

## АГРОХИМИЯ И ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.4

doi: 10.17223/19988591/41/1

А.М. Булышева<sup>1</sup>, О.С. Хохлова<sup>2</sup>, А.В. Русаков<sup>1</sup>, Т.Н. Мякшина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино

### Изменение карбонатного состояния пахотных и залежных почв юга лесостепной зоны Среднерусской возвышенности (заповедный участок «Лес-на-Ворскле»)

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-05-00669а.

Изучены свойства почв пашни и залежей в сравнении с целинными серыми почвами с акцентом на изменение их карбонатного состояния на примере заповедника «Белогорье», расположенного в лесостепной зоне Восточно-Европейской равнины. Проанализированы морфологические характеристики, физические и химические свойства почв, проведено радиоуглеродное датирование карбонатов на верхней границе их обнаружения. Показано, что пахотная почва отличается от целинной наличием уплотнения, появлением специфической слоистой микроструктуры, обогащением илистой фракцией пахотного горизонта, изменением кутанного комплекса, смещением следов деятельности почвенной фауны вниз по профилю, меньшей глубиной залегания карбонатов и их существенно более древним <sup>14</sup>C-возрастом. После 40 лет нахождения почв в состоянии залежи происходит разуплотнение пахотных горизонтов, постепенное накопление органического углерода в верхней части профиля, выщелачивание педогенных карбонатов по сравнению с пашней. И хотя пока отмечено превышение запасов карбонатов в залежных почвах по сравнению с целинной, выравнивание <sup>14</sup>C-возраста карбонатов в сравниваемых почвах, очевидно, указывает на начавшиеся процессы перекристаллизации карбонатов и их выщелачивание в залежном ряду. Основную роль в изменении свойств почв в состоянии залежи играет характер растительности, влияющий на перераспределение влаги, накопление органического и карбонатного углерода, на плотность и процессы преобразования структуры бывших пахотных горизонтов.

**Ключевые слова:** серые; темно-серые почвы; агросерые и агротемно-серые почвы; радиоуглеродное датирование педогенных карбонатов; Phaseosems.

### Введение

При сельскохозяйственном использовании почв меняются режимы их функционирования, что вызывает трансформацию их состава и свойств.

Наиболее важными агрогенными процессами при этом воздействии в почвах южной части лесостепной полосы Среднерусской возвышенности (темно-серые почвы и черноземы) являются дегумификация, уплотнение, подкисление (декальцификация), карбонатизация, ощелачивание, иногда лессиваж [1]. Из этого следует, что изменениям подвергается в том числе и педогенный углерод, находящийся в составе как гумуса, так и карбонатов. Изменение гумусного состояния почв, содержания органического углерода и его запасов при сельскохозяйственном освоении, забрасывании пахотных земель и смене землепользования достаточно хорошо и полно изучены [2–8]. Трансформация карбонатного состояния почв лесостепной зоны при агрогенном воздействии разной длительности рассмотрена в ряде наших работ [9–12]. Никакого специального исследования, планомерно характеризующего изменение карбонатов на разных уровнях организации в почвах разновозрастных залежей, до сих пор предпринято не было. Лишь в некоторых работах, посвященных постагрогенной трансформации почв, описаны формы карбонатов и иногда определено процентное содержание  $\text{CaCO}_3$  в почвах залежных хронорядов [13, 14].

Цель данного исследования – охарактеризовать изменения свойств почв пашни и залежей в сравнении с целинными лесными почвами южной части лесостепной зоны на примере заповедного участка «Лес-на-Ворскле», уделяя особое внимание их карбонатному состоянию. Под карбонатным состоянием понимается совокупность всех форм карбонатного вещества на разных уровнях его организации в почве, его содержание, строение и состав [15].

### Материалы и методики исследования

Объекты исследования располагаются в пределах участка «Лес-на-Ворскле» заповедника «Белогорье» в Белгородской области. Здесь сохранилась широколиственная лесная растительность зонального типа, слабо преобразованная деятельностью человека. Территория заповедника располагается на юго-западном склоне Среднерусской возвышенности с максимальными абсолютными отметками 200–250 м, рельеф территории увалисто-долинно-балочный [16]. На территории заповедника широко распространены карбонатные и бескарбонатные лессовидные суглинки и лессы, встречаются также олигоценовые супеси и суглинки, красно-бурые глины и древнеаллювиальные песчаные отложения.

В ходе работы изучены два ключевых участка (КУ) с известными сроками окончания сельскохозяйственной обработки. Оба участка характеризуются сходством геоморфолого-литологических условий, так как они расположены на выровненной водораздельной поверхности, почвообразующими породами являются карбонатные лессовидные суглинки.

Первый КУ расположен в 9-м квартале участка «Лес-на-Ворскле» заповедника «Белогорье» на пологом склоне северо-западной экспозиции.

Целинная темно-серая почва (разрез LnV5-13 (N 50,60916°; E 35,96770°)) сформирована под липо-кленовником мертвопокровным в 20 м от границы Чувпилинской пашни. Напочвенный покров изрежен вследствие пороев кабанов. Агротемно-серые постагрогенные почвы вскрыты на 40-летней залежи под двумя разными растительными сообществами. Первое – кленово-ясеневое мелколесье разнотравно-райграсовое, сформировалось в результате зарастания пашни лесом без стадии сенокосения. Здесь заложен разрез LnV6-13 (N 50,60915°; E 35,96696°). Второе – райграсовый луг, сформировавшийся благодаря сенокосению в течение 20 лет, на заброшенной пашне. Здесь заложен разрез LnV8-13 (N 50,60946; E 35,96612°).

Второй КУ расположен в 4-м квартале участка «Лес-на-Ворскле» на выровненной поверхности третьей надпойменной террасы реки Ворскла. Целинная серая почва (разрез LnV9-13 (N 50,63222°; E 35,97978°)) находится на очень пологом склоне северной экспозиции под дубо-ясенником снытьевым, где напочвенный травянистый покров присутствует фрагментарно вследствие сильного повреждения кабанями. Разрез агросерой почвы (LnV10-13 (N 50,63273°; E 35,98198°)) располагается в 20–30 м к востоку от края леса. Сельскохозяйственная обработка почвы в границах изученного участка, согласно архивным картам [17], а также сведениям, содержащимся в работе [18] о распашке земель в Курской губернии, началась около 100–140 лет назад. Согласно данным, представленным в «Мировой коррелятивной базе почвенных ресурсов» [19], изученные почвы относятся к группе Phaeozems.

При полевых работах проведено подробное морфологическое описание профилей исследованных почв, определено их классификационное положение согласно «Классификации и диагностике почв России» [20]. Схематическое строение профилей почв представлено на рис. 1. В поле измерена плотность сложения почвы методом режущего кольца [21] в трехкратной повторности. В лаборатории определены гранулометрический состав профилей методом пипетки с диспергацией пирофосфатом натрия [21], содержание углерода органического ( $C_{\text{орг}}$ ) – методом мокрого сжигания по Тюрину [22] и углерода карбонатного ( $C_{\text{карб}}$ ) – манометрически [23]; проведен расчет запасов этих веществ. Из микромонологитов основных почвенных горизонтов изготовлены шлифы и проведен их микроморфологический анализ на микроскопе AxioScopeA1 CarlZeiss в ЦКП ИФХиБПП РАН (г. Пушкино. Россия). Микроморфологически изучены все упомянутые выше разрезы за исключением LnV6-13 (залежь под мелколесьем). Радиоуглеродное датирование карбонатов с верхней глубины их обнаружения в изученных профилях проведено в радиоуглеродной лаборатории (факультет географии, РГПУ им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург) (лабораторный индекс – SPb).

