

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ ЗАЛЕЖНОГО РЯДА КУРСКОЙ ОБЛАСТИ И ТРЕНДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН

© 2021 г. А. М. Булышева^{а, *}, О. С. Хохлова^б, Н. О. Бакунович^б, А. В. Русаков^а, Т. Н. Мякшина^б

^аСанкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле,
16 линия В.О., 29, Санкт-Петербург, 199178 Россия

^бИнститут физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
ул. Институтская, 2, Пушкино, Московская область, 142290 Россия

*e-mail: annie.bulysheva@gmail.com

Поступила в редакцию 10.12.2019 г.

После доработки 31.01.2021 г.

Принята к публикации 02.02.2021 г.

Рассматривается изменение морфологических свойств черноземов миграционно-мицелярных на макро-, мезо- и микроуровнях их строения при нахождении в залежи. Обнаружено, что трансформация морфологических свойств наиболее выражена в пахотных постагрогенных и аккумулятивно-карбонатных горизонтах залежных почв. В пахотных горизонтах при самовосстановлении почв происходит улучшение структуры, изменение окраски в более темную. Исчезают трещины, образованные при распашке почвы за счет сезонного иссушения и деградации структуры. За срок от 25 до 50 лет нахождения в залежи исчезают журавчики, которые формируются в пахотных почвах в глубоких горизонтах за счет просачивания и застаивания влаги по трещинам в периоды отсутствия растений. При этом могут формироваться переходные формы в виде белоглазки с твердым ядром. При всасывании корнями растений почвенного раствора происходит окарбоначивание ходов корней посредством отложения на окружающем корень гумусосодержащем материале волокнистого кальцита. Карбонатные налеты, состоящие из волокнистого кальцита, в почвах пашни и молодых залежей выражены четко, расположены по трещинам; в почвах старых залежей, как и в целинном черноземе, налеты располагаются по граням структурных отдельностей, они тонкие, фрагментарные. Обобщены результаты исследования почв залежных рядов в Белгородской, Ростовской, Липецкой и Курской областях. Выделены основные черты трансформации карбонатного состояния почв при нахождении почв в залежи: исчезновение твердых карбонатных новообразований в нижних горизонтах почв, снижение линии вскипания от HCl, уменьшение содержания и запасов углерода карбонатов. Отмечены разнонаправленные изменения содержания и запасов гумуса в залежных почвах: в серых они уменьшаются, в черноземах и темно-серых — увеличиваются.

Ключевые слова: залежь, пашня, чернозем, самовосстановление, педогенные карбонаты, карбонатное состояние почв

DOI: 10.31857/S0032180X21080049

ВВЕДЕНИЕ

Антропогенное влияние на почвы и почвенные процессы в настоящий момент стало одним из ведущих факторов почвообразования наравне с естественными условиями. В черноземной зоне почвы подвержены длительному сельскохозяйственному воздействию, что сказалось на их свойствах и процессах. Поэтому изучение трансформации почв при разных режимах землепользования является актуальной задачей. Изменения степных и лесостепных почв при распашке изучались ранее [2, 3, 10, 17, 27, 31, 32, 34–36, 38]. Залежные почвы исследованы в меньшей степени [11, 12, 19, 25, 26, 37]. Согласно [15], в степной и лесостепной зонах европейской территории Рос-

сии около 20 млн га земель, заброшенных после распашки.

Трансформация пахотных и целинных черноземов при изменении погодных условий изучалась в Курской области [3, 22]. При увеличении увлажненности трехметровой толщи наблюдалась активизация процесса выщелачивания, с одной стороны, и образования большого количества миграционных форм карбонатных выделений, с другой. Другие авторы провели сравнение целинного, пахотного и залежного черноземов миграционно-мицелярных в Курской области и отметили увеличение значений рН, содержания водопептизируемого ила, подвижного фосфора и уменьшение содержания гумуса, обменного кальция, органических

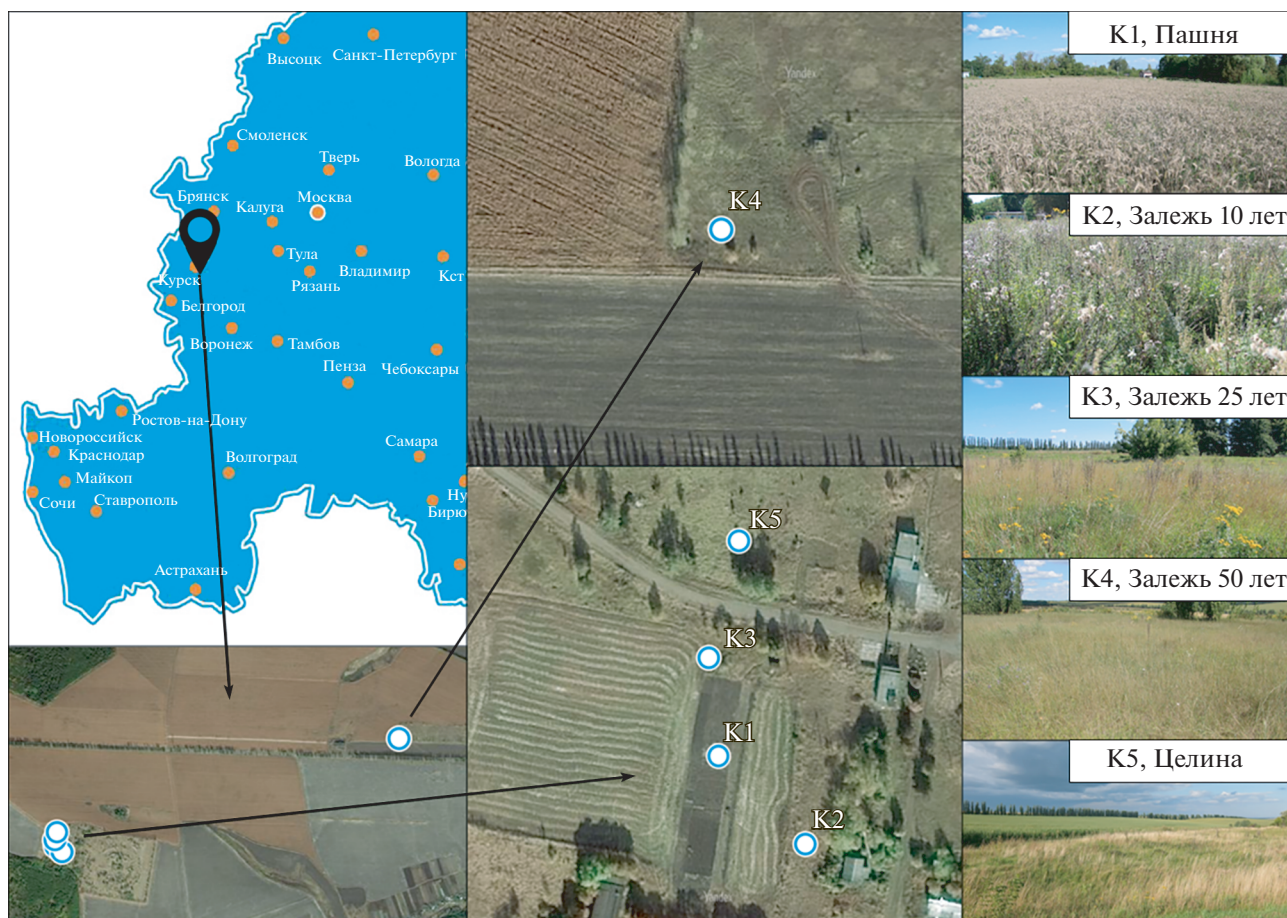


Рис. 1. Месторасположение и растительность участков исследования (спутниковый снимок взят с сайта: <https://yandex.ru/maps>).

форм фосфора, емкости катионного обмена, а также водоустойчивых агрегатов в пахотном черноземе по сравнению с целинным [20]. Восстановление гумуса при нахождении черноземов в залежи происходит медленно, со скоростью 0.04% в год [20]. Однако не проведено планомерного исследования, направленного на всестороннее изучение изменений морфологических свойств почв в залежи при нахождении их на разных этапах самовосстановления.

Цели работы: установление трендов изменения морфологии и свойств разновозрастных залежных почв по сравнению с пахотными и целинными аналогами в Курской области; выявление общих закономерностей трансформации карбонатного состояния и других свойств при переходе из пашни в залежь лесостепных и степных почв, рассмотренных в настоящей статье (черноземы Курской области), и ранее для почв Белгородской, Ростовской и Липецкой областей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории Курской биосферной станции ИГ РАН и прилегающих сельскохозяйственных землях на юго-западе Сред-

нерусской возвышенности на водораздельной территории (рис. 1). Участок исследования расположен в пределах Воронежского кристаллического щита, сложенного гранито-гнейсами, кристаллическими сланцами, железистыми кварцитами. Древние массивы перекрыты осадочными породами: глинами с редкими прослоями мергелей, известняков, песчаников и песков, залегающих на глубине 70–120 м. Выше располагаются отложения меловой системы, представленные глиной, песком, мелом, мергелем. Почвообразующими породами являются карбонатные лёссовидные суглинки четвертичного периода. Рельеф территории типично эрозионный, она изрезана глубокими балками с многочисленными разветвлениями. Грунтовые воды залегают на глубине 8 м, то есть увлажнение почв является атмосферным [22]. Естественная растительность данной местности относится к типу северных луговых степей. Характерны широколиственные высокостебельные злаки: костер береговой (*Bromopsis riparia*), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*), костер безостый (*Bromopsis inermis*), тимофеевка степная (*Phleum phleoides*) и др.

