

ВЛИЯНИЕ МАССИВНОГО ПОЛЕЗАЩИТНОГО ЛЕСОНАСАЖДЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМАХ

© 2024 г. Б. Ф. Апарин^{a,*} (<http://orcid.org/0000-0001-6012-0168>),
Е. Ю. Сухачёва^a, М. К. Захарова^a, Е. В. Мингареева^a, А. В. Кошелев^b

^aЦентральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева — филиал Федерального исследовательского центра Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Биржевой пр-д, 6, Санкт-Петербург, 199034 Россия

^bФедеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, пр-т Университетский, 97, Волгоград, 400062 Россия

*e-mail: soilmuseum@bk.ru

Поступила в редакцию 25.04.2024 г.

После доработки 09.07.2024 г.

Принята к публикации 10.07.2024 г.

Исследование изменения содержания гумуса в агрочерноземах (Haplic Chernozem (Clayic, Pachic)) под влиянием полезащитного дубово-кленового лесонасаждения проводили на полигоне почвенно-экологического мониторинга Волгоградской области. Полигон расположен в Козловском лесном массиве, созданном в 1896 г. на пахотных землях. Влияние лесонасаждений на изменение гумусового состояния агрочерноземов рассматривали в следующих аспектах: пространственно-временная изменчивость свойств почв и содержания гумуса, содержание и запасы гумуса в пахотных и лесных почвах, изменение почв под влиянием старо- и средневозрастного лесонасаждения. Пространственную изменчивость почв исследовали на двух трансектах, пересекающих лесонасаждение и включающих примыкающие сельскохозяйственные угодья. Для анализа средне и долгосрочной изменчивости содержания гумуса применяли метод ретроспективного мониторинга. Данные по динамике содержания гумуса за 125 лет получены на основании сравнения с погребенной почвой и материалами стационарных исследований 1950-х гг. коллектива сотрудников Почвенного института им. В.В. Докучаева. Проведены сопряженные исследования типоморфных показателей почв под лесонасаждением и сельскохозяйственными угодьями. Они включали определение содержания и запасов гумуса, гранулометрического и агрегатного составов, плотности сложения, реакции почвенного раствора, содержания легкорастворимых солей и карбонатов кальция. Установлены особенности пространственно-временной изменчивости содержания и запасов гумуса в черноземах (Haplic Chernozem (Clayic, Pachic)) под разными угодьями.

Ключевые слова: пространственно-временная изменчивость почв, ретроспективный мониторинг, погребенная почва, таксация лесонасаждения, гумусовый профиль

DOI: 10.31857/S0032180X24120087, **EDN:** JCUPMO

ВВЕДЕНИЕ

В современной истории степной зоны за последние 200 лет можно выделить два периода антропогенного воздействия кардинальным образом изменивших состояние экосистем. Первый связан с практически сплошной распашкой черноземов водораздельных территорий, к концу XIX в. значительно превысившей экологический оптимум. Коэффициент земледельческого использования черноземов, равный отношению обрабатываемой от общей площади почв, составил 0.7–0.85 долей [40].

Последствия этого были для земледелия России катастрофическими [15]. Второй период — середина XX в., связан с реализацией государственного «Плана преобразования природы» [32], который включал создание плотин, оросительных систем, посадку полезащитных лесонасаждений (ЛН). Масштаб воздействия на природу был соизмерим с зональными ландшафтообразующими процессами. К 1951 г. площадь лесопосадок превысила 3 млн га. В настоящее время лесонасаждения достигли зрелого возраста и, следовательно, теоретической

эффективности, предусматриваемой при их проектировании. На огромных просторах степной зоны был создан новый природно-антропогенный экологический каркас. Можно предположить, что устойчивое земледелие при высокой урожайности зерновых культур, сложившееся в настоящее время в степной зоне, является результатом реализации Докучаевской программы оздоровления сельского хозяйства России [15, 28, 29].

Естественно, что проблемы оценки эффективности выживаемости и долговечности ЛН, их влияния на черноземы, сформировавшиеся под степным фитоценозом, давно привлекают внимание исследователей. Различные аспекты результатов исследований этих проблем рассмотрены в публикациях обзорного характера. В них показано, что, несмотря на большое число работ, по многим вопросам нет однозначных выводов по оценке влияния лесонасаждений на черноземы. Это касается и актуальной проблемы — оценки вклада ЛН в баланс углерода в агроэкосистемах степной зоны. Причины этого, на наш взгляд, кроются в отсутствии систематических исследований и комплексности в изучении вопроса. Исследования проводились преимущественно в 2–3 регионах в ЛН ленточного типа [20, 21, 30, 45].

Цель работы — оценить влияние массивного полезавитного лесонасаждения разного возраста на содержание гумуса в черноземах под разными угодьями.

В статье представлена часть результатов исследований, проводимых Центральным музеем почвоведения имени В.В. Докучаева, в рамках почвенно-экологического мониторинга на полигонах Волгоградской области [5, 9, 37, 41].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются почвы Козловского лесного массива, расположенного в Волгоградской области на юго-западном склоне Приволжской возвышенности, на водораздельном пространстве между реками Шелкан и Вязовка — левыми притоками р. Терсы, впадающей в р. Медведицу (рис. S1).

Лесной массив из дуба и клена был создан по типу широких полос Н.К. Генко с целью ограждения сельскохозяйственных земель от влияния суховея. Посадка произведена в 1896 г. на пахотных землях, в 2 км на юг от села Козловка. Ширина ЛН составляла 600 м, длина — 7 км, площадь — 384 га.

В 1949 г. с целью изучения условий произрастания древесных насаждений при полевом лесоразведении на обыкновенных [23] (текстурно-карбонатных [22]) черноземах был создан стационар “Белые пруды” АН СССР [42, 43]. В Козловском лесном массиве (полигоне стационара)

сотрудниками Почвенного института им. В.В. Докучаева был заложен экологический профиль — трансекта 1, пересекающая семенное 55-летнее насаждение квартала 161 в меридиональном направлении (рис. S2). Трансекта включала прилегающие к ЛН с севера и юга сельскохозяйственные поля. В 1949–1952 гг. здесь были проведены сопряженные исследования водно-солевого режима почв сельскохозяйственных угодий и лесонасаждения, их агрегатного состава, плотности сложения, содержания карбонатов, гумуса и его запасов, а также корневых систем растений [10, 42, 43].

На основе этих материалов в 2009–2010 гг. сотрудники Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева начали работы по почвенно-экологическому мониторингу [7, 13]. В границах пробных площадей (ПП) трансекты 1, в 3–4 м от разрезов Афанасьевой [42] в 2021–2022 гг. для учета пространственной вариативности свойств почв были заложены опорные разрезы с 3–4 прикопками. В 2022 г. с целью изучения неоднородности почвенно-растительного покрова, в 800 м западнее трансекты 1 (рис. 1А), был проложен однотипный первому почвенно-экологический профиль — трансекта 2 (рис. 1Б). В качестве аналога пахотной почвы, на момент посадки леса, была использована погребенная почва, обнаруженная у южного края ЛН (разрез 9.22 трансекта 1).

Разрезы трансект характеризуют почвы водораздельных агроландшафтов Южнорусской провинции степной зоны: агрочерноземы текстурно-карбонатные (Haplic Chernozem (Clayic, Pachic) [50]) — сельскохозяйственные угодья (далее — пахотные почвы), агрочернозем погребенный (далее — погребенная почва), черноземы текстурно-карбонатные

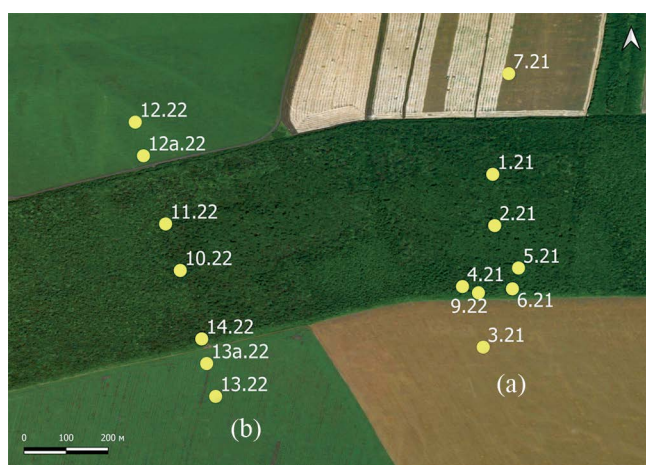


Рис. 1. Положение опорных разрезов трансекты 1 (а) и 2 (б) на космическом снимке: пахотные почвы — разрезы 7.21, 3.21, 12.22, 12a.22, 13a.22, 13.22; лесные почвы — разрезы 1.21, 2.21, 4.21, 5.21, 6.21, 11.22, 10.22, 14.22; погребенная почва — разрез 9.22.

