

АГРОГЕННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ АВТОМОРФНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ЛЕСОСТЕПИ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2017 г. Ю. Г. Чендев¹, *, О. С. Хохлова², А. Л. Александровский³

¹Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия,
308015, Белгород, ул. Победы, 85

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия,
142290, Пушкино, ул. Институтская, 2

³Институт географии РАН, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 29

*e-mail sciences@mail.ru

Поступила в редакцию 13.04.2015 г.

Изучены агрохроноряды плакорных черноземов (Chernozems) на территории типичной лесостепи (Белгородская обл.) с разными сроками богарного земледелия в условиях использования традиционных приемов агротехники. Установлены стадияльные особенности их развития на протяжении более чем 200-летнего периода освоения. Стадияльность обусловлена изменением во времени интенсивности и направленности почвообразовательных процессов: уплотнения и структурообразования, дегумификации верхних почвенных горизонтов, окарбонирования почвенных профилей, оглинивания и других. Значительный вклад в изменчивость и стадияльность агрогенной эволюции черноземов вносит деятельность роющих животных, особенно заметная в старопахотных черноземах.

Ключевые слова: черноземы, агрохроноряды, распашка, лесостепь, стадияльность агрогенной эволюции, комплекс методов

DOI: 10.7868/S0032180X17050045

ВВЕДЕНИЕ

Проблема изучения влияния распашки на свойства черноземных почв не нова. В разные годы ею занимались Докучаев [14], Костычев [19, 20], Панков [27, 28]; Денисов [13]; Адерихин [2], Афанасьева [3], Коковина [18], Медведев [25], Крупеников [21], Орлов с соавт. [26], Щеглов [40], Ахтырцев с соавт. [4], Лебедева [24], Глазовская [12], Козловский [17] и многие другие исследователи. Несомненными результатами многолетних исследований трансформации черноземов под влиянием распашки явились новые сведения, позволившие лучше понять сущность почвообразовательного процесса, протекающего в пахотных черноземах, механизма его трансформации и направленности, научно обосновать и разработать целый комплекс мер, направленных на охрану и воспроизводство этого ценнейшего природного ресурса России. Однако разнообразию существующей информации, касающейся проблемы трансформации черноземов в результате распашки, не снимает, а часто усиливает остроту вопросов относительно генезиса новых свойств и процессов, возникающих в пахотных черноземах; изменения их морфогенетического статуса; интенсивности протекания ряда почвообразовательных процессов (в

частности, дегумификации) и многих других. Также следует обратить внимание на то, что в большом количестве работ важнейший вопрос деградации черноземов – потеря в них органического вещества в результате выпашивания, – рассматривается недостаточно корректно, часто путем оценки показателя только в пахотных горизонтах почв и (на что обращал внимание Орлов с соавт. [26]), без учета плотности сложения почв, когда используются значения содержания гумуса, а не его запасов при сравнении пахотных черноземов с целинными аналогами. В публикациях, касающихся проблемы агрогенных изменений черноземов, многие исследователи, главным образом, акцентировали внимание на конечных результатах этого явления, дающих понимание направленности процессов трансформации пахотных черноземов [1–4, 10, 13, 21, 28, 35, 40]. На существование стадияльных изменений пахотных черноземов указывает замедление во времени потерь в них органического вещества, которое также отмечалось в ряде работ [1–3, 21, 35, 40]. Однако лишь немногие исследователи делали попытку рассмотрения стадияльных изменений во времени других свойств и процессов почвообразования, возникающих в пахотных черноземах [16, 17,



Рис. 1. Картограмма расположения ключевых участков исследования агротехногенной эволюции лесостепных черноземов. Условные обозначения: А – ключевые участки и их номера; Б – северная и южная граница лесостепи; В – административные границы областей. Ключевые участки (здесь и на рис. 3): 1 – Верховенье, 2 – Сафоновка, 3 – Жимолостное, 4 – Юрьевка.

24, 25]. Эти и ряд других вопросов побуждают продолжать изучение пахотных черноземов, выяснять причины изменения во времени их свойств, почвообразовательных процессов, их интенсивности, направленности и стадийности в ходе многовекового земледельческого использования, что и явилось целью данной работы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являются черноземы ровных водораздельных поверхностей на территории лесостепи юга Среднерусской возвышенности в административных границах Белгородской обл. Схема мест проведения исследований представлена на рис. 1. Все изученные пахотные почвы прошли один и тот же путь смен во времени приемов землепользования в форме первоначальной мелкой (до 15 см) распашки сохой или плугом на конной тяге (до 1930-х гг.), а затем распашки с помощью тракторов с тенденцией увеличения глубины вспашки, и длительное время (до конца 1990-х–начала 2000-х гг.) с применением плужной вспашки с оборотом пласта. В последние годы на всех участках была введена практика использования почвосберегающих технологий, при которой стали использовать безотвальную, минимальную и нулевую обработки почв. Дозы ежегодно вносимых органических удобрений на всех участках исследования никогда не превышали 6 т/га, а до 1950-х гг. почвы практически не удобрялись, что было обычной практикой сельскохозяйственного производства в дореволюционной России и в первые десятилетия существования СССР. В целом следует признать, что на

всех участках исследования большую часть периода распашки черноземов господствовало экстенсивное земледелие, не восполнявшее утрату их плодородия. Эта картина, к сожалению, продолжает оставаться типичной для практики земледелия в большом числе хозяйств Центрального Черноземья и в настоящее время.

На участке Верховенье (Ивнянский р-н Белгородской обл.) фоновыми почвами являются черноземы слабоподзоленные (Luvic Greyzemic Chernic Phaeozems (Loamic, Pachic)) [41] средне-мощные, близкие к мощным, на средних карбонатных лёссовидных суглинках. Их формирование происходит под естественным дубово-ясеневым лесом, фрагменты которого сохранились до нашего времени. Судя по крупномасштабным картографическим материалам конца XVIII в. [31], лесная растительность ранее полностью покрывала всю территорию изученного рядом с лесом агроландшафта. Как показал сравнительный анализ разновременных карт, на протяжении XVIII–начала XX вв. лес стадийно сводился, замещаясь пашнями. Пахотными аналогами естественных черноземов слабоподзоленных под лесом являются почвы с возрастом распашки 90, 120 и 240 лет.

На участках Сафоновка (Ивнянский р-н Белгородской обл.), Юрьевка (Губкинский р-н), Жимолостное (Прохоровский р-н) фоновые почвы изучались на обширных задернованных травами пространствах на территории одноименных поселков. Данные участки никогда не обращались в пашню и использовались только в качестве сенокосов или выгонов. Фоновыми почвами на участках Сафоновка и Юрьевка являются черноземы типичные и выщелоченные (Haplic Chernozems & Luvic Chernozems (Loamic, Pachic)) среднесуглинистые, формирующиеся на лёссовидных карбонатных суглинках. Фоновые почвы участка Жимолостное представлены черноземами типичными и выщелоченными (Haplic Chernozems & Luvic Chernozems (Loamic, Pachic)), среднесуглинистыми среднесуглинистыми на маломощных (до 1.5–2 м) карбонатных лёссовидных суглинках, подстилаемых красноцветными бескарбонатными опесчаненными суглинками дочетвертичного возраста.

Гранулометрический состав изученных фоновых черноземов и некоторые физико-географические сведения по ключевым участкам исследования приводятся в табл. 1.

При изучении агрогенной эволюции черноземов нами был использован широкий комплекс методов исследования. Основными из них являлись следующие: морфологический анализ почвенного профиля, сравнительно-географический, изучение агрохронорядов почв, историко-картографи-

Таблица 1. Некоторые физико-географические сведения о ключевых участках исследования агрохронорядов черноземов

Название участка	Координаты	Абсолютная высота, м	Показатели климата			Классификационный статус фоновых почв	Почвообразующие породы	
			осадки, мм	среднегодовая температура, °С	ГТК		название	содержание физической глины, %
Верхопенье	50°56'56.58" N 36°17'18.83" E	250	610	+5.8	1.19	Черноземы слабо оподзоленные	ЛКС	45–55
Сафоновка	51°5'53.86" N 36°23'44.44" E	195	620	+5.7	1.19	Черноземы типичные	ЛКС	50–64
Жимолостное	50°57'3.38" N 36°43'42.35" E	240	600	+6.0	1.15	Черноземы типичные, переходные к выщелоченным	ММЛКС	42–54
Юрьевка	51°3'13.59" N 37°21'29.93" E	235	580	+5.9	1.12	Черноземы типичные	ЛКС	48–59

Примечание. ГТК – гидротермический коэффициент; ЛКС – лёссовидные карбонатные суглинки; ММЛКС – маломощные лёссовидные карбонатные суглинки.

ческий, методы физического и химического анализа почв, математической статистики, микроморфологический метод, а также радиоуглеродное датирование гумуса и педогенных карбонатов.

