

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

РАННИЕ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ ЧЕРНОЗЕМОВ ПОД ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2022 г. Ю. Г. Чендев^{а, *}, А. Н. Геннадиев^б, М. А. Смирнова^{б, с}, М. П. Лебедева^с,
О. О. Плотникова^с, Е. А. Заздравных^д, А. С. Шаповалов^е

^аБелгородский государственный университет, ул. Победы, 85, Белгород, 308015 Россия

^бМГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119999 Россия

^сПочвенный институт им. В.В. Докучаева, Пыжевский пер., 7, стр. 2, Москва 119017 Россия

^дЦентр агрохимической службы “Белгородский”, ул. Щорса, 8, Белгород, 308027 Россия

^еГосударственный заповедник “Белогорье”, пер. Монастырский, 3, п. Борисовка,
Белгородская область, 309342 Россия

*e-mail: sciences@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2021 г.

После доработки 03.12.2021 г.

Принята к публикации 04.12.2021 г.

Изучены автоморфные лугово-степные черноземы (Luvic and Naplic Chernozems (Siltic/Clayic, Pachic)) лесостепи южной части Среднерусской возвышенности (Белгородская область), в разное время (от 25 до 75 лет назад) покрытые широколиственно-лесной растительностью. Исследования проводили на участках разрастания на залежном угодье старовозрастной полезащитной кленово-ясеневой лесополосы и естественного дубового леса в сторону целинной луговой степи. За 60–75-летний период произрастания на черноземах лесной растительности в почвенных профилях на 12–25 см понижалась глубина залегания карбонатов. Средние темпы выщелачивания углерода карбонатов из двухметровой толщи почв составили 5 т/га в 10 лет. На 7–13 см возросла мощность горизонтов А1. На протяжении первых 25–30 лет формирования черноземов под лесной растительностью в их профилях наблюдалось уменьшение запасов органического углерода, а в последующие десятилетия его запасы увеличивались. Органическое вещество верхней части профилей (0–40 см) направленно обогащалось фульвокислотами, тогда как в средней части профилей (40–80 см) наблюдалась противоположная тенденция роста его гуматности. Увеличение числа пылеватых заполнений пор (инфиллингов) в изучаемых хронорядах от фоновых черноземов к черноземам под 60–75-летними древостоями, появление глинисто-гумусовых кутан в почвах под лесной растительностью свидетельствуют о повышении степени подвижности тонкодисперсного вещества в черноземах, функционирующих под древесной растительностью. Эволюционная трансформация почв характеризовалась направленностью и стадийностью изменений во времени. Направленные изменения были обусловлены сменами типов растительности с травянистой (лугово-степной) на лесную и вызванными этим сменами гидротермических режимов почв. Стадийность изменений почв могла определяться изменением во времени характеристик растущих древостоев, а также обусловленных этими изменениями почвенных режимов в меняющихся микроклиматических обстановках.

Ключевые слова: почвенный углерод, лесополосы, микроморфология почв, хроноряд, черноземы выщелоченные и типичные (Luvic Chernozems, Naplic Chernozems (Siltic/Clayic, Pachic))

DOI: 10.31857/S0032180X22040062

ВВЕДЕНИЕ

Проблема взаимоотношения между лесом и степью, почвами лесного генезиса и черноземами имеет более чем 120-летнюю историю. Известны гипотезы о природном надвигании леса на степь [16, 17, 24, 25], о “кочевании” леса по степи [12, 13], об антропогенном надвигании степи на лес [23], о самобытности и древности большей части ареала лесов и степей на территории лесостепной зоны [6, 20]. В свете новых фактов, полученных

благодаря результатам археологических исследований и развитию методов палеогеографических реконструкций, в XX в. постепенно утверждалась идея о климатогенной природе формирования островного характера лесостепи Восточно-Европейской равнины. Главным фактором формирования лесостепных ландшафтов и почв современного (естественного) облика явилось похолодание и увлажнение климата в субатлантическом периоде голоцена, что обусловило позднеголоце-

новое расширение к югу ареала лесной растительности, а также выход лесов из понижений эрозивной сети (из балок и речных террас) на водораздельные поверхности, в результате чего на занятых лесом участках (а ранее степных) произошла трансформация черноземов в серые лесные почвы [1, 2, 7, 9]. Современные исследования подтверждают указанный тренд изменения в позднем голоцене климата, растительности и почв [3, 4, 26, 27]. Как следует из результатов почвенно-археологических исследований, проводившихся с использованием метода почвенных хронорядов, длительность трансформации черноземов в тип серых лесных почв в результате позднеголоценового надвигания лесов на степи варьировала от 1000 до 2000 лет и более в зависимости от литологического состава почвообразующих субстратов – на песках и супесях данный процесс протекал быстрее, чем на суглинках и глинах [26]. По другим сведениям, черноземы, сформированные на тяжелых лёссовидных суглинках, сохраняют основной комплекс своих свойств на протяжении 2000 лет нахождения под широколиственно-лесной растительностью [19]. На основании почвенно-археологических исследований, проводившихся в разных регионах лесостепи, установлено, что в более влажных и прохладных условиях северной части лесостепной зоны эволюционная трансформация черноземов в серые лесные почвы происходила более интенсивно, чем на юге лесостепи [27]. Недавние исследования показали, что надвигание лесов на степи не являлось однонаправленным во времени процессом; в позднем голоцене отмечалось несколько продолжительных фаз возвратной аридизации климата, в течение которых наблюдались остепнение занятых ранее лесом территорий и проградация почв в черноземы [4]. Все полученные результаты основаны на сравнительном изучении в хронорядах погребенных и дневных почв, далеко отстоящих друг от друга на временной шкале. Поэтому особенности долговременного (многовекового) преобразования черноземов в серые лесные почвы можно считать хорошо изученными [2–4, 27].

До последнего времени практически отсутствовали исследования относительно кратковременных воздействий лесной растительности на черноземы, которые можно было бы отождествить с начальными стадиями их изменения под лесом. Такие исследования имеют важное фундаментальное и прикладное значение. Их фундаментальный характер определяется потребностями развития теории эволюции почв и почвообразовательного процесса. Прикладной аспект таких исследований заключается в необходимости получения новых сведений о темпах изменения свойств и плодородия черноземов под действием фитогенного фактора, что, в частности, актуально для агролесомелиорации черноземных почв. Кроме того, на

территории лесостепи Среднерусской возвышенности происходит длительное и устойчивое естественное разрастание лесов и искусственных лесонасаждений в сторону сенокосно-пастбищных угодий с черноземными почвами на склонах балочных систем и речных долин [33]. Это наступление и освоение на больших площадях черноземов лесной растительностью требует почвенно-экологического мониторинга.

Цель работы – изучение и анализ особенностей трансформации автоморфных лугово-степных черноземов на протяжении первых десятилетий их нахождения под лесной растительностью. Для достижения цели подобран комплекс методов исследования, обоснован выбор ключевых участков и мест проведения полевых работ, выполнены лабораторные исследования образцов почв и камеральная обработка полученных материалов, заключающаяся в систематизации результатов исследований, их анализе с использованием приемов картографирования, графической и статистической обработки данных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для изучения и сравнительного анализа черноземов, находящихся на разных стадиях развития под древесной растительностью, выбрали участки, на которых лесная растительность заселила лугово-степные черноземы в различное время. При этом рядом с ними должны были присутствовать фоновые (не измененные лесом) черноземные почвы. Такой метод сопряженного изучения фоновых почв и почв, в различное время покрытых лесной растительностью, ближе всего соответствует методу почвенных хронорядов [10, 14], в данном случае – почвенных фитохронорядов. Пространственно-временные ряды изменения почвенных свойств, обусловленных сменой растительного покрова, описывались ранее, в частности, в работе Иенни [32]. В данном исследовании поиск подходящих фитохронорядов черноземов был нацелен на компактное расположение участков с фоновыми черноземами и их аналогами под разновозрастной лесной растительностью в условиях максимального сходства рельефа и почвообразующих пород. Возрастные рубежи внутри почвенных хронорядов были установлены путем анализа разновременных крупномасштабных карт и материалов дистанционного зондирования Земли (историко-картографический метод исследования и метод повторных наблюдений), а также путем подсчета годичных колец древесных кернов, высверливаемых в 4-кратной повторности приростными буравами Haglof на участках с лесной растительностью разного возраста. Выявлены древо-стои возрастом 25, 30, 60 и 75 лет.

В полевых условиях почвы изучали в глубоких и широких ($1.8 \times 1 \times 2$ м) разрезах. В них произво-

дили описание почвенных профилей и определяли морфометрические показатели признаков (мощность генетических горизонтов и глубину вскипания), вели послойный отбор почвенных проб через каждые 20 см до глубины 2 м для выполнения лабораторных анализов. Послойный отбор проб был удобен для проводившегося в дальнейшем сравнительного анализа почв по идентичным глубинам и слоям, включая послойные запасы значений почвенных признаков. Плотность почв определяли в пробах, отобранных с помощью стальных колец известного объема в 3-кратной повторности с разных глубин по всему почвенному профилю. Гранулометрический состав почв определяли методом пипетки с предварительной диспергацией пробы пирофосфатом натрия (ГОСТ 12536-2014).

Содержание органического углерода почв определяли по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91). Актуальную кислотность исследовали потенциометрическим методом (ГОСТ 26423-85). Углерод карбонатов – хроматографически через 1 ч после начала реакции почвенной навески с 10%-ным раствором HCl, прилитым в избытке в сосуды, плотно закрытые резиновыми пробками. Групповой состав гумуса почв определяли послойно (через 20 см) до глубины 1 м в каждом изученном почвенном профиле по ускоренной методике Кононовой–Бельчиковой [18]. Все анализы почв выполняли в сертифицированной лаборатории ФГБУ “ЦАС “Белгородский”.

Для изучения микроморфологических особенностей строения почвенных горизонтов и идентификации элементарных почвообразовательных процессов на участках исследования фитохронорядов черноземов в полевых условиях отбирали почвенные монолиты. Изготовление шлифов и последующие микроморфологические исследования проводили в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Микроструктуру, особенности органического вещества, состав тонкодисперсного вещества, новообразования и элементарное микростроение описывали с использованием поляризационного микроскопа Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26 и программным обеспечением Stream Basic.¹

Методы математической статистики использовали для расчета мощности почвенных горизонтов и глубины вскипания по результатам многократных (в каждом разрезе $n = 20$) замеров глубин вдоль боковых и центральных стенок почвенных разрезов. Определяли среднее арифметическое, ошибку

средней, стандартное отклонение, коэффициент вариации. Статистические расчеты выполняли в программном комплексе Statistica.