## Результаты исследования и обсуждение

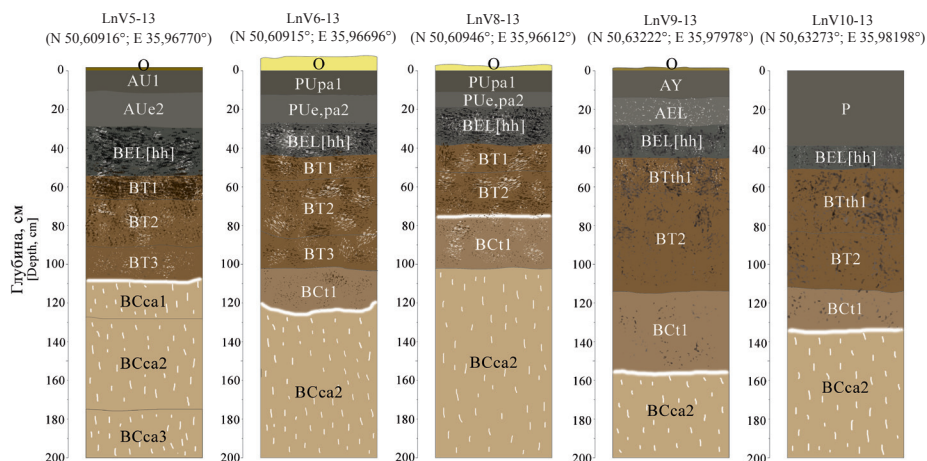
При сельскохозяйственном использовании почв меняется целый ряд их свойств. Чтобы изучить изменения свойств почв пашни и залежи проведены комплексные исследования. В первую очередь, изучены особенности морфологического строения на макро- и микроуровне.

**Морфологический анализ профилей** в 9-м квартале показал, что на поверхности целинной почвы под лесом (разрез LnV5-13) сформирована изреженная подстилка, состоящая из листового опада и стебельков трав. Мощность гумусированной толщи составляет 28 (29) см. В гумусовом горизонте целинной почвы прослеживаются признаки оподзоливания в виде рассеянных в массе горизонта отмытых зерен песчано-пылевой фракции. Структура гумусового горизонта комковато-зернистая. Для субэлювиального горизонта характерны темно-серый цвет, гумусово-глинистые кутаны и сiltаны по граням структурных отдельностей. Субэлювиальный горизонт BEL – самый темный в профиле, структура горизонта ореховато-призматическая. Текстурные горизонты ВТ характеризуются наличием кутанного комплекса. Гумусово-глинистые кутаны контрастно отличаются по цвету от внутрипедной массы. Поверх мощных кутан сформированы сiltаны с наибольшей выраженностью по стенкам крупных трещин. Вскипание от 10% раствора соляной кислоты наблюдалось только на глубине 109 (110) см в горизонте BCs1, который содержит карбонатный псевдомицелий и карбонатные трубочки – аккумуляции, характерные для лессовых пород. Почва классифицирована как темно-серая средне-мелкая глубококарбонатная среднесуглинистая на карбонатных лессовидных суглинках.

На поверхности агротемно-серой постагrogenной среднепахотной глубококарбонатной легкосуглинистой почвы под кленово-ясеневым мелколесьем (разрез LnV6-13) образовалась дернина из густо переплетенных корней райграса. Мощность постагrogenного пахотного горизонта равна 27 см и приблизительно совпадает с мощностью темного гумусового горизонта темно-серой целинной почвы. Как и в целинной почве, в бывших пахотных горизонтах данной почвы прослеживаются отмытые зерна кварца, рассеянные в толще горизонта. Структура пахотного горизонта комковато-зернистая. Сохраняются следы бывшей распашки в виде плужной подошвы (переуплотнение на нижней границе пахотного горизонта). В текстурном горизонте развит кутанно-сiltанный комплекс, как и в целинной почве. Нижняя граница текстурного горизонта опускается до глубины 119 (126) см. По сравнению с двумя другими почвами данного КУ в этом разрезе его мощность наибольшая. Вскипание от HCl наблюдается на глубине 119 (126) см, карбонатные аккумуляции также представлены псевдомицелием и трубочками.

На поверхности залежной почвы под райграсовым лугом (разрез LnV8-13), которая была классифицирована так же, как и предыдущая залежная почва, сформировалась дернина из переплетенных корней райграса. Мощность бывшего пахотного горизонта составляет всего лишь 18 см, что меньше, чем мощности гумусового и пахотного горизонтов двух других разрезов КУ.

Структура бывшего пахотного горизонта комковатая и комковато-ореховатая. В горизонте BCt1 фиксируется слабое вскипание от HCl, но карбонатных новообразований нет. Тектурная толща имеет меньшую мощность, чем в предыдущих двух разрезах, нижняя граница – 102 см, т.е. нижняя граница гор. BT в профиле залежной почвы под лугом расположена выше на 10–20 см, чем в профилях двух других почв. Видимые карбонатные аккумуляции находятся в горизонте BCca2 в виде псевдомицелия и трубочек.



**Рис. 1.** Схематическое изображение изученных профилей почв участка «Лес-на-Ворскле»  
**[Fig. 1.** Schematic picture of the studied soil profiles at the “Les-na-Vorskla” site]

Таким образом, сходство в морфологическом строении почв изучаемого ряда 9-го квартала выявляется в сложно организованном кутанном комплексе, формах карбонатных аккумуляций, обнаруживаемых лишь в горизонтах BCca. Тогда как главные их различия – это граница вскипания от HCl и мощность тектурных горизонтов. Наименьшая глубина вскипания обнаружена в залежной почве под райграсовым лугом (разрез LnV8-13), а наиболее глубокая – в залежной почве под мелколесем (разрез LnV6-13). Мощность тектурной толщи, напротив, больше всего в разрезе LnV6-13, а наименьшая – в разрезе LnV8-13. Можно предположить, что замеченные отличия зависят от характера перераспределения влаги, на которую главным образом влияет растительность, способствующая проявлению процессов выщелачивания и лессиважа.

Подстилка на целинной серой со вторым гумусовым горизонтом среднелкой среднесуглинистой глубококарбонатной почве (разрез LnV9-13) 4-го квартала покрывает 80% поверхности. Мощность гумусового горизонта составляет 14 см, мощность гумусированной толщи (AY+AEL) – 28 см. Для субэлювиального горизонта характерны выраженные темные гумусовые кутаны по граням структурных отдельных, иногда перекрытые тонкими силтанами. В тектурных горизонтах хорошо выражены темно-серые, почти черные гу-

мусово-глинистые кутаны, перекрытые белесоватыми силтанами. С глубиной развитость кутанного комплекса уменьшается и кутаны встречаются по вертикальным граням структурных отдельностей и крупным трещинам. Окраска кутан меняется от темно-серых до бурых и светло-бурых, что связано с уменьшением доли темных гумусовых веществ в составе кутан. Силтаны практически отсутствуют в горизонте BT2 и BCt1. В горизонте BCsa2 присутствуют тонкие бурые глинистые кутаны по отдельным трещинам. Карбонатные аккумуляции обнаружены в виде псевдомицелия и трубочек, вскипание от HCl отмечено на глубине 155 см.

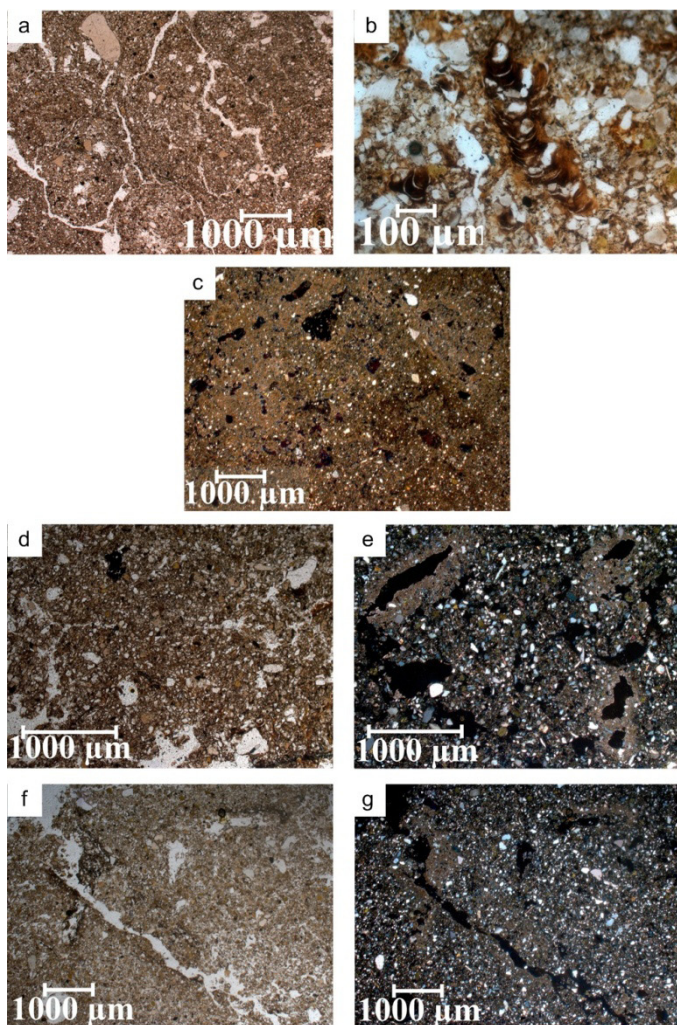
Мощность пахотного горизонта в агросерой со вторым гумусовым горизонтом маломощной тяжелосуглинистой глубококарбонатной почве на пашне (разрез LnV10-13) больше на 11 см по сравнению с мощностью гумусированной толщи (AY+AEL) почвы под лесом. Увеличение мощности пахотного горизонта произошло за счет припашки нижележащего горизонта. Кутанный комплекс пахотной почвы аналогичен таковому в текстурной толще целинной почвы, но простирается на меньшую глубину. В отличие от целинной почвы здесь наблюдаются ходы землероев (слепышины). Так, на глубине 110–115 см описана прямая округлая слепышина, выполненная темно-бурым прогумусированным материалом, на поверхности которого видны белесоватые силтаны. Вскипание от HCl отмечается на глубине 134 см, что выше, чем в целинной почве, почти на 20 см. Карбонатные новообразования присутствуют в виде псевдомицелия и трубочек, а также карбонатных кутан. При высыхании разреза фронтальные трещины прослеживаются с подпахотного горизонта вглубь разреза (до глубины 200 см).