Главным методом проводимых исследований является метод почвенных агрохронорядов. Сходная методика исследований авторами использовалась ранее [6, 10, 11, 16]. Однако в указанных работах анализировались, главным образом, почвы далеко отстоящих друг от друга участков, что могло вносить неточность в результаты исследований (из-за пространственной неоднородности почвообразующих пород и рельефа, появление которой неизбежно при увеличении пространства проводимого исследования).

Историко-картографический метод исследования предполагал работу в Российском государственном архиве древних актов с целью идентификации ключевых участков полевого исследования почв. Проводились поиски крупномасштабных планов, созданных в разное время (период Генерального межевания в 1780-е–1790-е гг., период Специального межевания в 1860-е–1870-е гг.), для некоторых участков – карт крупного масштаба начала XX в., их сопоставление с современными топографическими планами, выявление участков на плакатах с сохранившимися фрагментами целинных почв и расположенными в непосредственной близости от них почвами разных сроков сельскохозяйственного освоения. Данный метод был впервые применен Гедыминым с соавторами в 1964 г. [10, 11]. Кроме использования разновременных карто-

графических материалов, уточнение мест исследований осуществлялось в периоды рекогносцировочных выездов и бесед с местными жителями для детализации сведений об истории землепользования и возрасте распашки почв. Таким способом на участке Юрьевка был выявлен дополнительный объект исследования – почва на молодой пашне с возрастом освоения 16 лет, находящаяся в фермерском землепользовании.

Каждый выявленный ключевой участок включал ненарушенную распашкой естественную (фоновую) почву (на трех участках – под лугово-разнотравной растительностью и на одном участке – под лесом (чернозем оподзоленный, Верхопенье), а также ее аналоги на пашнях разного возраста. Авторы стремились найти компактно расположенные почвы сравниваемых угодий в непосредственной близости друг от друга с учетом максимальной однородности рельефа (на плакатах) и одинаковым гранулометрическим составом почвообразующих пород. Таким образом, предполагалось, что главным фактором изменения почв в агрохроноряду должен быть возраст их сельскохозяйственного освоения. В полученных результатах и выводах существует определенная условность, так как они отражают влияние на почвообразовательный процесс не только возраста освоения почв, но также интегрального воздействия на почвы смен во времени приемов агротехники. Не исключено, что “сильное” воздействие (глубокая обработка тяжелой техникой с оборотом пласта) в течение последних 70–80 лет могло несколько “затереть”

Таблица 2. Статистические характеристики усредненных по всем участкам значений мощности гумусовых горизонтов и прогумусированной части профилей (см) целинных и пахотных черноземов ($n = 90$)

Горизонт	Lim	$X \pm \delta_X$	δ	$V, \%$
Целинные черноземы				
A1	37–70	55.4 ± 0.9	8.91	16.1
A1 + A1B	72–111	87.3 ± 1.0	9.04	10.4
Черноземы пашен возраста 90–140 лет				
A1	38–74	56.0 ± 0.9	8.15	14.6
A1 + A1B	57–109	82.7 ± 1.3	12.21	14.8
Черноземы пашен возраста 230–240 лет				
A1	22–64	42.3 ± 1.1	10.23	24.2
A1 + A1B	55–95	76.2 ± 1.2	11.67	15.3

Примечание. Lim – диапазон между минимальным и максимальным значениями; $X \pm \delta_X$ – среднее арифметическое и ошибка выборочного среднего; δ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации.

и снивелировать различия в свойствах длительно (>100 лет) распахиваемых почв по сравнению теми, которые начали распахиваться недавно (<100 лет), но этот аспект требует дальнейшего изучения и выходит за рамки данной работы.

В полевых условиях осуществлялись закладка широких (1.2 × 2 м) и глубоких (до двух метров) почвенных разрезов на каждом изучаемом угодье, морфологическое описание почвенных профилей, изучение морфометрических показателей (мощности генетических горизонтов и глубины вскипания), отбор почвенных проб на разные виды лабораторных анализов, который проводился как по горизонтам, так и по глубинам (с шагом 10 см) для более точного сопоставления профилей.

В 2011–2012 гг. полевые исследования на участках Верхопень и Юрьевка проводились весной (в конце апреля), и по погодным условиям изучение почв на каждом сравниваемом угодье ограничилось выполнением работ в единичных почвенных разрезах. В исследованиях на участках Жимолостное и Сафоновка, проведенных в весенне-летние периоды 2012–2013 гг., на каждом сравниваемом угодье закладывались парные почвенные разрезы (на удалении 5–10 м друг от друга), и приводимые в статье результаты по свойствам почв в каждой точке указанных агрохронорядов являются усредненными характеристиками парных почвенных профилей.

Необходимо также отметить, что для преодоления неточностей в идентификации участков и соблюдения условий однородности по гранулометрическому составу почв и почвообразующих пород на участке Жимолостное пришлось сделать выбраковку двух средних членов почвенного агрохроноряда с возрастом распашки 140 и 200 лет.

В результате хроноряды почв по угодьям оказались следующими на выбранных ключевых участках:

- Верхопень: фон–пашня 90 лет–пашня 120 лет–пашня 240 лет;
- Сафоновка: фон–пашня 140 лет–пашня 160 лет–пашня 230 лет;
- Жимолостное: фон–пашня 100 лет–пашня 240 лет;
- Юрьевка: фон–пашня 16 лет–пашня 100 лет–пашня 240 лет.

Плотность почв определялась путем отбора почвенных проб с помощью стальных колец известного объема в трехкратной повторности по всем почвенным профилям, в которых производился отбор образцов на лабораторные анализы. Гранулометрический состав почв определялся методом пипетки с предварительной диспергацией пробы пирофосфатом натрия. Структурно-агрегатный состав (сухое просеивание) определялся по методу Саввинова.

Органический углерод почв был определен по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91). Углерод карбонатов определялся манометрически через 1 ч после начала реакции почвенной навески с 10% раствором HCl, прилитым в избытке в сосуды, плотно закрытые резиновыми пробками.

Изготовление шлифов из отобранных почвенных монолитов было выполнено в лаборатории геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Шлифы изучались на оптическом микроскопе Carl Zeiss HBO 50 в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН. Микростроение генетических горизонтов черноземов одного из исследованных агрохронорядов представлено на фото (рис. 2).

В Киевской радиоуглеродной лаборатории был определен ^{14}C -возраст гумуса и почвенных карбонатов в образцах из разных глубин черноземов двух агрохронорядов, Жимолостное и Сафоновка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 2–5 представлены результаты морфометрического анализа и изучения физических и химических свойств почв, а также радиоуглеродного датирования гумуса и карбонатов.

При сравнении фоновых и пахотных почв в исследованных агрохронорядах обнаружен тренд достоверного уменьшения мощности прогумусированной толщи (сумма гор. A1 и A1B (на пашне A пах + A1 + A1B) (табл. 2). Средний показатель этого снижения за период более 200-летнего земледельческого освоения по всем участкам оказал-