постагрогенные — лесонасаждение (далее — лесные почвы).

Во всех разрезах отобрали образцы по 10-сантиметровым слоям до глубины 1.5 м, и выборочно — послойно до 4 м.

Аналитическое исследование образцов почв проводили согласно следующим методикам: гранулометрический состав методом пипетки Н.А. Качинского в ускоренном варианте Почвенного института им. В.В. Докучаева [39]; агрегатный состав методом сухого и мокрого просеивания по Н.И. Саввинову в модификации кафедры почвоведения СПбГУ [1, 39], реакция почвенного раствора — потенциометрическим методом по [12], содержание легкорастворимых солей — методом водной вытяжки [1, 12], содержание карбонатов по методу Ф.И. Козловского [1], плотность сложения — методом режущих цилиндров [39].

Содержание углерода органических соединений ($C_{орг}$) определяли методом И.В. Тюрина [12] с последующим пересчетом на гумус. Выбор данного метода обусловлен необходимостью корректного сравнения полученных результатов с результатами предшествующих работ [10, 42].

Таксационную характеристику лесонасаждений проводили по общепринятым в лесной таксации методикам [3, 17, 33].

Статистическую обработку данных проводили по [14].

В основу исследований положены представления о взаимосвязи типоморфных показателей почв, находящихся в климаксом состоянии, и об их отклонении, как индикаторов изменения факторов почвообразования (климата и растительности). За типоморфные признаки приняты: морфогенетические, физические и химические профили почв, сформировавшиеся в течение длительного процесса развития почвы при постоянной климатической норме почвообразования и зональном типе растительности [8]. В понятие типоморфных профилей почв включается характеристика послойного (по горизонтальному) изменения показателей и тип их изменчивости, в совокупности, определяющие морфогенетический образ почвы. Гумусовый профиль (ГП) почвы, как интегральный типоморфный признак, характеризуется содержанием гумуса, характером его распределения в профиле почвы, мощностью профиля и запасами гумуса. За нижнюю границу ГП принято содержание гумуса, равное 2% [11, 35, 36, 42].

Для оценки временной изменчивости содержания гумуса применен метод ретроспективного мониторинга [38, 44] использованный авторами для анализа средне- и долгосрочных изменений почв под влиянием разных факторов [4, 34].

На основе материалов сравнительных исследований почв полигонов почвенно-экологического мониторинга Волгоградской области разработана типология гумусовых профилей черноземов под разными угодьями. Типы гумусовых профилей выделяются по трем показателям: количество гумуса в слое 0–20 см, характер изменения содержания гумуса по профилю почвы, глубина ГП. Приняты следующие градации показателей ГП: по характеру распределения содержания гумуса в профиле — равномерный (Р), убывающий (У), прогрессивно-убывающий (Уп); по содержанию гумуса в слое 0–20 см: малогумусный (до 5%) (Гм), среднегумусный (5–8%) (Гс), высокогумусный (>8 %) (Гв); по глубине ГП: мелкий (до 50 см) (Пм), средний (50–80 см) (Пс), глубокий (>80 см) (Пг).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние лесонасаждений на изменение гумусового состояния агрочерноземов рассматривали в следующих аспектах: а) пространственная изменчивость свойств почв и содержания гумуса в массивном ЛН; б) содержание и запасы гумуса в пахотных и лесных почвах; в) изменение черноземов под влиянием ЛН разного возраста.

Пространственная изменчивость чернозема в массивном лесонасаждении. Согласно [2, 6, 16, 19, 24–27], лесонасаждения оказывают разнообразное прямое и косвенное влияние на гумусовое состояние агрочерноземов. Оно состоит в закреплении $C_{орг}$ в наземной биомассе и корневой системе древостоев с изъятием из активного оборота на продолжительное время; перекачке $C_{орг}$ в глубокие слои почвы и подпочвы, и консервации там, в форме гумуса, благодаря глубоко проникающей корневой системе деревьев; стабилизации гумусового состояния почв, благодаря особому микроклимату под пологом леса; формированию характерного химического и физического профилей почв.

Материалов исследований пространственной неоднородности свойств почв и их гумусового состояния под ЛН мало. Как правило, сравниваются почвы центральной и опушечной частей узких лесополос [46, 48, 49]. Это затрудняет экстраполяцию точечных данных о содержании гумуса на площадь всего ЛН. Особенно это касается массивных ЛН, для которых имеются лишь фрагментарные сведения о содержании гумуса.

Исходя из материалов исследований почв лесополос, теоретически можно предположить, что пространственная изменчивость гумусного состояния почв Козловского лесного массива связана с исходной неоднородностью почвенного покрова, со структурой ЛН и его возрастом, влиянием ЛН на водный режим почв [10]. Исследования пространственной вариативности почв на территории лесного массива были проведены по трансектам 1

и 2. Территория исследований характеризуется одним генетическим типом почвообразующих пород, выравненностью рельефа, одной климатической нормой почвообразования в период роста и развития ЛН, хорошей дренированностью, глубоким уровнем залегания грунтовых вод, отсутствием засоления почвенно-грунтовой толщи и однотипном характере антропогенного воздействия на почвы. Одинаковые значения перечисленных факторов почвообразования дают основания к предположению об исходно однородном характере почвенного покрова, и возможности связать современные свойства почв и их изменения с влиянием искусственно созданного лесонасаждения.

Первые данные о гумусовом состоянии почв Козловского лесного массива были получены Афанасьевой с соавт. [10, 42] в результате стационарных исследований в 1950–1952 гг. на полигоне по трансекте 1 (рис. S3). Они включали сопряженное изучение ЛН 55-летнего возраста, водного режима и физико-химических свойств почв, гумусовых и карбонатных профилей в опушечной и центральной частях массива, а также на прилегающих к лесу сельскохозяйственных угодий.

За период со времени посадки ЛН (1896 г.) метеоусловия были в пределах климатической нормы почвообразования и характеризовались следующими параметрами: температура воздуха — 5.2°C , сумма осадков — 393 мм; средняя испаряемость за теплый период около 792 мм; коэффициент увлажнения в мае–августе от 0.32 до 0.23. Уровень грунтовых вод за период наблюдения был ниже 10 м [10].

По данным таксации, проведенной Афанасьевой [42] на пробных площадях трансекты 1, массив представлял собой в основном порослевые насаждения III класса бонитета. Древесный полог состоял из клена остролистного с примесью дуба черешчатого и единичных экземпляров вяза. Деревья в возрасте 50–56 лет были высотой 12–15 м при среднем диаметре 15–20 см. Под пологом леса хорошо развито порослевое и семенное возобновление, причем порослевые экземпляры дуба и клена остролистного образовали выраженный ярус на высоте 2–4 м. Вероятно, в военное время дуб и вяз были в значительном количестве вырублены. Общая сомкнутость крон древесного полога составляла 0.6–0.8. На 1 га приходилось около 1000–1200 стволов. Опушечная часть у южной границы насаждения отличалась от его центра. Она была образована вязом с примесью береста, занимающего пространство шириной в 12 м между первым рядом крупных деревьев (дуб, клен, вяз) и лохом узколистным по внешнему краю. Если общее покрытие травяным покровом, в целом, не превышало 1%, то в пределах опушечной полосы, он был хорошо развит и представлен луговыми и опушечными растениями с общим проективным покрытием от 20 до 50(70)% [42].