Таким образом, изученные целинная и пахотная почвы 4-го квартала различаются по мощности гумусированной толщи и глубине вскипания, выраженности трещинной сети, наличию карбонатных кутан в горизонте BCsa и слепышин. Общими чертами являются обильные мусово-глинистые кутаны в субэлювиальном горизонте и верхнем текстурном горизонте BT, слабая развитость силтанного комплекса.

**Микроморфологическое исследование** горизонта AUe2 разреза LnV5-13 почвы под коренным лесом в 9-м квартале показало хорошую агрегированность почвенного материала, четко выраженные следы деятельности мезофауны: измельчение почвенной массы, ходы землероев; зерна минерального скелета в основном погружены в тонкодисперсный материал, лишь очень редкие минеральные зерна «выдавлены» в поровое пространство и ничем не покрыты (рис. 2, а). В горизонте BEL[hh], 40–45 см, обнаружены единичные хорошо выраженные скорлуповато-слоистые Fe-гумусо-глинистые кутаны в порах (см. рис. 2, б), имеющие слабую анизотропность. Большей частью здесь в порах наблюдаются обрывки кутан или очень мелкие кутаны (левая часть рис. 2, б). В горизонте BCsa1, 110–115 см, отмечены довольно консолидированные во-кругпоровые карбонатные стяжения, интенсивная пропитка тонкодисперсного вещества карбонатами (см. рис. 2, с), выделяются также микроучастки гли-



нисто-карбонатной плазмы с пятнами ожелезнения поверху (правый нижний угол рис. 2, с), свидетельствующие о периодически возникающем застое влаги в этом горизонте.



**Рис. 2.** Микроморфологическое строение горизонтов почв 9-го квартала участка «Лес-на-Ворскле». Фрагменты *a, b, d, f* сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Пояснения к рисунку даны в тексте. Автор фото – О.С. Хохлова  
**[Fig. 2.** Micromorphological structure of soil horizons of the 9th quarter of the “Les-na-Vorskla” site. Photos *a, b, d, f* are taken under Plane-polarized light (PPL), other photos are in Cross-polarized light (XPL). Explanations to the picture are given in the text. Photo is made by OS Khokhlova]

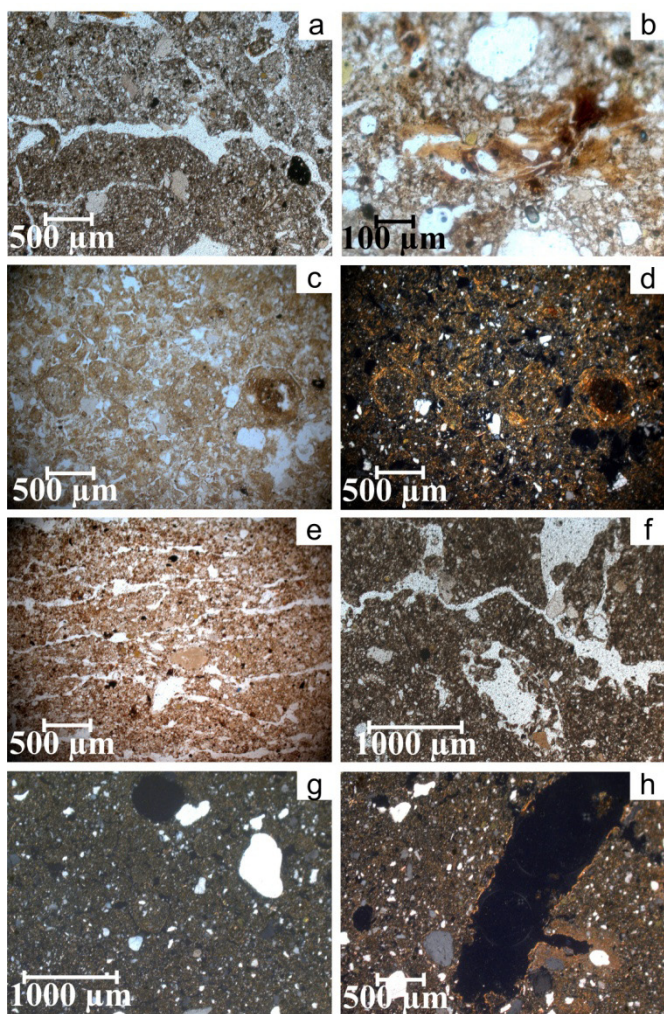
В залежной почве под злаковым лугом (разр. LnV8-13) на глубине 25–30 см

в отличие от лесной почвы гораздо более заметны в поровом пространстве пылеватые зерна, лишенные покровов, и пятна ожелезнения поверх гумусоглинистого тонкодисперсного материала; более выражены и признаки деятельности мезофауны (см. рис. 2, *d*, в нижней части – выбросы мезофауны в сравнительно крупных порах). В горизонте BCca2, 102–107 см, хорошо оформлены вокругпоровые стяжения, тогда как тонкодисперсный материал довольно слабо пропитан карбонатами, в нем ясно видны единичные удлиненные зерна литогенного кальцита (рис. 2, *e*). В этом горизонте еще очень заметны признаки деятельности мезофауны – протяженные ходы с выбросами червей и измельчение почвенной массы (см. рис. 2, *f*), при рассмотрении с анализатором видно, что эти ходы окарбонаты (рис. 2, *g*).

Микроморфологические наблюдения в почве под коренным лесом в 4-м квартале (разр. LnV9-13) показали отсутствие скелетан в двух горизонтах: гумусово-элювиальном AEL, 20–25 см, и субэлювиальном (втором) BEL[hh], 40–45 см, что согласуется с анализом макроморфологического строения изученной почвы. Эти горизонты имеют «нормальную» копрогенную структуру (рис. 3, *a*), в горизонте BEL[hh] видны мелкие железисто-глинистые кутаны в порах (см. рис. 3, *b*), имеющие ясно выраженную анизотропию. В нижней части разреза резко меняется вид горизонта BCt1, 140–145 см: минеральный скелет более мелкий, чем в вышележащей толще, отчетлива ооидная структура почвенной массы и вокругооидная ориентировка глинисто-железистого или железисто-глинистого тонкодисперсного вещества, карбонаты присутствуют в виде удлиненных зерен литогенного кальцита (см. рис. 3, *c*, *d*). Следует отметить, что эти микропризнаки весьма характерны для почв брянского мегаинтерстадиала (средневалдайское потепление позднего неоплейстоцена ~32–24 тыс. л.н.) [24]. Можно предположить, что нижняя часть профиля голоценовой серой лесной почвы сохраняет в почвенной памяти следы бывшего (средневалдайского) педогенеза. Верхняя 150-сантиметровая толща почвы сформирована на поздневалдайских субаэральных накоплениях. Таким образом, данная почва полигенетична.