Послойные запасы почвенных компонентов (углерод органического вещества ($C_{\text{орг}}$), углерод карбонатов ($C_{\text{карб}}$), ила) рассчитывали на основе данных об их содержании с учетом плотности каждого слоя.

Таксономическую принадлежность почв определяли в соответствии с традиционной отечественной классификацией почв [15] (в том числе для сравнения с приводимыми из других источников примерами), а также по классификации WRB [31].

Объектами исследований были фитохроноряды черноземов двух ключевых участков, расположенных в центре лесостепной зоны в южной части Среднерусской возвышенности. Первый участок находился на юге Губкинского района Белгородской области в 200 м к востоку от окраины п. Степное (участок “Степное”) и включал исследованную лесополосу и сопряженную с ней залежь. Второй участок был приурочен к территории “Ямской Степи” – одного из кластерных участков заповедника “Белогорье” в северной части Губкинского района, в 40 км от первого участка (участок “Заповедный”) (рис. 1). Участки находятся на водораздельных поверхностях с крутизной склонов от 0° до 1.5°.

На участке “Степное” объектом исследования послужила многорядная кленово-ясеневая лесополоса шириной 30 м, посаженная 60 лет назад на краю старозалежного лугово-степного угодья. Распашка на залежном участке велась ранее середины 1950-х гг. В лесополосе клен ясенелистный (*Acer negundo*) и ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*) произрастают в чередующихся рядах 5-рядного лесонасаждения. В подросте встречены редкие экземпляры дуба черешчатого (*Quercus robur*) и ясеня (*Fraxinus excelsior*). Подлесок местами представлен бересклетом бородавчатым (*Euonymus verrucosus*), проективное покрытие травами поверхности почвы от 0 до 10% (фрагментарно произрастают мятлик лесной (*Poa nemoralis*) и крапива двудомная (*Urtica dioica*)). Лесополоса ориентирована с юга на север, позиция в рельефе – водораздельная поверхность с очень небольшим уклоном к западу.

При сравнении современного космического снимка с топографической картой 1981 г. выявили зоны прироста лесополосы в сторону залежи (рис. 1а), что использовали для изучения почвенного хроноряда, представленного фоновой почвой на старой залежи (разрез 1) и ее аналогами под 25- и 60-летними лесными насаждениями (разрезы 2 и 3 соответственно). Расстояние между точками исследования составляло 30–35 м (крайние разрезы хроноряда удалены друг от друга на 63 м). Материнские породы представлены буровато-палевыми тяжелыми лёссовидными карбо-

¹ Микроморфологические исследования выполнены с привлечением оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” ФИЦ ФГБНУ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”.

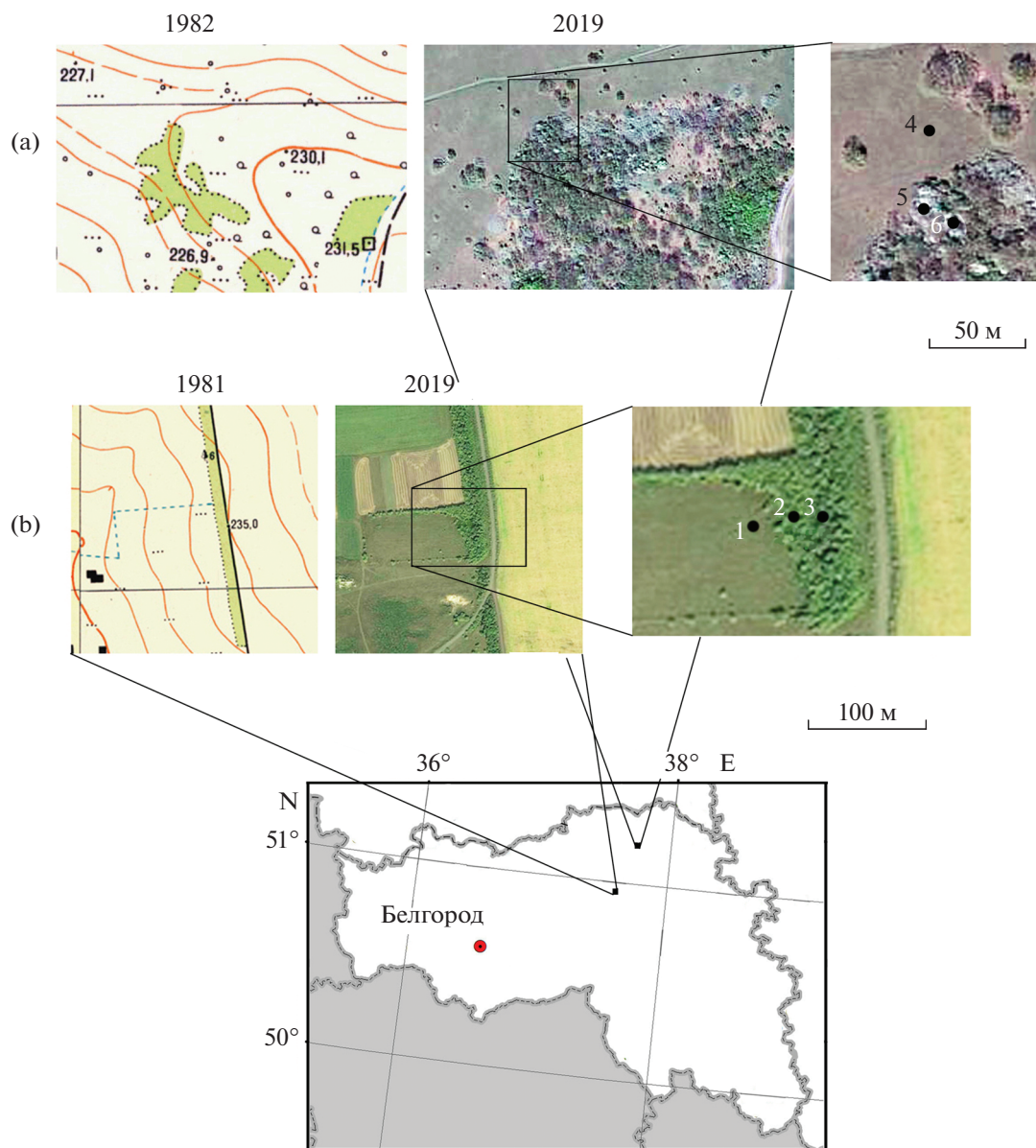


Рис. 1. Схема местоположения участков исследования: а – “Заповедный”; б – “Степное”. На схемах разрастание лесной растительности определяется при сравнении современных спутниковых снимков (2019 г.) и крупномасштабных топографических карт 1981–1982 г. Разрезы изученных фитохронорядов черноземов отмечены номерами, соответствующими их описанию в тексте.

натными суглинками, подстилаемыми с глубины 1.2–1.4 м легкосуглинистыми и супесчаными слоистыми породами древнеаллювиального генезиса. Фоновая почва относится к чернозему выщелоченному среднемощному среднегумусному тяжелосуглинистому с содержанием органического углерода в слое 0–20 см 3.77% и его запасами в метровой толще 24.8 кг/м².

На участке “Степное” изученный хроноряд представлен следующими почвенными разностями: фоновая почва – чернозем выщелочен-

ный среднемощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяжелом суглинке, подстилаемом опесчаненным суглинком (Luvic Chernozem (Clayic, Pachic), разрез 1); почва под 25-летним древесным насаждением – чернозем выщелоченный среднемощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяжелом суглинке, подстилаемом опесчаненными суглинками и супесями (Luvic Chernozem (Clayic, Pachic), разрез 2); почва под 60-летним древесным насаждением – чернозем сильновыщелоченный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяже-

лом суглинке, подстилаемом опесчаненным суглинком (Luvic Chernozem (Clayic, Pachic), разрез 3).

На участке “Заповедный” в пределах абсолютного ровного водораздела заповедной Ямской степи фитохроноряд черноземов изучен на контакте целинной злаково-разнотравной степи и лесного урочища “Котеневские верхи”. Старовозрастный (75-летний) участок леса представлен дубом черешчатым (*Quercus robur*) с примесью дикой груши (*Pyrus communis*). Диаметр стволов составляет 35–50 см, а высота деревьев 18–20 м. В подросте встречены клен остролистый (*Acer platanoides*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), а в кустарниковом ярусе – бересклет (*Euonymus*). На основе сравнения топографической карты 1982 г. масштаба 1 : 10000 и современного спутникового снимка (рис. 1b) выявлено, что после 1982 г. окраина современного лесного массива выдвинулась в сторону луговой степи на расстояние до 30–50 м. На участке молодой (30-летней) лесной поросли встречаются ясень обыкновенный и дуб черешчатый, диаметр стволов 10–15 см, высота деревьев 7–10 м. Кустарниковый ярус представлен редкими экземплярами бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosus*). Граница леса и луговой степи маркируется густыми зарослями терна (*Prunus spinosa*) в виде полосы шириной 3–6 м.

Почвообразующими породами на участке изученного хроноряда являются палевые карбонатные лёссовидные суглинки, подстилаемые на глубине 1.2–1.5 м древнеаллювиальными песками и супесями. Расстояние между соседними почвенными разрезами (разрез 4 фоновой почвы, разрез 5 под лесом, разрез 6 под лесом) не превышало 35 м при удалении крайних разрезов друг от друга на расстояние не более 70 м. Фоновая почва, изученная в разрезе 4, содержит 4.61% $C_{орг}$ в слое 0–20 см и характеризуется его запасами в метровой толще, равными 34.4 кг/м².