Объектом исследования явился хроноряд постагрогенных агрочерноземов миграционно-ми-

Таблица 1. Характеристика объектов исследования

Номер разреза	Координаты WGS 84	Тип землепользования	Название почвы	
			КиДПР [16]	WRB [38]
K1	51.538976 N, 36.087134 E	Пашня	Агрочернозем миграционно-мицелярный	Haplic Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)
K2	51.538674 N, 36.087620 E	Залежь 10 лет	Агрочернозем миграционно-мицелярный постагрогенный	Haplic Chernozem (Loamic, Aric, Pachic)
K3	51.539315 N, 36.087079 E	Залежь 25 лет	Чернозем миграционно-мицелярный постагрогенный	Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)
K4	51.544787 N, 36.117036 E	Залежь 50 лет	Чернозем миграционно-мицелярный постагрогенный	Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)
K5	51.539714 N, 36.087250 E	Целина	Чернозем миграционно-мицелярный	Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)

целярных, находящихся на разных стадиях самовосстановления: в течение 10, 25, 50 лет (по сведениям, полученным от администрации Курской биосферной станции ИГ РАН и администрации Панинского сельсовета) (рис. 1). В качестве сравнения изучены агрочернозем миграционно-мицелярный на пашне, а также целинный чернозем миграционно-мицелярный (табл. 1). Распашка рассматриваемых земель началась около 100 (разрезы K1, K2, K3 и K5) и 100–150 лет назад (разрез K4), согласно архивным картам [7, 13, 14].

На участках залежей растительность представлена разными стадиями восстановительной сукцессии. На 10-летней залежи произрастают рудеральные виды растений: бодяк полевой (*Cirsium arvense*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), подсолнечник клубненосный (*Helianthus tuberosus*) и др. Среди растений 25- и 50-летней залежей преобладают злаки, присутствуют бобовые, цикорий (*Cichorium intybus*). При этом на залежи 25 лет все еще присутствуют рудеральные виды. Пашня на момент полевых исследований была засеяна пшеницей (*Triticum aestivum*). Среди сорных растений распространены щетинник зеленый (*Setaria viridis*), живокость полевая (*Delphinium consolida*), ромашка аптечная (*Matricaria recutita*), мелколепестник канадский (*Coryza Canadensis*). На целинном участке преобладают злаки, в том числе ковыль (*Stipa pennata*). Произрастает земляника зеленая (*Fragaria viridis*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*).

Проведено подробное полевое морфологическое описание почвенных разрезов. Названия почв и индексы горизонтов даны по Классификации и диагностике почв России [16], а также по WRB [40]. Цвет почвенных горизонтов определяли по шкале Манселла. Для образцов ненарушенного сложения, отобранных из карбонатных горизонтов, дано мезоморфологическое описание при помощи бинокулярного стереомикроскопа МБС-10. Ненарушенные микромолиты для последующего мезоморфологического изучения отобрали из тех же горизонтов, что и образцы для

мезоморфологического анализа. Из них готовили шлифы, которые изучали с помощью микроскопа CarlZeiss AxioScopeA1 в ЦКП ИФХиБПП РАН (г. Пушкино, Россия).

Дополнительно для определения основных физико-химических характеристик в заложенных разрезах отбирали пробы из каждых 10 см для верхнего метра и из каждых 20 см – для нижнего. В лаборатории определяли гранулометрический состав пипет-методом с диспергацией суспензии пирофосфатом натрия [23]; содержание общего углерода на CHNS-932-анализаторе, Лесо, США, содержание углерода карбонатов – манометрически [8]. Углерод органических соединений рассчитывали по разности между общим и карбонатным. Определяли рН потенциометрически в водной суспензии с соотношением почва и вода 1 : 2.5 и потери при прокаливании (900°C, 1 ч).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Морфологическое строение профилей почв. Исследованные залежные почвы состоят из одного или двух постагрогенных пахотных горизонтов (РУра) (рис. 2). У залежных почв за 25 и 50 лет на поверхности пахотного горизонта сформировалась дернина из густо переплетенных корней злаков. Под бывшим пахотным горизонтом располагаются переходные горизонты АВ (АВса). Глубже выделяются аккумулятивно-карбонатные горизонты с миграционными формами карбонатных новообразований (КНО) – псевдомицелием. Самые нижние изученные слои – это переходные к породе горизонты ВСса. Агрочернозем отличается наличием свежевспаханного горизонта (РУ). Целинная почва имеет единый темногумусовый горизонт АУ, в верхней части которого располагается дернина.

Почвы на пашне и молодых залежах характеризуются развитой трещинной сетью в пахотных горизонтах. Встречаются трещины до 3 м толщиной, расстояние между трещинами 20–30 см. В более старых залежных почвах и целинной

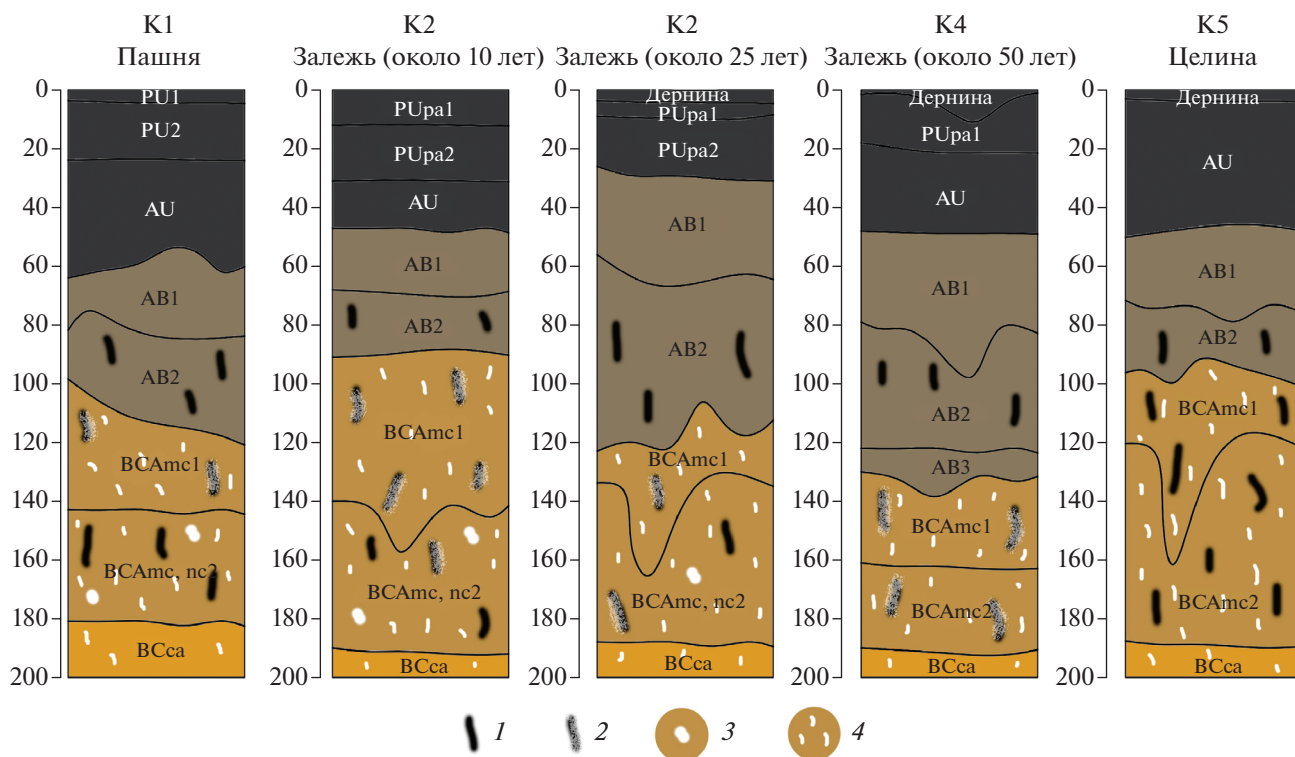


Рис. 2. Изображение почвенных профилей изученного хроноряда: 1 – корнеходы, 2 – окарбоначенные корнеходы, 3 – журавчики, 4 – карбонатный псевдомицелий.

почве трещины исчезают за счет развития корневых систем и улучшения водного режима.

В залежном ряду четко прослеживается изменение структуры пахотных горизонтов. В пахотном агрочерноземе структура комковато-порошистая. В почве 10-летней залежи отмечается тенденция к зернистости, но в целом структура комковатая. В почвах 25- и 50-летних залежей, как и в целинном аналоге, структура комковато-зернистая. То есть через 25 лет нахождения в залежи структура пахотного горизонта возвращается в естественное (до распашки) состояние.

Отличия в залежном ряду прослеживаются и в изменении цвета верхнего пахотного горизонта. Если в пахотной почве цвет горизонта имеет буроватый оттенок (10YR 4/2, цвет здесь и далее определялся для естественно влажного образца при полевом описании почв), то с увеличением возраста залежи цвет горизонта приобретает более темную окраску и больше серого тона (10YR 3/2 very dark grayish brown, 10YR 3/1 very dark gray), а почва 50-летней залежи, как и целинная, совсем не имеет буроватого или коричневатого оттенка (10YR 2/1 black). В залежном ряду от пахотной почвы и молодых залежных почв к 50-летней залежи и целинному чернозему уменьшается светлота пахотного (или верхнего гумусового) горизонта. Так, по шкале Манселла в пахотной почве она составляет 4 ед., в 10- и 25-летней залежах – 3 ед., а в 50-летней залежи и пахотной почве –

2 ед. Эти различия обусловлены несколько пониженным содержанием органического углерода в почвах пашни и молодых залежах по сравнению с целинным черноземом и старопашотной почвой.