В пахотном аналоге (разрез агросерой почвы со вторым гумусовым горизонтом) в агрогумусовом горизонте ясно видна слоистая структура почвенной массы с параллельной трещинной сетью – следствие ежегодного воздействия сельскохозяйственных орудий (см. рис. 3, *e*). Во втором гумусовом горизонте BEL[hh], 40–45 см, четко фиксируются скелетаны, минеральный скелет (в основном зерна кварца) без «покровов», очевидно, приурочен к поровому пространству, выбросы мелких землероев фиксируются в биогенных порах – камерах и каналах (рис. 3, *f*). В нижней части, на границе между BCt1 и BCca2 горизонтами, 130–135 см, также четко выражена ооидная структура, но вокруг ооидов ориентировка глинисто-железистого тонкодисперсного материала не обнаруживается (см. рис. 3, *g*), пропитка почвенной массы карбонатами слабая. Еще отмечаются отдельные микроучастки, переработанные мезофауной.



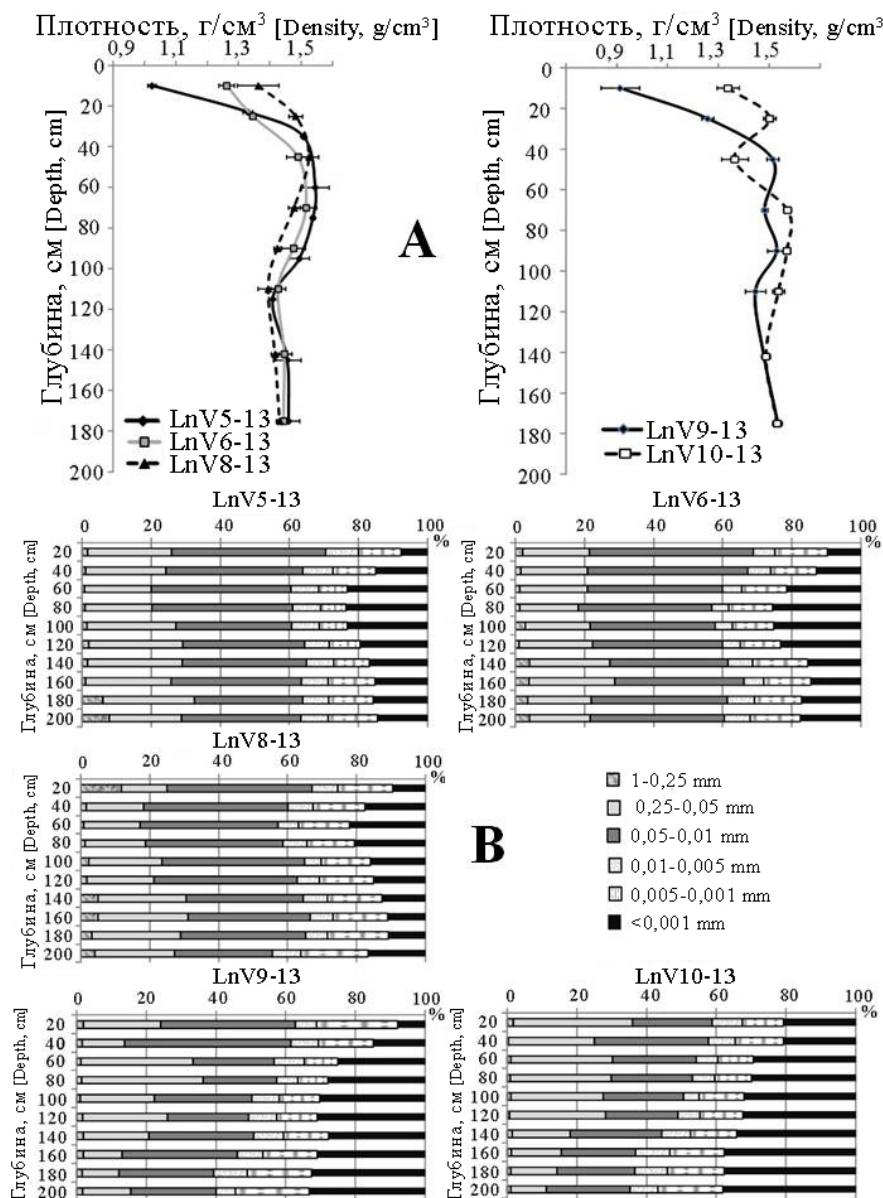


**Рис. 3.** Микроморфологическое строение горизонтов почв 4-го квартала участка «Лес-на-Ворскле». Фрагменты *a, b, c, e, f* сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Пояснения к рисунку даны в тексте. Автор фото – О.С. Хохлова

[Fig. 3. Micromorphological structure of soil horizons of the 4th quarter of the “Les-na-Vorskla” site. Photos *a, b, d, f* are taken under PPL, other photos are in XPL. Explanations to the picture are given in the text. Photo is made by OS Khokhlova]

В крупных порах располагаются вокругпоровые карбонатные стяжения с явными следами ожелезнения (см. рис. 3, *h*): в тех же порах, где обнаружены карбонаты, есть и глинисто-железистые тонкие пленки; либо сами карбонатные стяжения покрыты этими пленками, либо включают в свое «тело» фрагменты отчетливо ожелезненного карбонатного материала. Все эти особенности четко видны в отраженном свете. Таким образом, карбонатные стяжения в нижней

части разреза пахотной почвы сформированы при участии дополнительного увлажнения и/или сезонного застоя воды.



**Рис. 4.** Плотность, г/см<sup>3</sup> (*A*) и гранулометрический состав (*B*) исследованных почв  
[**Fig. 4.** Density, g/cm<sup>3</sup> (*A*) and grain size distribution (*B*) of the studied soils]

Плотность почв в изученных разрезах 9-го квартала характеризуется наименьшими величинами в гумусовых горизонтах, затем резко увеличивается и достигает максимума в элювиальной и особенно в верхней части текстурной толщи (1,51–1,54 г/см<sup>3</sup> – в текстурных горизонтах ВТ1 и ВТ2), постепенно снижается от 80 до 120 см и показывает более-менее постоянные значения в толще 120–180 см (1,41–1,45 г/см<sup>3</sup> в гор. ВСса), (рис. 4, А).

Значимые различия по плотности наблюдались лишь в верхней части профилей почв залежного ряда, что, несомненно, связано с имевшей место в прошлом сельскохозяйственной обработкой и разной историей зарастания залежных почв. Целинная темно-серая почва (разр. LnV5-13) характеризуется наименьшей плотностью в гумусовом горизонте АУ1 – 1,02 г/см<sup>3</sup>. В бывшем пахотном горизонте РUpa1 разр. LnV6-13 возрастает до 1,26 г/см<sup>3</sup>, а в залежной темно-серой постагрогенной почве под райграсовым лугом (разр. LnV8-13) обнаруживается самая высокая величина плотности – 1,36 г/см<sup>3</sup>. Подпахотный горизонт почвы залежи под лугом сохранил повышенную плотность (1,5 г/см<sup>3</sup>), тогда как плотность подпахотного горизонта почвы залежи с возобновлением древесной растительности практически сравнялась с плотностью целинной почвы. Общий характер кривой распределения плотности в разр. LnV8-13 под лугом схож с кривыми распределения плотности в первых двух других разрезах 9-го квартала, но максимум плотности несколько смещен выше, а снижение плотности в текстурной толще начинается в горизонте ВТ2. Выявленные отличия в закономерности распределения плотностей в бывших пахотных горизонтах двух залежных почв 9-го квартала связаны, очевидно, с различиями в разрыхляющей деятельности корневой системы деревьев и травянистой растительности.

