

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

### ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЛЕСОПОЛОС НА ЮГЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

© 2020 г. Ю. Г. Чендев<sup>a, \*</sup>, А. Н. Геннадиев<sup>b</sup>, С. В. Лукин<sup>c</sup>, Т. Д. Соэр<sup>d</sup>,  
Е. А. Заздравных<sup>c</sup>, В. Г. Белеванцев<sup>a</sup>, М. А. Смирнова<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Белгородский государственный университет, ул. Победы, 85, Белгород, 308015 Россия

<sup>b</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

<sup>c</sup>Центр агрохимической службы “Белгородский”, ул. Щорса, 8, Белгород, 308027 Россия

<sup>d</sup>Национальная лаборатория сельского хозяйства и окружающей среды департамента сельского хозяйства США,  
Норд Университи бульвар, 1015, Эймс, 50011-3611 США

\*e-mail: Chendev@bsu.edu.ru

Поступила в редакцию 20.01.2020 г.

После доработки 31.01.2020 г.

Принята к публикации 27.02.2020 г.

Проведено комплексное исследование почв полевостепной 5-рядной (30 м) дубовой лесополосы с меридиональной ориентировкой на ровном водоразделе агролесомелиоративного ландшафта (типичная лесостепь Белгородской области). Фоновые почвы – выщелоченные среднемошные легкоглинистые черноземы на тяжелых карбонатных лёссовидных суглинках (Luvic Chernozems). За 50 лет произрастания лесополосы произошла дифференциация направленности и интенсивности почвообразовательного процесса как внутри лесонасаждения, так и на участках прилегающих пахотных угодий. В почвах под лесополосой обнаружены признаки процесса текстурной дифференциации профиля по содержанию и запасам ила и мелкой пыли; в слое 200–400 см выявлено накопление натрия и магния в составе водной вытяжки. Пахотные почвы, прилегающие к лесополосе, содержат меньше карбонатов, чем почвы под лесополосой (в слое 0–200 см вынос карбонатов в почвах пашни в среднем составил 57 т/га, а в слое 0–300 см – 84 т/га). Почвы лесополосы в слое 0–20 см достоверно отличаются от почв прилегающих пашен меньшей плотностью сложения, меньшими запасами ила и физической глины, большими запасами  $C_{орг}$ . Влияние изученной лесополосы на свойства почв прилегающих пашен прослеживается на расстоянии до 50–60 м от ее краев. При этом явные отличия по количественным показателям отмечаются для запасов ила.

**Ключевые слова:** Белгородская область, агролесомелиорация, органический углерод, плотность почв, азот, фосфор калий, Chernozems, трансформация почв

DOI: 10.31857/S0032180X20080031

#### ВВЕДЕНИЕ

Деградация почв агроландшафтов остается одной из наиболее актуальных экологических и экономических проблем современности [23, 29]. Ее решение определяется целым комплексом мероприятий, в числе которых одно из важных мест принадлежит агролесомелиоративному обустройству территории. Агролесомелиорация считается одним из наиболее эффективных способов борьбы с ветровой и водной эрозией на пахотных почвах, а также действенной мерой повышения урожайности сельскохозяйственных культур [1, 4, 5, 14]. Практика агролесомелиорации на территории Северной Евразии имеет длительную и успешную историю внедрения в сельскохозяйственную деятельность в разных природных зонах. В настоящее время изучению роли агролесо-

мелиорации в повышении продуктивности земель уделяется недостаточно внимания, причем особенно большой спад интереса отмечается в постсоветский период развития страны [5].

Одной из актуальных задач остается оценка влияния лесополос на изменение морфологических, химических, физических и других свойств почв [1, 5, 9, 14, 17, 21, 22, 24, 30, 32].

Начиная с работ Тумина [20] в Каменной степи, мнения исследователей о характере воздействия лесополос на почвы разделились. В частности, высказываются доводы в пользу роста гумусированности черноземов и моллиsoles под лесополосами [20, 27, 34], но в то же время приводятся факты не столь заметных преобразований черноземов в зонах влияния лесополос [6, 7, 14, 16]. В некоторых публикациях, наряду с положительным, от-

мечается негативное влияние лесополос на почвы и окружающую среду. Так, по мнению ряда авторов, лесополосы, как на водораздельных поверхностях, так и в понижениях балочной сети, вызывают переувлажнение ландшафтов и даже возникновение мочаров [17, 22]. Имеется дефицит сведений либо существуют разноречивые суждения и по ряду других аспектов реакции черноземов на агролесомелиорацию: по вопросу ширины пространства, на которое лесополосы распространяют свое влияние на почвы [1, 4, 9, 11], по характеру изменения физических свойств, включая гранулометрический состав черноземов под лесополосами [10, 15, 19], по вопросу влияния лесополос на солевой баланс черноземов [24, 25]. В этой связи представляется актуальным продолжение исследований, направленных на выявление и анализ изменений черноземов, обусловленных влиянием длительного функционирования лесонасаждений. При этом наиболее перспективным, по нашему мнению, должно стать комплексное исследование широкого спектра свойств почв, находящихся в зоне влияния мелиоративных лесопосадок.