На участке “Заповедный” фоновая почва идентифицирована как чернозем типичный средне-мощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяжелом суглинке, подстилаемом опесчаненным суглинком (Haplic Chernozem (Siltic, Pachic), разрез 4), почва под 30-летним древостоем – чернозем выщелоченный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяжелом суглинке, подстилаемом опесчаненным суглинком (Luvic Chernozem (Siltic, Pachic), разрез 5), почва под 75-летним лесом – чернозем выщелоченный мощный тяжелосуглинистый на карбонатном тяжелом суглинке, подстилаемом опесчаненным суглинком (Luvic Chernozem (Siltic, Pachic), разрез 6). Подстилка почвообразующей породы опесчаненными суглинками определяется по постепенному увеличению доли песчаной фракции в нижней части почвенных профилей, причем верхний уровень

определяемой опесчаненности характеризуется слабоволнистой границей без какого-либо пространственного тренда изменений в диапазоне глубин 100–120 см.

Несмотря на близость возраста древостоев, признаков фоновых почв и почвообразующих пород на участках двух изученных почвенных фитохронорядов, микроклиматические условия, складывавшиеся на этих участках, не вполне идентичны. В отличие от участка “Степное” с лесополосой на открытой территории, на участке “Заповедный” черноземы уже в первые годы формирования почвенного фитохроноряда могли испытывать влияние теневого эффекта рядом расположенного старовозрастного леса. Отличия в микроклиматических условиях на территории двух исследованных почвенных фитохронорядов могли повлиять на разную интенсивность почвообразовательных процессов, обусловленных поселением лесной растительности на черноземах.

Специфичность исследования определялась сложностью поиска репрезентативных объектов (автоморфных участков территории с разрастающимися лесными насаждениями в сторону задернованных дикорастущими травами черноземных почв) и существующей некоторой условностью результатов применения метода почвенных хронорядов, связанной с пространственной вариабельностью почвенных свойств.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические и микроморфологические свойства. Результаты замеров мощности почвенных горизонтов и глубины вскипания представлены в табл. 1. Общая особенность двух участков – увеличение глубины вскипания почвы от 10%-ной HCl с увеличением возраста лесных насаждений, рост мощности гумусовых горизонтов и гумусированной части профилей (суммы горизонтов A1 и A1B на участке “Заповедный”, а на участке “Степное” – A1, A1B, BA1). При сравнении крайних членов почвенных хронорядов (фоновых почв и почв длительного пребывания под лесной растительностью) наиболее выразительные отличия установлены для таких характеристик, как мощность гумусовых горизонтов и глубина вскипания (табл. 1).

Кроме того, в морфометрических характеристиках почв изученных хронорядов установлены различия по следующим морфологическим признакам. Уже на начальной стадии развития под молодыми (25–30-летними) лесными насаждениями исходно однородный горизонт A1 подразделяется на два подгоризонта: A1^I и A1^{II}. Эти подгоризонты различаются по структуре (верхний комковато-зернистый, а нижний – зернисто-комковатый с элементами угловатости) и

Таблица 1. Показатели мощности генетических горизонтов и глубины вскипания фоновых черноземов и их аналогов под разновозрастными лесонасаждениями (для каждого разреза $n = 20$), см

Почва хроноряда	Горизонт	<i>Lim</i>	$X \pm \delta_X$	δ	<i>V</i> , %
Участок “Степное”					
Фоновый чернозем, разрез 1	A1	29–36	32.4 ± 0.5	2.37	7.3
	A1B + BA1	28–35	31.6 ± 0.5	2.32	7.3
	A1 + A1B + BA1	60–68	64.0 ± 0.6	2.83	4.4
	B	23–38	28.9 ± 1.3	5.80	20.1
	BCк	22–44	32.2 ± 1.8	7.89	24.5
	Вскипание	85–97	91.3 ± 1.0	4.27	4.7
Чернозем под 25-летним лесонасаждением, разрез 2	A1	39–49	43.3 ± 0.6	2.87	6.6
	A1B + BA1	28–40	33.2 ± 0.9	4.08	12.3
	A1 + A1B + BA1	70–84	76.5 ± 0.9	4.09	5.3
	B	10–20	15.6 ± 0.8	3.56	22.8
	BCк	36–49	39.5 ± 0.8	3.63	9.2
	Вскипание	82–96	86.7 ± 1.0	4.55	5.2
Чернозем под 60-летним лесонасаждением, разрез 3	A1	38–52	44.7 ± 1.1	4.97	11.1
	A1B + BA1	28–43	37.3 ± 0.9	4.22	11.3
	A1 + A1B + BA1	74–89	82.0 ± 1.0	4.52	5.5
	B	13–25	19.4 ± 0.9	4.00	20.6
	BCк	20–36	30.1 ± 1.3	5.92	19.7
	Вскипание	109–127	115.9 ± 1.2	5.43	4.7
Участок “Заповедный”					
Фоновый чернозем, разрез 4	A1	35–50	42.8 ± 1.2	5.45	12.7
	A1B	11–42	29.6 ± 1.8	7.84	26.5
	A1 + A1B	57–86	71.8 ± 1.5	6.91	9.6
	Bк	22–51	31.2 ± 1.9	8.38	26.9
	BCк	13–45	28.6 ± 2.2	9.99	34.9
	Вскипание	68–88	80.1 ± 1.1	4.96	6.2
Чернозем под 30-летним лесонасаждением, разрез 5	A1	44–61	52.8 ± 1.1	4.76	9.0
	A1B	15–36	23.1 ± 1.0	4.38	19.0
	A1 + A1B	70–82	75.9 ± 0.8	3.54	4.7
	B	13–26	19.6 ± 0.8	3.59	18.3
	BCк	15–27	20.9 ± 0.8	3.50	16.7
	Вскипание	83–97	91.3 ± 0.8	3.63	4.0
Чернозем под 75-летним лесонасаждением, разрез 6	A1	43–58	49.6 ± 0.9	3.98	8.0
	A1B	16–31	24.0 ± 0.9	4.09	17.0
	A1 + A1B	65–84	73.6 ± 1.0	4.30	5.8
	B	14–46	30.4 ± 1.8	8.05	26.5
	BCк	12–34	22.1 ± 1.5	6.82	30.9
	Вскипание	88–95	91.6 ± 0.6	2.58	2.8

плотности (верхний становится рыхлым из-за густого распространения в нем мелких корешков трав и особенно деревьев, а нижний остается уплотненным).

В верхней и средней частях профилей черноземов под лесным типом растительности появляются признаки подвижности тонкодисперсного гумусово-глинистого вещества, отсутствующие в фоновых почвах, в форме гляцевых пленок ил-

лювирирования на поверхности агрегатов в горизонтах A1B, BA1 и B (разрезы 3 и 6 черноземов под старовозрастными древостоями на участках “Степное” и “Заповедный”).

Карбонатные новообразования в фоновых почвах представлены белесыми прожилками псевдомицелия, небольшими пятнами плесени (горизонты Bк, BCк) и единичными журавчиками (в горизонтах BCк), тогда как в почвах под лесной

растительностью в нижней части горизонтов Вк и полностью в горизонтах ВСк псевдомицелий начинает замещаться визуально ярко выраженными белесыми трубочками карбонатов толщиной до 1–1.5 мм. Под более старовозрастными лесонасаждениями (60- и 75-летними) в горизонтах ВСк черноземов увеличивается частота встречаемости журавчиков.

Выявленные изменения морфологических свойств черноземов под лесной растительностью, с одной стороны, свидетельствуют об усилении гумусово-аккумулятивного процесса (судя по росту мощности гумусовых горизонтов, гумусовых профилей и усилению интенсивности их темно-серой окраски), а, с другой стороны, о начале проявления подвижности тонкодисперсного вещества. Результаты морфологического анализа дополняются анализом микроморфологических свойств почв.

На участке “Заповедный” гумусовые горизонты черноземов как под лугово-степной, так и под лесной растительностью, характеризуются очень высокой степенью биогенного оструктурирования, однако максимальная степень проявления процесса характерна для почвы под степью. Для гумусовых горизонтов характерны структура от комковато-зернистой до зернисто-комковатой с элементами округло-блоковой, согласно микроморфологическому исследованию, и очень темный (почти черный) цвет, достигаемый за счет большого количества гумусовых микросгустков с мостиками. В почвах под лесом, кроме гумусовых микросгустков, встречаются небольшие участки с более бурым по цвету гумусовым веществом, представленным, преимущественно, хлопьями и пунктуациями (темный изотропный точечный гумус размером около 1 мкм).

В горизонте В фоновой почвы на глубине 80–85 см тонкодисперсное вещество является гумусово-глинистым и глинисто-карбонатным, а в почвах под лесом – гумусово-глинистым и глинистым. Несмотря на большую глубину, материал горизонтов в этой части профилей сильно переработан почвенной фауной, и некоторые участки почвенной массы все еще заметно прокрашены гумусом. Гумус встречается в форме микросгустков с пунктуациями (под степью) и микросгустков с мостиками (в гумусированных зонах почв под лесом).

В горизонте Вк на глубине 105–110 см гумусовое вещество в фоновой почве под степью представлено пунктуациями, а в почвах под лесом – микросгустками и пунктуациями. Максимальные размеры и частота встречаемости гумусовых зон резко возрастают в ряду: почва под степью (до 500 мкм, единичные) – почва под 30-летним лесом (400–2000 мкм, единичные) – почва под 75-летним лесом (200–2000 мкм, около 50% площади шлифа).

На участке “Заповедный” отмечены микропризнаки, отражающие постепенное увеличение подвижности тонкодисперсного вещества. Так, в фоновой почве отсутствуют глинистые пленки на зернах минералов в нижней части гумусовых горизонтов (40–45 см), под молодым лесом на этой глубине появляются фрагментарные пленки на минеральных зернах, а в почве под 75-летним лесом они становятся сплошными на зернах минералов и единичными в виде глинисто-гумусовых кутан по порам (толщиной ~2 мкм). В нижележащих почвенных горизонтах (80–85 см) черноземов как под молодым, так и старым лесонасаждениями данный признак усиливается: на глубине 105–110 см уже встречаются многослойные глинистые пленки, отсутствующие в фоновом лугово-степном черноземе.