Сравнительное исследование распределения массы тонких корней (менее 2 мм) в опушечной и центральной частях массива не выявило между ними существенных различий. Около 40% тонких корней были сосредоточены в слое 0–50 см, причем 25% — в верхнем слое (0–10 см). В то же время, общая масса корней в слое 0–400 см в опушечной части была в три раза больше, чем в центре массива. Более 50% всей массы корней деревьев было сосредоточено в слое 0–50 см. В верхней части породы (200–400 см) содержалось около 17% общего количества корней деревьев. Масса корней здесь составляла 200–250 г/м³. Благодаря глубокой корневой системе ЛН верхняя часть почвообразующей породы вовлекается в активный годичный биологический круговорот [42]. В этом и заключается существенное различие в поступлении $\text{C}_{\text{орг}}$ соединений в почву лесонасаждений от пахотных и целинных почв. Таким образом, в ЛН 55-летнего возраста, пространственная неоднородность по трансекте проявлялась, главным образом, в различной массе корней древесных растений в границах гумусового горизонта почв и степени покрытия напочвенным растительным покровом.

Наблюдения Е.А. Афанасьевой за влагозапасами в течение 4 лет показали, что в почвах под массивом ЛН преобладал непромывной тип водного режима. Горизонт иссушения под лесом был в 2–3 раза мощнее, чем в почве прилегающих сельскохозяйственных угодий. В опушечной части массива, дополнительное увлажнение, связанное с накоплением снега на наветренной южной стороне, сказалось на более поздних сроках потери листы деревьями. Очевидно, что в центре леса количество влаги, поступающей в почву, было меньше, чем на опушках, что недостаточно для нормального функционирования древостоя [42].

По материалам [42] была оценена пространственная неоднородность содержания гумуса в почвах (6 разрезов) в ЛН 55-летнего возраста по трансекте 1. В почве центральной части ЛН, по сравнению с опушками, содержание гумуса больше по всему профилю (рис. 2). До глубины 50 см, больше гумуса содержится в почве северной опушки ЛН, по сравнению с южной, а в толще 50–100 см — картина обратная, в почве южной опушки гумуса больше. Максимальный разброс в содержании гумуса (до 2%) внутри массива наблюдается в слое 0–50 см. Мощность ГП максимальна в центральной части ЛН и минимальна — в северной. Под разными частями ЛН для почв характерны разные подтипы убывающего гумусового профиля. Для северной части — среднегумусный среднеглубокий, для южной части — среднегумусный глубокий, для центральной — высокогумусный глубокий.

О современном состоянии ЛН дают представление материалы таксации растительности пробных

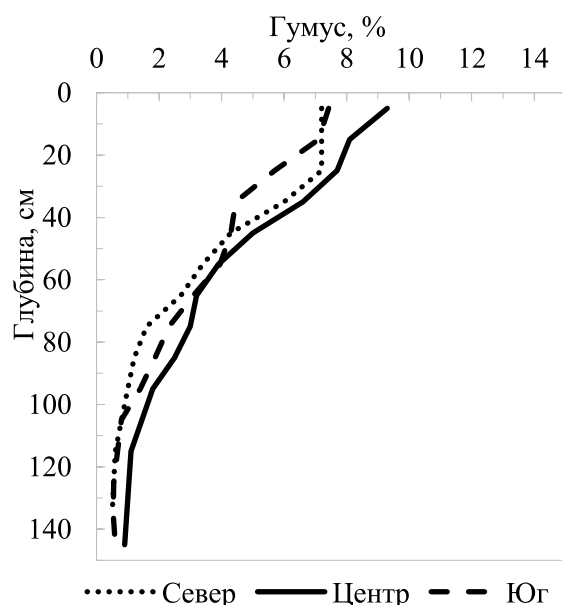


Рис. 2. Гумусовые профили почв трансекты 1 под 55-летним лесонасаждением, 1950 г.

площадей на трансектах 1 и 2 (табл. 1). На каждой трансекте было заложено по три ПП 50×50 м (0.25 га), которые располагались в северной, центральной и южной частях насаждения, в местах нахождения базовых почвенных разрезов.

На момент исследования (2022 г.) насаждение представлено кленом остролистным (*Acer platanoides*), дубом черешчатым (*Quercus robur*), ясенем обыкновенным (*Fraxinus excelsior*). Сомкнутость основного яруса на всех ПП составляет 70–80%. Повсеместно сформирована лесная подстилка мощностью 2–4 см, встречаются куртины ландыша. На каждой ПП трансекты 1 и ПП центральной части трансекты 2 встречено до 10% сухостойных и поваленных деревьев. В северной и центральной частях ЛН обеих трансект отмечены обильные всходы клена и ясеня (2 трансекта) и ясеня (трансекта 1) высотой 2–5 см. Естественное возобновление растительности и разрастание лесонасаждения в его опушечной части свидетельствуют о его жизнеспособности.

По данным таксации не выявлено хорошо выраженных особенностей в составе центральной и опушечных частей ЛН. Имеющиеся различия в составе древостоев трансект унаследованы, вероятно, со времен создания ЛН. Кроме того, трансекта 2 находится вне квартала 161, в котором, по данным таксации 1950 г. сохранилось семенное ЛН.

Сравнение материалов таксаций ЛН двух сроков (1950 и 2022 гг.) выявило, что за 70 лет произошли следующие изменения в лесонасаждении: произошло разрастание ЛН в опушечных частях; возросла доля клена и уменьшилась доля участия дуба в 1 ярусе ЛН по всей трансекте; высота деревьев

Таблица 1. Таксационная характеристика лесонасаждения по трансектам

ПП	Состав древостоя	Бонитет	Густота, шт./га	H_{cp} , м	D_{cp} , см	Подрост
				клен/ясень/дуб		
Трансекта 1						
Север	9Кл1Дч	IV	600	22/–/32	29/–/44	Клен, 5000 шт./га H_{cp} 3–4 м, D_{cp} 1–2 см
Центр	10Кл+Дч	IV	650	20/–/26	31/–/36	Клен, ясень и вяз (фрагментарно), 8000 шт./га H_{cp} 4–6 м, D_{cp} 1–3 см
Юг	10Кл+Дч	IV	425	24/–/26	31/–/36	Клен и ясень, 10000 шт./га H_{cp} 4–6 м, D_{cp} 1–3 см
Трансекта 2						
Север	5Кл3Дч2Яо	IV	700	21/26/21	23/24/23	Клен, ясень, 8000 шт./га H_{cp} 6–8 м, D_{cp} 3–5 см
Центр	4Кл3Яо3Дч	IV	700	20/26/21	20/26/23	Клен и ясень, крайне редко – дуб, 9000 шт./га H_{cp} 5–7 м, D_{cp} 3–5 см
Юг	5Кл4Яо1Дч	IV	592	19/27/22	19/31/24	Клен, ясень, вяз, 8000 шт./га H_{cp} 4–6 м, D_{cp} 1–3 см

Примечание. ПП – пробная площадь; H_{cp} – средняя высота деревьев; D_{cp} – средний диаметр деревьев; Кл – клен остролистный, Яо – ясень обыкновенный, Дч – дуб черешчатый.

увеличились от 12–15 м до 22–27 м, а диаметр — от 15–20 см до 30–40 см; возросла от 60–80 до 70–80% сомкнутость крон основного яруса; уменьшились различия в ЛН центральной и опушечных частей ЛН; бонитет снизился с III на IV класс; почти в 2 раза, снизилась общая густота деревьев (от 1000–1200 до 425–650 стволов на га), это связано с наличием сухостойных и поваленных деревьев и отсутствием ухода за ЛН.

Материалы таксации показали, что 125-летнее ЛН сохраняет свою жизнеспособность и обладает высокой устойчивостью. Это свидетельствует о благоприятных лесорастительных условиях местопроизрастания, в обеспечение которых, при постоянстве других факторов почвообразования, почве принадлежит главная роль.

Для характеристики почв и их пространственной изменчивости под 125-летним ЛН было проанализировано строение и свойства почв на трансектах 1 и 2 — в центральной и опушечных частях (всего 8 разрезов и 9 прикопок).

Почвенный покров обеих трансект сформирован на одном литологическом типе почвообразующих пород — покровные лессовидные глины. Гранулометрический состав профилей имеет характерные особенности. По содержанию фракций менее 0.01 мм почвенные профили можно разделить на две части: верхнюю (0–50 см) — суглинисто-глинистую дифференцированную, и нижнюю (50–160 см) — глинистую, мало меняющуюся. В верхней части профиля содержание фракции последовательно уменьшается снизу-вверх, с минимальными значениями в слое 0–10 см (рис. S4). Максимальный градиент в содержании фракции <0.01 мм наблюдается между слоями 0–10 и 10–20 см. Почвы второй трансекты выделяются более легким гранулометрическим составом. Очевидно, что такие особенности профильной дифференциации ГС почв трансекты сформировались до создания ЛН и, вероятно, унаследованы от материнской породы.