В целинной серой почве (разрез LnV9-13) 4-го квартала наименьшая плотность диагностирована в горизонте АУ (0,91 г/см<sup>3</sup>) (рис. 4, А). Далее ее величина резко возрастает вплоть до нижней границы горизонта ВЕL[hh] (45 см). Здесь значение плотности составляет 1,51 г/см<sup>3</sup>. В горизонтах ВТth1 и ВТ2 этот показатель изменяется слабо, лишь немного падает в нижней части горизонта ВТ2 (110 см), принимая значение 1,44 г/см<sup>3</sup>. Затем плотность начинает плавно увеличиваться, до 1,53 г/см<sup>3</sup> – в горизонте ВСса2. Плотность пахотного горизонта агросерой почвы пашни (разрез LnV10-13) значительно выше плотности гумусового горизонта целинной почвы. На глубине 10 см она составляет 1,34 г/см<sup>3</sup>, на глубине 20 см – 1,50 г/см<sup>3</sup> (против 0,91 и 1,25 г/см<sup>3</sup> в аналогичных слоях целинной почвы). В горизонте ВЕL[hh] величина плотности падает до 1,36 г/см<sup>3</sup>, что ниже аналогичного показателя на данной глубине в целинной почве. В горизонте ВТth1 плотность вновь увеличивается до максимального значения в 1,57 г/см<sup>3</sup> и сохраняется на таком же уровне в верхней части горизонта ВТ2. То есть верхний пахотный горизонт и текстурная толща пахотной почвы имеют более высокие значения плотности, чем целинная почва, а ниже величины достоверно не различаются в профилях двух сравниваемых почв.

Увеличение плотности сложения пахотного горизонта по сравнению с гумусовым горизонтом целинной почвы можно связать с механическим воздействием сельскохозяйственных орудий, приводящим к разрушению агрономически ценной структуры и уплотнению. При распашке изменения в плотности сложения выражены не только в пахотном горизонте, но и в средней части профиля. Картина распределения плотности значительно меняется: вместо резкого увеличения плотности при переходе от гумусовой толщи к текстурной наблюдали зигзагообразную кривую с высокими значениями в гумусовом горизонте, уменьшением в субэлювиальном и увеличением в текстурных горизонтах, что может быть обусловлено процессом агрогенного оглинивания глубоких слоев распашиваемых почв [10, 25]. Плотность горизонта ВСса остается неизменной.

По данным гранулометрического состава для исследованных почв заповедника характерно преобладание фракции крупной пыли, что связано с особенностями почвообразующей породы. Однако в изучаемых почвах 4-го квартала крупная пыль преобладала лишь в верхних 40 см. Глубже превалировала илистая фракция (см. рис. 4, В).

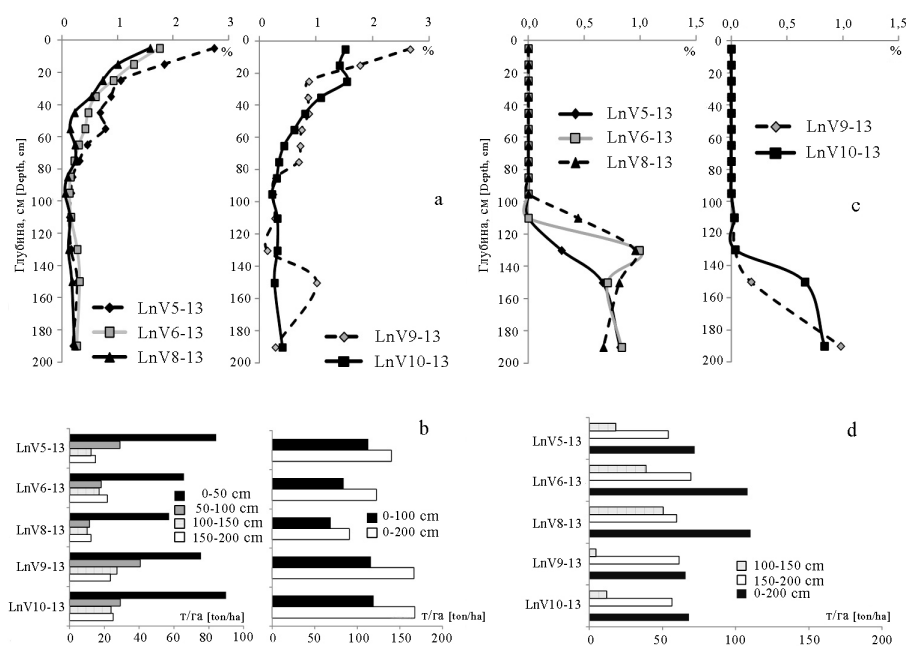
Почвы двух исследованных участков в 4-м и 9-м кварталах «Леса-на-Ворскле» различаются по гранулометрическому составу. Серая (разр. LnV9-13) и агросерая почвы (разр. LnV10-13), расположенные в 4-м квартале, являются среднесуглинистой и тяжелосуглинистой соответственно. Почвы 9-го квартала: легкосуглинистая (разр. LnV5-13) и среднесуглинистые (разр. LnV6-13, LnV8-13). Пахотная почва в разр. LnV10-13 по всему профилю демонстрировала самое большое содержание почвенного ила, что связано с вариабельностью гранулометрического состава материнской породы. В обоих рядах наблюдалась тенденция к утяжелению пахотного горизонта в почвах залежей и пашни по сравнению с целинными почвами. Это результат уже упоминавшегося процесса агрогенного оглинивания, протекавшего при распашке этих почв.

Для почв 9-го квартала характерно элювиально-иллювиальное распределение ила по профилю. Накопление ила наблюдается в текстурном горизонте. В разрезах LnV5-13 и LnV6-13 максимальное содержание ила диагностировано на глубине от 60 до 100 (120) см. В разрезе LnV8-13 иллювиальный максимум в распределении ила смещен выше – на глубину 40–80 см, текстурный горизонт здесь укорочен по сравнению с разрезами под лесной растительностью. Характер распределения ила по профилям почв под древесной растительностью, как целинной, так и залежной, практически аналогичен, что может свидетельствовать об особенностях водного режима лесных участков. Здесь наиболее выражены нисходящие токи влаги и наименее – восходящие.

Элювиально-иллювиальный характер перераспределения ила в почвах 4-го квартала выражен хуже за счет его более высокого содержания в почвообразующей породе. Тем не менее при переходе от гумусовой толщи к

текстурным горизонтам наблюдается резкое увеличение фракции ила. Довольно равномерное и повышенное содержание ила в текстурной толще и ниже – в переходном к породе горизонте (ВСса) – здесь может быть связано с тем, что в качестве почвообразующих пород для почв на этом участке выступают горизонты позднеплейстоценовой брянской почвы, обогащенной тонкодисперсной фракцией [16].

Содержание органического углерода в почвах 9-го квартала максимально в верхней гумусированной толще и уменьшается с глубиной (рис. 5, а). Содержание  $C_{\text{орг}}$  выше в целинной почве, и ниже примерно на 1% – в обеих залежных почвах. При этом в залежной почве под лесом (разр. LnV6-13) оно несколько выше, чем в почве под лугом (разр. LnV8-13). Вероятно, это обусловлено тем, что данная почва после забрасывания пашни не косилась, следовательно, остатки травянистой растительности поступали на поверхность почвы и подвергались разложению и гумификации, в том числе за счет дополнительного поступления органического материала с опадом листвы молодых деревьев. С глубины 70 см содержание  $C_{\text{орг}}$  выравнивается во всех почвах и колеблется в пределах  $\pm 0,2\%$ .



**Рис. 5.** Содержание (а) и запасы (б) органического углерода, содержание (с) и запасы (д) углерода карбонатов в исследованных почвах  
[Fig. 5. The content (a) and the stocks (b) of organic carbon, the content (c) and the stocks (d) of carbonate carbon in the studied soils]



Запасы углерода органических соединений в верхних 0–50 см и 50–100 см закономерно уменьшались от целинной почвы (разр. LnV5-13) к залежной под лугом (разр. LnV8-13) (см. рис. 5, *b*). Такая же картина наблюдалась и для толщ 0–100 и 0–200 см.

В пахотной почве 4-го квартала содержание углерода органических соединений ниже на 1,1% в верхних 10 см, чем в целинной (см. рис. 5, *a*). Но уже на глубине 20 см содержание углерода органических соединений становилось выше в пахотной почве, чем в целинной на 0,7%. А далее, с глубины 50 см, содержание углерода органических соединений снова выше в целинной почве. В целинной почве в горизонте BCt1 на глубине 140 см происходило резкое увеличение содержания  $C_{\text{орг}}$ . Согласно нашим исследованиям [16], такой скачок в содержании  $C_{\text{орг}}$  на данной глубине может быть признаком средневалдайского педогенеза (гумусовый горизонт брянской палеопочвы).