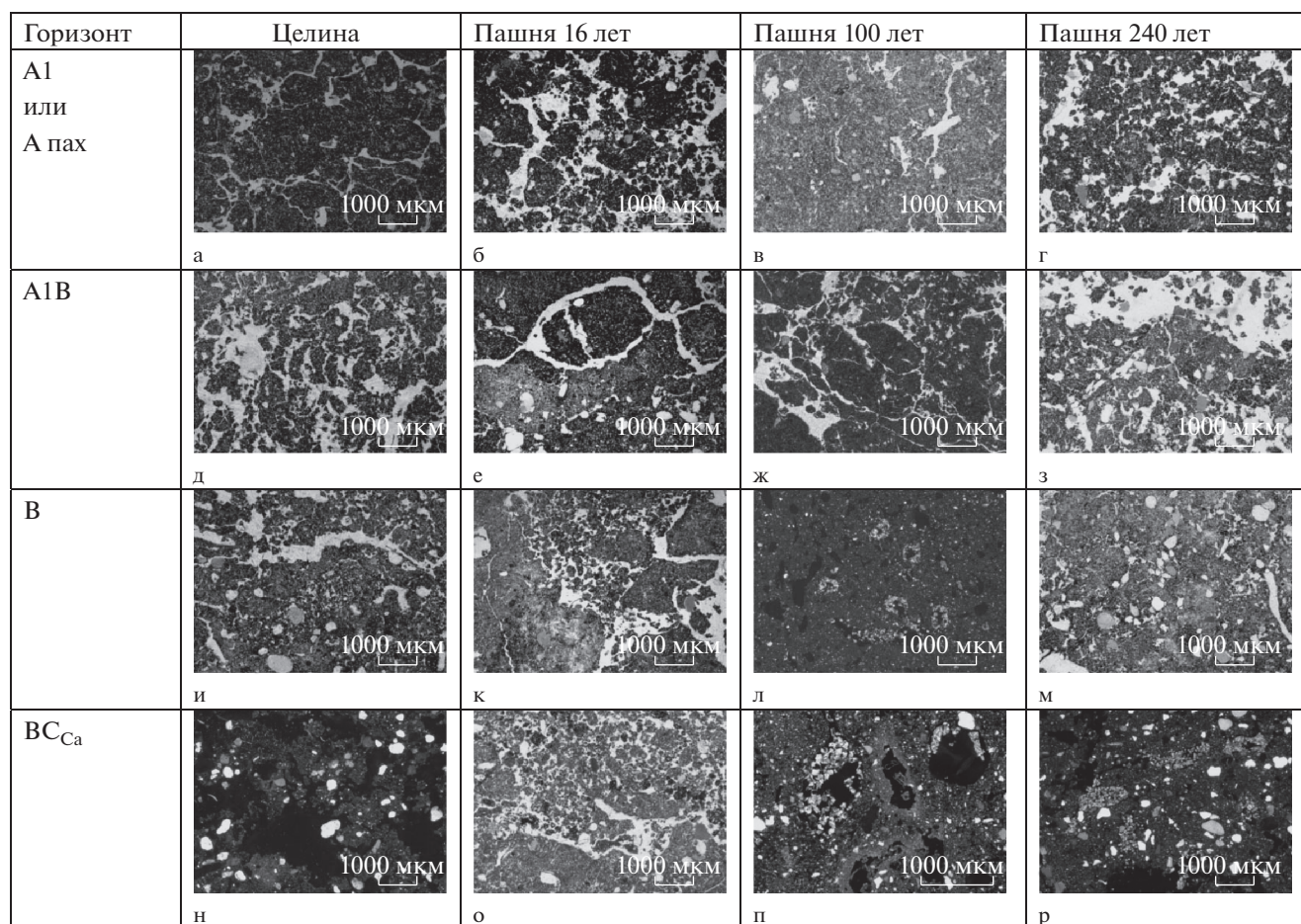


Рис. 2. Микростроение горизонтов целинных и пахотных черноземов в агрохроноряду участка Юрьевка. Все фото сняты в проходящем свете за исключением л, н, п и р, которые сняты при скрещенных николях.

ся равным 11.1 см. Среднеарифметические значения (в каждой выборке $n = 90$) суммарных мощностей гор. A1 (А пах + A1) и A1B черноземов во всех изученных агрохронорядках оказались следующими: в фоновых черноземах – 87.3 ± 1 см, в черноземах 90–140-летних пашен – 82.7 ± 1.3 см, в черноземах 230(240)-летних пашен – 76.2 ± 1.2 см.

Уменьшение мощностей прогумусированной толщи пахотных почв на ровных водоразделах в лесостепной и степной зонах Восточной Европы трактуется с позиций незначительного преобладания скорости многолетней водной эрозии на выровненной пашне над скоростью квазиклиматического почвообразования и с учетом эффекта агротехногенного уплотнения почв [1, 15]. Также существует мнение о постоянно идущей дефляции мелкозема с поверхности пахотных почв степной зоны [36].

На наш взгляд, уменьшение мощности почвенной толщи до нижней границы гор. A1B черноземов на пашнях обусловлено, в первую очередь, их сжатием вследствие уплотнения. Как

показали расчеты, изменение во времени плотности в слое 0–20 см (пахотный горизонт) подчиняется экспоненциальной зависимости с тенденцией уменьшения интенсивности уплотнения через 100 лет после начала распашки. За этот период плотность возрастает с 0.9 до 1.15 г/см³ при средней интенсивности роста показателя 0.02 г/см³ в 10 лет. В слое 20–40 см (нижняя часть пахотного горизонта – плужная подошва) плотность возрастает во времени по линейной зависимости. За 240 лет распашки в данном слое плотность изменяется от 0.98 г/см³ в целинных черноземах до 1.22 г/см³ в старопахотных черноземах при средней интенсивности роста показателя 0.01 г/см³ в 10 лет. Значения общего роста плотности в слоях 0–20 и 20–40 см за 240 лет распашки оказались примерно одинаковыми: в слое 0–20 см – 0.25 г/см³, а в слое 20–40 см – 0.24 г/см³ (рис. 3). Указанные изменения эквивалентны уменьшению мощности слоя 0–50 см целинных черноземов на 10.4 см (при условии сохранения равенства

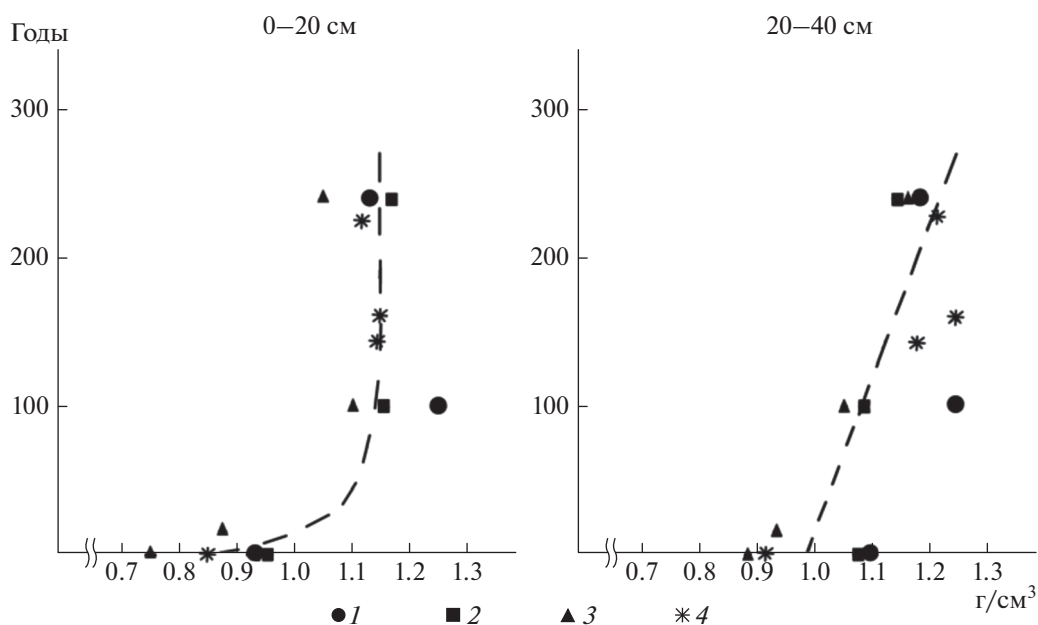


Рис. 3. Распределение плотности почв в слоях 0–20 и 20–40 см черноземов изученных агрохронорядов.

масс сравниваемых слоев в целинных и пахотных черноземах) со средней скоростью снижения мощности на 4.3 см за 100 лет. Найденная величина плотностного “сжатия” (за 230–240 лет распашки около 10 см) близка к установленной нами разнице мощностей прогумусированной толщи целинных и старопашотных черноземов – 11 см, а, следовательно, есть все основания полагать, что фактор уплотнения пахотных черноземов является одной из главных причин снижения во времени рассматриваемого показателя.

Следует отметить, что за изученный период распашки почв мощность гумусовых горизонтов пахотных черноземов (А пах + А1) в отличие от характера изменения во времени суммарной мощности слоя А пах + А1 + А1В изменялась нелинейно: по усредненным значениям на всех участках в течение первых 90–140 лет распашки не наблюдалось достоверных изменений мощности по сравнению с целинными черноземами, а в период

Таблица 3. Статистические характеристики усредненных по всем участкам значений глубины вскипания (см) в целинных и пахотных черноземах ($n = 90$)

Возраст распашки, лет	Lim	$X \pm \delta_x$	δ	$V, \%$
0 (целинные черноземы)	60–154	93.4 ± 2.3	21.49	23.0
90–140	50–100	70.4 ± 1.5	14.61	20.8
230–240	112–125	90.8 ± 3.3	31.06	34.2

освоения 90–140...230–240 лет мощность снизилась на 13–14 см (табл. 2). Мы полагаем, что нижняя граница гор. А1В определялась более точными измерениями при достаточно контрастной смене окраски от более темного гумусированного гор. А1В к менее гумусированному палево-желтому гор. В черноземов по сравнению с гораздо более постепенными цветовыми переходами между гор. А1 и А1В. Авторы также допускают возможность более активного зоогенного перемешивания пахотных черноземов в зоне границы между гор. А1 и А1В по сравнению с нижележащей частью почвенного профиля, включая контакт между гор. А1В и В, что также могло повлиять на разную точность определения истинных границ между рассматриваемыми горизонтами в изученных агрохронорядов черноземов.

По глубине залегания карбонатов в изученных нами почвах обнаруживаются следующие закономерности (табл. 3). По усредненным характеристикам всех участков в течение первых 90–140 лет распашки происходит поднятие линии вскипания – в среднем на 23 см относительно исходного уровня. В период распашки (90(140)–230(240) лет) наблюдается опускание уровня залегания карбонатов до исходного (в целинных черноземах) уровня, то есть их выщелачивание.

Обнаруженная в климатических условиях юга Центральной лесостепи, тенденция смены направленности формирования верхней части карбонатного профиля пахотных черноземов в первые 100 лет распашки и в последующий период требует проведения специальных исследований.