Независимо от различий в ГС строение профилей почв разных трансект практически не отличается. Морфогенетический профиль (формула (1)) сохраняет признаки, характерные для естественных черноземов текстурно-карбонатных по [22] (южных по [23]) [11, 31, 35, 47].

$$\begin{aligned} & \frac{O}{0-3(4) \text{ см}} - \frac{AU_1}{3-8(13) \text{ см}} - \\ & - \frac{AU_2}{8(13)-45(60) \text{ см}} - \frac{AB_{Ca}}{45(60)-70(90) \text{ см}} - \\ & - \frac{CAT}{70(90)-150(180) \text{ см}} - \frac{C_{Ca}}{co 150(180) \text{ см}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Почва — чернозем текстурно-карбонатный по-стагрогенный.

Отличительными морфологическими признаками почв под ЛН являются: а) наличие органо-генного горизонта, состоящего из листвы и веток, нижняя часть которого покрыта белым грибным мицелием; б) хорошо выраженная зернистая и крупнозернистая структура горизонта AU. Свидетельство степного происхождения исследованных почв — следы зоогенной переработки почв крупными обитателями.

В почвах центральной части ЛН трансекты 1 и всех почвах трансекты 2 глубина вскипания от 10%-ного раствора HCl равна 70 см. На северной и южной опушках трансекты 1 она повышается до 50 см. Карбонатные новообразования представлены, в основном, карбонатным мицелием или налетом. Белоглазка появляется на глубине от 80 до 140 см. Значимых различий в морфологическом строении и свойствах почв в центральной и опушечных частях обеих трансект не выявлено.

Пространственно-временная изменчивость гумусового профиля, рассматривается в генетической связи с другими типоморфными характеристиками почв. Верхние слои (до 20 см) отличаются рыхлым сложением, что характерно для почв под ЛН. Характер изменения плотности сложения с глубиной прогрессивно-возрастающий: с 0.65 в слое 0–5 см до 1.35 г/см³ в слое 60–70 см (с приблизительным шагом в 0.1 г/см³ на каждые 10 см). По данным сухого просеивания образцов (3 разреза и 8 прикопок) в агрегатном составе преобладают фракции размерностью 3–1, 5–3, 7–5 и >10 мм (табл. S1). Доля остальных фракций не превышает 25%. Для двух пар агрегатов размерностью >10, 3–1 и 3–1, 5–3 мм характерна асимметричность в распределении по профилю: при увеличении содержания одной фракции, уменьшается содержание второй. Варьирование в содержании фракций происходит в основном до глубины 50 см. В агрегатном составе почв центральной части ЛН преобладают фракции агрегатов 3–1 мм, а в южной опушечной части — 5–3, и 7–5 мм.

Коэффициент структурности ($K_{стр}$), по данным сухого просеивания, в толще 0–50 см составляет, в среднем, 9.7 ед. и изменяется в диапазоне от 37.5 в верхней части профиля до 0.8 в нижней. В верхнем слое профиля (0–20 см) центральной части ЛН $K_{стр}$ выше, чем в опушечных частях. Глубже, в отдельных частях ЛН, значения $K_{стр}$ мало отличаются. В целом, почвы под ЛН характеризуются отличным агрегатным составом.

Представление о химическом профиле почв под массивным ЛН и его пространственной изменчивости дают характеристики кислотно-щелочного, карбонатного, солевого и гумусового состояний.

Реакция среды, по данным анализа образцов из 9 основных разрезов трансект 1 и 2, до глубины 100 см изменяется в диапазоне от слабокислых (5.8)

до сильнощелочных (8.7) значений (рис. S5). Кислотно-щелочные профили имеют характерную S-образную форму, на которой можно выделить три зоны. В первой зоне (0–20(30) см) pH уменьшается с 7.0 до 6.5. Во второй (20(30)–80 см) происходит преимущественно плавное повышение до 8.6 ед. Глубже 80 см выделяется зона слабого варьирования pH.

Кислотно-щелочной профиль почв первой трансекты (средние значения) более дифференцирован, чем профиль почв трансекты 2: первая зона находится в диапазоне более кислых значений, вторая — в более щелочных. Что касается изменения кислотно-щелочного профиля в различных частях ЛН, то можно отметить более контрастный характер профилей центральной части ЛН: первая зона находится в диапазоне более кислых значений, вторая — в более щелочных.

При сравнении почв трансект 1 (р.2.21 центральной части и р.4.21 южной части) было выявлено, что тренд изменения pH с глубины 20 см совпадает с трендом изменения содержания CO_2 карбонатов. В центральной части ЛН граница резкого увеличения содержания CO_2 карбонатов начинается с 70 см, а на южной глубже (с 80 см), причем максимум их содержания (5%) отмечается на глубине 90 и 100 см соответственно, что вероятно связано с дополнительным увлажнением опушечной части ЛН. Незначительное содержание легкорастворимых солей в водной вытяжке позволило отнести почвы к незасоленным [18].

Характеристика гумусового состояния дается на основе анализа образцов почв из 12 разрезов и 9 прикопок. Гумусовые профили почв под 125-летним насаждением определяются как прогрессивноубывающие высокогумусные среднепрофильные

(северная часть ЛН) и глубокопрофильные (южная и центральная части ЛН) (рис. 3).

Мощность ГП почв под ЛН изменяется в диапазоне от 60 до 100 см, при среднем значении 76 см. Отличия в мощности ГП наблюдаются как между трансектами, так и в направлении с севера на юг. Минимальный по мощности ГП (60 см) диагностирован в почвах северной опушечной части ЛН трансекты 1, максимальный (100 см) — в почве южной части трансекты 2. На обеих трансектах наблюдается тенденция к увеличению мощности гумусового профиля почв от северной части ЛН к южной.

По содержанию гумуса профили почв центральной и опушечных частей ЛН близки, а характер его распределения — однотипный. Наиболее вариабельные по содержанию гумуса слои 0–5 и 50–60 см. Для ГП почв под ЛН характерно высокое или очень высокое содержание гумуса в тоще 0–10 см с его максимумом в слое 0–5 см и резким падением до 10 см. Глубже, содержание гумуса в почвах снижается относительно плавно. Наблюдается общая тенденция увеличения содержания гумуса по глубине почв от северной опушки насаждения к южной. Однако, расчет запасов гумуса в верхней полуметровой толще почв под ЛН показал, что в центральной части запасы гумуса выше, чем на ее опушечных частях, при этом на южной опушке выше, чем на северной.

Установлена значимая обратная корреляционная связь содержания гумуса с pH и содержанием агрегатов >10 и 10–7 мм (табл. S2). Прямая взаимосвязь гумуса проявилась с преобладающими в лесных почвах агрегатами размером 5–3, 3–1 мм и коэффициентом структурности.

Содержание гумуса в пахотных и лесных почвах. Сравнительных исследований гумусового состояния почв пахотных и лесных угодий длительных сроков землепользования очень мало [20, 21, 41]. Вместе с тем, такие исследования в последнее время приобрели особую актуальность, в связи с оценкой запасов углерода в почвах агроландшафтов.

Объектами сравнения являются почвы пахотных (6 разрезов) и лесных угодий (10 разрезов и 8 прикопок) трансект 1 и 2. Пахотные угодья примыкают к лесному массиву с южной — наветренной и северной — подветренной сторон.

Разрезы 12.22 и 13.22, 3.21 и 7.21 расположены на пашнях в 200 м от края леса, вне области прямого влияния ЛН. На трансекте 2 дополнительно было заложено два разреза (разрезы 12а.22, 13а.22) в 50 м от кромки леса в зоне влияния ЛН.

Почвы трансект 1 и 2 имеют общую историю сельскохозяйственного освоения, которая началась в XVIII в. с момента заселения территории. Территория была благоприятна для земледелия вследствие равнинного характера рельефа и

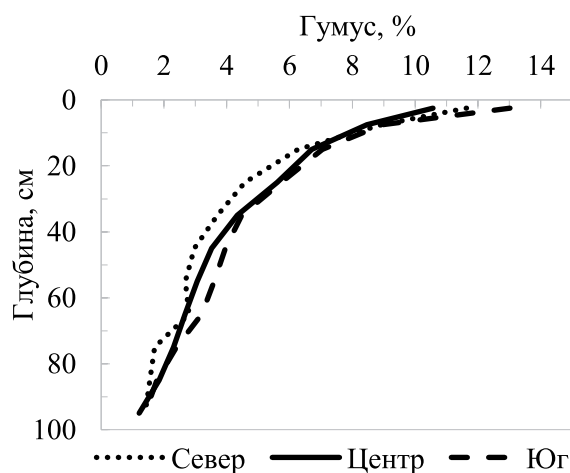


Рис. 3. Среднее содержание гумуса в почвах под лесными насаждениями трансект 1 и 2, 2021 г.