В этой связи цель настоящей работы заключается в выявлении и анализе направленности и пространственных параметров влияния лесополос на свойства лесостепных черноземов на территории Среднерусской возвышенности.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории центральной части Восточно-Европейской равнины – в Яковлевском районе Белгородской области. Климат территории умеренно континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет плюс 7°C, температура июля – плюс 20°C, января – минус 6°C. Годовое количество осадков составляет 550–600 мм [12]. Показатель увлажнения по Сапожниковой соответствует 0.9 [13].

Для исследования выбрана полезная лесополоса, граничащая с двух сторон с пашней и ориентированная с юга на север для того, чтобы было достигнуто ее равноэкспозиционное влияние на прилегающие почвы пашни. Лесополоса расположена на ровной водораздельной поверхности с высотой над уровнем моря 208–209 м. Она представляет собой пятирядное дубовое насаждение шириной 30 м, возраст которого, по подсчетам годовых колец в ядрах деревьев (экстрагированных с помощью бура Naglof), оценивается в 50 лет.

Лесополоса была высажена в конце 1960-х гг. на распаханном ранее участке, на что указывают признаки изученных под лесополосой почв. Это остатки старопашотного горизонта, сохраняющиеся в профилях почв – повышенное уплот-

нение в слое существовавшей ранее подплужной подошвы на глубине 20–40 см, ухудшение в этом слое структурного состояния почвенной массы с появлением элементов крупной комковатости, орыхватости и даже глыбистости.

Агротехнические приемы обработки почв и выращивания сельскохозяйственных культур претерпевали определенные изменения во времени. Согласно данным Центра агрохимической службы “Белгородский”, в почвы пашни до 2014 г. вносили небольшие (в среднем 4–5 т/га в год) дозы органических удобрений с явной тенденцией роста показателя до 12–17 т/га в год после 2014 г. По внесению минеральных удобрений отмечаются максимальные дозы с 1982 по 1993 гг. (в среднем 150 кг/га в год в действующем веществе) с дальнейшим снижением показателя до 50–100 кг/га в год. В момент проведения полевых исследований пахотные угодья с двух сторон изучаемой лесополосы принадлежали разным фермерским хозяйствам, специализация которых ориентирована на выращивание паропропашных и зерновых культур.

Жизненность дубового насаждения оценивается высоким баллом бонитета, деревья хорошо развиты, внутри дубового насаждения присутствует подрост и кустарниковый подлесок – атрибуты нормально развивающегося лесного биоценоза. От крайних рядов деревьев в лесополосе до смежных с ними участков пашни по сравнению с центральной частью лесополосы заметно увеличивается концентрация молодых деревьев подлеска, а также проективное покрытие поверхности почвы травами. Это, вероятно, связано с различиями в освещенности центральной и краевых частей лесополосы – зон, отличающихся по экологическим условиям произрастания растительности.

Пахотные угодья, с двух сторон прилегающие к лесополосе, представлены черноземами выщелоченными среднемоющими легкоглинистыми (Luvic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)), формирующимися на карбонатных тяжелых лёссовидных суглинках с содержанием в них физической глины в диапазоне 50–60% от массы минеральной основы пород. Под лесополосой формируются черноземы, в большей степени перерытые землероями (слепышами), которые по глубине вскипания были идентифицированы как черноземы типичные среднемоющие легкоглинистые (Narlic Chernozems (Loamic, Aric, Pachic)) на карбонатных тяжелых лёссовидных суглинках.

Почвы морфологически изучали в нескольких глубоких почвенных разрезах, два из которых были заложены в центре лесополосы и по три – с каждой стороны лесополосы на удалении 10, 30 и 60 м от ее краев. Морфологические описания почвенных профилей дополняли зарисовками визуально определяемых включений по ходам крупных

землероев, слепышей, на передних стенках разрезов — для дальнейшего расчета площадей, занятых слепышинами. Образцы почв отбирали с противоположных боковых стенок с последующим усреднением проб. Послойный отбор проб проводили до глубины 180 см (днища разрезов), а в более глубоких слоях (до глубины 4 м) — с помощью бура — также с усреднением парных проб, извлеченных из двух почвенных скважин. Во всех разрезах в трехкратной повторности отбирали пробы для определения плотности сложения почвы с помощью стальных колец известного объема.

Кроме изучения почв в разрезах, исследовали верхний слой 0–20 см почв вдоль линий трех трансект, заложенных перпендикулярно лесополосе на удалении 10 м друг от друга. Трансекты пересекали лесополосу и пахотные угодья с двух ее сторон до удаления 100 м от краев лесополосы. Вдоль трансект пробоотбор почв на пашнях осуществляли через каждые 10 м, а под лесополосой — через каждые 6 м. В общей сложности для лабораторных анализов отобрано по 30 проб на каждом поле к западу и к востоку от лесополосы, и 15 проб под лесополосой (всего 75 проб). В каждой точке отбора отбирали две дублирующие пробы (всего 150 проб) на определение плотности сложения с помощью стальных колец известного объема. Каждая проба представляла собой усредненную навеску почвы, отобранную стальным кольцом в приповерхностной и нижней частях слоя 0–20 см почв.