Горизонты АВ изученных черноземов сильно переработаны деятельностью землероев. Вся масса горизонта состоит из свежих и старых кротовин (прямых и обратных), в том числе с карбонатным псевдомицелием внутри. Обильны прогумусированные корнеходы, в горизонтах АВ1 они выражены слабо, а в АВ2 – хорошо, при этом в старых залежах корнеходы покрыты вторичными карбонатами.

Карбонатные горизонты располагаются на разных глубинах (рис. 2). Залегание аккумулятивно-карбонатных горизонтов неоднородное и не подчиняется закономерности, предположительно, за счет наличия на разных глубинах палеогоризонтов почв брянского мегаинтерстадиала, которые могут располагаться на месте почвообразующих или подстилающих пород в голоценовых черноземах центра Среднерусской возвышенности [29]. Согласно исследованиям других авторов [23, 29], глубина палеогоризонтов ископаемой брянской почвы 170–200 см. Содержание карбонатов в них не изучалось детально, но предположительно такое подстиление могло повлиять на распределение карбонатов в изучаемых почвах. На рис. 1 во всех почвах, кроме пашни, имеются клинья и заклинки (грани-

Таблица 2. Характеристика карбонатных новообразований изученных почв

№ разреза	Тип землепользования	Псевдомицелий	Журавчики	Белоглазка	Корнеходы	
					BCAmc1	BCAmc(nc)2
K1	Пашня	Есть	Есть	—	Окарбоначенные	Неокарбоначенные
K2	Залежь 10 лет	Есть	Есть	—	Окарбоначенные	Слабоокарбоначенные
K3	Залежь 25 лет	Есть	Фрагменты	Редкая	Окарбоначенные	Окарбоначенные
K4	Залежь 50 лет	Есть	—	—	Окарбоначенные	Сильноокарбоначенные
K5	Целина	Есть	—	—	Неокарбоначенные	Неокарбоначенные

ца горизонта ВСА), что не характерно для аккумулятивно-карбонатных горизонтов. Вместе с тем известно, что вследствие поздневалдайских криогенных воздействий брянская ископаемая почва сильно деформирована и имеет неровную границу с глубокими клиньями и заклинками. Ширина клиньев может достигать 100–120 (до 150) см, глубина 100–150 см. Именно в заклинках располагается карбонатно-аккумулятивный горизонт брянской почвы [39]. Полагаем, что такое неоднородное и неопределенное положение горизонта аккумуляции карбонатов в подстилающей палеопочве могло оказать влияние на распределение карбонатов в изучаемых голоценовых черноземах. За счет различной исходной окарбоначенности горизонты аккумуляции карбонатов и в современной почве располагаются на разных глубинах. Главные отличия между почвами исследованного ряда заключаются в особенностях форм КНО (табл. 2).

Для всех почв характерен карбонатный псевдомицелий в горизонтах ВСА. В верхних аккумулятивно-карбонатных горизонтах ВСА_{mc1} почв пашни и 10-летней залежи псевдомицелий редкий и приурочен к граням структурных отдельностей. В более старых залежах и целинной почве псевдомицелий располагается в общей массе, нет приуроченности к граням. В нижнем аккумулятивно-карбонатном горизонте во всех изученных почвах псевдомицелий расположен как в массе горизонта, так и на поверхностях педов.

В почвах пашни, 10- и 25-летней залежей в нижнем аккумулятивно-карбонатном горизонте (BCAmc_{nc2}) обнаружены журавчики. Если в почвах пашни и 10-летней залежи журавчики оформлены хорошо, твердые размером от 2 × 2 до 2 × 4 см, то в залежи 25 лет они представляли дезинтегрированные фрагменты журавчиков размерами 1 × 1, 1 × 1,5 см и белоглазку с мелкими твердыми ядрами.

Все залежные почвы отличаются от пахотного и целинного черноземов по окарбоначенности корнеходов. В гор. ВСА_{mc1} в залежных почвах и пахотном агрочерноземе корнеходы окарбоначены, и только в целинной почве окарбоначенность почти не выражена. В нижнем аккумулятивно-карбонатном горизонте ни в пахотной, ни в целинной почвах нет окарбоначенности корнеходов, а в залежных почвах окарбоначенность корнеходов повышается с возрастом залежи.

Мезоморфологический анализ образцов аккумулятивно-карбонатных горизонтов в целом подтвердил выводы, сделанные при полевом описании профилей почв. Окарбоначенность корнеходов отмечена в образцах залежных почв, а также горизонта ВСА_{mc1} пахотной почвы. На корнеходах, выполненных темным гумусовым материалом, располагается волокнистый кальцит. При этом площадь покрытия карбонатным налетом корнеходов в молодых залежах меньше (рис. 3, А), а в старых — больше (рис. 3, Б).

В аккумулятивно-карбонатных горизонтах всех исследованных почв обнаружены карбонатные налеты, состоящие из волокнистого кальцита. В целинной почве и почве 50-летней залежи волокнистый кальцит располагается по граням структурных отдельностей и в крупных порах, слой кальцита тонкий, расположен фрагментарно (рис. 3, В); в пахотной почве он располагается по трещинам, при этом слой волокнистого кальцита хорошо выражен (рис. 3, Г), а в залежных почвах 10, 25 лет волокнистый кальцит встречается и по граням структурных отдельностей, и по трещинам. Карбонатный налет образуется на участках передвижения влаги [18]. В пахотных и молодых залежных почвах влага поступает вглубь почвы по крупным трещинам, а в целинных просачивается по порам и трещинам, что не позволяет перувлажняться нижним горизонтам.

Псевдомицелий под бинокулярным микроскопом при увеличении 16× выглядит как трубочки (рис. 3, Д), состоящие из кристаллов в виде тетрагональных призм с округленными вершинами (рис. 3, Е). Изменение водного режима практически не отражается на наличии псевдомицелия, так как для его формирования и нахождения в профиле подходят различные условия. Данный тип КНО формируется при миграции карбонатов с пленочной влагой, а также из растворов высокой концентрации, целиком заполняющих пору [21].

При мезоморфологическом описании в почве 25-летней залежи отмечена единичная белоглазка, ранее отмеченная в поле: однородная по составу, без включений, без ожелезнения. Внутри у белоглазки имеются твердые ядра. Такая белоглазка может быть результатом перекристаллизации и разрыхления материала журавчиков при изменении водного режима почвы [30].

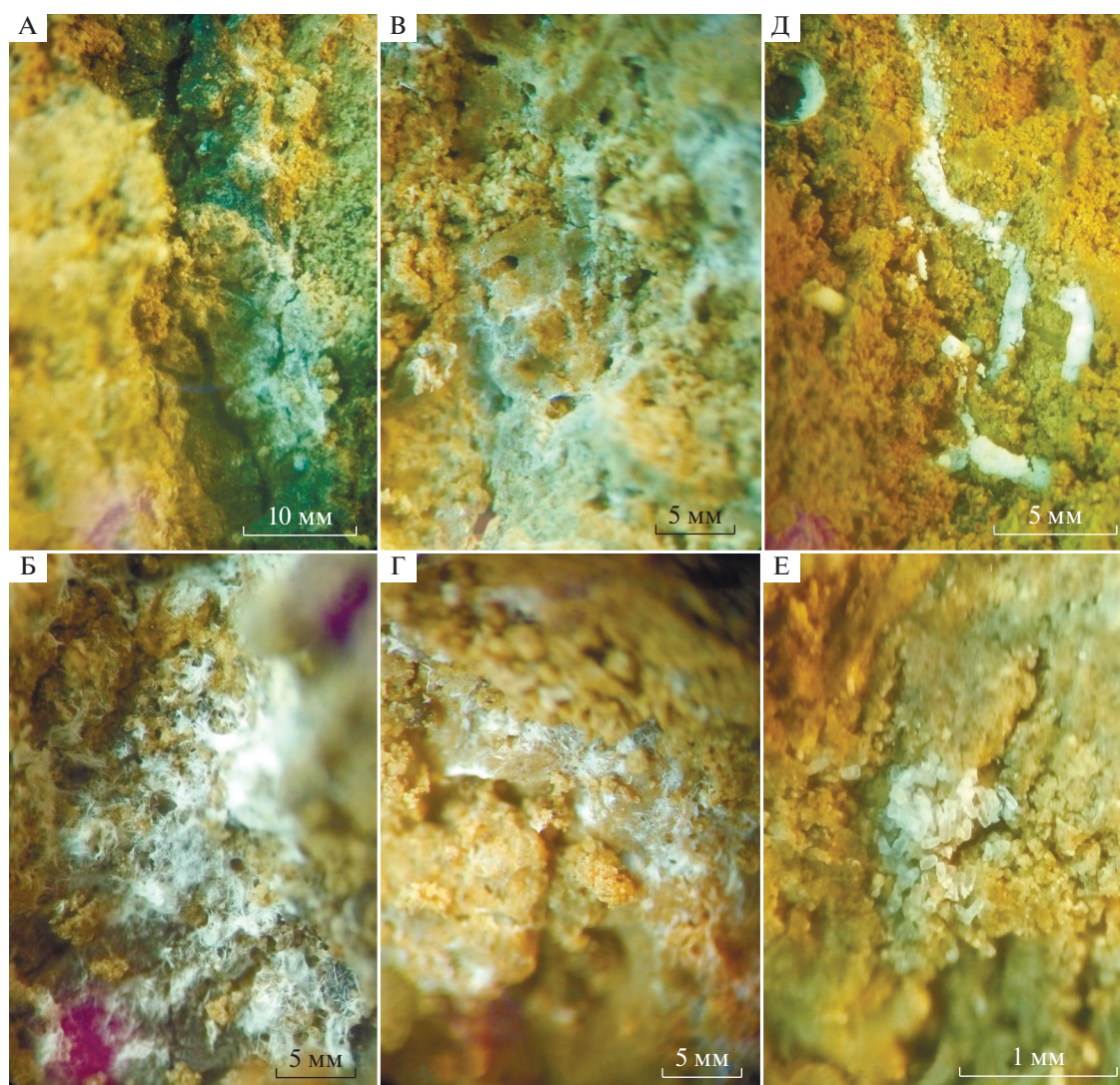


Рис. 3. Мезоморфологическое строение горизонтов ВСА исследуемых почв. А – корнеход в гор. ВСАтс,пс2 (разрез К2), Б – корнеход в гор. ВСАтс2 (разрез К4), В – налет волокнистого кальцита в горизонте ВСАтс2 (разрез К5), Г – налет волокнистого кальцита в гор. ВСАтс,пс2 (разрез К1), Д – псевдомицелий в гор. ВСАтс2 (разрез К2), Е – псевдомицелий в гор. ВСАтс1 (разрез К2).