относительно слабой его расчлененности. Глубоко взрезанные балки обеспечивали высокую дренированность местности. По данным [10, 42] на участке исследований уровень грунтовых вод в 1950 г. был ниже 10 м, а легкорастворимые соли в почвообразующих породах отсутствовали. Это были важные факторы для размещения полезащитных лесных насаждений и обеспечения их выживаемости и долговечности на пахотных угодьях.

После посадки леса агрочерноземы развивались по двум траекториям: возделывание сельскохозяйственных культур и развитие лесного фитоценоза. Важно отметить, что 125-летний период развития почвы под ЛН практически соответствует продолжительности жизни древостоя одного поколения. Автогенные сукцессии исходного дубового насаждения, выборочные рубки и эндогенная деструкция древостоя не могли оказать существенного влияния на формирование гумусового состояния почв под ЛН.

Почвы сельскохозяйственных угодий, на которых проводились исследования, более 200 лет непрерывно находились под антропогенным воздействием. Для них характерно однотипное морфологическое строение (формула (2)):

$$\frac{PU}{0-10 \text{ см}} - \frac{AU}{10-50(60) \text{ см}} - \frac{AB_{Ca}}{50(60)-60(100) \text{ см}} - \frac{BCA_i}{60(100)-100(150) \text{ см}} - \frac{C_{Ca}}{со 100(150) \text{ см}} \quad (2)$$

Название почвы – агрочернозем текстурно-карбонатный [22].

В верхнем слое 0–5 см почвы, имеют поршисто-зернистую структуру. Глубина вскипания варьирует от 30(40) до 60 см. Новообразования в виде белоглазки появляются в почвах трансекты 1 глубже (со 150 см), чем трансекты 2 (с 80–100 см). Белоглазка обнаружена только в почвах, расположенных севернее ЛН.

В характере распределения гумуса в профилях пахотных почв трансект 1 и 2 (рис. 4), можно выделить 3 зоны: 0–20 см, 20–90, более 90. Первая зона характеризуется относительно стабильным содержанием гумуса в диапазоне от 4 до 6%. Во второй зоне содержание гумуса в разрезах всех пахотных почв довольно равномерно снижается на 3–3.5%. В третьей – содержание гумуса плавно снижается до минимальных значений. ГП большинства почв имеют S-образную форму. Мощность ГП изменяется от 70 до 90 см за исключением разреза северной пашни трансекты 2 в 50 м от ЛН (50 см).

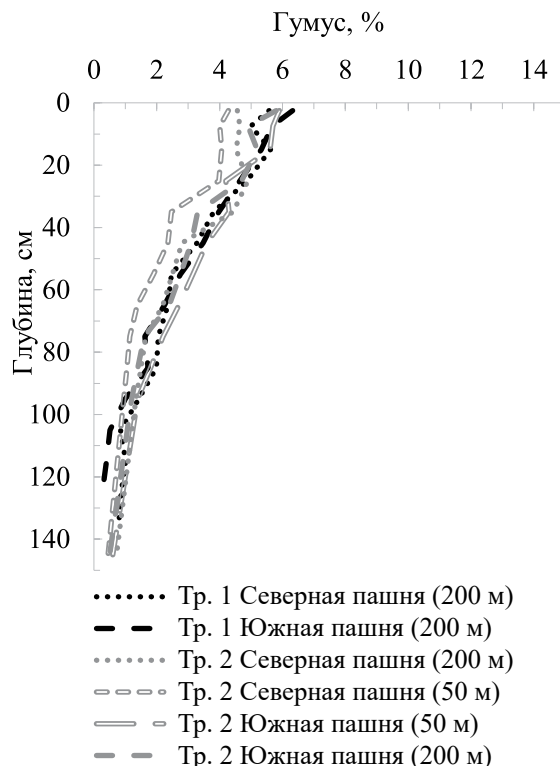


Рис. 4. Содержание гумуса в современных пахотных почвах трансект 1 и 2.

Для пахотных почв характерны следующие типы гумусовых профилей: убывающий среднегумусный глубокопрофильный (все почвы трансекты 1); убывающий среднегумусный среднепрофильный – южные пашни (южные пашни трансекты 2) и убывающий малогумусный среднепрофильный (северные пашни трансекты 2).

Сравнение разрезов пахотных почв и почв под ЛН выявило более высокое содержание гумуса в лесных. Наибольшие различия, почти в 2 раза, в содержании гумуса отмечены в слое 0–10 см. Коэффициент вариации ($V\sigma$) изменяется в узком диапазоне и не зависит от типа угодья (табл. 2). Сравнение статистических характеристик (σ и $V\sigma$) ГП почв угодий выявило сходства их послойного распределения.

Сравнение средних значений содержания гумуса пахотных почв и почв под ЛН по глубине показало два различных типа ГП (рис. 5). Для пашен – убывающий среднегумусный среднеглубокий, для ЛН – прогрессивноубывающий высокогумусный глубокий.

Установлено, что в почвах трансекты 2, находящихся в 200 м от ЛН, гумуса по всему профилю больше, чем в почвах в 50 м от ЛН (север до 2%, юг до 1%). В почвах южных пашен выше гумусированность верхней части профиля и глубина ГП.

Таблица 2. Содержание гумуса в черноземах под разными угодьями, %

Глубина, см	$M \pm \sigma$	Диапазон	$V\sigma$	$M \pm \sigma$	Диапазон	$V\sigma$
	лесонасаждение, $n = 20$			пашни, $n = 7$		
0–5	11.6 ± 1.9	7.7–14.7	16.4	5.8 ± 0.9	4.3–7.1	15.5
5–10	8.6 ± 1.3	6.4–11.5	14.9	5.4 ± 0.9	4.0–6.7	17.3
10–20	6.6 ± 1.0	4.8–9.0	14.8	5.4 ± 0.8	4.1–6.5	14.5
20–30	5.4 ± 0.8	3.8–7.4	14.5	4.8 ± 0.7	3.9–6.3	15.5
30–40	4.3 ± 0.6	3.3–6.1	14.1	3.8 ± 0.8	2.5–5.0	21.0
40–50	3.6 ± 0.7	2.3–5.8	18.7	3.2 ± 0.6	2.4–4.3	18.1
50–60	3.2 ± 0.6	2.1–5.2	20.0	2.6 ± 0.6	1.7–3.8	24.2

Примечание. n – выборка (количество разрезов трансект 1 и 2); M – среднее содержание гумуса; σ – стандартное отклонение; $V\sigma$ – коэффициент вариации.

Влияние продолжительности непрерывного воздействия лесонасаждений на агрочерноземы. Важным условием объективной оценки степени и характера влияния старовозрастных лесонасаждений на гумусовое состояние почв является знание ее характеристик до начала лесокультурных работ. При отсутствии данных неизбежно возникают две проблемы. Первая заключается в подборе аналогов для сравнения и ретроспективной экстраполяции данных исследований современных пахотных почв на почвы лесонасаждений. Вторая состоит в учете пространственной неоднородности почвенного покрова при использовании аналога. Эти проблемы авторам в значительной степени удалось избежать

благодаря тому, что в границах лесопосадки была обнаружена, погребенная в 1896 г. при закладке канавы, пахотная почва. Она была погребена под почвенной массой, отбрасываемой в сторону планируемой под посадку леса территории. Канавы закладывались вдоль северной и южной опушек ЛН для предотвращения чрезмерного снегонакопления и отвода излишней снеговой воды, а также, для ограждения насаждения от скота [42]. Канавы хорошо сохранились до наших дней. Мощность кроющей толщи в настоящее время, составляет от 60 до 90 см. Она выполняет роль экрана от воздействия внешних факторов на погребенную почву (осадков, температуры, биоты и др.). Мы предполагаем, что погребенная почва сохранила основные свойства пахотных почв на период создания лесонасаждения.