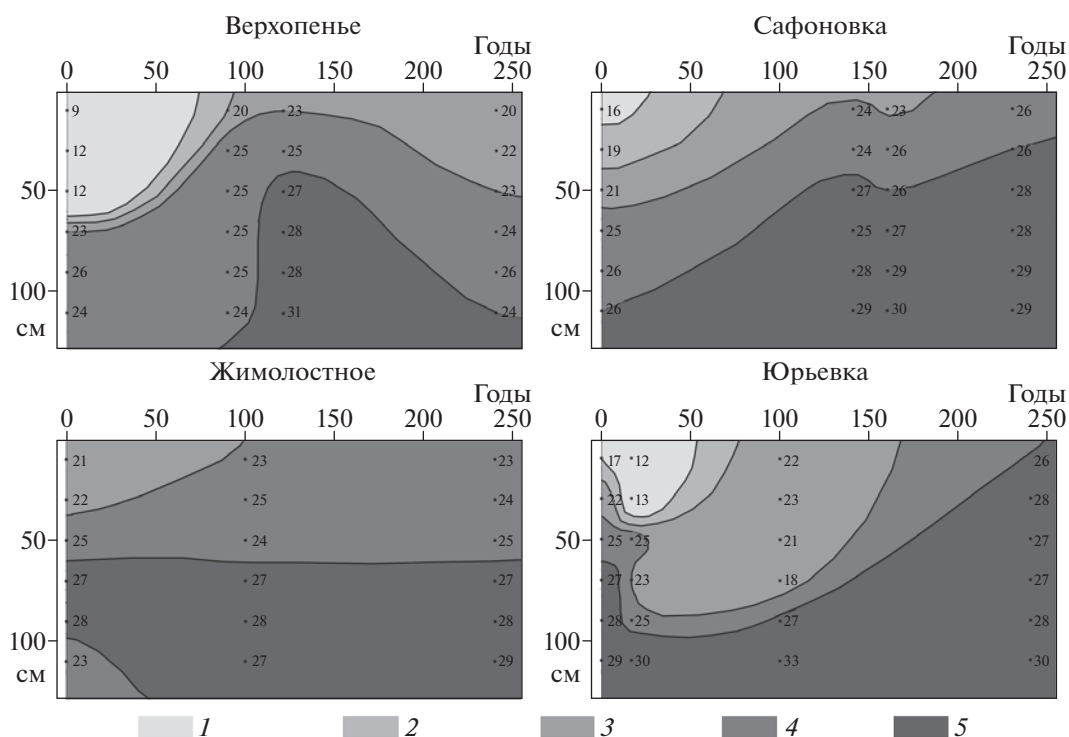


Рис. 4. Пространственные изменения содержания илистой фракции в черноземах изученных агрохронорядов. Содержание ила, %: 1 – <17; 2 – 17–20; 3 – 20.1–23; 4 – 23.1–26; 5 – >26.

Важной анализируемой характеристикой из группы физических свойств является гранулометрический состав верхних почвенных горизонтов, а также распределение гранулометрических фракций в почвенных профилях. Изученные почвы относятся к классу суглинистых с варьированием гранулометрического состава по участкам исследования от средне- до тяжелосуглинистого (табл. 1). Пространственные тренды изменения содержания ила по профилю изучаемых почв (до метровой глубины) представлены на рис. 4. Общей закономерностью, раскрывающей пространственно-временные изменения распределения с глубиной ила на четырех рассматриваемых участках, выступает обогащение илистой фракцией пахотных черноземов по сравнению с фоновыми (целинными) аналогами, причем в старопашотных черноземах участков Верхопенье, Сафоновка и Юрьевка особенно заметное (на 8–10 абс. %) накопление ила обнаруживается до глубин 40–60 см.

Микроморфологический анализ почв, изученных в агрохроноряду участка Юрьевка, показал, что никаких следов перемещения глины в виде Fe-глинистых натек-кутан не обнаруживается ни сверху пахотных и целинных почв, ни в средней и нижней частях их профилей (рис. 2). Следовательно, обогащение глиной подпахотных горизонтов, по-видимому, происходит за счет

процессов физического дробления и, возможно, усиливающего это дробление оглеения. Следы переувлажнения весьма отчетливы: железисто-марганцевые пятна и разноокрашенные микрозоны не раз отмечены в подпахотных горизонтах изученных почв (рис. 2, Е, З), а также в гор. В пахотных почв (рис. 2, К, М).

Четко выраженный тренд накопления ила наблюдается в течение первых 100–150 лет распашки изученных черноземов. На дальнейших стадиях распашки темпы роста содержания илистой фракции в профилях почв, вероятно, уменьшаются (рис. 4). Можно предположить, что по данному показателю черноземы 100–150-летних пашен достигают квазиравновесия с новой комбинацией факторов среды, обусловленной их распашкой (в первую очередь речь идет о сочетании факторов изменившегося климатического режима пахотных почв и регулярного воздействия на почвы в виде перепахивания верхних почвенных слоев).

В ряде работ отмечается процесс агролессиважа (этот термин часто использовал Ф.И. Козловский), приводящий к обеднению илом пахотных горизонтов черноземов и обогащением данной фракцией нижележащих почвенных слоев [17, 40]. Кроме того, в литературе имеются указания на возможность оглинивания в результате выветри-

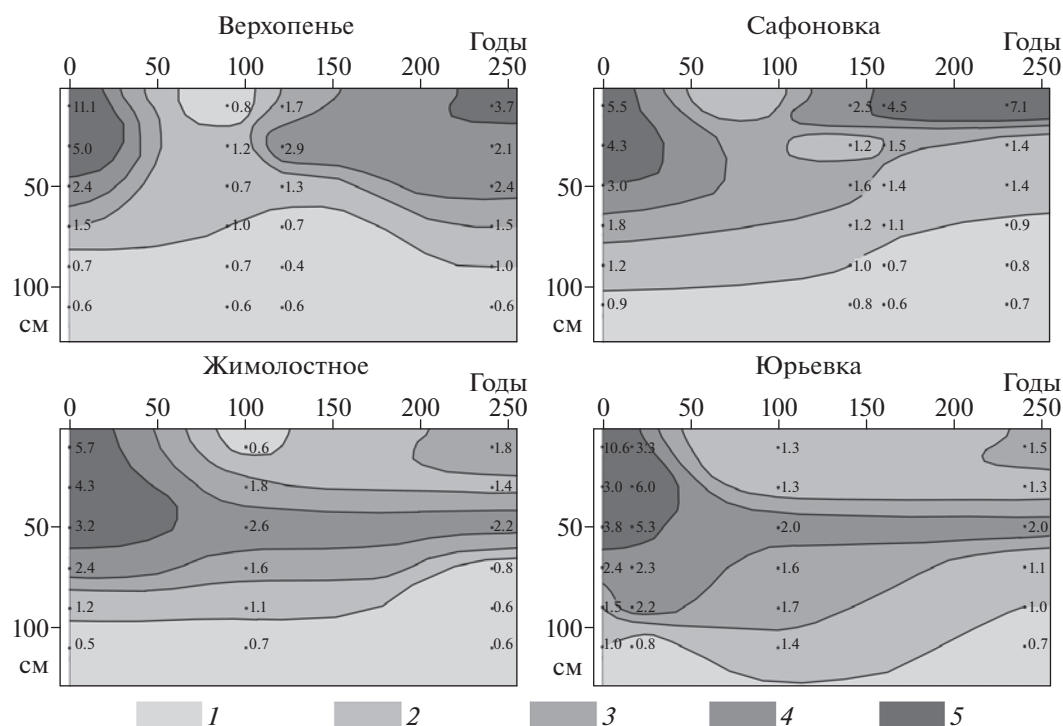


Рис. 5. Профильное изменение коэффициента структурности на разных стадиях распашки черноземов. Коэффициент структурности: 1 – <1; 2 – 1–1.5; 3 – 1.6–2.0; 4 – 2–3; 5 – >3.

вания и образования вторичных глинистых минералов в пахотных лесостепных черноземах [1, 9]. Согласно полученным нами результатам, более правдоподобной выглядит вторая точка зрения, хотя природа формирования более тяжелого гранулометрического состава в профилях пахотных черноземов требует специальных исследований. На наш взгляд, весьма вероятным комплексом процессов роста содержания тяжелых гранулометрических фракций является обогащение илом

Таблица 4. Площадь визуально определяемых слепышин (% от общей площади слоя) в профилях черноземов изученных агрохронорядов (усредненные характеристики по всем изученным участкам; выполнено на основании зарисовок и подсчета площади слепышин на передних стенках почвенных разрезов)

Слой, см	Возраст распашки, лет		
	0 ($n = 6$)	90–140 ($n = 7$)	230–240 ($n = 6$)
0–50	6.88	8.65	26.55
50–100	45.67	66.19	77.44
100–150	30.90	34.70	41.87
150–200	8.83	12.64	18.75
0–200	23.07	30.55	41.15

Примечание. n – количество изученных почвенных разрезов.