Микроморфологический анализ верхних аккумулятивно-карбонатных горизонтов ВСАтс1 показал, что от пашни к залежам более старшего возраста и целинной почве увеличивается разнообразие карбонатных новообразований, а в некоторых почвах ряда явно преобладает одна из форм карбонатов. В пашне и молодой залежи (10 лет) встречается в основном карбонатная пропитка тонкодисперсной массы и карбонатные кутаны в порах, часто карбонатные аккумуляции дезинтегрированы деятельностью мезофауны (рис. 4, А, В). В залежи 25 лет абсолютно преобладают окарбончатые корневые клетки (ОКК), приуроченные к порам (рис. 4, Е). Хотя в порах имеются и микритовые кутаны, и игольчатый кальцит. В залежи 50 лет и целинном черноземе встречаются как микритовые карбонатные кутаны, нарушенные деятель-

ностью мезофауны, так и игольчатый кальцит, выстилающий поры. Отдельные спаритовые зерна бывших упорядоченных ОКК рассеяны в тонкодисперсной массе (рис. 4, Ж, И).

В горизонтах, расположенных ниже 150 см, это горизонт ВСАтс,пс2 или ВСАтс2, в пашне и молодой залежи еще наблюдаются карбонатная пропитка и микритовые кутаны в порах (рис. 4, Б, Г). В залежах 25 и 50 лет в порах преобладают кутаны, сложенные игольчатым кальцитом (рис. 4, Е, З). В почве залежи 25 лет еще встречаются отдельные ОКК в порах, много спаритовых зерен от ОКК рассеяно в тонкодисперсной массе, а в почве залежи 50 лет в рассматриваемом горизонте начинает преобладать ооидное микростроение, свойственное брянской палеопочве, ооиды пропитаны карбонатным веществом. В целинной почве

встречаются редкие тонкие микритовые кутаны в порах и все вышеперечисленные КНО в незначительном количестве.

На микроуровне удалось проследить дезинтеграцию твердых карбонатных новообразований (журавчиков или карбонатных нодулей), встречающихся в самых нижних горизонтах почв пашни и залежей 10 и 25 лет. Если в почве пашни нодули имеют очень четкую внешнюю границу с вмещающей окарбоначенной почвенной массой, а также по цвету контрастно отличаются от нее (рис. 5, А, Б), в залежи 10 лет эта граница уже теряет четкие очертания, постепенно размываются и цветовые отличия (рис. 5, В, Г), то в залежи 25 лет нодуль распадается на несколько фрагментов (белоглазка с твердыми ядрами на макроуровне наблюдения) (рис. 5, Д), при этом каждый из фрагментов имеет менее четкие, чем раньше, границы и мало отличается по цвету от вмещающей почвенной массы, что особенно четко видно при наблюдении с анализатором (рис. 5, Е).

Основные химические и физические свойства почв. Верхняя часть профиля всех изученных почв (до 100–120 см) имеет тяжелосуглинистый крупнопылеватый состав (табл. 3). Нижняя часть профиля легкоглинистая. В горизонтах ВСА исследованных почв обнаружены клиновидные структуры, характерные для палеопочв брянского мегаинтерстадиала (подробно рассмотрены на примере целинной почвы). Материал клиньев и заклинков различается по гранулометрическому составу. У первых преобладает только одна фракция – крупная пыль (0.05–0.01 мм), у вторых преобладающими являются две фракции: крупная пыль и ил (<0.001 мм).

Значения $pH_{\text{вод}}$ изменяются от нейтральных значений в верхних горизонтах почв до щелочных в аккумулятивно-карбонатных горизонтах ВСА и переходных к породе ВСса (табл. 3).

В верхних 20 см наименьшие значения $C_{\text{орг}}$ у почв пахотной и 10-летней залежи, наибольшие величины характерны для почвы залежи 25 лет. Глубже, до 140 см, наименьшие значения $C_{\text{орг}}$ имеет пахотная почва за исключением пары скачков, которые, видимо, обусловлены наличием кротовин. У всех исследованных почв распределение $C_{\text{орг}}$ зигзагообразное (рис. 6) с 30–40 и до 100 см, то есть в горизонтах АВ, за счет перерывности. В целом наибольшее содержание $C_{\text{орг}}$ наблюдается у почв залежей 25 и 50 лет. Здесь отмечается тенденция увеличения содержания $C_{\text{орг}}$ при переходе от пахоты в залежь, но при этом целинная почва не обладает наибольшими значениями, что может быть связано с тем, что в изучаемых залежах 25 и 50 лет при распашке применяли агротехнические приемы улучшения плодородия, что привело к увеличению содержания органического углерода.

В распределении углерода карбонатов не наблюдается уменьшения вниз по профилю макси-

мум содержания $C_{\text{карб}}$ в изучаемом хронологическом ряду почв с увеличением возраста залежи, как обнаружено ранее в других залежных хронорядах: черноземов сегрегационных Ростовской области [5] и темно-серых почв Белгородской области [4]. Выше всего максимум содержания $C_{\text{карб}}$ расположен в почве 25-летней залежи, а глубже всего – в почвах 10- и 50-летней залежи. В целом нельзя выделить почвы, где содержание $C_{\text{карб}}$ было бы наибольшим или наименьшим.

Распределение величины потери при прокаливании (ППП) в верхней части профиля очень близко к таковому $C_{\text{орг}}$ в профиле, а в нижней части профиля – к содержанию $C_{\text{карб}}$. Наименьшие значения PPP обнаружены в пахотной почве по всему профилю, кроме нижних 50 см, где уменьшается значения PPP у почв залежи 25 и 50 лет.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Механизм трансформации КНО в рассмотренном хроноряду. В пахотной почве за счет позднелетнего иссушения почвы и ухудшения структуры образуются глубокие трещины. Согласно исследованию Лебедевой и Овечкина [18] и других авторов, твердые формы карбонатных новообразований (журавчики), образуются при дополнительном увлажнении даже в автоморфных черноземах. В пахотной почве журавчики формируются и сохраняются за счет существования периодов весенне-раннелетней и осенней влагозарядки. В эти сезоны пашня стоит без растительного покрова, влага не расходуется на транспирацию, поэтому может проникать в глубокие горизонты по трещинам и там застаиваться. Возможно, в залежных почвах, где растительность постоянно покрывает поверхность почвы, периодов переувлажнения нет, а трещинная сеть развита слабее или не развита совсем, так как от перегрева почва прикрыта постоянным растительным покровом. Следовательно, журавчики, образованные в пахотную стадию функционирования почвы начинают постепенно растворяться. Корни естественной растительности проникают и высасывают воду с растворенными карбонатами с большей глубины по сравнению с корнями культурных растений. Часть карбонатов оседает на поверхности корней и в прикорневом пространстве. Наиболее ярко окарбоначивание проявилось в почве залежи 25 лет, в которой на микроуровне наблюдения тотально преобладают ОКК. Таким образом, образуются окарбоначенные корнеходы и исчезают журавчики. Также необходимо отметить, что на первых стадиях перераспределения КНО главную роль играют корни растений, что не позволяет образовываться игольчатому кальциту в результате высыхания почвы. Поэтому в молодых залежах он практически не обнаружен. На поздних стадиях залежи в порах формируются кутаны из игольчатого кальцита. Похожие закономерности