Бликие тенденции выявлены на участке “Степное”. Здесь в слое 15–20 см микростроение гумусовых горизонтов всех сравниваемых почв слабо различается по всему хроноряду. Для них характерна типичная для черноземов [8, 21, 29] высокая степень агрегированности, пористости, интенсивная пропитка гумусом основной почвенной массы. По мере увеличения возраста лесонасаждений в почвах происходит закономерное увеличение частоты встречаемости полуразложившихся растительных остатков. В нижней части гумусовых горизонтов (на глубине 30–35 см) начинают встречаться зоны разной степени пропитанности гумусом, причем их площадь возрастает в ряду: почва под залежью – почва под 25-летней древесной растительностью – почва под 60-летней древесной растительностью. Подобная закономерность прослеживается и в более глубоких горизонтах (на глубине 65–70 см) изученных почв: в фоновом черноземе и в почве 25-летнего лесонасаждения вещество, пропитанное гумусом, занимает около 50% от площади шлифа, тогда как в почве наиболее старого лесонасаждения – 70%. В горизонтах В на глубине 100–105 см размеры и площадь гумусированных зон уменьшаются в ряду: почва под степью (200–600 мкм, ~5% площади шлифа) – почва под 25-летним лесонасаждением (200–8000 мкм, до 5% площади шлифа) – почва под 60-летним лесонасаждением (гумусированных зон нет).

На участке “Степное”, так же как на участке “Заповедный”, отмечено усиление признаков подвижности тонкодисперсного вещества в почвах хроноряду по следующим изменениям. На глубине 30–35 см в почве на лугово-степной залежи кутаны по порам и граням агрегатов не выражены, они слабо проявляются в почве под 25-летним лесонасаждением (единичные толщиной 1–2 мкм) и явно выражены (до 10 шт./шлиф, толщина до 5 мкм) в почве под лесонасаждением 60-летнего возраста. Пылеватые инфиллинги диагностированы во всех исследуемых почвах, однако их количество увеличивается в ряду: почва под залежью –

Процесс	Черноземы		
	Степь – залежь	Лес 25–30 лет	Лес 60–75 лет
Гумусонакопление			
Зоогенная переработка			
Оструктурирование			
Иллювиально-карбонатный			

Рис. 2. Проявления элементарных почвообразовательных процессов в сравниваемых почвах хронологических рядов (по усредненным результатам микроморфологического анализа почв на участках “Заповедный” и “Степное”).

почва под 25-летней древесной растительностью – почва под 60-летней древесной растительностью. На глубине 65–70 см в почве под молодым лесонасаждением пылеватые инфиллинги примерно в 1.5 раза больше по размеру по сравнению с фоновой почвой (600 и 400 мкм соответственно) и занимают относительно небольшую площадь (до 10% площади шлифа). В почве под старовозрастным лесонасаждением инфиллинги еще крупнее (до 1000 мкм), занимают наибольшую площадь (до 25% площади шлифа); их особенностью является заметная переработанность материала почвенной мезо- и микрофауной. В почвах под лесонасаждениями на поверхности почвенных агрегатов и пор обнаружены кутаны. Их количество и степень выраженности (целостность, толщина) увеличиваются в ряду от почвы под 25-летним насаждением к почве под 60-летней лесополосой (от 5–10 до 20 мкм).

Эффекты влияния лесной растительности на процессы почвообразования, выявленные на двух участках с помощью микроморфологической диагностики почв, представлены на рис. 2.

Гранулометрический состав. Изученные почвы по гранулометрическому составу относятся к тяжелосуглинистым. Однако на участке “Заповедный” почвы в целом характеризуются более легким гранулометрическим составом по сравнению с участком “Степное” (табл. 2). На двух участках смена гранулометрического состава пород по почвенному профилю с относительно тяжелого на более лег-

кий (с более высокой долей песчаной фракции) происходит на глубине 100–120 см. Данная литологическая двучленность обусловлена наличием маломощного чехла лёссовидных суглинков, перекрывающих отложения более легкого гранулометрического состава – в слое 140–200 см от опесчаненных суглинков до супесей (табл. 2). В связи с этим анализ профильного распределения фракции ила проводили только для верхнего метрового слоя почв. Верхняя граница подстилающих пород характеризуется незначительным (в пределах 10–20 см) варьированием на всем исследуемом пространстве каждого хронологического ряда почв, что, по нашему мнению, не могло существенно повлиять на гранулометрический состав залегающего выше почвообразующего субстрата.

Микроморфологическими исследованиями не установлено признаков выноса илистой фракции (зон обезиливания) из верхних почвенных слоев. Вместе с тем ряд свойств, таких как рост встречаемости пылеватых инфиллингов в изучаемых хронологических рядах от фоновых черноземов к черноземам под наиболее старовозрастными изученными древостоями, появление глинисто-гумусовых кутан в почвах под лесной растительностью свидетельствует о повышении степени подвижности тонкодисперсного вещества в черноземах, формирующихся под древесной растительностью.

Согласно данным лабораторного анализа гранулометрического состава почв и выполненным расчетам, на обоих участках в почвах под лесона-

Таблица 2. Гранулометрический состав изученных почв

Слой, см	Гранулометрические фракции (размер в мм), %							
	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01	>0.01
“Степное” разрез 1 (фон)								
0–20	7.02	1.60	32.44	10.20	6.32	42.43	58.95	41.05
20–40	6.86	0.64	33.69	12.96	11.80	38.76	58.81	41.19
40–60	5.90	4.39	32.51	9.48	11.67	36.05	57.21	42.79
60–80	7.28	2.59	34.97	5.00	10.55	34.74	50.16	49.84
80–100	7.74	4.85	29.62	3.87	3.01	35.34	47.80	52.20
100–120	6.80	5.29	31.51	2.17	3.16	34.61	46.40	53.60
120–140	20.48	23.26	15.01	2.76	3.78	34.71	41.25	58.75
140–160	32.29	23.99	10.60	2.15	11.05	19.93	33.16	76.84
160–180	23.99	11.67	23.72	6.11	14.46	20.05	40.62	59.38
180–200	52.20	20.98	0.20	2.28	5.57	18.77	26.62	73.38
“Степное” разрез 2 (лесонасаждение 25 лет)								
0–20	9.82	4.39	27.11	10.65	8.84	36.44	55.93	44.07
20–40	9.89	2.07	29.80	11.21	11.18	35.85	58.24	41.76
40–60	13.31	0.82	29.45	12.91	8.87	34.64	56.42	43.58
60–80	30.54	1.45	27.54	13.41	10.95	36.11	60.47	39.53
80–100	9.79	4.47	27.99	8.94	11.83	36.98	57.75	42.25
100–120	34.32	4.06	22.65	3.95	6.47	28.55	38.97	61.03
120–140	65.24	5.13	7.70	0.31	4.18	17.44	21.93	78.07
140–160	78.49	2.66	2.02	4.33	2.77	9.73	16.83	83.17
160–180	71.74	5.92	3.28	4.00	1.43	13.63	19.07	80.93
180–200	72.12	3.19	5.58	0.25	4.73	14.13	19.11	80.89
“Степное” разрез 3 (лесонасаждение 60 лет)								
0–20	3.46	3.93	34.27	15.24	13.75	29.34	58.34	41.66
20–40	3.95	1.91	32.44	14.93	12.14	34.61	61.69	38.31
40–60	2.37	1.35	35.00	11.88	13.14	36.26	61.27	38.73
60–80	2.01	0.72	36.52	11.77	13.03	35.95	60.75	39.25
80–100	1.61	1.58	34.48	8.04	13.74	40.55	62.32	37.68
100–120	3.28	2.02	30.15	7.49	16.80	40.26	64.55	35.45
120–140	12.86	6.56	24.64	8.87	10.83	36.24	55.93	44.07
140–160	22.90	20.23	12.34	0.41	12.50	31.62	44.52	55.48
160–180	31.49	27.64	8.52	1.98	6.19	24.18	32.35	67.65
180–200	34.14	6.12	31.70	0.66	5.64	21.74	28.04	71.96
“Заповедный” разрез 4 (фон)								
0–20	4.28	12.75	39.80	9.89	18.93	14.35	43.17	56.83
20–40	2.51	10.75	39.64	10.79	21.88	14.42	47.10	52.90
40–60	2.08	6.75	39.32	10.00	22.77	19.07	51.84	48.16
60–80	1.49	4.65	39.04	10.70	22.53	21.60	54.83	45.17
80–100	1.58	6.39	34.79	11.04	23.87	22.33	57.24	42.76
100–120	1.71	7.36	36.29	7.94	23.97	22.73	54.64	45.36
120–140	2.50	14.03	31.81	7.05	24.61	20.00	51.66	48.34
140–160	5.76	16.88	28.10	12.21	15.01	22.04	49.26	50.74
160–180	7.87	27.22	13.61	1.96	10.16	39.18	51.29	48.71
180–200	5.16	16.13	25.72	2.58	8.26	42.15	52.99	47.01

Таблица 2. Окончание

Слой, см	Гранулометрические фракции (размер в мм), %							
	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	<0.01	>0.01
“Заповедный” разрез 5 (лесонасаждение 30 лет)								
0–20	2.21	12.66	42.70	9.02	21.26	12.16	42.44	57.56
20–40	3.34	12.69	35.56	10.39	19.66	18.36	48.41	51.59
40–60	1.70	11.76	34.07	11.23	17.73	23.51	52.47	47.53
60–80	1.26	8.04	36.13	9.77	19.21	25.60	54.58	45.42
80–100	1.46	8.67	34.82	10.87	21.75	22.42	55.05	44.95
100–120	2.88	27.03	19.62	9.14	20.62	20.71	50.47	49.53
120–140	3.57	43.49	14.84	5.83	12.70	19.57	38.10	61.90
140–160	3.21	38.85	14.27	14.01	6.46	23.20	43.66	56.34
160–180	5.03	47.05	9.86	6.81	3.51	27.74	38.05	61.95
180–200	7.26	23.08	19.69	4.04	11.25	34.68	49.97	50.03
“Заповедный” разрез 6 (лесонасаждение 75 лет)								
0–20	7.48	23.99	37.16	9.92	14.61	6.84	31.37	68.63
20–40	6.20	18.04	30.21	11.42	17.11	17.02	45.55	54.45
40–60	5.72	16.93	28.56	11.90	17.12	19.77	48.79	51.21
60–80	5.45	18.61	26.41	11.47	13.31	24.74	49.53	50.47
80–100	4.85	18.17	29.04	9.68	14.56	23.70	47.94	52.06
100–120	3.87	24.77	23.34	3.80	20.11	24.11	48.02	51.98
120–140	6.51	41.98	16.95	2.23	16.14	16.19	34.56	65.44
140–160	6.52	50.62	11.03	2.86	4.55	24.44	31.81	68.19
160–180	7.46	35.47	16.35	4.99	7.13	28.58	40.71	59.29
180–200	7.13	25.51	21.14	7.18	7.34	31.70	46.22	53.78