верхней части профиля пахотных черноземов в результате деградации их структуры, усиливающейся при поверхностном оглеении, и сопряженного с этим накопления почвенных микроагрегатов, создающих эффект утяжеления гранулометрического состава почв. На процесс усиления во времени распыления структуры пахотных черноземов и накопления в них мелких микроагрегатов размером менее 0.01 мм ранее указывали другие авторы и, в частности, Брук [7].

Коэффициент структурности характеризуется близкими тенденциями изменения профильного распределения по мере увеличения возраста распашки черноземов на всех изученных участках (рис. 5).

Ниже пахотного горизонта наблюдается формирование зоны с относительно высокими значениями коэффициента структурности, сохраняющимися и в старопашотных черноземах. Это явление можно объяснить процессами перераспределения по профилю мобильных органо-минеральных соединений и подвижного гумуса (с выраженными клеящими свойствами), которыми пропитываются почвенные агрегаты в нижней части гор. А1 и в гор. А1В [5, 35]. К тому же, судя по морфогенетическому строению изученных агрочерноземов, существенное значение в них приобретает рыхлящая деятельность слепышей, пло-

щадь распространения ходов которых превосходит фоновые аналоги (табл. 4). Поэтому можно также предположить, что зона обогащения агрономически ценными агрегатами обусловлена образованием экологически неблагоприятной для землероев обстановки в пахотном горизонте, их миграцией и освоением жизненного пространства в глуболежащих почвенных слоях, разрыхление которых способствует улучшению их структурного состояния. По-видимому, благодаря усилению степени перерывности землероями (главным образом, слепышами) профилей старопахотных черноземов (с возрастом распашки более 200 лет), в них начинает происходить некоторое увеличение значений коэффициента структурности даже в пахотных горизонтах.

Анализ деятельности землероев в изученных агрохронорядях, основанный на подсчете площади визуально определяемых слепышин, показывает, что за исключением глубины 0–50 см, происходит заметное, но постепенное увеличение площади нор по всем рассмотренным интервалам глубин с возрастом распашки. В верхнем полуметре в почвах самого давнего срока распашки (230–240 лет) отмечается возрастание скорости роста площади слепышин по сравнению с более ранними сроками распашки. Интерпретировать полученные данные можно как с позиции более активной деятельности землероев в период существования мелкоконтурных полей и межей, что проявилось в старопахотных черноземах на глубине 0–50 см, так и поступательного во времени увеличения степени перерывности пахотных черноземов в связи с длительностью их распашки (согласно расчетам площадей слепышин на передних стенках разрезов в изученных нами почвенных агрохронорядях).

Микроморфологическая диагностика почв также подтверждает усиление зоогенного перемешивания почвенной массы в пахотную стадию развития черноземов. Так, в подпахотных гор. А1В очень заметна деятельность мезофауны, к ее ходам приурочены хлопья “свежего” гумуса, измельченные и утратившие клеточное строение растительные остатки, зернистая (копрогенная) структура, микроучастки зоогенного разуплотнения (рис. 2, Д–З), в почвенной массе гор. В, переработанной землероями, видны окарбонированные корневые клетки (рис. 2, Л, П, Р). Следы деятельности землероев по микроморфологическим наблюдениям отмечаются даже в гор. ВС и С пахотных черноземов (рис. 2, О), и не замечены на данных глубинах в их фоновых аналогах.

На всех участках проявилась стадийность изменения во времени структурно-агрегатного состава почв (рис. 5). Нами предлагается выделение

трех стадий этой эволюции. Первая стадия длится в течение 50–70 лет после начала распашки черноземов. Для нее характерно снижение коэффициента структурности до метровой глубины, но особенно заметное в верхнем полуметре почвенного профиля. Вторая стадия длится в интервале времени 50(70)–150(180) лет после начала распашки. Для нее характерны самые низкие значения коэффициента структурности в пахотных горизонтах почв и незначительные изменения профильного распределения данного показателя во времени. Третья стадия характеризуется тенденцией роста коэффициента структурности в пахотных горизонтах черноземов, одной из причин которого, вероятно, является увеличение перерывности верхней половины профилей старопахотных черноземов землероями.

Поведение органического вещества в профилях черноземов разновозрастных пашен (табл. 5) заслуживает особого рассмотрения. По микроморфологическим наблюдениям в пахотных горизонтах по сравнению с гор. А1 целинных черноземов отмечается большее разнообразие и обилие растительных остатков на разных стадиях разложения, гумус встречается, в том числе, в точечной форме и довольно часто приурочен к выбросам мезофауны. В целом, глинисто-гумусовая плазма в пахотных горизонтах теряет связность, очень заметными становятся зерна первичного минерального скелета, лишенные глинисто-гумусовых “рубашек” – покровов (рис. 2, Б–Г). В то же время в подпахотных гор. А1В отмечена более темная окраска глинисто-гумусовой плазмы по сравнению с этим же горизонтом в непахотных почвах. Возможно, это свидетельство роста интенсивности вертикального перемещения гумуса по профилю пахотных черноземов [22], но при этом нигде не отмечается никаких микроморфологических признаков такого перемещения.

На каждом изученном участке очевидной закономерностью выступает дегумификация почвенных профилей, происходящая на протяжении всего периода распашки черноземов. Начальные стадии распашки (первые 100 лет освоения) характеризуются довольно интенсивными потерями органического вещества пахотными горизонтами почв и некоторым накоплением гумуса в средней части профиля, что видно из сравнения его запасов в идентичных слоях черноземов на пашне и на целине (табл. 5). Данное наблюдение давно известно и описано в ряде источников. Некоторые авторы указывают на возможность миграции подвижного гумуса в подпахотную часть профилей черноземов [5, 33, 35]. Но это предположение не подтверждается в изучаемых агрохронорядях микроморфологическими наблюдениями.

Таблица 5. Запасы гумуса (т/га) в профилях почв изученных агрохронорядов

Глубина, см	Угодья			
	под естественной растительностью	пашни разной длительности освоения		
Верхопенье				
	лес	пашня		
		90 лет	120 лет	240 лет
0–10	85.8	65.0	63.7	61.0
10–20	81.9	74.0	70.1	66.2
20–30	67.6	67.8	64.5	61.4
30–40	57.6	59.5	56.2	50.7
40–50	52.6	46.7	47.0	38.2
50–60	43.6	39.9	39.6	33.3
60–70	35.0	34.9	33.2	31.4
70–80	30.4	30.2	29.2	31.0
80–90	20.79	28.7	28.5	26.5
90–100	20.5	25.0	23.5	24.1
0–50	345.5	313.0	301.5	277.5
50–100	150.3	158.7	154.0	146.3
0–100	495.8	471.7	455.5	423.8
Сафоновка				
	целина	пашня		
		140 лет	160 лет	230 лет
0–10	91.38	70.68	64.57	62.85
10–20	87.41	74.13	74.72	66.32
20–30	76.99	69.84	68.17	66.89
30–40	65.84	53.45	60.73	58.20
40–50	55.05	47.93	51.11	46.66
50–60	46.85	43.93	44.93	43.12
60–70	37.23	37.44	35.59	38.27
70–80	35.04	33.89	33.49	36.19
80–90	30.52	31.34	29.60	30.70
90–100	23.89	28.01	27.10	27.00
0–50	376.67	316.03	319.30	300.92
50–100	173.53	174.61	170.71	175.28
0–100	550.20	490.64	490.01	476.20
Юрьевка				
	целина	пашня		
		16 лет	100 лет	240 лет
0–10	77.0	64.3	59.5	54.4
10–20	76.8	63.7	58.1	55.0
20–30	63.5	63.7	58.5	57.7
30–40	56.7	54.9	58.5	58.1
40–50	49.6	51.1	55.1	39.1
50–60	47.2	48.8	50.3	31.5
60–70	37.2	39.3	45.8	30.0
70–80	35.2	35.9	36.9	21.3
80–90	33.5	33.7	Не опр.	11.0
90–100	23.2	23.4	18.5	10.4
0–50	323.6	297.7	289.7	264.3
50–100	176.3	181.1	182.1	104.2
0–100	499.9	478.8	471.8	368.5

Таблица 5. Окончание

Глубина, см	Угодья		
	под естественной растительностью	пашни разной длительности освоения	
Жимолостное			
	целина	пашня 100 лет	пашня 240 лет
0–10	64.8	54.7	47.9
10–20	63.6	55.5	57.7
20–30	62.9	53.3	47.8
30–40	54.0	45.0	39.0
40–50	45.2	37.1	28.3
50–60	31.2	26.5	26.2
60–70	23.1	23.4	21.3
70–80	15.9	16.4	9.3
80–90	14.0	17.4	7.9
90–100	9.3	11.5	5.0
0–50	290.5	245.6	220.7
50–100	93.5	95.3	69.7
0–100	384.0	340.8	290.4

Имеются также указания на процесс просыпки материала верхней части гумусовых горизонтов почв в трещинную сеть, возникающую в пахотную стадию развития лесостепных и степных почв [16, 38]. Трещины усыхания, заполненные гумусированным почвенным материалом авторы неоднократно наблюдали в профилях черноземов изученных агрохронорядов. По нашему мнению, именно процесс просыпки вместе с активной деятельностью макро- и мезофауны могут способствовать обогащению гумусом подпахотной части профилей недавно освоенных черноземов. Очевидно, интенсивность деятельности роющих животных в пахотных почвах и важность воздействия этой деятельности на свойства старопашотных почв ранее недооценивались [43].

