V.O., Lichko V.I., Karavanova E.I.* The Dynamics of Carbon Pools and Biological Activity of Retic Albic Podzols in Southern Taiga during the Postagrogenic Evolution // *Eurasian Soil Sci.* 2021. V. 54. № 3. P. 337–351.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229321030108>
52. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Mostovaya A.S., Ovsepyan L.A., Telesnina V.M., Lichko V.I., Baeva Y.I.* The Effect of Reforestation on Microbial Activity in Post-Agrogenic Soils in European Part of Russia // *Contemporary Problems of Ecology.* 2018. V. 7. P. 7–17.  
<https://doi.org/10.1134/S1995425518070089>
53. *Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Shvidenko A.Z., Sapozhnikov P.M.* Changes in the organic carbon pool of abandoned soils in Russia (1990–2004) // *Eurasian Soil Sci.* 2010. V. 43. № 3. P. 333–340.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229310030129>
54. *Nichols K.A., Toro M.* A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation // *Soil Till. Res.* 2011. V. 111. P. 99–104.
55. *Plotnikova O.O., Lebedeva M.P., Demidov V.V., Karpova D.V.* Comparison of Micromorphometric Characteristics of Aggregates from Noneroded and Moderately Eroded Typical Chernozem in a Laboratory Experiment // *Eurasian Soil Science.* 2019. V. 52. № 10. P. 1258–1265.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229319100090>
56. *Ryzhova I.M., Telesnina V.M., Sitnikova A.A.* Dynamic of soil properties and carbon stock structure in post-agrogenic ecosystems of Southern taiga during natural reforestation // *Eurasian Soil Sci.* 2020. V. 53. № 2. P. 230–243.  
<https://doi.org/10.1134/S0032180X20020100>
57. *Semenov V.M., Ivannikova L.A., Semenova N.A., Khodzhaeva A.K., Udaltsov S.N.* Organic matter mineralization in different soil aggregate fractions // *Eurasian Soil Sci.* 2010. V. 43. P. 141–148.
58. *Semenov V.M., Lebedeva T.N., Pautova N.B.* Particulate organic matter in noncultivated and arable soils // *Eurasian Soil Sci.* 2019. V. 52. P. 396–404.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229319040136>
59. *Semenov V.M., Zhuravlev N.S., Tulina A.S.* Mineralization of organic matter in gray forest soil and typical Chernozem with degraded structure due to physical impacts // *Eurasian Soil Sci.* 2015. V. 48. P. 1136–1148.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229315100105>
60. *Six J., Paustian K., Elliott E.T., Combrink C.* Soil Structure and Organic Matter I. Distribution of Aggregate-Size Classes and Aggregate-Associated Carbon // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000. V. 64(2). P. 681–689.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x>
61. *Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K.* A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil Till. Res.* 2004. V. 79. P. 7–31.
62. *Spohn M., Giani L.* Impacts of land use change on soil aggregation and aggregate stabilizing compounds as dependent on time // *Soil Biol. Biochem.* 2011. V. 43. P. 1081–1088.
63. *Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ovsepyan L.A., Lichko V.I., Ermolaev A.M., Mirin D.M.* Dynamics of Soil Properties and Plant Composition during Postagrogenic Evolution in Different Bioclimatic Zones // *Eurasian Soil Sci.* 2017. V. 50. № 12. P. 1458–1477.  
<https://doi.org/10.1134/S1064229317120109>
64. *Tisdall J.M., Oades J.M.* Organic matter and water-stable aggregates in soils // *J. Soil Sci.* 1982. V. 33. P. 141–163.
65. World Reference Base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. FAO UNESCO. 2014.

## **Influence of the Type of Land Use on the Physical Properties of Chernozems in the Forest-Steppe Zone of Western Siberia**

**I. N. Kurganova<sup>1,\*</sup>, V. O. Lopes de Gerenyu<sup>1</sup>, E. N. Smolentseva<sup>2</sup>, M. P. Semenova<sup>3</sup>,  
V. I. Lichko<sup>1</sup>, and B. A. Smolentsev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia*

<sup>2</sup>*Institute of Soil Science and Agrochemistry, Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, 630090 Russia*

<sup>3</sup>*Ecological Faculty, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, 115093 Russia*

\*e-mail: ikurg@mail.ru

The land use system and agricultural practices have a significant impact on the aggregate composition and many physical properties of soils. The study provides a comparative assessment of the density, the water holding capacity of disturbed samples (WHC), and the structural state (dry sieving method) of Luvic Greyzemic Chernozem of the Pre-Altai forest-steppe soil province in Western Siberia. The soils studied were formed under the long-used and newly developed arable land, 27-year-old abandoned land, and virgin steppe. At each site, three mixed samples were taken from the following layers of the humus horizon: 0–5, 5–10, 10–20, and 20–30 cm. The influence of land use was reflected in the change in density only in the upper 0–5 cm layer, the decompaction of which due to the 27-year abandonment was statistically significant. Differences in density between the two croplands and between the abandoned and virgin lands were not significant. The change in WHC values of the studied soils caused by the effect of land use was manifested in the 0–20 cm layer. For 6 years of using the previous abandoned land for growing cereals, its aggregate composition has become almost identical to that in the old arable plot. Based on the amount of agronomically valuable aggregates and the value of the structural coefficient, the aggregate state of all studied soils can be assessed as excellent. Thus, Luvic Greyzemic Chernozems of the forest-steppe zone of Western Siberia, under the long-term use for agricultural crops production, demonstrate a high degree of resistance and retain their natural crumb-granular structure.

*Keywords:* aggregate composition, soil structure, water-physical properties, land use change, Luvic Greyzemic Chernozem