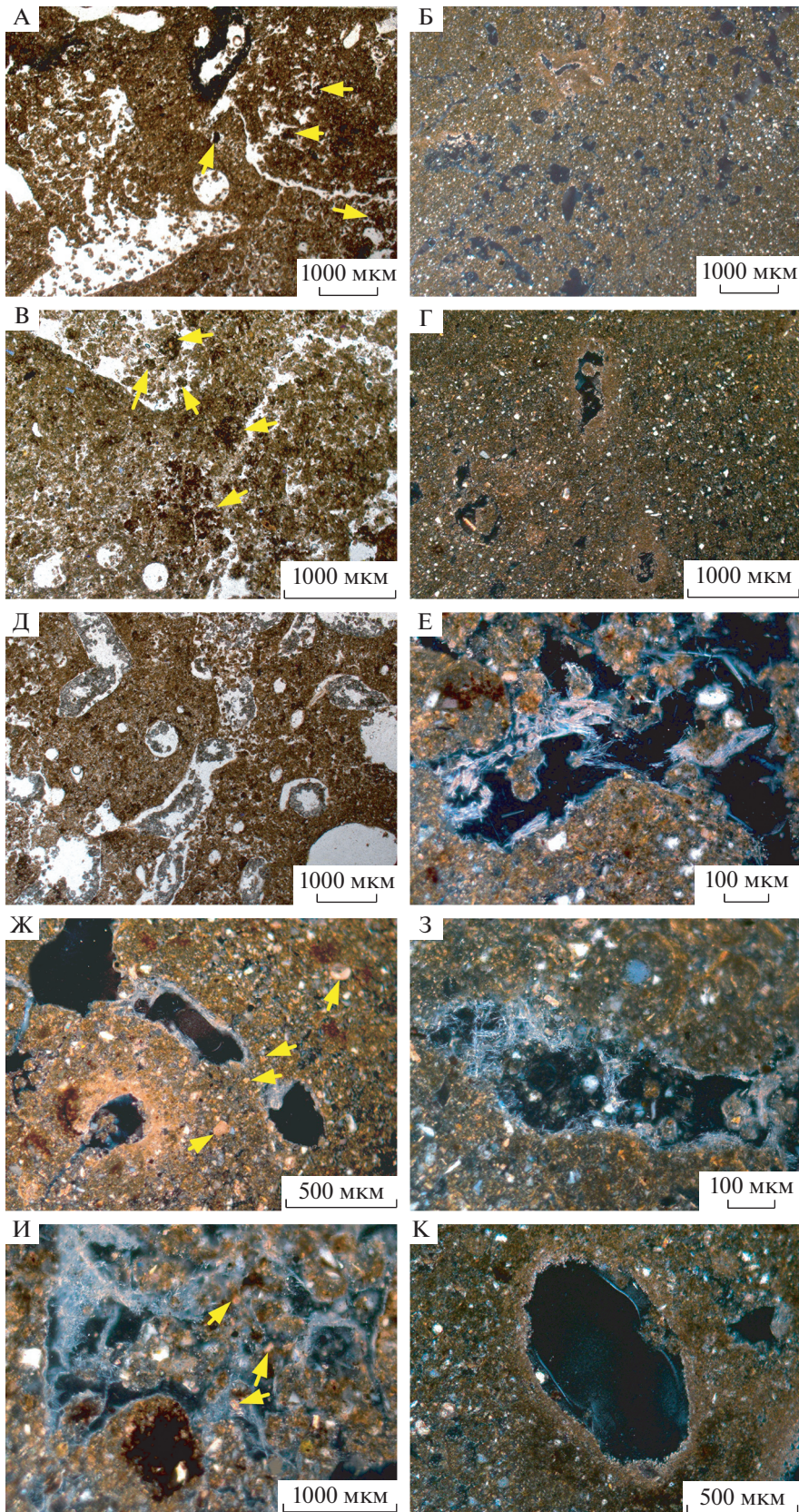


Рис. 4. Микростроение аккумулятивно-карбонатных горизонтов в почвах исследуемого ряда: А – гор. ВСАмс1, 132–140 см, пашня; Б – гор. ВСАмс,пс2, 153–160 см, пашня; В – гор. ВСАмс1, 131–136 см, залежь 10 лет; Г – гор. ВСАмс,пс2, 174–181 см, залежь 10 лет; Д – гор. ВСАмс1, 120–127 см, залежь 25 лет; Е – гор. ВСАмс, пс2, 170–175 см, залежь 25 лет; Ж – гор. ВСАмс1, 153–158 см, залежь 50 лет; З – гор. ВСАмс2, 182–189 см, залежь 50 лет; И – гор. ВСАмс1, 115–125 см, клин, целина; К – гор. ВСАмс1, 149–160 см, заклинок, целина. Фото А, В, Д сделаны без анализатора (PPL); остальные – с анализатором (XPL). На фото А и В стрелками указаны места дезинтеграции карбонатных аккумуляций в выбросах мезофауны; на фото Ж и И стрелки указывают на спаритовые кристаллы.

исчезновения твердых форм КНО обнаружены в двух других залежных хронорядках: черноземов сегрегационных Ростовской области [5] и черноземов миграционно-мицелярных Липецкой области [6].

Сравнение выявленных изменений свойств почв и их карбонатного состояния в залежных рядах Белгородской, Ростовской, Липецкой и Курской областей [4–6]. Для почв всех исследованных ря-

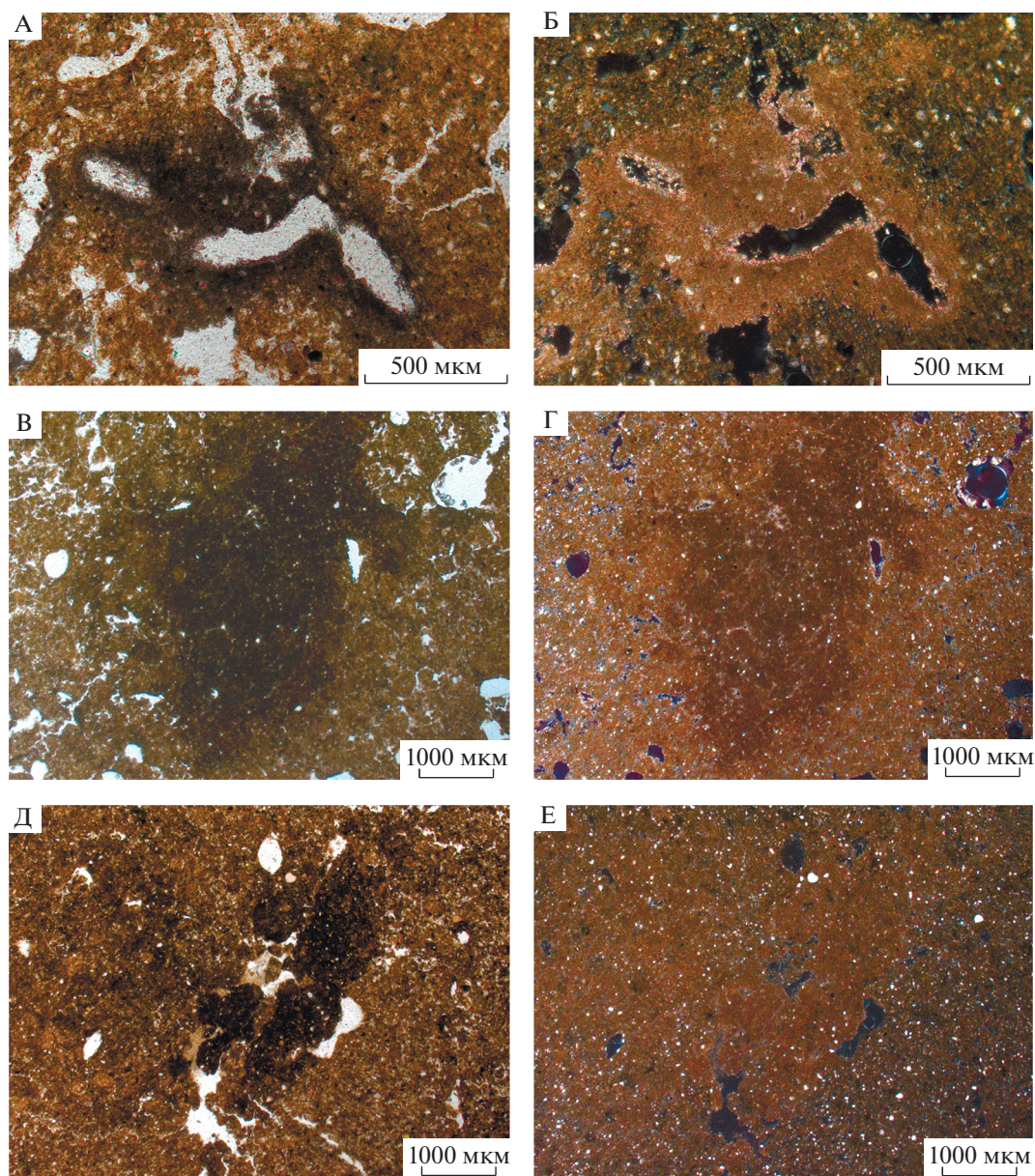


Рис. 5. Микростроение твердых карбонатных аккумуляций (журавчиков или нодулей) в нижних горизонтах почв исследуемого ряда: А, Б – гор. ВСАмс,пс2, 153–160 см, пашня; В, Г – гор. ВСАмс,пс2, 174–181 см, залежь 10 лет; Д, Е – гор. ВСАмс, пс2, 170–175 см, залежь 25 лет. Фото А, В, Д сделаны без анализатора (PPL); Б, Г, Е – то же, что и на А, В, Д, соответственно, но с анализатором (XPL).