Таблица 3. Содержание и запасы ила в почвах изученных хронорядов, содержание (%)/запасы (кг/м²)

Слой, см	“Заповедный”			“Степное”		
	фон	лес 30 лет	лес 75 лет	фон	лес 25 лет	лес 60 лет
0–20	14.3/28.9	12.2/19.5	6.8/13.7	42.4/83.9	36.4/75.7	29.3/62.1
20–40	14.4/33.4	18.4/36.1	17.0/43.9	38.8/81.5	34.9/81.7	34.6/87.4
40–60	19.1/46.6	23.5/50.3	19.8/53.9	36.1/83.0	35.3/89.0	36.3/94.8
60–80	21.6/54.4	25.6/58.9	24.7/67.2	34.7/89.5	36.1/95.3	36.0/94.7
80–100	22.3/58.4	22.4/55.1	23.7/63.5	35.3/100.3	37.0/102.1	40.6/108.5

саждениями обнаруживается обеднение фракцией ила самых верхних 20-сантиметровых почвенных слоев (табл. 3). На развитие во времени данного процесса указывают наибольшие различия по запасам ила в почвах под 60–75-летними древостоями, как по сравнению с фоновыми почвами, так и по сравнению с почвами, формирующимися под более молодыми (25–30 лет) лесонасаждениями. Как на участке “Заповедный”, так и на участке “Степное”, в почвах под молодыми и старовозрастными лесонасаждениями при их сравнении с фоновыми почвами, в слоях глубже 20 см наблюдается положительная динамика накопле-

ния ила (табл. 3, 4). Обеднение илом верхних слоев автоморфных черноземов, формирующихся под лесополосами, по сравнению с черноземами прилегающих пашен отмечалось ранее [28].

По данным Александровского [2], сравнивавшего в лесной зоне республики Марий Эл подкуранные темно-серые лесные почвы, переходные к черноземам, и современные дерново-подзолистые почвы, за время 3200–3300 лет в почвах под лесной растительностью в слое 0–45 см была сформирована зона выноса ила, составляющая 8% от массы минеральной части почвы. Если принять среднюю плотность указанного слоя за 1.2 г/см³,

Таблица 4. Послойные изменения запасов ила относительно фона в почвах изученных хронорядов, кг/м²

Слой, см	“Заповедный”			“Степное”		
	фон	лес 30 лет	лес 75 лет	фон	лес 25 лет	лес 60 лет
0–20	0	–9.4	–15.2	0	–8.2	–21.8
20–40	0	+2.7	+10.5	0	+0.2	+5.9
40–60	0	+3.7	+7.3	0	+6.0	+11.8
60–80	0	+4.5	+12.8	0	+5.8	+5.2
80–100	0	–3.3	+5.1	0	+1.8	+8.2

то величина общего выноса ила могла составить 43 кг/м² при средней интенсивности выноса 13 кг/м² за 1000 лет. Авторы, проводившие сравнительный анализ черноземов под степью и лесом на территории Центрально-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина, констатировали ряд различий между ними. К их числу были отнесены повышенная мощность гумусированной части профилей лесных черноземов, более глубокие уровни залегания в них карбонатов, четко выраженные пленки и кутаны иллювирирования в горизонтах В, отсутствующие в черноземах луговой степи [19]. Однако различия по профильному распределению ила в сравниваемых почвах не были идентифицированы [19]. Указанные примеры позволяют предполагать низкие темпы развития элювиально-иллювиальной дифференциации профилей черноземов, оказавшихся под лесной растительностью в результате наступления леса на степь. Согласно данным нашего исследования, за 75-летний период нахождения под лесной растительностью черноземы должны терять до трети или даже до половины всех запасов ила в слое 0–20 см. Эта величина представляется завышенной и может объясняться пространственной вариабельностью содержания и запасов ила. Поэтому данный вопрос требует дальнейшего изучения.

Гумусовый и карбонатный профили почв. Общим для двух участков является стадийный характер изменения запасов органического вещества, особенно ярко выраженный на участке “Заповедный”: на протяжении первых 25–30 лет формирования черноземов под лесной растительностью в их профилях имеет место тенденция уменьшения запасов $C_{орг}$ (по средним характеристикам на двух участках в метровой толще от 29.6 до 26.3 кг/м², а в двухметровой толще – от 36.1 до 31.4 кг/м²). В последующие десятилетия (под 60–75-летними древостоями) запасы углерода увеличиваются (по средним значениям на двух участках в метровой толще до 30.5 кг/м², а в двухметровой толще – до 36.2 кг/м²) (табл. 5, рис. 3). На второй стадии роста запасов $C_{орг}$ показатель для чернозема под 60-летним лесонасаждением на участке “Степное” превысил фоновое значение, а

на участке “Заповедный” не достиг уровня фонового чернозема.

Как отмечалось выше, история развития лесонасаждений на двух рассматриваемых участках характеризовалась некоторым своеобразием – на участке “Степное” лесополоса возникла на открытом участке местности, а на участке “Заповедный” молодой лес сформировался рядом со старовозрастным лесным массивом. Это обусловило различия в интенсивности протекания почвообразовательных процессов.

Ранее проведенными исследованиями показано, что 55-летние полезащитные лесополосы, изученные в ряде регионов лесостепи юга Среднерусской возвышенности, способствуют росту гумусированности метровой толщи черноземов, формирующихся под ними [30]. Результаты, полученные для участка “Степное” (где изучались почвы под полезащитной лесополосой близкого возраста), являются дополнительным подтверждением этого явления.

Вместе с тем на участке “Заповедный” запасы гумуса в черноземе под старовозрастным фрагментом разрастающегося в сторону степи леса оказались меньше фоновых значений, это требует объяснения.

Разные экологические условия произрастания древостоев сказываются на различиях в их жизненности, что, в свою очередь, может выступать одним из факторов формирования разных тенденций в развитии процессов гумусообразования и гумусонакопления под пологом лесной растительности. В условиях развития лесополосы жизненность старовозрастного древостоя ослаблена по сравнению с соответствующим фрагментом леса, изученным на участке “Заповедный”, что визуально выражено в большей степени захламленности поверхности почвы лесополосы отмершими деревьями и кустарниками (рис. 4). Повышенная доля отмерших наземных и подземных остатков растений в почве лесополосы могла отразиться на более интенсивном пополнении ее углеродом гумуса.

Обнаруженный в ходе проведенного исследования стадийный характер изменения запасов органического вещества в черноземах под широколиственно-лесной растительностью, вероятно,

Таблица 5. Свойства почв участков “Степное” и “Заповедный” (содержание $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{карб}}$, % от массы почвы)

Слой, см	рН водный	Плотность, г/см ³	$C_{\text{орг}}$		$C_{\text{карб}}$		рН водный	Плотность, г/см ³	$C_{\text{орг}}$		$C_{\text{карб}}$	
			%	т/Га	%	т/Га			%	т/Га	%	т/Га
“Степное” разрез 1 (фон)							“Заповедный” разрез 4 (фон)					
0–20	6.5	0.99	3.77	74.6	0	0	7.4	1.01	4.61	93.1	0	0
20–40	6.7	1.05	2.84	59.6	0	0	7.3	1.16	3.71	86.1	0	0
40–60	6.8	1.15	1.97	45.3	0	0	7.4	1.22	2.73	66.6	0	0
60–80	6.9	1.29	1.39	35.9	0	0	7.8	1.26	2.15	54.2	0.14	3.4
80–100	8.3	1.42	1.16	32.9	0.38	10.9	8.4	1.31	1.68	44.0	0.85	22.1
100–120	8.6	1.40	0.64	17.9	1.47	41.2	8.5	1.37	0.99	27.1	1.28	35.1
120–140	8.6	1.68	0.41	13.8	0.74	24.7	8.5	1.46	0.41	12.0	1.06	31.1
140–160	8.7	1.87	0.35	13.1	0.52	19.4	8.7	1.55	0.35	10.9	0.79	24.5
160–180	8.6	1.90	0.29	11.0	0.68	25.9	8.7	1.62	0.29	9.4	0.95	30.9
180–200	8.7	1.90	0.23	8.7	0.11	4.1	8.7	1.68	0.17	5.7	0.79	26.6
“Степное” разрез 2 (лесонасаждение 25 лет)							“Заповедный” разрез 5 (лес 30 лет)					
0–20	6.9	1.04	3.63	75.5	0	0	6.4	0.80	5.13	82.1	0	0
20–40	6.3	1.17	2.81	65.8	0	0	6.4	0.98	3.39	66.4	0	0
40–60	6.5	1.26	1.91	48.1	0	0	6.4	1.07	2.55	54.6	0	0
60–80	7.1	1.32	1.39	36.7	0.11	2.9	6.6	1.15	1.86	42.8	0	0
80–100	8.4	1.38	0.81	22.4	1.17	32.4	8.2	1.23	1.28	31.5	0.52	12.7
100–120	8.7	1.47	0.58	17.1	1.42	41.7	8.7	1.29	0.58	15.0	1.34	34.5
120–140	8.4	1.56	0.41	12.8	0.79	24.7	8.6	1.37	0.35	9.6	0.74	20.2
140–160	8.6	1.65	0.35	11.6	0.27	9.0	8.5	1.45	0.29	8.4	0.35	10.3
160–180	8.8	1.72	0.23	7.9	0.08	2.8	8.8	1.52	0.23	7.0	0.41	12.4
180–200	8.2	1.76	0.17	6.0	0.08	2.9	8.5	1.54	0.17	5.2	0.71	21.8
“Степное” разрез 3 (лесонасаждение 60 лет)							“Заповедный” разрез 6 (лес 75 лет)					
0–20	7.1	1.06	4.00	84.8	0	0	6.2	1.01	4.50	90.9	0	0
20–40	6.7	1.22	3.19	77.8	0	0	5.9	1.29	2.90	74.8	0	0
40–60	6.8	1.32	2.84	75.0	0	0	6.3	1.36	2.15	58.5	0	0
60–80	6.9	1.33	1.90	47.9	0	0	6.4	1.36	1.45	39.4	0	0
80–100	7.0	1.38	1.10	30.4	0	0	8.1	1.34	1.10	29.5	0.27	7.3
100–120	8.4	1.48	0.46	13.6	0.65	19.4	8.4	1.35	0.75	20.3	1.23	33.1
120–140	8.5	1.58	0.41	13.0	1.28	40.5	8.6	1.42	0.41	11.6	0.65	18.6
140–160	8.5	1.65	0.35	11.6	0.95	31.5	8.5	1.54	0.34	10.5	0.46	14.3
160–180	8.7	1.69	0.29	9.8	0.38	12.9	8.3	1.61	0.29	9.3	0.63	20.2
180–200	8.6	1.73	0.23	8.0	0.30	10.4	8.4	1.66	0.23	7.6	0.65	21.7

объясняется с позиций физиологии лесных экосистем и тех изменений, которые происходят в процессе формирования древостоев. На первой стадии начинающего расти древостоя, расположенного на приграничном со степью пространстве, реализуется его барьерная функция снегозадержания, в связи с чем заметно увеличивается промачивание почвы после весеннего снеготаяния (данное явление хорошо изучено на примере почв агролесомелиоративных ландшафтов степной зоны [5]). Большее накопление влаги способствует усилению процесса выщелачивания и нисходящей миграции лабильной части почвенного органического вещества. В почву на данной стадии поступает малое ко-

личество отмершей наземной и корневой массы растений из-за молодости лесной экосистемы. Часть почвенного органического вещества, унаследованная от лугово-степной стадии почвообразования, минерализуется.