Дальнейшее освоение черноземов (при возрасте распашки более 100 лет) сопровождается уменьшением интенсивности дегумификации пахотных горизонтов почв, а также исчезновением максимумов запасов гумуса в подпахотной части профиля, возникших в начальный период распашки, то есть дегумификация развивается по всему профилю старопашотных черноземов.

На рис. 6 приведена интегральная (по всем ключевым участкам) схема изменений во времени запасов гумуса черноземов в слоях 0–30, 0–50 и 0–100 см, причем значения запасов приводятся в процентах от их целинного состояния. Для слоев 0–30 и 0–50 см обнаружена высокая теснота связей, несмотря на пространственную разобщенность ключевых участков исследования. Изменение во времени запасов гумуса в указанных

слоях описывается экспонентой, которую в упрощенном виде можно представить в виде двух линейных трендов, отражающих две основные стадии агрогенной дегумификации черноземов: начального тренда быстрых потерь гумуса (первые 40–50 лет распашки) и последующего тренда замедленных потерь. Агрогенная дегумификация черноземов в метровой толще почв на протяжении 240 лет распашки не имеет разделения на стадии и хорошо аппроксимируется линейным трендом.

В начальную стадию (первые 40–50 лет распашки) скорость уменьшения запасов гумуса в слое 0–30 см в почвах изученных агрохронорядов составляла от 0.44 до 0.82 т/га в год (в среднем 0.61 т/га в год). Вторая стадия (как минимум последующие 200 лет распашки) характеризуется интенсивностью потерь гумуса от 0.07 до 0.12 т/га в год (в среднем 0.09 т/га в год), что почти в 7 раз меньше таковых в первые 40–50 лет распашки. Потери гумуса черноземов в метровой толще почв на протяжении 240 лет распашки происходили со скоростью от 0.3 до 0.55 т/га ежегодно (в среднем 0.41 т/га в год). В среднем потери гумуса за 240 лет распашки составили: в слое 0–30 см – 45 т/га (21.4% от исходных запасов), в слое 0–50 см – 67 т/га (21%), в слое 1 м – 100 т/га (22%). Выявляются значительные потери гумуса пахотных черноземов в слое 30–100 см (55 т/га), напрямую не связанные с отчуждением углерода гумуса с урожаем.

В более ранних работах [2, 8, 10, 23, 30, 32, 34, 35] авторы, за редкими исключениями анализирова-

Таблица 6. Запасы CaCO₃ (т/га) в профилях почв изученных агрохронорядов

Глубина, см	Угодья			
	под естественной растительностью	пашни разной длительности освоения		
Верхопенье				
	лес	пашня		
		90 лет	120 лет	240 лет
0–20	0	Не опр.	0	0
20–40	0	»	0	0
40–60	0	»	0	0
60–80	0	»	0	0
80–100	25.4	»	52.8	0
100–120	78.1	»	162.5	0
120–140	99.3	»	167.0	108.0
140–160	121.5	»	140.0	143.9
160–180	133	»	124.0	180.8
180–200	77.8	»	115.3	197.5
0–100	25.4	»	52.8	0
100–200	509.7	»	708.8	630.2
0–200	535.1	»	761.6	630.2
Сафоновка				
	целина	пашня		
		140 лет	160 лет	230 лет
0–20	16.0	4.3	8.2	12.5
20–40	66.2	25.1	62.8	43.6
40–60	90.4	83.0	10.6	100.3
60–80	185.0	179.5	53.4	97.9
80–100	239.6	222.6	117.7	100.2
100–120	287.7	253.5	154.3	139.7
120–140	328.4	306.0	272.9	293.4
140–160	285.7	359.0	289.6	288.2
160–180	270.1	301.8	298.2	251.3
180–200	278.1	256.2	287.7	192.5
0–100	597.2	514.5	252.7	354.5
100–200	1450.0	1991	1302.7	1165.1
0–200	2047.2	2505.5	1555.4	1519.6
Юрьевка				
	целина	пашня		
		16 лет	100 лет	240 лет
0–20	12.8	19.6	31.1	15.3
20–40	9.9	21.6	28.5	17.0
40–60	21.6	25.2	29.9	21.1
60–80	20.7	121.7	34.6	197.7
80–100	0	295.4	120.9	367.1
100–120	37.8	360.4	322.0	345.1
120–140	273.2	504.3	457.3	265.1
140–160	433.4	574.8	473.4	148.2
160–180	493.0	437.2	457.0	143.8
180–200	510.0	443.1	409.5	204.9
0–100	65.0	483.5	245	618.2
100–200	1747.4	2319.8	2119.2	1107.0
0–200	1812.4	2803.3	2364.2	1725.2

Таблица 6. Окончание

Глубина, см	Угодья		
	под естественной растительностью	пашни разной длительности освоения	
Жимолостное			
	целина	пашня 100 лет	пашня 240 лет
0–20	8.1	7.9	3.6
20–40	7.3	8.4	4.8
40–60	9.7	9.9	10.6
60–80	79.5	338.6	16.3
80–100	267.7	386.8	126.2
100–120	173.6	386.8	216.4
120–140	118.4	224.2	253.7
140–160	45.8	26.6	216
160–180	21.3	26.1	114.6
180–200	40.7	4.1	75.2
0–100	372.3	751.6	161.5
100–200	399.8	667.8	875.9
0–200	772.1	1419.4	1037.4

ли не запасы, а содержание гумуса в разновозрастных пахотных черноземах что, по справедливому мнению Орлова с соавт. [26] вносило неточность в расчеты истинных потерь в них гумуса. Изученные нами “длинные” агрохроноряды черноземов (в ранее опубликованных работах детально исследованные аналоги по длительности распашки отсутствуют) анализировались не только с учетом содержания органического вещества, но и плотности сложения почв, что позволило проводить сравнение по наиболее объективному показателю – запасам гумуса. Это устраняет указанный выше дискуссионный аспект.

Что касается изменения запасов карбонатов в черноземах разных сроков распашки, заметное окарбонирование их профилей происходит в первые 100 лет освоения (табл. 6). В дальнейшем отмечается уменьшение запасов карбонатов в двухметровой толще, то есть начинает происходить их вынос за пределы почвенного профиля. Обнаруженная смена во времени окарбонирования выщелачиванием профилей пахотных черноземов отражает сложную организацию почвообразовательных процессов, стадийно изменяющихся с возрастом земледельческого освоения черноземов.

Результаты радиоуглеродного датирования гумуса и карбонатов в почвах некоторых агрохронорядов представлены в табл. 7, а на рис. 7 графически отображены тренды изменения этих показателей в почвах ключевого участка Сафоновка.

По мере увеличения сроков распашки в каждом изученном слое (10–20, 30–40 и 50–60 см)

¹⁴C-даты гумуса возрастают, что вполне закономерно, учитывая изъятие лабильного (молодого) гумуса в процессе агрогенной дегумификации черноземов, причем не только в верхних горизонтах, но и в более глубоких слоях. Обращает на себя внимание относительно однородный (лишь с небольшой тенденцией увеличения) радиоуглеродный возраст гумуса в слое 30–40 см пахотных черноземов. Выше и глубже этого слоя возраст гумуса в старопашотных черноземах увеличивается по сравнению с никогда не пахавшимися черноземами (рис. 7). Это, по-видимому, связано с поступлением в подпахотный слой молодого гумуса сверху путем засыпок гумусированного материала по трещинам из вышележащих слоев и в результате активной деятельности землероев. В данном слое дегумификация частично компенсируется привнесением свежего органического вещества.

Изменение радиоуглеродного возраста карбонатов в слоях 60–70 и 130–140 см наглядно демонстрирует стадийность агрогенной эволюции карбонатного профиля черноземов, что выше уже обсуждалось. Первая стадия распашки длительностью 140–160 лет характеризуется направленным омоложением карбонатов в глубинных слоях (130–150 см), а в дальнейшем происходит их удревание и “возвращение” к тому же возрасту, какой был до распашки.