Таблица 3. Значения рН водной вытяжки, потери при прокаливании и гранулометрический состав исследованных почв

Глубина, см	рН _{вод}	ППП	Содержание фракций (мм), %					
			1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001
К1, пашня								
0–10	7.0	9.34	0	8	42	6	21	22
10–20	6.9	9.52	0	2	47	10	17	24
20–30	7.0	7.22	0	8	42	9	15	26
30–40	6.9	5.70	0	8	43	8	14	27
40–50	7.1	6.24	0	9	42	9	14	26
50–60	7.1	6.07	0	12	40	8	14	25
60–70	7.0	5.29	0	2	50	10	13	25
70–80	7.0	5.88	0	15	39	9	15	22
80–90	7.1	4.34	0	10	43	8	15	24
90–100	7.4	5.81	0	16	36	9	15	24
100–120	7.5	9.83	0	3	44	8	20	25
120–140	7.7	10.41	0	3	43	10	20	24
140–160	7.7	9.85	0	17	27	10	20	26
160–180	7.7	9.43	0	4	38	13	17	27
180–200	7.8	8.87	0	3	35	11	24	27
К2, залежь 10 лет								
0–10	7.5	10.11	0	0	49	13	20	17
10–20	7.4	9.51	0	4	50	12	20	15
20–30	7.26	9.70	0	5	44	14	16	21
30–40	7.3	9.50	0	0	48	13	18	21
40–50	7.2	9.20	0	3	47	12	17	20
50–60	7.3	8.69	0	0	51	13	17	19
60–70	7.2	7.72	0	4	50	13	17	16
70–80	7.2	7.24	0	11	40	12	16	21
80–90	7.2	8.83	0	11	39	11	16	23
90–100	7.2	7.81	0	2	49	11	16	22
100–120	7.5	9.86	0	2	46	13	17	22
120–140	7.7	11.00	0	1	46	12	17	24
140–160	7.8	11.06	0	0	42	13	20	25
160–180	7.9	9.43	0	4	37	12	21	27
180–200	7.9	6.41	0	1	37	12	22	27
К3, залежь 25 лет								
0–10	6.7	11.56	1	8	46	12	17	16
10–20	6.8	9.80	0	12	40	9	17	21
20–30	6.8	9.43	0	9	44	10	19	17
30–40	6.9	7.66	0	9	42	10	17	22
40–50	7.1	7.62	0	5	49	11	16	18
50–60	7.1	7.47	0	3	49	11	17	20
60–70	7.1	6.87	0	7	45	11	16	21
70–80	7.2	9.66	0	3	48	11	17	21
80–90	7.5	11.31	0	1	51	10	19	20
90–100	7.7	11.70	0	9	39	11	18	22
100–120	7.8	10.82	0	3	49	11	18	19
120–140	7.8	10.47	0	3	43	11	19	25
140–160	7.9	9.54	0	6	36	12	19	26
160–180	7.9	7.95	0	1	39	13	21	26
180–200	7.9	8.05	0	5	36	12	21	25
К4, залежь 50 лет								
0–10	7.0	11.02	1	3	50	13	20	13
10–20	7.1	9.90	0	4	47	12	18	19
20–30	7.1	9.51	0	0	48	13	17	22
30–40	7.1	9.29	0	2	48	13	18	20
40–50	7.1	8.76	0	4	51	14	15	16
50–60	7.1	8.45	0	0	52	13	16	18
60–70	7.1	7.98	0	3	48	11	17	22
70–80	7.2	6.97	0	3	49	10	16	22

Таблица 3. Окончание

Глубина, см	рН _{вод}	ППП	Содержание фракций (мм), %					
			1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001
80–90	7.3	6.22	0	2	50	11	15	23
90–100	7.5	7.10	0	3	49	11	15	22
100–120	7.6	9.83	0	2	47	11	16	24
120–140	7.8	10.19	0	2	47	11	16	23
140–160	7.9	10.09	0	2	45	12	18	24
160–180	7.9	9.07	0	2	40	13	20	25
180–200	7.9	8.88	0	3	40	14	21	21
K5, целина								
0–10	6.9	10.39	1	6	48	13	16	17
10–20	6.9	10.53	1	2	49	12	17	19
20–30	6.9	8.94	0	2	49	12	17	20
30–40	6.9	8.18	0	4	46	12	16	21
40–50	6.9	6.62	0	2	49	13	14	22
50–60	6.9	6.22	0	4	49	12	14	20
60–70	7.0	6.59	0	27	27	11	14	22
70–80	6.9	5.06	0	14	39	11	14	22
80–90	7.1	5.62	0	19	34	11	15	22
90–100	7.4	8.41	0	2	51	12	17	19
100–120	7.6	10.24	0	20	29	11	18	22
120–140, клинья	7.7	9.65	0	0	49	12	18	20
120–140, заклинки	7.7	10.52	0	23	23	8	18	28
140–160, клинья	7.7	10.49	0	4	42	9	18	27
140–160, заклинки	7.8	9.79	0	15	30	10	17	28
160–180	7.8	9.49	1	6	48	13	16	17
180–200	7.9	9.10	1	2	49	12	17	19

дов характерно постепенное приобретение естественных черт по мере увеличения возраста залежи за счет восстановления растительности и смены водного режима.

По данным некоторых авторов при длительной распашке почв происходит ухудшение их водно-физических свойств, структурного состояния [1, 17, 35, 36, 38]. На примере исследованных объектов видно, что в залежном состоянии почвы происходят проградационные процессы: оструктуривание и разуплотнение пахотных горизонтов, в первую очередь за счет деятельности корневых систем.

Во всех рядах изученных черноземов наблюдалось постепенное растворение и исчезновение твердых КНО, таких как журавчики и белоглазка с твердым ядром, из нижних горизонтов профиля по мере увеличения длительности нахождения почвы в залежи. При этом в ряду в Курской области отмечали, что белоглазка с твердым ядром может являться одной из стадий трансформации журавчика при его дезинтеграции.

В Ростовском ряду почв выявлены особенности изменения белоглазки в аккумулятивно-карбонатных горизонтах при нахождении черноземов сегрегационных в залежи. С возрастом залежи в почвах увеличивалась доля белоглазки с размытыми границами и уменьшалось количество белоглазки с четкой границей. Таким образом, в залежную стадию функционирования почвы белоглазка под-

вергается процессам растворения и перекристаллизации за счет меньшего высушивания аккумулятивно-карбонатного горизонта, уменьшения восходящих потоков влаги.

Изменение содержания и запасов углерода органических соединений в черноземах и серых почвах может идти по-разному. Если в черноземах (и темно-серых почвах) в основном происходит увеличение содержания C_{орг} и его запасов, то в серых почвах наблюдается их уменьшение. Такие различия обусловлены тем, что в процессе распашки черноземов происходит дегумификация, а при распашке серых почв лесостепи, напротив, содержание гумуса чаще всего увеличивается [1, 25, 26, 29, 32, 33, 35]. Тем не менее, уменьшение содержания C_{орг} в черноземах при распашке и увеличение после забрасывания пашни происходит не всегда, что отмечено в залежном ряду Липецкой области. Это связано с высокой культурой обработки почвы, внесением удобрений, почвосберегающими технологиями, применяемыми в передовых хозяйствах крупных агрохолдингов. При проведении полевых работ в августе 2017 г. отмечено сохранение стерни на поле после уборки урожая, которую впоследствии запахивали. Это предохраняет почвенный профиль от сильного пересыхания, предотвращает ветровую и водную эрозию, при микробном разложении запаханной стерни пополняются запасы органического углерода и др.

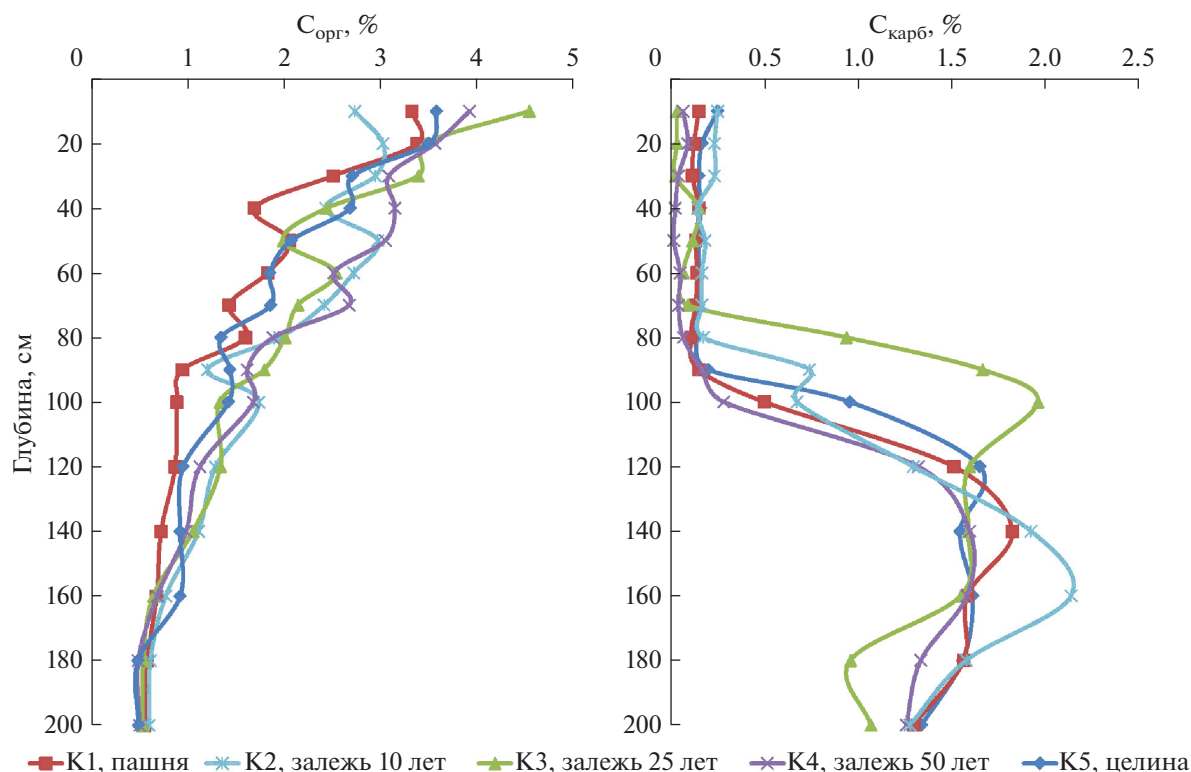


Рис. 6. Содержание $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{карб}}$ в изученных почвах, %.