На второй стадии хорошо сформированного лесного фитоценоза функция снегозадержания ослабляется из-за того, что данный участок леса находится уже не на его окраине, а на некоторой глубине от границы леса и степи; новую полосу приграничного со степью пространства занимает молодая разрастающаяся лесная поросль, которая теперь выполняет главную функцию снегозадержания. Поэтому влажность почвы на второй ста-

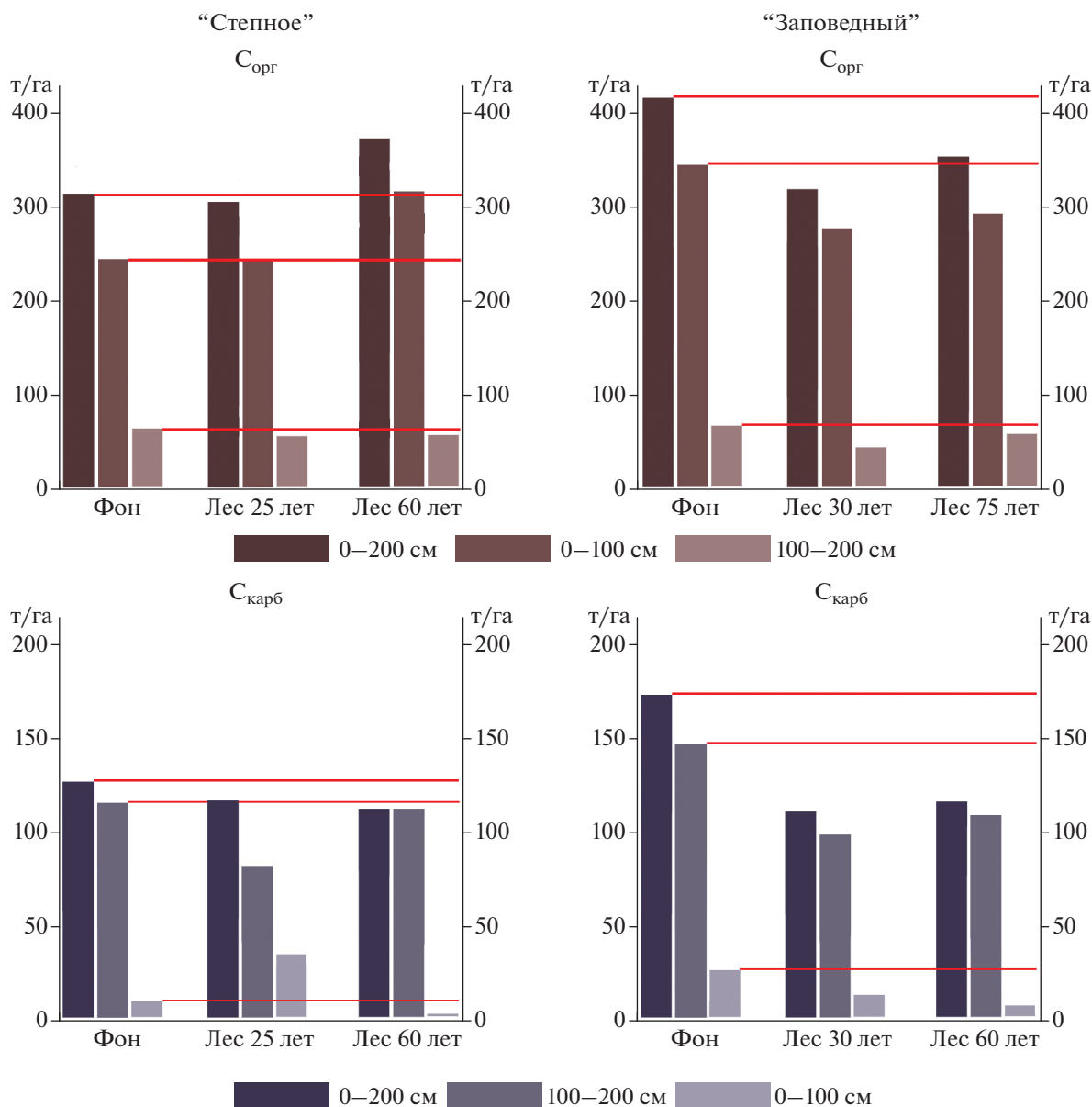


Рис. 3. Послойные запасы углерода гумуса и карбонатов в черноземах фитохронорядов на участках “Степное” и “Заповедный”.

дии развития древостоев, вероятно, уменьшается. Этому способствует то, что взрослый (60–75-летний) древостой требует большего количества влаги, и корневая десукция в период вегетации иссушает почву более интенсивно. На рассматриваемой второй стадии развития лесной растительности объем наземного и подземного опада-отпада, вероятно, увеличивается из-за ослабления жизнеспособности деревьев, когда древостой во взрослом состоянии в большей степени начинает подвергаться воздействию болезней, что может положительно отразиться на балансе гумуса почв.

Стадиальные изменения запасов органического вещества в черноземах изучаемых фитохронорядов

сопровождаются изменением его качественного состава (табл. 6), на что ранее обращали внимание при микроморфологическом изучении почв.

Фоновые черноземы на двух изучаемых участках характеризуются гуматным типом гумуса в верхних почвенных слоях, что находится в соответствии традиционными представлениями о качественном составе гумуса черноземных почв [11]. В верхней части (0–20 см) профиля фоновых черноземов отношение $C_{гк}/C_{фк}$ составляет 2.2–2.3, постепенно уменьшаясь книзу и достигая в слое 80–100 см величины 0.8–0.9 (табл. 6, рис. 5). В черноземах под лесонасаждениями гумус верх-

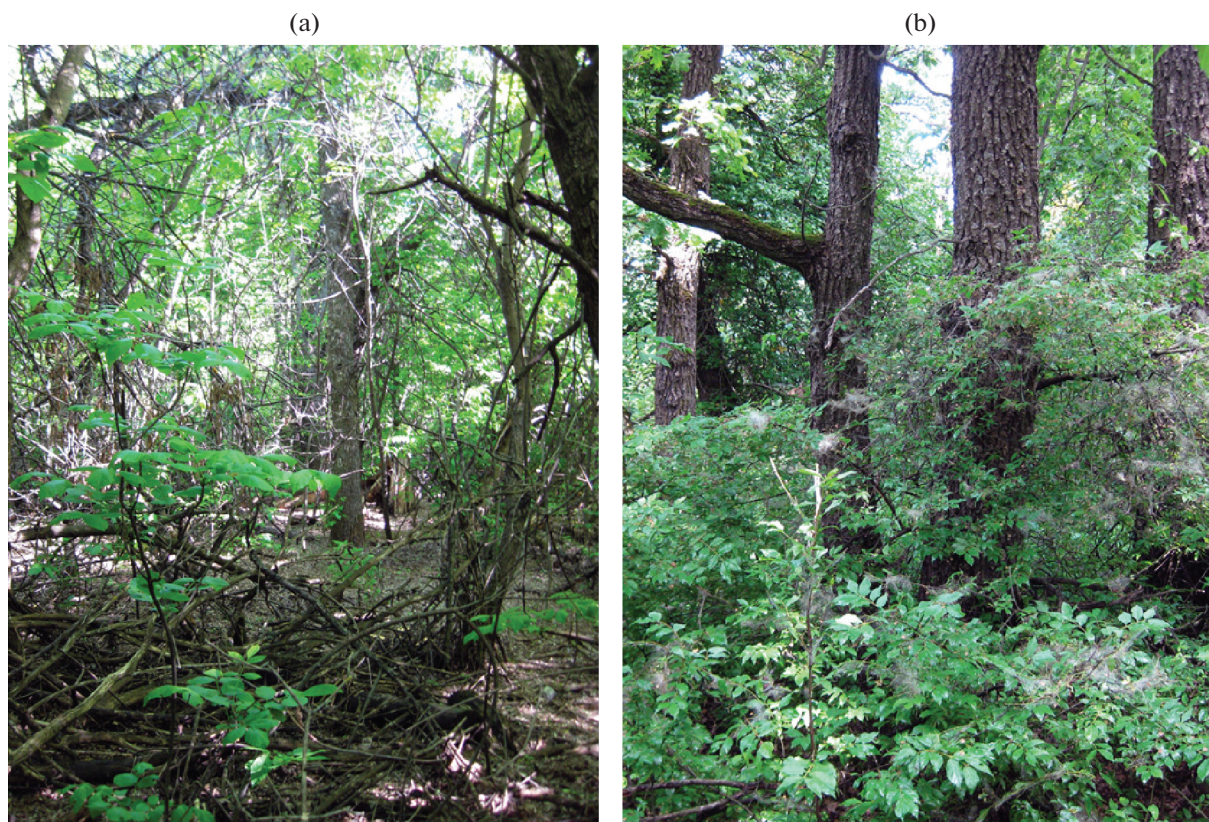


Рис. 4. Поверхность почвы под пологом старовозрастных древостоев на участках “Степное” (а) и “Заповедный” (б). На фотографии (а) в заметном количестве присутствует древесный отпад как индикатор пониженной жизнеспособности древостоя по сравнению с фрагментом естественного леса на фотографии (б).