Разрез погребенной почвы (разрез 9.22) заложен под пологом древесной растительности на плоской части вала, тянущегося вдоль южной опушки леса. Почва имеет следующее строение (формула (3)). Название почвы – агрочернозем текстурно-карбонатный погребенный [22].

$$\frac{[PU]}{0-30(40) \text{ см}} - \frac{[AU]}{40-85 \text{ см}} - \frac{[AB_{Ca}]}{85-97 \text{ см}} - \frac{[CAT]}{97-105 \text{ см}}. \quad (3)$$

Верхняя часть гумусового горизонта погребенной почвы имеет пылевато-порошистую структуру, а нижняя – зернисто-комковато-ореховатую. В нижней части профиля обнаружены карбонатные новообразования в форме мелких стяжений и пятен, а также слепышина. В переходном горизонте (AB) встречаются глинисто-гумусовые кутаны коричневатого-бурого цвета.

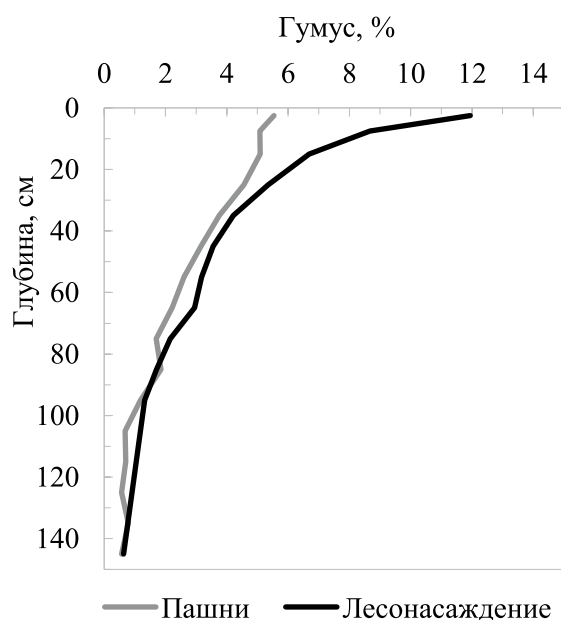


Рис. 5. Гумусовые профили почв пашен и лесонасаждения трансект 1 и 2.

Сравнение погребенной почвы с почвой (разрез 214), описанной Е.А. Афанасьевой в 1950 г. и находящейся в опушечной зоне ЛН на расстоянии 15 м от разреза 9.22 [42], существенных различий в морфологии не выявило.

Профиль погребенной почвы практически не дифференцирован по плотности сложения ($1.0\text{--}1.1\text{ г/см}^3$). Гранулометрический состав до глубины 50 см — тяжелосуглинистый, ниже — глинистый. По сравнению с лесными почвами погребенная имеет более легкий гранулометрический состав, особенно в слое 0–10 см. Разница в содержании фракции физической глины в нем составляет около 7%. Погребенная почва заметно отличается по агрегатному составу от лесных почв. В поверхностном слое относительно преобладает фракция микроагрегатов ($<0.25\text{ мм}$), количество которой составляет 33%. Здесь также содержится много агрегатов 1–0.5 и 0.5–0.25 мм (суммарно 28%).

Реакция среды всего профиля находится в узком интервале щелочных значений (8.2–8.7).

От современных пахотных почв (разрезы 3.21, 7.21), погребенная отличается более мощным гумусовым горизонтом. Ее гумусовый профиль относится к типу убывающего среднегумусного глубокого (рис. 6). Содержание гумуса изменяется от 7% (в слое 0–10 см) до 2% на глубине 100 см. Характер распределения гумуса в слое 0–20 см унаследован от пахотной почвы.

Сравнение материалов исследований почв под 55- и 125-летним ЛН с погребенной почвой, дает возможность проследить, как изменяется гумусовое состояние почв под ЛН разного возраста. Содержание гумуса возросло в слое 0–30 см на 0.8%

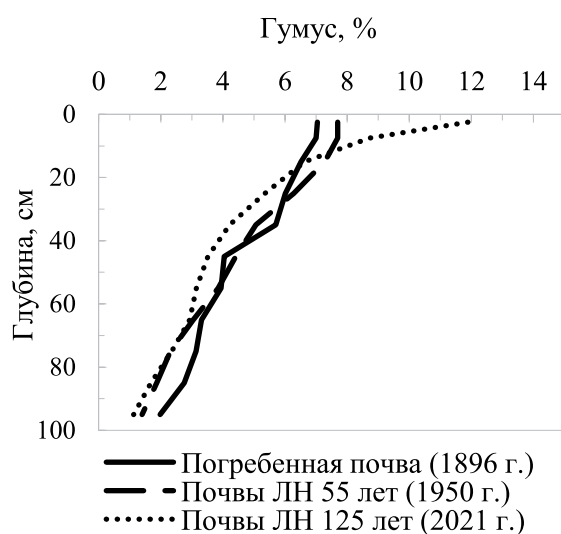


Рис. 6. Гумусовые профили погребенной почвы и почв под лесонасаждением разного возраста трансекты 1.

и уменьшилось на 0.9% в слое 60–100 см, в слое 30–60 см — мало изменилось. Глубина гумусового профиля под 55-летним насаждением уменьшилась на 20 см, от момента посадки, но смены типа гумусового профиля в почве не произошло. За последующие 70 лет развития лесонасаждения произошло значительное увеличение содержания гумуса в слое 0–10 см. Причем, в слое 0–5 см его количество возросло почти на 5%, в сравнении с погребенной почвой. В толще 10–70 см содержание гумуса снизилось на 1%, а глубже, за 70 лет практически не изменилось, так же как глубина ГП. В целом, за 125 лет с момента посадки ЛН произошла смена типа ГП с убывающего, среднегумусного глубокого на прогрессивно-убывающий высокогумусный глубокий. За 125-летний период средняя скорость изменения в содержании гумуса по всему профилю почвы составила 0.01% в год, за исключением слоя 0–5 см, где приращение оказалось выше в 4 раза (0.04% в год).

Запасы гумуса в почвах под разными угодьями и их динамика. Иной характер профильного распределения имеют запасы гумуса, которые были рассчитаны для естественного физического состояния почвы под разными угодьями. Важным показателем этого состояния являются профили плотности сложения. Смена пахотных угодий на лесонасаждение сняла главный антропогенный фактор, влияющий на плотность почвы — механическую обработку и, сопутствующую ей, перестройку агрегатного состава. За 55 лет (с 1896 по 1951 гг.) в ЛН произошло разуплотнение почв (рис. S6A). В то же время в верхних 30 см пахотной, по сравнению с погребенной, плотность сложения увеличилась. За последующие 70 лет (1951–2021 гг.) значения плотности сложения изменились только в почвах под ЛН, где в поверхностном слое (0–5 см), произошла их заметная дифференциация в различных частях ЛН (рис. S6B). При этом характер профиля плотности сложения почв под разными угодьями за 70 лет не изменился. Под ЛН 125 лет плотность сложения почвы с поверхности к глубине 50 см становится больше, под пашней — слабо варьирует. Значительные изменения плотности сложения почв разных угодий прослеживаются лишь до глубины 30 см. Глубже, плотность сложения постепенно увеличивается, достигая максимальных значений в 1.5 г/см^3 , по данным [42], на глубинах от 70 до 170 см.

Расчет запасов гумуса по слоям в современных почвах выявил однотипную S-образную форму их распределения по глубине, независимо от типа угодья и положения на трансекте (рис. 7). В центральной части ЛН гумуса заметно больше на глубинах 0–10 и 20–40 см по сравнению с опушечными частями. В пахотных почвах запасы гумуса в слое 0–10 см по сравнению с почвами ЛН меньше.

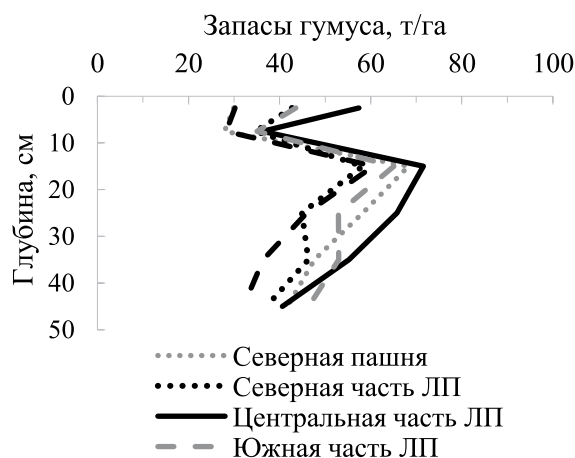


Рис. 7. Профили запасов гумуса в слое 0–50 см в почвах под разными угодьями (трансекта 1, 2021 г.).