В залежных рядах Белгородской, Ростовской и Липецкой областей с увеличением возраста залежей обнаружено вымывание карбонатов вглубь профиля за счет смены водного режима: интенсивность восходящих потоков влаги снижается и нисходящих — увеличивается. Это выразилось в уменьшении верхней границы вскипания от 10% НС1, снижении содержания и запасов углерода карбонатов. Такая закономерность отмечена не только для темно-серых почв и черноземов, но и для темногумусовых карбонатных почв Липецкой области.

Изменение радиоуглеродного возраста карбонатов почв Белгородского и Ростовского ряда происходит одинаково. ^{14}C -возраст карбонатов уменьшается в почвах залежей за счет интенсификации нисходящих потоков влаги в почве при переходе в залежь. В пашнях древние карбонаты подтягиваются ближе к дневной поверхности, при переходе в залежь они постепенно вымываются вглубь профиля. При сравнении залежей разной длительности наибольший ^{14}C -возраст карбонатов наблюдается в залежных почвах с крупной травянистой растительностью, которая мощными корнями высасывает влагу с глубины. В залежном ряду Липецкой области возраст карбонатов в первую очередь зависит от включения зерен литогенного кальцита в КНО: чем больше зерен, тем больше радиоуглеродный возраст карбонатов.

В табл. 4 в обобщенном виде представлено изменение ряда характеристик черноземов, темно-серых и серых почв на разных залежных стадиях.

Согласно исследованиям разных авторов, при распашке северных подтипов черноземов их свойства меняются в сторону южных подтипов [2, 10, 32]. По совокупности результатов исследования четырех залежных рядов, можно сделать вывод, что при переходе в залежь свойства почв изменяются в обратном направлении. Если по данным Горячкина с соавт. [11] сроки восстановления почв (из пахотных в исходные) в зоне широколиственных лесов для серых почв составляют до 100 лет, в южной лесостепи для типичных черноземов — до 50–60 лет, то по нашим данным получается, что для восстановления прежнего (до распашки) карбонатного состояния изученных почв в лесостепной и степной зонах центра Среднерусской возвышенности достаточно около 30 лет. Данные о скорости восстановления естественных свойств почв в залежи позволяют согласиться с мнением Герасимова [9], Симаковой [28] о том, что пахотные почвы не отличаются кардинально от естественных почв, “так как они являются результатом взаимодействия одних и тех же, кроме растительности, факторов почвообразования и функционируют как в природной среде, так и продолжают функционировать в природно-антропогенной”. В целом снятие антропогенной нагрузки ведет к срав-

Таблица 4. Сравнение свойств почв в разновозрастных почвах залежей и пашни

Свойства	Изменения в почвах на разных этапах восстановления в залежи			залежь 40–80 лет
	пашня	залежь 10–15 лет	залежь 25–30 лет	
Общие свойства				
Наличие дернины	Отсутствует	Отсутствует	Появляется тонкий горизонт (<1 см)	Есть “нормальный” горизонт (1–3 см)
Структура пахотного горизонта	Непрочнокомковатая, порошистая	Комковатая	Комковато-зернистая	Комковато-зернистая
Трещинная сеть верхней части профиля	Хорошо выражена, есть трещины (ширина – до 3–5 мм, глубина до нижней границы пахотного горизонта, в редких случаях достигают горизонта АВ)	Хорошо выражена, есть крупные трещины (шириной 3–5 мм, глубина до нижней границы пахотного горизонта)	Количество трещин снижается, они становятся тонкими, короткими	Трещины тонкие, сравнительно короткие
Переуплотнение подпахотного горизонта (плужная подошва)	Имеется подпахотный горизонт с переуплотнением (плужной подошвы)	Ч: исчезает; Ст: сохраняется	Ст: сохраняется	Ст: сохраняется
Содержание и запасы С _{орг} в слое 0–200 см	Ч и Ст: уменьшились С: увеличились относительно целинной почвы	Ч и Ст: резко возросли С: уменьшились относительно пахотной почвы	По сравнению с почвой залежи 10–15 лет	Ч: стабилизировались или немного снизились (относительно предыдущей стадии); Ст: постепенно возросли (за 40 лет)
Карбонатное состояние почвы				
Линия вскипания от 10% НС1	Ч – в гор. АU или АВ, Ст и С – в гор. ВСт (ВТ)	Переместилась вниз по профилю по сравнению с пахотной почвой	Переместилась вниз по профилю по сравнению с предыдущей стадией	Стабилизировалась на новом уровне
КНО	Имеются твердые формы КНО в нижних горизонтах почвы	Начало дезинтеграции твердых форм КНО, появляются мобильные КНО	Твердые формы КНО исчезают, появляются мобильные КНО	Твердые формы КНО отсутствуют
Запасы С _{карб} в слое 0–200 см	Высокие за счет подтягивания карбонатов вверх	Высокие	Снижение до равновесного состояния	Равновесное состояние
Радиоуглеродный возраст карбонатов	Увеличивается по сравнению с целинной	Близок к таковому в пашне	Снижается вместе с понижением линии вскипания	Равновесное состояние

Почвы: Ч – черноземы, Ст – темно-серые, С – серые.

нительно быстрому восстановлению прежних свойств почвы. Тем не менее, нельзя не упомянуть о влиянии на этот процесс длительности распашки, агротехнических приемов обработки почв, внесения удобрений и исходного состояния почвы. Мамонтовым с соавт. [20] отмечено медленное восстановление содержания гумуса в черноземах Курской области, но по нашим данным такого вывода сделать нельзя. Содержание $C_{орг}$ в некоторых залежных черноземах больше, чем в целинных, что связано с высокой культурой обработки почвы и, возможно, с применением удобрений. Длительное восстановление содержания и запасов $C_{орг}$ отмечено только в темно-серых почвах Белгородской области.

ВЫВОДЫ

1. В изученном ряду черноземов миграционно-мицелиарных Курской области при переходе агро-чернозема из пашни в залежь меняется комплекс свойств почв, включая морфологическое строение.

В пахотном постагрогенном горизонте исчезают трещины, увеличивается оструктуренность пахотного горизонта, структурные агрегаты приобретают зернистость.

Причинами трансформации КНО становятся изменение водного режима и смена растительных сообществ при смене типа землепользования от пашни в залежь. Образованные в нижних карбонатных горизонтах пахотной почвы при дополнительном увлажнении в весенне-осенний период журавчики постепенно исчезают в залежи. При дезинтеграции журавчиков может образовываться белоглазка с твердыми ядрами, которая также постепенно исчезает. В данном случае для полного исчезновения журавчиков и белоглазки потребовалось более 25, но меньше 50 лет. В почве 50-летней залежи ни журавчиков, ни белоглазки не отмечено. Исчезновение журавчиков происходит одновременно с окарбончаванием корнеходов за счет интенсивного всасывания влаги растениями, произрастающими на залежах в разные этапы самовосстановления. Смена растительности и потоков влаги не отражается на наличии и характеристиках (форме, размере, составе) карбонатного псевдомицелия, он присутствует во всех почвах.

Формирование карбонатных налетов из волокнистого кальцита происходит на всех стадиях залежи, а также в пахотной и целинной почве. При этом в пахотной почве и молодых залежах налеты образуются по трещинам. Они ярко выражены, локализованы на стенках трещин, образуются при нисходящем токе влаги. В целинной почве и почве залежи 50 лет налеты тонкие, располагаются фрагментарно и лишь на грянях структурных отдельностей. Это указывает на то, что влага поступает вглубь почвы по-разному. В почвах пашни она проваливается по трещинам, не насыщая всю поч-

венную массу, тогда как в целинной почве и почвах поздних залежных стадий влага проникает по тонким трещинам и порам равномерно.

Отмечено увеличение содержания органического углерода при нахождении почвы в залежи. При этом в целинной почве не самые высокие значения $C_{орг}$, больше в почвах залежи 25 и 50 лет, где, скорее всего, проводились агротехнические приемы по увеличению плодородия.

2. По результатам исследования четырех залежных рядов почв в лесостепной и степной зонах можно отметить единый тренд восстановления свойств почв в направлении их естественного состояния. Идет изменение водного режима почвы в сторону большей обеспеченности влагой, смена растительности в процессе восстановительной сукцессии. При этом общая картина восстановления естественных свойств различается для залежных серых почв и черноземов (и темно-серых почв). Особенно ярко это выражается в изменении содержания и запасов углерода органических соединений: у первых его содержание уменьшается, у вторых — увеличивается.

Изменение карбонатного состояния для разных подтипов почв лесостепной и степной зон идет похожим образом: общее содержание и запасы углерода карбонатных новообразований уменьшаются, видоизменяются карбонатные новообразования (растворяются твердые формы, образуются миграционные формы), уменьшается ^{14}C -возраст карбонатов.

В сохранении содержания и запасов органического углерода и карбонатного состояния большое значение имеет применение современных методов обработки почвы на пашне, таких как сохранение стерни, обработка почвы без оборота пласта, внесение органических удобрений и т. д.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Полевые и лабораторные исследования выполнены при поддержке РФФИ, грант № 16-05-00669а; участие О.С. Хохловой и Т.Н. Мякшиной осуществлено в рамках темы государственного задания № 0191-2019-0046.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / Под ред. Г.А. Романенко. М.: Росинформагротех, 2008. 64 с.
2. *Адерихин П.Г.* Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1963. 264 с.