ней части профилей заметно обогащается фульвокислотами: $C_{гк}/C_{фк}$ в слое 0–20 см снижается до величины 1.8–2.0.

Вторая важная особенность изменения группового состава гумуса в черноземах под лесной растительностью — тенденция повышения гуматности органического вещества в средней части профиля (слой 40–80 см) почв. На участке “Степное” под разрастающейся лесополосой развитие во времени данного процесса выявляется четко, тогда как на участке “Заповедный” увеличение гуматности органического вещества в слое 40–80 см обнаруживается только на первой стадии лесного почвообразования (под 30-летним древостоем), а в дальнейшем этот процесс сменяется ростом фульватности гумуса. Возможно, установленные различия обусловлены несколько большей длительностью лесного почвообразования на участке “Заповедный” по сравнению с участком “Степное”.

Главным фактором пространственно-временных смен группового состава гумуса в черноземах, оказавшихся под лесной растительностью, может быть изменение почвенных гидротермических режимов. В более прохладной (и влажной) обстановке под пологом леса начинает развиваться

нисходящая миграция веществ, включая перемещение компонентов гуминовых кислот, как на это ранее обращали внимание другие исследователи [19, 22].

Анализ эволюционных изменений черноземов под влиянием лесной растительности дополняется сравнительной характеристикой карбонатных профилей почв изученных хронорядов. По результатам исследования на двух участках выявляется обеднение почв $C_{карб}$ под 60–75-летними древостоями. Основные изменения в карбонатных профилях почв происходили в первые 25–30 лет лесного почвообразования, а в дальнейшем намечается стабилизация запасов карбонатов. Из двухметровой толщи почв средняя интенсивность выноса углерода карбонатов (по разности между фоновыми и лесными черноземами) на участке “Степное” составляла 0.2 кг/м^2 в 10 лет, а на участке “Заповедный” — 0.8 кг/м^2 в 10 лет, что, по-видимому, определялось различиями в исходных запасах карбонатов в профилях черноземов: на участке “Заповедный” запасы карбонатов были исходно более высокими (в слое 0–2 м почвы — $17.4 \text{ кг/м}^2 C_{карб}$), а на участке “Степное” — меньшими (12.6 кг/м^2). За 60–75-летний период лесного почвообразования в результа-

Таблица 6. Групповой состав гумуса в почвах ключевых участков “Степное” и “Заповедный”

Глубина, см	C _{общ}	C _{гк}	C _{фк}	C _{гумин}	C _{гк} /C _{фк}
	%				
“Степное” разрез 1 (фон)					
0–20	3.77	1.54	0.68	1.55	2.26
20–40	2.84	1.25	0.57	1.02	2.19
40–60	1.97	0.72	0.49	0.76	1.47
60–80	1.39	0.46	0.49	0.44	0.95
80–100	1.16	0.34	0.43	0.40	0.79
“Степное” разрез 2 (лесонасаждение 25 лет)					
0–20	3.63	1.44	0.77	1.42	1.88
20–40	2.81	1.30	0.61	0.91	2.14
40–60	1.91	0.82	0.47	0.63	1.74
60–80	1.39	0.46	0.47	0.46	0.98
80–100	0.81	0.24	0.28	0.29	0.87
“Степное” разрез 3 (лесонасаждение 60 лет)					
0–20	4.00	1.49	0.85	1.66	1.75
20–40	3.19	1.39	0.67	1.13	2.09
40–60	2.84	1.30	0.67	0.88	1.94
60–80	1.90	0.67	0.51	0.72	1.32
80–100	1.10	0.37	0.39	0.34	0.93
“Заповедный” разрез 4 (фон)					
0–20	4.61	1.68	0.72	2.21	2.33
20–40	3.71	1.34	0.63	1.74	2.15
40–60	2.73	1.01	0.53	1.20	1.92
60–80	2.15	0.77	0.61	0.78	1.27
80–100	1.68	0.48	0.51	0.69	0.94
“Заповедный” разрез 5 (лесонасаждение 30 лет)					
0–20	5.13	1.63	0.83	2.67	1.97
20–40	3.39	1.25	0.59	1.56	2.13
40–60	2.55	1.01	0.50	1.04	2.00
60–80	1.86	0.72	0.53	0.61	1.35
80–100	1.28	0.38	0.49	0.41	0.79
“Заповедный” разрез 6 (лесонасаждение 75 лет)					
0–20	4.50	1.68	0.85	1.97	1.97
20–40	2.90	1.25	0.62	1.03	2.02
40–60	2.15	0.86	0.54	0.74	1.59
60–80	1.45	0.48	0.41	0.56	1.22
80–100	1.10	0.33	0.34	0.37	0.87

те нового гидротермического режима почвообразования эволюция карбонатных профилей на обоих участках привела к формированию черноземов с близкими запасами карбонатов в двухметровой толще почв – 11.5 кг/м² C_{карб.}

На микроуровне отмечается уменьшение разнообразия форм карбонатов на глубинах 100–110 см в горизонтах ВСк в ряду: фоновые почвы – почвы под лесной растительностью 25–30-летнего возраста – почвы под лесной растительностью 60–75-летнего возраста.

На участке “Степное” в фоновой почве преобладают спаритовые инфиллинги, в почве под молодым лесным насаждением – люблинитовые кутаны, а в почве под старовозрастным насаждением на данной глубине карбонатные новообразования не обнаружены. На участке “Заповедный” в фоновой почве преобладают люблинитовые и микритовые кутаны, в почве под молодым лесом преобладают спаритовые инфиллинги и микритовые кутаны, а в почве под старовозрастным лесом встречаются только спаритовые инфиллинги. Во всех изучен-

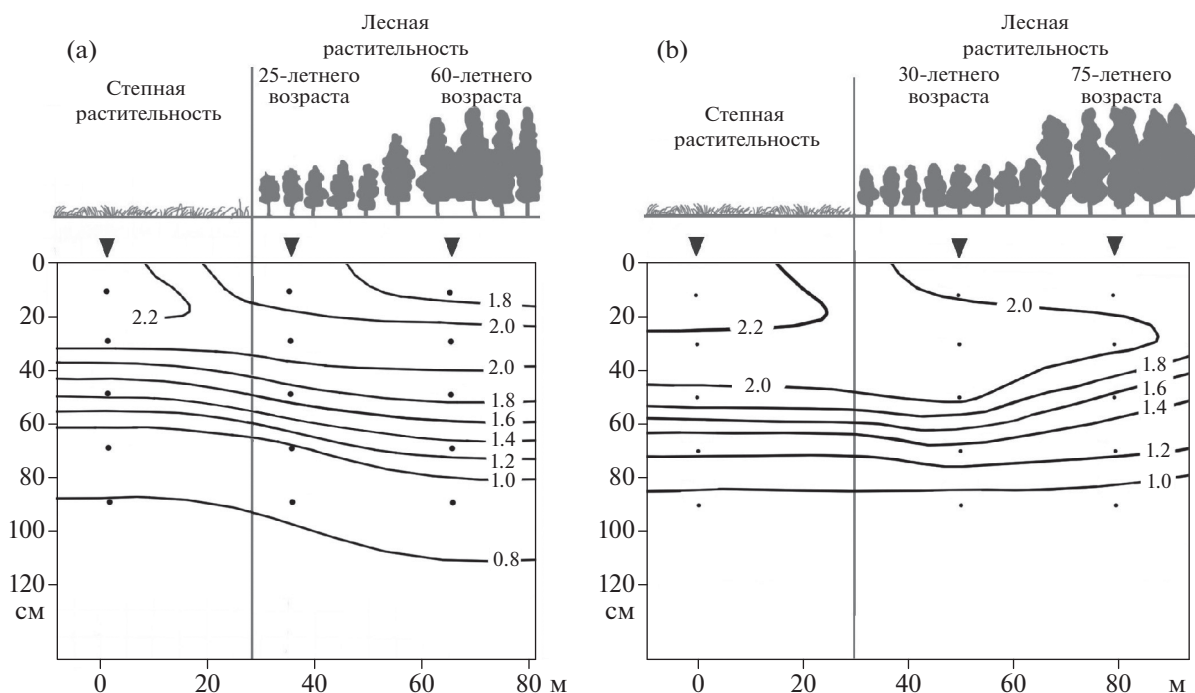


Рис. 5. Изолинии распределения $C_{гк}/C_{фк}$ в хронорядях черноземов на участках “Степное” (а) и “Заповедный” (б).

ных почвах на глубине 100–110 см карбонатные нодулы встречаются единично и имеют относительно небольшие размеры (200–800 мкм). На участке “Заповедный” в почве под 75-летним лесом на морфологическом уровне обнаружена зона современного формирования карбонатного стяжения (журавчика), диагностируемая по неоднородности материала, окружающего поровое пространство [21]: карбонатные растворы подтягиваются к стенкам пор, в результате происходит обеднение карбонатным материалом окружающего (на небольшом удалении от границы с порами) пространства.

В работе [19] указывается на рост разнообразия карбонатных новообразований в лесных черноземах по сравнению с черноземами луговой степи Центрально-Черноземного заповедника им. В.В. Алехина, что подчеркивает дискуссионность рассматриваемых вопросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании сравнительного анализа почвенных профилей двух изученных хронорядов, представленных автоморфными фоновыми среднеческими тяжелосулинистыми черноземами и их аналогами под широколиственно-лесными насаждениями разного возраста установлены смены во времени ряда признаков и процессов почвообразования.