Радиоуглеродный возраст карбонатов на уровне их верхней границы залегания, 60–70(80) см, в первые 100–150 лет распашки остается почти неизменным, а в дальнейшем начинает возрастать (в качестве примера в табл. 7 взяты почвы агро-

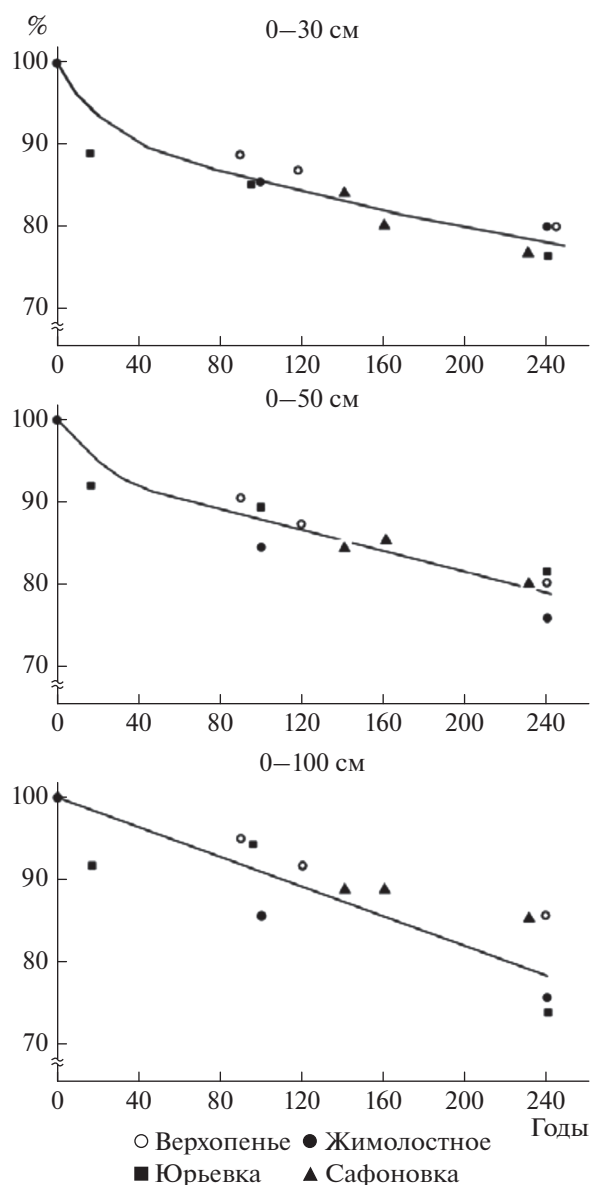


Рис. 6. Изменение во времени запасов гумуса в авторморфных пахотных черноземах лесостепи Белгородской обл. (% от исходных запасов).

хронорядов на участках Сафоновка и Жимолостное). Таким образом, старопахотные черноземы характеризуются тенденцией подтяжки кверху древних карбонатов из глубинных слоев черноземов, аналогичной той, что была нами ранее описана и интерпретирована для старопахотных бывших серых лесных почв изучаемого региона [37, 39, 42].

Микроморфологическое исследование показало отсутствие карбонатных кутан в порах и инфиллингов в тонкодисперсном материале средних горизонтов пахотных черноземов. Вместе

с тем, преобладающей формой здесь являются биогенные карбонатные новообразования: окарбонатные корневые клетки во множестве разбросаны в порах, а в плазме – разрозненные зерна кальцита, представляющие собой бывшие окарбонатные корневые клетки, но они нарушены и перемешаны мезофауной, поэтому утратили четкое сложение (рис. 2, к–м). Вероятно, именно биогенным окарбонативанием можно объяснить омоложение ^{14}C -возраста карбонатов в пашнях с возрастом освоения 100–150 лет, в которых обнаруживается появление карбонатов в большем количестве и на меньшей глубине, чем в целинных черноземах. Этот вывод сделан исходя из того, что при формировании биогенного кальцита неизбежно должны происходить его перекристаллизация и обмен со “свежим” CO_2 , находящимся в почвенном профиле, а, следовательно, омоложение карбонатов. Вероятно, этот процесс замедляется или прекращается в старопахотных (более 200 лет распашки) черноземах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методический подход к изучению почвенных агрохронорядов, использованный в нашем исследовании, позволил более комплексно, чем в ранее опубликованных работах, подойти к решению вопросов изменения во времени пахотных черноземов.

В пахотном горизонте черноземов (слой 0–20 см) идентифицированы первая стадия быстрого увеличения плотности в течение первых 100 лет распашки и последующая стадия замедления развития данного процесса. Выявлена первая стадия заметного накопления ила в верхней половине профиля пахотных черноземов (первые 100 лет распашки) и последующая стадия стабилизации процесса. Обнаружены первая стадия интенсивной деградации структурного состояния пахотных черноземов, которая длится 50–70 лет после начала распашки черноземов, вторая стадия, характеризующаяся минимальными значениями коэффициента структурности в пахотных горизонтах почв и образования его глубинного максимума в подпахотном слое (интервал времени 50(70)–160(180) лет распашки), а также третья стадия роста значений коэффициента структурности в верхней части почвенного профиля.

Наиболее важным процессом с точки зрения изменения плодородия черноземов является их дегумификация. В метровой толще за 230–240 лет земледельческого освоения неравномерная убыль запасов органического вещества имела среднюю скорость 0.41 т/га в год. В слое 0–30 см пахотных черноземов в течение первых 40–50 лет распашки

Таблица 7. Радиоуглеродный возраст гумуса и карбонатов в некоторых черноземах исследованных агрохронорядов (некалиброванные датировки)

Угодье	Глубина, см	Лабораторный номер образца	Радиоуглеродный возраст
Сафоновка, гумус			
Целина, разр. 1	10–20	Ki-18212	530 ± 50
	30–40	Ki-18354	1670 ± 90
	50–60	Ki-18353	2430 ± 80
Пашня 140 лет, разр. 3	10–20	Ki-18215	970 ± 70
	30–40	Ki-18214	1650 ± 60
	50–60	Ki-18213	3010 ± 70
Пашня 160 лет, разр. 5	10–20	Ki-18218	940 ± 60
	30–40	Ki-18217	2410 ± 50
	50–60	Ki-18216	2830 ± 80
Пашня 230 лет, разр. 7	10–20	Ki-18355	1040 ± 60
	30–40	Ki-18211	1730 ± 70
	50–60	Ki-18219	3650 ± 80
Сафоновка, карбонаты			
Целина, разр. 1	60–70	Ki-18366	4810 ± 160
	130–140	Ki-18360	10910 ± 160
Целина, разр. 2	130–140	Ki-18361	10060 ± 160
Пашня 140 лет, разр. 3	60–70	Ki-18367	4400 ± 100
	130–140	Ki-18362	5430 ± 90
Пашня 160 лет, разр. 5	60–70	Ki-18368	5000 ± 80
	130–140	Ki-18357	7540 ± 60
Пашня 230 лет, разр. 7	60–70	Ki-182	5420 ± 180
	130–140	Ki-182	8700 ± 100
Пашня 230 лет, разр. 8	130–140	Ki-18363	11600 ± 100
Жимолостное, карбонаты			
Целина, разр. 1	70–80	Ki -17357	7560 ± 110
	130–140	Ki -17358	4990 ± 240
Пашня 100 лет, разр. 3	70–80	Ki -17359	7490 ± 140
	150–160	Ki -17360	4160 ± 70
Пашня 240 лет, разр. 10	70–80	Ki -17364	10050 ± 220
	120–140	Ki -17365	7690 ± 190

снижение запасов гумуса происходило в среднем со скоростью в 0.61 т/га в год, а в последующий период распашки (40(50)–230(240) лет) – со скоростью 0.09 т/га в год.

В первые 100 лет освоения черноземов происходит рост запасов карбонатов в слое 0–200 см, а в дальнейшем отмечается их сокращение, то есть начинает происходить вынос карбонатов за пределы почвенного профиля. В начальный период распашки длительностью 100–150 лет происходит

омоложение карбонатов в глубинных слоях (130–150 см), а в дальнейшем происходит увеличение их возраста и “возвращение” ¹⁴C-дат к значениям, какие были до распашки. Уменьшение ¹⁴C-возраста карбонатов можно объяснить биогенным окарбонированием, а последующее увеличение его обусловлено подтяжкой кверху древних карбонатов из глубинных слоев черноземов [42] на общем фоне выноса карбонатов из двухметровой толщи, что требует дальнейшего, более детального изучения.