3. *Базыкина Г.С., Овечкин С.В.* Миграционно-мицеллярные черноземы Курской области в климатических и биосферных циклах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2012. Вып. 70. С. 3–17.
4. *Бульшева А.М., Хохлова О.С., Русаков А.В., Мякшина Т.Н.* Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны Среднерусской возвышенности (заповедный участок “Лес-на-Ворскле”) // Вестник Томск. гос. ун-та. Биология. 2018. № 41. С. 6–26. <https://doi.org/10.17223/19988591/41/1>
5. *Бульшева А.М., Хохлова О.С., Бакунович Н.О., Русаков А.В., Мякшина Т.Н., Рюмин А.Г.* Изменение карбонатного состояния черноземов Приазовья при переходе их из пашни в залежь // Почвоведение. 2020. № 8. С. 1025–1038. <https://doi.org/10.31857/S0032180X2008002X>
6. *Бульшева А.М., Бакунович Н.О.* Изменение свойств и карбонатного состояния залежных почв Липецкой области (Заповедник “Галичья Гора”) // Мат-лы Междунар. науч. конф. XXII Докучаевские молодежные чтения “Почва как система функциональных связей в природе”. СПб., 2019. С. 58–60.
7. Военно-топографическая карта Курского уезда Курской губернии. М-6 1 : 126000. 1875–1888 гг. Ряд. XX. Лист 14. СПб., 1920.
8. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
9. *Герасимов И.П.* Учение В.В. Докучаева и современность. М.: Мысль, 1986. 124 с.
10. *Герасимова М.И., Караваяева Н.А., Лебедева И.И.* Об агрогенных изменениях термических границ почвенных зон и подзон на восточно-европейской равнине // Генезис, география и картография почв. Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2000. С. 107–118.
11. *Горячкин С.В., Караваяева Н.А., Денисенко Е.А., Люри Д.И.* Географические факторы и механизмы постагрогенного восстановления экосистем в разных зонах // Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. С. 159–337.
12. *Еремин Д.И.* Залежь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопашотных черноземов лесостепной зоны Зауралья // Плодородие. 2014. № 1. С. 24–26.
13. Карта Курского уезда Курского наместничества. Масштаб 1 : 840000. РГАДА. Межевое хранение. Фонд 1356. 1785 г. Л., 1943.
14. Карта Курского района Курской области. Масштаб 1 : 100000. Генеральный штаб. М37-013. Состояние местности на 1988 г. М., 1992.
15. *Китов М.В., Цапков А.Н.* Изменения площадей залежных земель на Европейской территории России за период 1990–2013 гг. // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2015. Вып. 32. № 15. С. 163–171.
16. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 235 с.
17. *Лебедева И.И., Базыкина Г.С., Гребенников А.М., Чевердин Ю.И., Беспалов В.А.* Опыт комплексной оценки влияния длительности земледельческого использования на свойства и режимы агрочерноземов Каменной степи // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 83. С. 77–102.
18. *Лебедева И.И., Овечкин С.В.* Карбонатные новообразования в черноземах Левобережной Украины // Почвоведение. 1975. № 11. С. 14–30.
19. *Лопес де Гереню В.О., Куранова И.Н., Ермолаев А.М., Кузяков Я.В.* Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов // Агрохимия. 2009. № 5. С. 5–12.
20. *Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р.* Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 182–201. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201>
21. *Овечкин С.В.* Генезис и минералогический состав карбонатных новообразований черноземов Левобережной Украины и Заволжья // Почвы и почвенный покров лесной и степной зон СССР и их рациональное использование. М., 1984. С. 184–189.
22. *Овечкин С.В., Базыкина Г.С.* Карбонатный профиль и режим влажности миграционно-мицеллярных черноземов разных экосистем Курской области // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1475–1486.
23. Путеводитель научных экскурсий XII Междунар. сим. и полевого семинара по палеопочвоведению “Палеопочвы, палеоседименты и рельеф как архивы природной среды”, 10–12 августа 2013, Курская и Воронежская области, Россия. М.: Ин-т географии РАН, 2013. 124 с.
24. *Растворова О.Г.* Физика почв (практическое руководство). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.
25. *Романовская А.А.* Органический углерод в почвах залежных земель России // Почвоведение. 2006. № 1. С. 52–61.
26. *Русанов А.М., Тесля А.В., Саягфарова А.М.* Восстановление гумусного состояния степных черноземов под многолетней залежью // Вестник Оренбург. гос. ун-та. 2011. № 12(131). С. 132–134.
27. *Савин И.Ю., Чендев Ю.Г.* Изменение во времени содержания гумуса в пахотных лесостепных почвах // Почвоведение. 1994. № 5. С. 88–92.
28. *Симакова М.С.* О принципах классификации пахотных почв России // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 92. С. 95–121. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-92-95-121>
29. *Сычева С.А., Пушкина П.Р., Хохлова О.С., Украинский П.А.* Трансформация брянской палеопочвы в западинах Центральной лесостепи Восточно-Европейской равнины в максимум валдайского оледенения и в голоцене // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1297–1315. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20090178>
30. *Хохлова О.С., Кузнецова А.М., Хохлов А.А., Олейник С.А., Седов С.Н.* О происхождении белоглазки и журавчиков на примере мезокатены черноземных почв в Южном Приуралье // Почвоведение. 2004. № 7. С. 773–780.
31. *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. 3–15.
32. *Чендев Ю.Г., Хохлова О.С., Александровский А.Л.* Агрогенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение.

- ние. 2017. № 5. С. 515–531.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17050045>
33. Шпедт А.А., Вергейчик П.В. Оценка скорости восстановления гумусного состояния почв Красноярского края в условиях залежи // Вестник АГАУ. 2014. № 6. С. 48–52.
 34. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 211 с.
 35. Щербаков А.П., Аbruкова В.В., Букреев Д.А. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО. Курск, 1996. 327 с.
 36. Щербаков А.П., Васенев И.И. Русский чернозем на рубеже веков // Антропогенная эволюция черноземов. Воронеж, 2000. С. 32.
 37. Arevalo J.R., Fernandez-Lugo S., Reyes-Betancort J.A., Tejedor M., Jimenez C., Diaz F.J. Relationships between soil parameters and vegetation in abandoned terrace fields vs. nonterraced fields in arid lands (Lanzarote, Spain): An opportunity for restoration // *Acta Oecologica*. 2017. V. 85. P. 77–84.
<https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.014>
 38. Bruun T.B., Elberling B., de Neergaard A., Magid J. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture // *Land Degradation Development*. 2015. V. 26. P. 272–283.
<https://doi.org/10.1002/ldr.2205>
 39. Sycheva S., Khokhlova O. Genesis, ¹⁴C age, and duration of development of the Bryansk paleosol on the Central Russian Upland based on dating of different materials // *Quarter. Int.* 2016. V. 399. P. 111–121.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.08.055>
 40. USS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.

The Change in the Properties of Soils of Fallow Chronosequences in the Kursk Region and Comparison of Trends for Recovery of Fallow Soils in Different Areas of Forest-Steppe and Steppe Zones

A. M. Bulysheva^{1, *}, O. S. Khokhlova², N. O. Bakunovich², A. V. Rusakov¹, and T. N. Myakshina²

¹*Saint Petersburg State University, Institute of Earth sciences, Saint Petersburg, 199178 Russia*

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia*

*e-mail: annie.bulysheva@gmail.com

The article discusses the change in the macro-, meso- and micromorphological properties of Haplic Chernozems after abandoning arable land. The research objects are located in the Kursk region. The results of the study show that the transformation of the morphological properties of soils is most pronounced in the plowed and carbonate-accumulative horizons. Upon conversion from cropland to long-term fallow the structure improves, the color changes to a darker one in the plowed horizons. Cracks formed when plowing the soil disappear. Carbonate hard nodules are formed in arable soils in deep horizons due to seepage and stagnation of moisture along cracks. Over a period of more than 25 years and less than 50 years of being in the fallow, it disappears. In this case, transitional forms – carbonate soft nodules with a hard core can form. Due to the disintegration of carbonate hard nodules during the absorption of the soil solution by the roots of plants, carbonization of the root passages occurs through the deposition of fibrous calcite on the humus-containing material surrounding the root. Carbonate incrustations consisting of fibrous deposits, are pronounced in the soils of arable land and “young” fallow lands, located along cracks; in soils of “old” fallows, as in virgin chernozem, deposits are located along the edges of structural units, they are thin, fibrous calcite is located fragmentarily. This is an indication of how water enters the soil. In the soils of arable land, water moves along large cracks into deep horizons, without saturating the bulk with moisture. Water moves along thin cracks and pores, entering the soil evenly into all the material in the “old” fallow and virgin chernozem. Additionally, the results of the study of soils of fallow chronosequences in the Belgorod, Rostov, Lipetsk and Kursk regions were generalized. The main features of the transformation of the carbonate state of fallow soils are highlighted: the disappearance of solid carbonate pedofeatures in the lower soil horizons, a decrease in the boiling line from HCl, and a decrease in the content and reserves of carbonate carbon. Different ways of changing the content and reserves of humus in fallow soils are noted: in fallow Phaeozems it decreases, in fallow chernozems it increases.

Keywords: fallow, arable land, Chernozem, self-restoration, pedogenic carbonates, carbonate pedofeatures