1. На протяжении первых десятилетий нахождения черноземов под лесной растительностью в них происходят заметные изменения морфологических и микроморфологических свойств. Увеличивается (на 10–13 см) мощность гумусовых горизонтов. Понижается (на 12–25 см) линия вскипания, благодаря чему черноземы выщелоченные трансформируются в черноземы сильновыщелоченные, а черноземы типичные – в черноземы выщелоченные. Исходно однородный горизонт А1 подразделяется на два подгоризонта: А1^I и А1^{II}. Эти подгоризонты отличаются по структуре, плотности и насыщенности корневыми включениями. В черноземах под лесной растительностью появляются признаки вертикального перемещения веществ в форме гляцевых пленок иллювиирования на поверхности агрегатов, а под наиболее старовозрастными (75-летними) лесными насаждениями в горизонте В начинают формироваться тонкие шоколадно-бурые кутаны иллювиирования. Микроморфологический анализ выявил в изученных почвенных хронорядях изменения ряда почвообразовательных процессов: нарастание во времени степени выраженности гумусонакопления, глубины биогенной переработки, внутригоризонтной мобилизации глинисто-гумусового тонкодисперсного вещества. Карбонатные новообразования на микроуровне демонстрируют усиление корневого подтягивания почвенного раствора под естественной лесной растительностью на фоне общего многолетнего тренда выщелачивания карбонатов из почвенных профилей.

2. Средняя интенсивность выноса углерода карбонатов из двухметровой толщи черноземов, находившихся под лесной растительностью в течение 60–75 лет, изменялась в пределах 2–8 т/га (в среднем 5) в 10 лет. Эволюция карбонатных профилей сопровождалась закономерными изменениями форм карбонатных новообразований. Карбонатный псевдомицелий, часто встречающийся в фоновых черноземах, в почвах под лесной растительностью замещается белесыми трубочками карбонатов. Согласно морфологической диагностике, в почвах изученных хронорядов в горизонтах ВСК отмечается уменьшение разнообразия форм карбонатов. Если в лугово-степных (фоновых) черноземах карбонатные новообразования представлены плотными и рыхлыми стяжениями, сростками кристаллов в порах, спаритовыми инфилингами и микритовыми кутанами, то в лесных аналогах отмечаются, главным образом, только сростки кристаллов и стяжения в форме плотных конкреций (журавчиков).

3. Произрастание широколиственно-лесной растительности на черноземах сопровождается изменениями количественных характеристик и качественного состава почвенного органического вещества. Для двух рассматриваемых участков установлен стадийный характер изменения запасов органического вещества: на протяжении первых 25–30 лет формирования черноземов под лесным типом растительности, в их профилях наблюдается уменьшение запасов органического углерода, а в последующие десятилетия его запасы начинают увеличиваться. Причиной этого может быть изменение лесорастительных свойств древостоев по мере их формирования и изменение интенсивности отмирания надземных и подземных органов древесно-кустарниковой растительности. В черноземах под лесонасаждениями гумус верхней части профилей (слой 0–40 см) направленно обогащается фульвокислотами, тогда как в средней части профилей (40–80 см) наблюдается противоположная тенденция – роста гуматности органического вещества. Данная особенность профильного распределения $C_{тк}/C_{фк}$ сближает черноземы, оказавшиеся под лесной растительностью, с типом серых лесных почв.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 19-17-00056.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-Европейской равнины в голоцене. М.: Наука, 1983. 150 с.
2. Александровский А.Л. Эволюция почв Восточной Европы на границе между лесом и степью // Естественная и антропогенная эволюция почв. Пушкино, 1988. С. 82–94.
3. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. М.: Наука, 2005. 223 с.
4. Александровский А.Л., Чендев Ю.Г., Трубицын М.А. Палеопочвенные индикаторы изменчивости экологических условий Центральной лесостепи в позднем голоцене // Известия РАН. Сер. географ. 2011. № 6. С. 87–99.
5. Афанасьева Е.А. Водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов Юго-Востока европейской части СССР. М.: Наука, 1980. 217 с.
6. Ахтырцев Б.П. Серые лесные почвы Центральной России. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1979. 232 с.
7. Берг Л.С. Климат и жизнь. М.: Огиз-Географгиз, 1947. 356 с.
8. Быстрицкая Т.Л., Герасимова М.И. О годовом цикле современного черноземного процесса // Почвоведение. 1988. № 6. С. 5–16.
9. Вернандер Н.Б. Происхождение и свойства серых лесных почв западной части УССР // Исследования в области генезиса почв. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 164–183.
10. Геннадиев А.Н. Изучение почвообразования методом хронорядов (на примере почв Приэльбрусья) // Почвоведение. 1978. № 12. С. 33–43.
11. Геннадиев А.Н., Глазовская М.А. География почв с основами почвоведения. М.: Высш. шк., 2005. 461 с.
12. Гроссет Г.Э. Лес и степь в их взаимоотношениях в пределах лесостепной полосы Восточной Европы. Воронеж, 1930. 94 с.
13. Денисов П.С. Почвы Воронежской и Курской областей и их отношение к агротехнике. Воронеж: Ворон. обл. кн. изд-во, 1935. 58 с.
14. Иванов И.В., Александровский А.Л. Методы изучения эволюции и возраста почв. Пушкино, 1984. 53 с.
15. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
16. Коржинский С.И. Северная граница черноземно-степной области восточной полосы европейской России в ботанико-географическом и почвенном отношении // Тр. О-ва естествоиспытателей при Имп. Казан. ун-те. 1891. Т. XXII. Вып. 6. 175 с.
17. Костычев П.А. Связь между почвами и некоторыми растительными формациями // VIII съезд русских естествоиспытателей и врачей. СПб., 1890. С. 37–60.
18. Кречетов П.П., Дианова Т.М. Химия почв. Аналитические методы исследования. М., 2009. 148 с.
19. Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., Чичагова О.А. Возраст и эволюция черноземов. М.: Наука, 1988. 144 с.
20. Мильков Ф.Н. Физическая география: учение о ландшафте и географическая зональность. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1986. 328 с.

21. Поляков А.Н., Ярилова Е.А. Основные черты микро-сложения черноземов Центрально-Черноземных областей // Почвоведение. 1978. № 5. С. 99–109.
22. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
23. Талиев В.И. Человек как ботанико-географический фактор // Научное обозрение. 1902. № 11. С. 42–61.
24. Танфильев Г.И. Доисторические степи Европейской России // Землеведение. М.: Наука, 1896. С. 73–92.
25. Тюрин И.В. К вопросу о генезисе и классификации лесостепных и “лесных” почв // Уч. зап. Казан. ун-та. Кн. 3–4. 1930. С. 429–462.
26. Чендев Ю.Г. Эволюция лесостепных почв Среднерусской возвышенности в голоцене. М.: ГЕОС, 2008. 212 с.
27. Чендев Ю.Г., Александровский А.Л., Хохлова О.С., Дергачева М.И., Петин А.Н., Головин А.Н., Саранулкин В.А., Земцов Г.Л., Уваркин С.В. Эволюция лесного почвообразования на юге лесостепи Среднерусской возвышенности в позднем голоцене // Почвоведение. 2017. № 1. С. 3–16. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010038>
28. Чендев Ю.Г., Геннадиев А.Н., Лукин С.В., Соэр Т.Д., Белеванцев В.Г., Смирнова М.А. Изменение лесостепных черноземов под влиянием лесополос на юге Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2020. № 8. С. 934–947. <https://doi.org/10.31857/S0032180X20080031>
29. Ярилова Е.А. Микроморфология черноземов // Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974. С. 156–173.
30. Chendev Yu., Gennadiev A., Sauer T., Terekhin E., Matveev S. Forests advancements to grasslands and their influence on soil formation: Forest Steppe of the Central Russian Upland // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 392. P. 012003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012003>
31. IUSS Working Group WRB, 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. Int. soil Classif. Syst. naming soils creating legends soil maps.
32. Jenny H. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. N.Y.: McGraw-Hill, 1941. 281 p.
33. Terekhin E.A., Chendev Yu.G. Satellite-Derived Spatio-temporal Variations of Forest Cover in Southern Forest–Steppe, Central Russian Upland // Contemporary Problems of Ecology. 2019. V. 12. № 7. P. 780–786. <https://doi.org/10.1134/S1995425519070102>

Early Stages of Chernozems Evolution under Forest Vegetation (Belgorod Oblast)

Yu. G. Chendev^{1, *}, A. N. Gennadiev², M. A. Smirnova^{2, 3}, M. P. Lebedeva³, O. O. Plotnikova³, E. A. Zazdravnykh⁴, and A. S. Shapovalov⁵

¹ Belgorod State University, Belgorod, 308015 Russia

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

³ Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, 119017 Russia

⁴ Center of Agrochemical Service “Belgorodsky”, Belgorod, 308027 Russia

⁵ State Reserve “Belogorye”, Borisovka, 309342 Russia

*e-mail: sciences@mail.ru

We studied automorphic forest-steppe Luvic and Haplic Chernozems (Siltic/Clayic, Pachic) of the southern part of the Central Russian Upland (Belgorod region), which were covered with broad-leaved forest vegetation at different times (from 25 to 75 years ago). The studies were carried out on the site of growth on a fallow land of an old-growth field-protective maple-ash shelterbelt and on an area of growth of a natural oak forest towards the virgin meadow steppe. The depth of carbonates occurrence in soil profiles decreased by 12–25 cm during the 60–75 year growth period of forest vegetation on Chernozems. 5 t/ha in 10 years was the average rate of carbonate carbon leaching from a 2-meter soil layer was. The humus horizon thickness increased by 7–13 cm. A decrease of organic carbon storage was observed in soil profiles during the first 25–30 years of the chernozems formation under forest vegetation, and in the following decades, organic carbon storage increased. The organic carbon was directionally enriched with fulvic acids of the upper part of the profiles (0–40 cm layer), while in the middle part of the profiles (40–80 cm) the opposite tendency of its humic acids growth was observed. The clay mobility increases in Chernozems under forest vegetation; it is proved by the increase of the silty infillings occurrence in the studied chronosequence from Chernozems under 25 to Chernozems under 60–75-year-old tree stands, and the appearance of clay-humus cutans in soils under forest vegetation. The direction and staging of changes in time characterize the Chernozems evolutionary transformation. The directional changes were caused by changes in vegetation from herbaceous (meadow-steppe) to forest and the resulting changes in the hydrothermal regimes of soil formation. The staging of soil changes could be determined by the temporal change in the characteristics of vegetation, as well as the resulting by these changes soil regimes in changing microclimatic conditions.

Keywords: soil carbon, shelterbelt, soil micromorphology, chronosequence, leached chernozems (Luvic Chernozems, Haplic Chernozems (Siltic/Clayic, Pachic))