Запасы  $C_{\text{орг}}$  в слое 0–50 см выше в пахотной почве, чем в целинной (см. рис. 3, *b*). Увеличение запасов и содержания  $C_{\text{орг}}$  в пахотном горизонте серых почв в результате длительной распашки ранее отмечалось Ю.Г. Чендевым, И.Ю. Савиным [5, 26]. Тем не менее запасы органического углерода в слоях 50–100 см, 100–150 см и 150–200 см выше в целинной почве, а запасы в слоях 0–100 см и 0–200 см в пахотной и целинной почвах близки.

Углерод карбонатов ( $C_{\text{карб}}$ ) практически отсутствует в верхней части профиля всех изучаемых почв, а затем нарастает с глубиной (см. рис. 5, *c*). В 9-м квартале по характеру кривой распределения карбонатов видно, что в почвах залежей они располагаются выше на 10–20 см, чем в лесу. Максимум в распределении карбонатов отмечается на 40 см выше в залежах, чем в лесу. При этом в почве луговой залежи максимум в содержании карбонатов выражен лучше, чем в залежи под мелколесьем. Характер распределения  $C_{\text{карб}}$  в профилях залежных почв связан с особенностями их водного режима в пахотную стадию функционирования. Во время распашки интенсивность восходящих потоков воды была увеличена, что являлось причиной подтягивания карбонатов вверх профиля [25]. Затем, после забрасывания и зарастания пашни, восходящие токи влаги стали менее интенсивными, в профиле преобладало нисходящее движение воды, за счет которого карбонаты вымывались из текстурной толщи и накапливались на глубине промачивания. Картина перераспределения карбонатов после забрасывания пашни ярче выражена в разрезе LnV6-13 – почва под мелколесьем, поскольку здесь процесс «обратного» перераспределения, т.е. опускания карбонатов, идет интенсивнее за счет влияния древесной растительности.

В 4-м квартале карбонаты залежали с глубины 140–160 см как в целинной, так и в пахотной почвах, но при этом их содержание в пахотной почве выше на 0,5% (см. рис. 5, *c*).

Запасы углерода карбонатов в слое 0–100 см во всех почвах равны нулю (рис. 5, *d*). В слоях 100–150 см, 0–200 см, запасы  $C_{\text{карб}}$  закономерно увеличиваются в ряду: целинная почва (LnV5-13) – залежь с возобновлением леса

(LnV6-13) – залежь с лугом (LnV8-13). Таким же образом запасы  $C_{\text{карб}}$  изменяются в ряду целинная почва (LnV9-13) – пахотная почва (LnV10-13) в слое 100–150 см. Запасы  $C_{\text{карб}}$  в слое 0–200 см в целинной и пахотной почвах практически не различаются. Это доказывает, что карбонаты в пахотной почве перераспределяются в пределах почвенного профиля.

В 9-м квартале наибольшую величину радиоуглеродного возраста имели карбонаты из почвы луговой залежи, при этом глубина отбора образцов на датирование в этой почве была наименьшей в изучаемом ряду (таблица). В целом почвы залежей имели заметно больший  $^{14}\text{C}$ -возраст карбонатов по сравнению с почвами из-под леса. Карбонаты в почвах под коренным лесом в 4-м и 9-м кварталах имели очень близкие величины  $^{14}\text{C}$ -дат. Тогда как  $^{14}\text{C}$ -дата карбонатов почвы пашни почти в два раза превышала таковые из почв под коренным лесом и существенно больше возраста карбонатов залежных почв 9-го квартала. Отметим, что  $^{14}\text{C}$  даты карбонатов в залежных почвах все же ближе к величинам дат в лесу, а не на пашне. Это подтверждает уже высказанное выше предположение, что при переходе от пашни к залежи в почве начинают преобладать нисходящие потоки воды, а следовательно, выщелачивание, перекристаллизация и омоложение карбонатов; прекращается подтягивание «древних» карбонатов из почвообразующей породы. Результаты этих процессов вполне уже успели проявиться за 40 лет нахождения почв в залежном состоянии, т.е. имеют характерное время проявления – первые десятки лет.

**Радиоуглеродные даты карбонатных аккумуляций на верхней границе  
их появления в профилях изучаемых почв**  
[Radiocarbon dates of carbonate accumulations at the upper boundary  
of their occurrence in the profiles of the studied soils]

№ разреза [Profile number]	Глубина, см [Depth, cm]	$^{14}\text{C}$ -возраст, лет [ $^{14}\text{C}$ -age, years]
LnV5-13 (N 50,60916°; E 35,96770°)	120–125	7 146±100
LnV6-13 (N 50,60915°; E 35,96696°)	115–120	7 997±70
LnV8-13 (N 50,60946°; E 35,96612°)	102–104	8 419±70
LnV9-13 (N 50,63222°; E 35,97978°)	140–145	6 980±100
LnV10-13 (N 50,63273°; E 35,98198°)	135–140	11 763±150

### Заключение

Пахотные почвы отличаются от целинных (под коренным лесом) наличием специфической слоистой структуры в пахотном горизонте, его резким уплотнением и обогащением илистой фракцией, наличием четко выраженных скелетан в субэлювиальном горизонте и отсутствием железисто-гумусо-глинистых кутан в текстурном горизонте. Если следы деятельности землероев хорошо видны в гумусовом и субэлювиальном горизонтах целинной почвы, в пахотной почве деятельность крупных землероев и мезофауны перемещается глубже и становится заметной даже в нижней части горизон-

та ВСт. Снижение содержания органического углерода отмечено только в самой верхней части пахотного горизонта, что слабо отражается на запасах  $C_{\text{орг}}$ , учитывая увеличение плотности верхних горизонтов пахотной почвы. Карбонаты немного подтянуты в пахотной почве, запасы  $C_{\text{карб}}$  в слое 100–150 см в этой почве в два раза превышают таковые в целинной почве, что отражается на общих запасах  $C_{\text{карб}}$  в двухметровой толще, которые равны в сравниваемых почвах. При этом радиоуглеродный возраст карбонатов в пахотной почве почти в два раза выше, чем в целинном аналоге. Это указывает на существенно различные процессы, происходящие в карбонатном горизонте сравниваемых почв. Если в целинной почве происходит преимущественно инситное растворение и перекристаллизация карбонатов при нисходящих потоках влаги, то в пахотной отмечается преобладание или, по крайней мере, наличие восходящих потоков влаги, несущих «древние» карбонаты.

В залежных почвах происходит разуплотнение бывших пахотных горизонтов, постепенное накопление органического углерода в верхней части профиля, интенсифицируется выщелачивание карбонатов. И хотя запасы карбонатов больше в залежных почвах, чем под коренным лесом, уже заметны результаты процессов перекристаллизации и выщелачивания карбонатов, что установлено по омоложению их  $^{14}\text{C}$ -возраста. Это омоложение стало возможным благодаря поступающему с нисходящими почвенными растворами «молодому»  $\text{CO}_2$  из атмосферы и корней растений. Параметры карбонатного состояния залежных почв в лесостепной зоне зависят от характера постагрогенной сукцессии. Карбонатный профиль почвы луговой залежи закономерно демонстрирует несколько более «аридные» черты, чем почвы залежи под мелколесьем. Карбонаты подтягиваются к поверхности почвы наиболее близко на пашне, расположены ниже – под травянистой растительностью, а наиболее глубоко – под древесной.

### *Литература*

1. Козловский Ф.И., Чаплин В.А. Агродеградация черноземов // Степи Русской равнины: состояние, рационализация аграрного освоения. М. : Наука, 1994. С. 174–191.
2. Ерёмин Д.И. Залежь как средство восстановления содержания и запасов гумуса старопашотных черноземов лесостепной зоны Зауралья // Плодородие. 2014. № 1 (76). С. 24–26.
3. Русанов А.М., Тесля А.В., Саягфарова А.М. Восстановление гумусного состояния степных черноземов под многолетней залежью // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 132–134.
4. Саблина О.А. Гумусное состояние черноземов сельскохозяйственных угодий Южного Зауралья // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 11 (53). Часть 2. Ноябрь. С. 138–140. doi: [10.18454/IRJ.2016.53.228](https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.228)
5. Савин И.Ю., Чендев Ю.Г. Изменение во времени содержания гумуса в пахотных лесостепных почвах // Почвоведение. 1994. № 5. С. 88–92.
6. Шпедт А.А., Вергейчик П.В. Оценка скорости восстановления гумусного состояния почв Красноярского края в условиях залежи // Вестник АГАУ. 2014. № 6 (116). С. 48–52.