Разница в суммарных запасах гумуса в слое 0–50 см пахотных почв севера и юга составляет 41 т/га (табл. 3). В почвах под ЛН первую позицию занимают почвы центральной части (327 т/га), вторую и третью — опушечных частей в последовательности юг (296 т/га) — север (264 т/га).

В целом, средние суммарные запасы гумуса в слое 0–400 см, рассчитанные по данным Афанасьевой на 1950 г. [42] в почвах под пашнями составили 586 т/га, под лесом — 819 т/га. Доля слоя 0–50 см (от общих запасов в толще 0–400 см) составила под лесом — 40%, под пашней — 51%, метрового слоя почвы соответственно, под лесом — 61%, под пашней — 55%.

Динамика запасов гумуса под ЛН различного возраста имеет неоднородный характер. Запасы гумуса в верхнем слое погребенной почвы (0–50 см) составляют 285 т/га. За первые 55 лет произошло

увеличение запасов, в особенности в центральной части массива. В почвах пашен картина следующая: запасы гумуса увеличились на севере, снизились на юге. За последующие 70 лет — повсеместное почти равномерное снижение в среднем на 35 т/га на всех угодьях, за исключением южной части ЛН, где возросло на 4% (12 т/га).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одинаковые значения факторов почвообразования на исследуемой территории (один генетический тип почвообразующих пород, выравненность рельефа, хорошая дренированность) обусловили связь свойств современных почв и их изменения в пространстве и времени, преимущественно, с влиянием искусственно созданного лесонасаждения. Следует отметить, что за исследуемый период (1896–2022 гг.) параметры климата не выходили за пределы климатической нормы гумусово-аккумулятивного типа почвообразования.

Под влиянием массивного ЛН в течение 125 лет изменился тип профильного распределения почвенных характеристик агрочернозема: увеличилось количество агрономически ценных агрегатов; реакция почвенного раствора сместилась от щелочных к слабокислым значениям; возросло содержание гумуса, особенно в слое 0–5 см.

Установлена значимая обратная корреляционная связь содержания гумуса с рН и содержанием агрегатов >10 и 10–7 мм. Прямая взаимосвязь содержания гумуса выявлена с преобладающими в лесных почвах агрегатами размером 5–3, 3–1 мм и коэффициентом структурности.

Пространственная изменчивость почв под массивным лесонасаждением наиболее явно проявилась в содержании гумуса и его распределения по

Таблица 3. Динамика запасов гумуса в черноземах под разными угодьями (трансекта 1)

Показатель (для слоя 0–50 см)	Годы	Угодья				
		северная пашня	лес			южная пашня*
			север	центр	юг	
Запасы гумуса (фактические), т/га	1950	311	301	364	284	266
	2021	274	264	327	296	233
Динамика запасов гумуса, %	1896–1950	+9	+6	+28	0	–7
	1950–2021	–12	–12	–10	+4	–13
	1896–2021	–4	–7	+15	+4	–18
Динамика запасов гумуса, т/га	1950–2021	–37	–37	–37	+12	–33

* На момент исследований Е.А. Афанасьевой в 1950-е годы — 6-летняя залежь, в дальнейшем вовлеченная в сельскохозяйственное использование.

глубине. Гумусовые профили почв характеризуются как прогрессивноубывающие высокогумусные среднепрофильные (север ЛН) и глубокопрофильные (юг и центр ЛН). В опушечных частях ЛН содержание гумуса (в слое 0–20 см) меньше, чем в почвах центральной части, причем на южной опушке больше, чем на северной. Однако пересчет содержания гумуса на запасы выявил иную картину в его пространственном распределении — в центральной части ЛН они выше, чем в его опушечных частях.

На основании сравнения почв под лесонасаждением с погребенным агрочерноземом установлено, что с момента посадки к возрасту 55 лет в среднем возросло содержание гумуса в слое 0–30 см, в слое 30–60 см почти не изменилось, а в слое 60–100 см уменьшилось, при этом, исходный тип ГП (убывающий среднегумусный глубокий) не изменился. Сформировалась пространственная неоднородность по содержанию гумуса: в центральной части ЛН гумуса больше по всему профилю, чем в опушечных частях. До глубины 50 см гумуса больше в почве южной опушки, меньше — в северной. Мощность ГП максимальна в центральной части ЛН и минимальна в почвах северной опушки. За последующие 70 лет во всех частях ЛН произошла смена типа гумусового профиля (с убывающего среднегумусного глубокого на прогрессивно-убывающий высокогумусный глубокий) и уменьшилась пространственная неоднородность в содержании гумуса верхней части профиля. Отчасти, это может быть связано с ослаблением краевого эффекта в массивном лесонасаждении.

Посадка деревьев на пашне привела к смене типа гумусового профиля почв: для пашен характерен убывающий среднегумусный среднеглубокий тип ГП, для лесонасаждения — прогрессивноубывающий высокогумусный глубокий. Установлено, что содержание гумуса в почвах под ЛН в среднем выше, чем в пахотных, причем, наибольшие различия (почти в 2 раза) отмечены в слое 0–10 см.

В настоящий момент средние запасы гумуса, в слое 0–50 см, в почвах под лесонасаждением составляют 296 т/га, в пахотных почвах — 264 т/га. Профили запасов гумуса в данном слое имеют S-образную форму вне зависимости от типа угодья. Динамика запасов гумуса под ЛН различного возраста имеет неоднородный характер. За первые 55 лет на всех угодьях, с момента посадки ЛН, произошло увеличение запасов гумуса, за исключением южной пашни. За последующие 70 лет — запасы гумуса почти равномерно снизились на всех угодьях, за исключением южной части массива, где они немного увеличились.

Средние суммарные запасы гумуса в слое 0–400 см, рассчитанные по данным Афанасьевой на 1950 г. [42], в почвах под пашнями составили

586 т/га, под лесом — 819 т/га. Доля слоя 0–50 см (от общих запасов 0–400 см) составила 40–51%, метрового слоя почвы — 61–55%. Эти материалы показывают важность и необходимость учета современных запасов гумуса в глубоких слоях почвообразующей породы для объективной оценки вклада почв под ЛН в баланс углерода в агроэкосистемах степной зоны.

Данные последней таксации показали, что современная лесная экосистема массивного теневого типа, которая сформировалась на агрочерноземах, на основе лесопосадки 1896 г., сохраняет свою жизнеспособность и долговечность.

Точная пространственная привязка почвенных разрезов, а также, наличие обширных разносторонних данных сопряженных исследований почв открывает возможность для осуществления долгосрочного почвенно-экологического мониторинга в различных аспектах: прогноз влияния изменения климата на экологический, лесорастительный и агроэкологический потенциалы черноземов, динамики их изменения под разными угодьями.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. Соколова А.В. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Агроэкологическое состояние черноземов Центрально-Черноземной области / Под ред. Щербакова А.П., Васенева И.И. Курск, 1996. 330 с.
3. Ануцин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная промышленность, 1982. 552 с.
4. Апарин Б.Ф., Бабилов Б.В., Касаткина Г.А., Сухачева Е.Ю. Лисинское лесничество как уникальный полигон почвенно-экологического мониторинга // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 83. С. 140–158. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-83-140-158>
5. Апарин Б.Ф., Захарова М.К., Мингареева Е.В. Гумусовые профили почв полигонов почвенно-экологического мониторинга Волгоградской области // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов: Сб. докл. IV Всерос. конф. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2022. С. 16–24.
6. Апарин Б.Ф., Каррыев Б.Б., Журнова Н.А. Влияние лесного биоценоза на изменение физико-химиче-