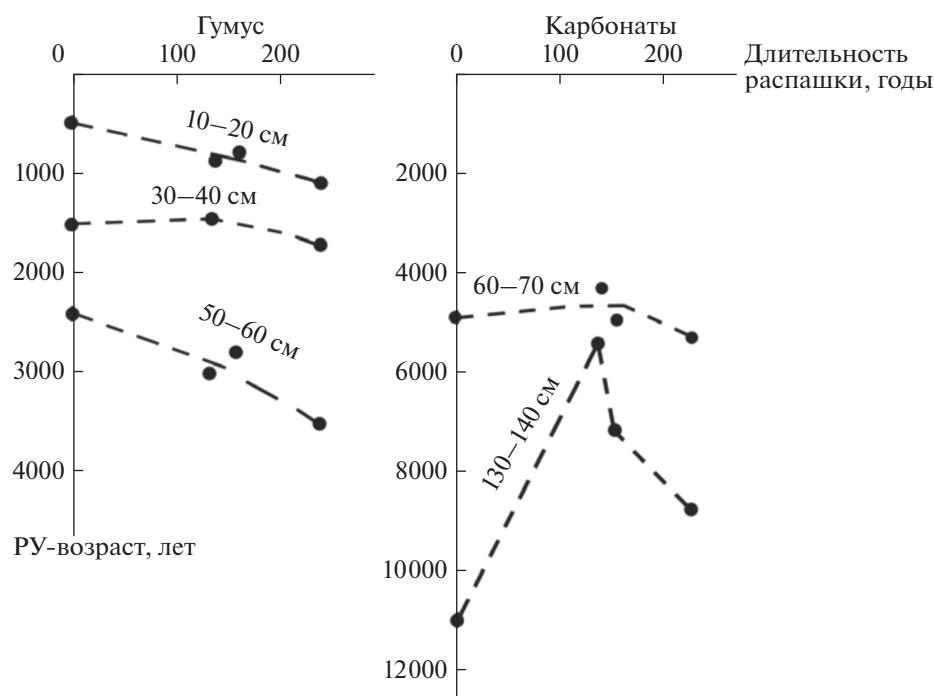


Рис. 7. Изменения радиоуглеродного возраста гумуса и карбонатов в зависимости от длительности распашки на разных глубинах в агрохроноряду черноземов участка Сафоновка.

В процессы перераспределения гумуса, карбонатов, ила, в изменение структурного состояния значительный вклад вносит деятельность роющих животных, обуславливая стадиальность изменчивости пахотных черноземов; особенно это заметно в старопашотных почвах. В отличие от простого экспоненциального развития, такие более сложные изменения, характеризуются сменной их направленности. В связи с накоплением результатов процессов (оглинивания, потери гумуса, нарастания перерыхлости и др.) меняются условия протекания других процессов, их темпы и направленность. Они обозначают переход к новой стадии развития почвы.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ, проект № 12-05-97512-р_центр_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО // Под общ. ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск, 1996. 330 с.
2. Адерихин П.Г. Изменение черноземных почв ЦЧО при использовании их в сельском хозяйстве // Черноземы ЦЧО и их плодородие. М.: Наука, 1964. С. 61–89.
3. Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
4. Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б. Изменение гумусного состояния лесостепных и степных черноземов под курганами и при длительной распашке // Почвоведение. 2002. № 2. С. 140–149.
5. Ахтырцев Б.П., Шевченко Г.А. Влияние сельскохозяйственного освоения на серые лесные почвы западной части ЦЧО // Почвоведение и агрохимия. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1970. Вып. 2. С. 31–48.
6. Ахтырцев Б.П., Щетинина А.С. Изменение серых лесных почв Среднерусской лесостепи в процессе сельскохозяйственного освоения. Саранск, 1969. 164 с.
7. Брук М.С. Влияние длительной обработки на изменение черноземов // Почвоведение. 1979. № 8. С. 124–127.
8. Брук М.С. Об эволюции черноземов под влиянием деятельности человека // Почвоведение. 1975. № 3. С. 24–32.
9. Бутова Л.С., Парфенова О.А., Щербаков А.М. Процессы оглинивания в черноземах различных угдий // Междунар. конф. студентов и аспирантов по фундаментальным наукам “Ломоносов-96”. Почвоведение. М., 1996. С. 10.
10. Гедымин А.В., Побединцева И.Г. Опыт исследования влияния длительной распашки на свойства обыкновенных черноземов // Почвоведение. 1964. № 5. С. 35–46.
11. Гедымин А.В., Харитоньев А.Т. Использование старых картографических материалов при изучении ландшафтов // Современные проблемы географии. М.: Наука, 1964. С. 298–302.
12. Глазовская М.А. Агрогенная трансформация факторов и механизмов изменения запасов гумуса в толще пахотных почв // Проблемы эволюции почв: Мат-лы IV Всерос. конф. Пушино, 2003. С. 201–210.

13. Денисов П.С. Почвы Воронежской и Курской областей и их отношение к агротехнике. Воронеж, 1935. 58 с.
14. Докучаев В.В. Русский чернозем. СПб., 1883. 376 с.
15. Иванов И.В., Табанакова Е.Д. Изменения мощности гумусового горизонта и эволюция черноземов Восточной Европы в голоцене (механизмы, причины, закономерности) // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1029–1042.
16. Козловский Ф.И. Современные естественные и антропогенные процессы эволюции почв. М.: Наука, 1991. 195 с.
17. Козловский Ф.И. Эволюция пахотных почв как предмет генетико-географического почвоведения // Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. С. 451–463.
18. Коковина Т.П. О почвенных процессах в типичном мощном черноземе под пашней // Почвоведение. 1978. № 9. С. 13–23.
19. Костычев П.А. Из путевых заметок. К вопросу об обработке и удобрении черноземных почв // Сельское хозяйство и лесоводство. 1886. Август. С. 293–315.
20. Костычев П.А. Чем различается почва степных новей от почвы пашен и залогов // Земледельческая газета. 1881. № 35. С. 620–623.
21. Крупеников И.А. Почвенный покров Молдовы: прошлое, настоящее, управление, прогноз. Кишинев: Штиинца, 1992. 263 с.
22. Кухарук Н.С., Чендев Ю.Г., Петин А.Н. Микроморфологические особенности органического вещества при агрогенной трансформации почв лесостепной зоны // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2011. № 15. С. 168–179.
23. Лазарев А.А. О влиянии сельскохозяйственной культуры на свойства черноземов лесостепной полосы. М.: Изд-во АН СССР, 1936. 71 с.
24. Лебедева И.И. Гидрологические профили миграционно-карбонатных (типичных) черноземов и агро-черноземов // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1214–1223.
25. Медведев В.В. Физическая деградация черноземов, ее причины, следствия и пути устранения // Успехи почвоведения. М.: Наука, 1986. С. 23–26.
26. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 254 с.
27. Панков А.М. Подзоны чернозема в Воронежской губернии // Изв. Докучаевского почв. комитета. 1913. № 1–2. С. 45–51.
28. Панков А.М. Материалы по естественно-историческому исследованию Воронежской губернии (Отдел IV). Геология и почвы. Валуйский уезд. М., 1922. Вып. 1. 191 с.
29. Парфенова Е.И., Ярилова Е.А. Руководство к микроморфологическому исследованию в почвоведении. М.: Наука, 1977. 198 с.
30. Почвенно-агрохимические основы устойчивости земледелия Центрально-Черноземной зоны / Под общ. ред. Н.З. Милащенко. М.: Агропромиздат, 1991. 142 с.
31. РГАДА. Фонд 138. Губернские карты, уездные планы, карты, атласы и планы городов. Ед. хр. 157–159. Богатинский уезд. 1785.
32. Сидоров М.И., Хабаров Н.И., Небольсин И.М., Зезюков Н.И. Эффективность и совершенствование систем земледелия ЦЧЗ. Воронеж: Центр.-Чернозем. кн. изд-во, 1986. 94 с.
33. Синкевич З.А. Современные процессы в черноземах Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1989. 214 с.
34. Сорокина Н.П., Когут Б.М. Динамика содержания гумуса в пахотных черноземах и подходы к ее изучению // Почвоведение. 1997. № 2. С. 178–184.
35. Уваров Г.И. Заповедник “Михайловская целина” как эталон сравнения свойств целинных и антропогенных почв северо-востока Украины. Харьков, 1997. 4 с. Инф. листок № 136–97.
36. Ушачева Т.И., Звягинцев С.С. Изменение морфологических свойств темно-каштановых остаточно-солонцеватых почв в результате сельскохозяйственного использования // Степи Северной Евразии: стратегия сохранения природного разнообразия и степного природопользования в XXI веке. Мат-лы междунар. симп. Оренбург, 2000. С. 385–386.
37. Хохлова О.С., Чендев Ю.Г., Мякшина Т.Н., Шишков В.А. Карбонатный пул педогенного углерода при разных типах и длительности использования пашни в Среднерусской лесостепи // Почвоведение. 2013. № 5. С. 583–594. doi 10.7868/S0032180X13050079
38. Чендев Ю.Г. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с.
39. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Смирнова Л.Г., Новых Л.Л., Долгих А.В. Антропогенная эволюция серых лесостепных почв южной части Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2011. № 1. С. 1–13.
40. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 214 с.
41. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, 2014. Rome.
42. Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Myakshina T.N. Change in pedogenic carbon stocks under different types and duration of agricultural management practices in the central Russian forest steppe // Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation. Ed.: M. Oelbermann. Wageningen Academic Publishers, 2014. P. 33–52. doi 10.3920/978-90-8686-788-2_2
43. Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Myakshina T.N., Alexandrovskiy A.L., Khokhlov A.A. Evolution of Chernozems in the southern forest-steppe of the Central Russian Upland under long-term cultivation examined in the agro-chronosequences // Quaternary International. 2015. V. 365. P. 175–189. doi 10.1016/j.quaint.2014.10.012