7. 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. Dev. 26 (3). PP. 272–283. doi: [10.1002/ldr.2205](https://doi.org/10.1002/ldr.2205)
8. Francaviglia R., Benedetti A., Doro L., Madrau S., Ledda L. Influence of land use on soil quality and stratification ratios under agro-silvo- pastoral Mediterranean management systems. // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014. Vol. 183. PP. 86–92. doi: [10.1016/j.agee.2013.10.026](https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.026)
9. 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](https://doi.org/10.7868/S0032180X13050079)
10. 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. Vol. 365. PP. 175–189. doi: [10.1016/j.quaint.2014.10.012](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.012)
11. 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*. Edited by Maren Oelbermann. Wageningen Academic Publishers. 2014. PP. 33–52. doi: [10.3920/978-90-8686-788-2\\_2](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2_2)
12. Kuznetsova A.M., Khokhlova O.S., Chendev Yu.G., Aleksandrovskii A.L. Evolution of the Carbonate State of Agrogenically Transformed Dark Gray Forest Soils in the Central Forest-Steppe // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43, № 13. PP. 1527–1534. doi: [10.1134/S1064229310130119](https://doi.org/10.1134/S1064229310130119)
13. Kalinina, O., Krause, S. E., Goryachkin, S. V., Karavaeva, N. A., Lyuri, D. I., Giani, L. Self-restoration of post-agrogenic chernozems of Russia: Soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools // *Geoderma*. 2011. Vol. 162, № 1. PP. 196–206. doi: [10.1016/j.geoderma.2011.02.005](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.005)
14. 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. non-terraced fields in arid lands (Lanzarote, Spain): An opportunity for restoration // *Acta Oecologica*. 2017. Vol. 85. PP. 77–84. doi: [10.1016/j.actao.2017.09.014](https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.014)
15. Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М. : Издательство ЛКИ, 2008. 692 с.
16. Путеводитель научных полевых экскурсий VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с зарубежным участием научной конференции «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» (Белгород, 15–22 августа 2016 г.) / под ред. Ю.Г. Чендева. Москва ; Белгород : ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2016. 122 с.
17. Военно-топографическое управление. Трехверстная военно-топографическая карта. М 1:126000. Ряд XXII, Лист 14, г. Харьковской и Курской. СПб., 1875.
18. Лопатин И.Д. Сельскохозяйственный районы Курской губернии. Курск, 1923. 120 с.
19. IUSS 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.
20. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 235 с.
21. Растворова О.Г. Физика почв (Практическое руководство). Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.
22. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв : учеб. пособие. СПб. : Изд-во СПб. ун-та, 1995. 264 с.
23. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.

24. Морозова Т.Д. Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. М. : Наука, 1981. 282 с.
25. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. Курск. 1996. 330 с.
26. 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.

*Поступила в редакцию 09.02.2018 г.; повторно 25.02.2018 г.;  
принята 10.03.2018 г.; опубликована 30.03.2018 г.*

**Авторский коллектив:**

**Булышева Анна Михайловна** – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (199178, г. Санкт Петербург, Россия, 16-я линия В.О., д. 29).

E-mail: [anny\\_by@mail.ru](mailto:anny_by@mail.ru)

**Хохлова Ольга Сергеевна** – д-р геогр. наук, в.н.с. группы генезиса и эволюции почв Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (142290, г. Пушкино, Московская обл., Россия, ул. Институтская, 2).

E-mail: [olga\\_004@rambler.ru](mailto:olga_004@rambler.ru)

**Русаков Алексей Валентинович** – д-р геогр. наук, проф., зав. кафедрой почвоведения и экологии почв Санкт-Петербургского государственного университета (199178, г. Санкт Петербург, Россия, 16-я линия В.О., д. 29).

E-mail: [a.rusakov@spbu.ru](mailto:a.rusakov@spbu.ru)

**Мякшина Татьяна Николаевна** – канд. биол. наук, с.н.с. лаборатории моделирования экосистем Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (142290, г. Пушкино, Московская обл., Россия, ул. Институтская, 2).

E-mail: [mtn59@mail.ru](mailto:mtn59@mail.ru)

**For citation:** Bulysheva AM, Khokhlova OS, Rusakov AV, Myakshina TN. The change in carbonate state of arable and abandoned soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Nature Reserve “Les-na-Vorskla”). *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = *Tomsk State University Journal of Biology*. 2018;41:6-26. doi: 10.17223/19988591/41/1 In Russian, English Summary

**Anna M. Bulysheva<sup>1</sup>, Olga S. Khokhlova<sup>2</sup>, Aleksey V. Rusakov<sup>1</sup>, Tatyana N. Myakshina<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russian Federation

### **The change in carbonate state of arable and abandoned soils in the south of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland (Nature Reserve “Les-na-Vorskla”)**

With agricultural use of soils, their functioning changes. This causes a transformation of their composition and properties. Dehumification, compaction, acidification (decalcification), carbonatization and alkalinization can occur in soils (Phaeozems and Chernozems) of the southern part of the forest-steppe zone of the Central Russian Upland in the process of agricultural use. Pedogenic carbon in humus and carbonates undergoes changes, too. The aim of the research was to study changes in the properties of arable and abandoned soils in comparison with virgin Phaeozems of the forest-steppe zone. Particular attention was paid to their carbonate state. The objects of the study were the soils of the “Belogorye” reserve at the “Les-na-Vorskla” site.

We studied two key sites. Both sites have similar geomorphological and lithological conditions. The first site includes the following soil profiles: LnV5-13, LnV6-13 and LnV8-13. The second site includes LnV9-13 and LnV10-13 (See Fig. 1).



We studied soils of 40-year-old abandoned lands (at the sites with forest and meadow renewal), arable and virgin soils. During field work, we carried out morphological description of the investigated soil profiles and determined the classification position according to the "Classification and diagnostics of soils in Russia". The bulk density was determined by the ring method in triplicate. The grain size composition of the profiles was determined by the pipette method with sodium pyrophosphate dispersion, the soil organic content was determined by the Tyurin method of wet combustion and the carbonate content calculated manometrically. We estimated the stocks of these substances. We collected undisturbed soil samples from the main soil horizons of all the studied profiles and prepared thin sections. Micromorphological analysis of the thin sections was carried out and radiocarbon dating of carbonates from the upper depth of their occurrence in the studied profiles was carried out.

We showed that the arable soil differs from the virgin one in morphology. The arable soil has a specific layered microstructure in the plowed horizon. Clearly expressed grains of quartz appeared in the sub-eluvial horizon. In the texture horizon of the arable soil there are no ferruginous-humus-clay films that were found in the virgin soil (See Figures). The traces of activity of large animals and soil mesofauna shifted from humus and sub-eluvial horizons in the virgin soil into the textured horizons up to the BCt horizon in the arable soil. The bulk density of the plowed horizon in the abandoned and arable soils is higher than that of the humus horizon of the virgin soil. The bulk density of the subsurface horizon in the abandoned soils under meadow still shows increased values. The bulk density of the subsurface horizon of the abandoned soil under forest was almost equal to that of the virgin soil (See Figures). In the arable soil, the bulk density of the texture horizon increases in comparison with the virgin soil. The content of clay particles of the deep layers in the arable soil shows increased values as compared with the virgin soil. The enrichment of clay fraction is also observed in the arable horizons of the abandoned and arable soils in comparison with the virgin one. The content of organic carbon in the former arable horizon and its stocks in the 0-50 cm and 50-100 cm layers of the abandoned soils is lower than in the virgin soil. On the other hand, in the arable soil the content of organic carbon and its stocks in the 0-50 cm layer is higher than in the virgin soil, as noted previously by other researchers. The arable soil differs from the virgin one by a lesser depth of occurrence of carbonates in the profile and their substantially higher  $^{14}\text{C}$ -age (See Table). For 40 years in the abandoned state, the carbonates are gradually leached out. The stocks of carbonates are still higher than in the virgin soil, but the equalization of the radiocarbon age of carbonates in them clearly indicates the processes of carbonate re-crystallization and leaching. The main role in changing arable Phaeozems in the process of their abandonment is played by vegetation, which affects the redistribution of moisture, the accumulation of organic and carbonate carbon, and the bulk density and processes of transformation of the soil structure of the former arable horizons.