- ских свойств и состава гумуса черноземов обыкновенных Приазовья // Роль органического вещества в формировании почв и их плодородия. М., 1990. С. 118–126.
7. Апарин Б.Ф., Мингареева Е.В., Санжарова Н.И., Сухачева Е.Ю. Содержание радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) в черноземах Волгоградской области разных сроков отбора образцов // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1457–1467.
8. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Изменение ресурсного потенциала почв при разных уровнях антропогенного воздействия и глобального изменения климата // Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов. Сб. докл. Третьей Всерос. конференции. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. С. 225–231.
9. Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю., Захарова М.К., Лазарева М.А., Мингареева Е.В., Моргач Ю.Р., Пятина Е.В., Федорова М.Е. Влияние лесонасаждений государственной лесной полосы “Пенза–Каменск” на агрочерноземы // Агролесомелиорация и защитное лесоразведение – история и перспективы развития: Матер. Всерос. научно-пр. конф. Волгоград, 2023. С. 8–14.
10. Афанасьева Е.А. Водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов Юго-Востока европейской части СССР. М.: Наука, 1980. 216 с.
11. Афанасьева Е.А. Черноземы среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
12. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
13. Гурин П.Д., Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Влияние лесопосадок и длительного сельскохозяйственного использования на свойства южных черноземов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология. 2012. № 2. С. 109–119.
14. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
15. Докучаев В.В. Наши степи прежде и теперь. СПб.: Типография Е. Евдокимова. 1892. 128 с.
16. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 2017. № 88. С. 121–137.
17. Загребев В.В., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г., Селимов Ш.А. Лесная таксация и лесоустройство. М.: Экология, 1991. 384 с.
18. Засоленные почвы России. М.: Академкнига, 2006. 854 с.
19. Зонн С.В., Карпачевский Л.О. Проблемы лесного почвоведения и современные методы лесорастительной оценки почв // Почвоведение. 1987. № 9. С. 6–15.
20. Каганов В.В. Изменение экосистемных запасов углерода при облесении в степной и полупустынной зонах европейской части России // Проблемы региональной экологии. 2012. № 4. С. 7–12.
21. Каганов В.В. Экологические аспекты влияния лесонасаждений на свойства почв лесостепной и степной зон // Материалы по изучению русских почв. Вып. 6. 2009. С. 61–65.
22. Классификация и диагностика почв России 2004. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
23. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
24. Колесникова Л.В. Лесные полосы и их влияние на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность угодий в степи Приволжской возвышенности. Дис. ... канд. с.-х. наук. Саратов, 2006. 238 с.
25. Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А. Изменение физических свойств почв Каменной степи под влиянием полезащитных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308.
26. Кретицин В.М. Агролесомелиорация почв. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2009. 198 с.
27. Кретицин В.М. Влияние лесомелиорации на аккумуляцию гумуса и биофильных элементов в почвах различных природных зон России // Почвоведение. 2004. № 6. С. 745–751.
28. Кулик К.Н. “План преобразования природы”: взгляд через 70 лет // Орошаемое земледелие. 2018. № 4. С. 13–14.
29. Кулик К.Н. Защитные лесные насаждения – основа экологического каркаса агротерриторий // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 18–21.
30. Накаряков А.В., Чирков Ф.Н., Филькин Т.Г. О детальной дифференциации почв под лесополосами в Троицком лесостепном заказнике Пермского университета. 2005. Электронный ресурс. http://nakaryakov.narod.ru/articles/a_2005/solonec.htm
31. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель. Электронный ресурс. <https://soil-db.ru/soilatlas/nacionalnyy-atlas-pochv-rossiyskoy-federacii>
32. О плане полезащитных лесонасаждений, внедрения травопольных севооборотов, строительства прудов и водоемов для обеспечения высоких устойчивых урожаев в степных и лесостепных районах европейской части СССР. М.: Госполитиздат, 1951, 48 с.
33. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки.
34. Полигоны почвенно-экологического мониторинга лесных экосистем таежной зоны. СПб: Лань, 2022. 140 с.

35. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 221 с.
36. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумусовый профиль // Черноземы СССР. М.: Колос, 1974. Т. 1. С. 122–145.
37. Пятинина Е.В., Захарова М.К., Мингареева Е.В., Федорова М.Е. Структура почвенной макрофауны лесозащитных полос степных агроландшафтов // Эволюция почв и развитие научных представлений в почвоведении. Сб. науч. тр. Междунар. научной конф., посвященной 90-летию со дня рождения Бурлаковой Л.М. Барнаул: Алтайский гос. аграрный ун-т, 2022. С. 351–355.
38. Разнообразие почв Каменной Степи. М.: Почв. Инт-т им. В.В.Докучаева, 2009. 428 с.
39. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство). Л.: Изд-во Ленинград. Ун-та, 1983. 195 с.
40. Розов Н.Н., Мельников Л.А., Строганова М.Н. Оценка мировых земельных ресурсов и возможностей расширения земледелия в связи с разработкой моделей и стратегий глобального развития // Природные ресурсы и окружающая среда. Достижения и перспективы. 1978. № 2. С. 3–12.
41. Система почвенных индикаторов глобального изменения климата и антропогенного воздействия на экосистемы таежной и степной природных зон разработанная на основе использования почвенных коллекций: отчет НИР. СПб.: ФГБНУ ЦМП, 2019–2023. Рег. № НИОКТР 119011590146-6.
42. Тр. ин-та леса. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. XXIX. 193 с.
43. Тр. комплексной научной экспедиции по вопросам полезащитного лесоразведения. Т. II. Вып. 1. М.: Изд-во академии наук СССР, 1952. 158 с.
44. Хитров Н.Б., Никитин Д.А., Иванова Е.А., Семенов М.В. Пространственно-временная изменчивость содержания и запаса органического вещества почвы: аналитический обзор // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1493–1521.
45. Чендев Ю.Г., Беспалова Е.С. Оценка роли лесополос в оптимизации почв и ландшафтов: литературный обзор сведений // Региональные геосистемы. 2019. Т. 43. № 2. С. 124–133.
46. Чендев Ю.Г., Соэр Т.Д., Геннадиев А.Н., Новых Л.Л., Петин А.Н., Петина В.И., Заздравных Е.А., Бурас С.Л. Накопление органического углерода в черноземах (моллисолях) под полезащитными лесными насаждениями в России и США // Почвоведение. 2015. № 1. С. 49–60.
47. Черноземы СССР: Поволжье и Предуралье. М.: Колос, 1978. 304 с.
48. Sauer T.J., Cambardella C.A., Brandle R.B. Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar-scotch pine shelterbelt // Agroforestry Systems. 2007. V. 71. P. 163–174.
49. Sauer T.J., James D.E., Cambardella C.A., Hernandez-Ramirez G. Soil properties following restoration or afforestation of marginal cropland // Plant and Soil. 2012. V. 360. № 1–2. P. 375–390. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1258-8>
50. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports № 106. FAO, Rome.

Influence of Massive Field Protective Forest Belt on Humus Content and Its Reserves in Chernozems

B. F. Aparin^{1,*}, E. Yu. Sukhacheva¹, M. K. Zakharova¹,
E. V. Mingareeva¹, and A. V. Koshelev²

¹Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev — Branch of the Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Saint Petersburg, 199034 Russia

²Federal Scientific Center of Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, 199034 Russia

*e-mail: soilmuseum@bk.ru

The study of changes in humus content in Haplic Chernozems (Clayic, Pachic) under the influence of field-protective oak-maple forest belt was conducted at the soil-ecological monitoring polygon of Volgograd region. The polygon is located in the Kozlovskaya forest belt, which was established in 1896 on arable land. The influence of the forest belt on changes in the humus state of Haplic Chernozems (Pachic) was considered in the following aspects: spatial and temporal variability of soil properties and humus content, humus content and reserves in arable and forest soils, soil changes under the influence of old and middle-aged forest belt. Spatial variability of soils was investigated on two transects crossing the

forest belt and adjacent agricultural lands. The method of retrospective monitoring was applied to analyze the medium- and long-term variability of humus content. Data on the dynamics of humus content for 125 years were obtained on the basis of comparison with buried soil and materials of stationary studies in 1950s by the team of the V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Conjugate studies of soil typomorphic characteristics of soils under the forest belt and agricultural lands were carried out. They included determination of humus content and its reserves, granulometric and aggregate compositions, density of composition, soil solution reaction, content of soluble salts and calcium carbonates. The features of spatial and temporal variability of humus content and its reserves in Haplic Chernozems (Clayic, Pachic) under different types of land use were established.

Keywords: spatial and temporal soil variability, retrospective monitoring, buried soil, forest belt taxation, soil humus profile