*The paper contains 5 Figures, 1 Table and 26 References.*

**Keywords:** abandoned soils; arable soils; carbonate state; forest-steppe zone; radiocarbon dating of carbonates; Phaeozems.

**Funding:** This work was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research No 16-05-00669a.

## References

1. Kozlovskiy FI, Chaplin VA. Agrodegradatsiya chernozemov [Agrodegradation of chernozems]. In: *Stepi Russkoy ravniny: sostoyanie, ratsionalizatsiya agrarnogo osvoeniya* [Steppes of the

- Russian Plain: State and rationalization of agricultural development]. Zonn S, Chernyshev E and Runova T, editors. Moscow: Nauka Publ.; 1994. pp. 174-191. In Russian
2. Eremin DI. Fallowing as a means for restoring the content and reserves of humus in old arable chernozems of the transural forest-steppe zone. *Plodorodie*. 2014;1(76):24-26. In Russian
  3. Rusanov AM, Teslya AV, Sayagfarova AM. Vosstanovlenie gumusnogo sostoyaniya stepnykh chernozemov pod mnogoletney zalezhyu [Humus recovery status under steppe chernozem long-term deposits]. *Vestnik of the Orenburg State University*. 2011;12(131):132-134. In Russian
  4. Sablina OA. Humus state of soil in farmland of south Zauralye. *International Research Journal*. 2016;11(53, Pt. 2):138-140. doi: [10.18454/IRJ.2016.53.228](https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.228)
  5. Savin IYu, Chendev YuG. Izmenenie vo vremeni sodержaniya gumusa v pakhotnykh lesostepnykh pochvakh [A change in the time of humus presence in arable forest-steppe soils]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 1994;5:88-92. In Russian
  6. Spedt AA, Vergeychik PV. Evaluation of restoration rate of humus status of soils of the idle lands in the Krasnoyarsk region. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;6(116):48-52. In Russian
  7. Bruun, TB, Elberling, B, de Neergaard, A, Magid, J. Organic carbon dynamics in different soil types after conversion of forest to agriculture. *Land Degradation & Development*. 2015;26(3):272-283. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2205>
  8. Francaviglia R, Benedetti A, Doro L, Madrau S, Ledda L. Influence of land use on soil quality and stratification ratios under agro-silvo-pastoral Mediterranean management systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2014;183:86-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.026>
  9. Khokhlova OS, Myakshina TN, Chendev YG, Shishkov VA. The pool of pedogenic carbon in the soils of different types and durations of use as croplands in the forest-steppe of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*. 2013;46:530-540. doi: [10.1134/S1064229313050062](https://doi.org/10.1134/S1064229313050062)
  10. Khokhlova OS, Chendev YuG, Myakshina TN, Alexandrovskiy AL, Khokhlov AA. 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;365:175-189. doi: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.10.012>
  11. Khokhlova OS, Chendev YuG, Myakshina TN. Change in pedogenic carbon stocks under different types and duration of agricultural management practices in the central Russian forest steppe. In: *Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation*. Oelbermann M, editor. Wageningen: Academic Publishers; 2014. pp. 33-52. doi: [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2\\_2](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-788-2_2)
  12. Kuznetsova AM, Khokhlova OS, Chendev YuG, Aleksandrovskii AL. Evolution of the carbonate state of agrogenically transformed dark gray forest soils in the central forest-steppe. *Eurasian Soil Science*. 2010;43;13:1527-1534. doi: [10.1134/S1064229310130119](https://doi.org/10.1134/S1064229310130119)
  13. Kalinina O, Krause SE, Goryachkin SV, Karavaeva NA, Lyuri DI, Giani L. Self-restoration of post-agrogenic chernozems of Russia: Soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools. *Geoderma*. 2011;162;1:196-206. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.005>
  14. Arevalo JR, Fernandez-Lugo S, Reyes-Betancort JA, Tejedor M, Jimenez C, Diaz FJ. Relationships between soil parameters and vegetation in abandoned terrace fields vs. non-terraced fields in arid lands (Lanzarote, Spain): An opportunity for restoration. *Acta Oecologica*. 2017;85:77-84. doi: <https://doi.org/10.1016/j.actao.2017.09.014>
  15. *Soil Memory: Soil as a Memory of Biosphere-Geosphere-Anthroposphere Interactions*. Targulian VO and Goryachkin SV, editors. Moscow: LKI Publishers; 2008. 692 p. In Russian, English Summary
  16. *Putevoditel' nauchnykh polevykh ekskursiy VII s"ezda Obshchestva pochvovedov im.*

- V.V. Dokuchaeva i Vserossiyskoy s zarubezhnym uchastiem nauchnoy konferentsii «Pochvovedenie-prodovol'stvennoy i ekologicheskoy bezopasnosti strany» [Soil Science-food and ecological security of the country. Scientific field trip guide of the VII Congress of VV Dokuchaev Soil Science Society and the All-Russian Sci. Conf. with Int. Part. (Belgorod, 15-22 August 2016)]. Chendev YuG, editor. Moscow - Belgorod: Belgorod State University Publ.; 2016. 122 p. In Russian
17. *Military topographic management*. Three-verst military topographic map. Scale 1: 126000. Series XXII, Sheet 14, Kharkov and Kursk. St. Petersburg, 1875. In Russian
  18. Lopatin ID. Sel'skokhozyaystvennyy rayony Kurskoy gubernii [Agricultural areas of Kursk province]. Kursk: Kurskiy Gubplan Publ.; 1923. 120 p. In Russian
  19. *IUSS 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. [Electronic resource]. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i3794e.pdf> (assessed 29.12.2017)
  20. Shishov LL, Tonkonogov VD, Lebedeva II, Gerasimova MI. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ.; 2004. 342 p. In Russian
  21. Rastvorova OG. Fizika pochv (Prakticheskoe rukovodstvo) [Soil Physics (Practical Guide)]. Leningrad: Leningrad State University Publ.; 1983. 196 p. In Russian
  22. Rastvorova OG, Andreev DP, Gagarina EI, Kasatkina GA, Fedorova NN. Khimicheskiy analiz pochv: uchebnoe posobie [Chemical analysis of soils. Tutorial]. St. Petersburg: St. Petersburg State University Publ.; 1995. 264 p. In Russian
  23. Vorob'eva LA. Khimicheskiy analiz pochv [Chemical analysis of soils]. Moscow: Moscow State University Publ.; 1998. 272 p. In Russian
  24. Morozova TD. Razvitie pochvennogo pokrova Evropy v pozdnem pleystotsene [Development of the soil cover of Europe in the late Pleistocene]. Moscow: Nauka Publ.; 1981. 282 p. In Russian
  25. *Agroekologicheskoe sostoyanie chernozemov TsChO* [Agroecological state of chernozems in Central Chernozem Region]. Shcherbakova AP and Vaseneva II, editors. Kursk. 1996. 330 p. In Russian
  26. Chendev YG, Novykh LL, Aleksandrovskii AL, Dolgikh AV, Khokhlova OS, Smirnova LG. Anthropogenic evolution of dark gray forest-steppe soils in the southern part of the Central Russian Upland. *Eurasian Soil Science*. 2011;44:1-12. doi [10.1134/S1064229311010030](https://doi.org/10.1134/S1064229311010030)

Received 09 February 2018; Revised 25 February 2018;

Accepted 10 March 2018; Published 30 March 2018

#### Authors info:

**Bulysheva Anna M**, PhD Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Saint Petersburg State University, 29 16-Ya Liniya V.O., Saint Petersburg 199178, Russian Federation.

E-mail: [anny\\_by@mail.ru](mailto:anny_by@mail.ru)

**Khokhlova Olga S**, Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher, Group of Genesis and Evolution of Soils, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya Str., Pushchino 142290, Russian Federation.

E-mail: [olga\\_004@rambler.ru](mailto:olga_004@rambler.ru)

**Rusakov Alexey V**, Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of the Department of Soil Science and Soil Ecology, Saint Petersburg State University, 29 16-Ya Liniya V.O., Saint Petersburg 199178, Russian Federation.

E-mail: [a.rusakov@spbu.ru](mailto:a.rusakov@spbu.ru)

**Myakshina Tatyana N**, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Ecosystem Modeling Laboratory, Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, 2 Institutskaya Str., Pushchino 142290, Russian Federation.

E-mail: [mtn59@mail.ru](mailto:mtn59@mail.ru)