Лабораторные анализы включали определение гранулометрического состава почв методом Качинского (ГОСТ 12536), содержания углерода органического вещества почв по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), содержания легкогидролизующего азота (ГОСТ 26212-91), подвижных форм фосфора и калия по методу Чирикова (ГОСТ 26205-91), состава солевой вытяжки (содержание ионов  $\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) (ГОСТ 26424-85, ГОСТ 26425-85, ГОСТ 26426-85, ГОСТ 26427-85, ГОСТ 26428-85).  $\text{CO}_2$  карбонатов определяли ацидиметрическим методом. При анализе и интерпретации полученных данных использовали методы математической статистики с помощью программного комплекса Statistica.

Графическую интерпретацию результатов исследования выполняли разными способами — изолинейным отображением радиального и латерального распределения показателей (рис. 1), графиками пространственного хода усредненных показателей от центра лесополосы в сторону пашни (рис. 2, А, Б), пространственными изменениями характеристик вдоль трансект (рис. 2, В–Д), полигонами статистического распределения показателей (рис. 3), способом диаграмм (рис. 4).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наиболее общими морфометрическими характеристиками изученных почв оказались следующие. Под лесополосой суммарная мощность горизонтов А1, А1В и ВА1 (мощность гумусовых профилей) составила 76 см, а глубина вскипания — 78 см. В почвах пашни средние значения рассматриваемых показателей оказались равными 68 и 84 см соответственно. Таким образом, черноземы под лесополосой характеризуются несколько более мощными гумусовыми профилями и более высокой линией вскипания по сравнению с пахотными аналогами.

По результатам анализа найденных средних значений различия по плотности сложения почв в слое 0–20 см достоверны на всех трех сравниваемых угодьях (на пашнях к западу и к востоку от лесополосы и под лесополосой): минимальными значениями характеризуется плотность почв под лесополосой —  $1.02 \text{ г/см}^3$ , тогда как на пашнях она составляет  $1.16\text{--}1.20 \text{ г/см}^3$  (табл. 1). Максимальные значения показателя выявлены на пахотном поле к востоку от лесополосы ( $1.20 \text{ г/см}^3$ ), которое в момент полевых исследований было занято кукурузой (на пашне к западу от лесополосы произрастала озимая пшеница).

Учитывая имеющиеся различия в средней плотности сложения почв под лесом ( $1.02 \text{ г/см}^3$ ) и на пашне ( $1.18 \text{ г/см}^3$ ), определено, что масса верхнего слоя 0–20 см почв под лесонасаждениями составляет 86.4% от массы идентичного слоя почв на пашне. Поэтому для корректного сравнения почвенных свойств под лесополосой и на пашне, средние значения запасов изучаемых показателей (в нашем случае, илистой фракции и углерода органического вещества почв) на пахотных угодьях умножали на коэффициент 0.864.

На рис. 1 представлено профильное распределение ряда почвенных характеристик, включающих плотность почв (рис. 1, А), которые имеют тенденцию к зеркальному пространственному отображению в почвах к востоку и к западу от лесополосы относительно ее центральной (осевой) части. На наш взгляд, указанное распределение свойств генетически связано с функционированием лесополосы и теми изменениями, которые происходили в почвах за весь период ее существования. В числе вероятных причин, вызвавших появление симметрии в распределении почвенных свойств на пашнях к востоку и к западу от лесополосы, могли быть сходные тенденции в формировании микроклиматических условий почвообразования. В частности, вызывают интерес зоны пониженных значений плотности сложения черноземов в профилях, удаленных от краев лесополосы на расстоянии 30 м. Подсчет площади распространения слепышин в профилях изученных почв (табл. 2) показал, что именно в разрезах, удаленных на рассто-

**Таблица 1.** Статистические характеристики плотности сложения, запасов ила и  $C_{\text{орг}}$  почв на участке исследования (слой 0–20 см)

Угодье	<i>n</i>	<i>Lim</i>	$X \pm \delta_X$	$\delta$	<i>V</i> , %
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>					
Западная пашня	30	1.0–1.23	1.16 ± 0.01	0.053	4.6
Восточная пашня	30	1.07–1.29	1.20 ± 0.01	0.044	3.7
Лесополоса	15	0.84–1.22	1.02 ± 0.03	0.106	10.4
Запасы ила, т/га					
Западная пашня	30	769–1029	904 ± 10	53	5.9
Восточная пашня	30	639–1128	854 ± 17	92	10.8
Лесополоса	15	471–686	605 ± 25	96	15.9
Запасы $C_{\text{орг}}$ почв, т/га					
Западная пашня	30	51.0–65.15	58.44 ± 0.71	3.87	6.6
Восточная пашня	30	56.77–71.98	64.89 ± 0.74	4.08	6.3
Лесополоса	15	50.90–87.08	69.17 ± 2.7	10.46	15.1

**Таблица 2.** Распределение слепышин в профилях почв участка исследований, % от площади слоя

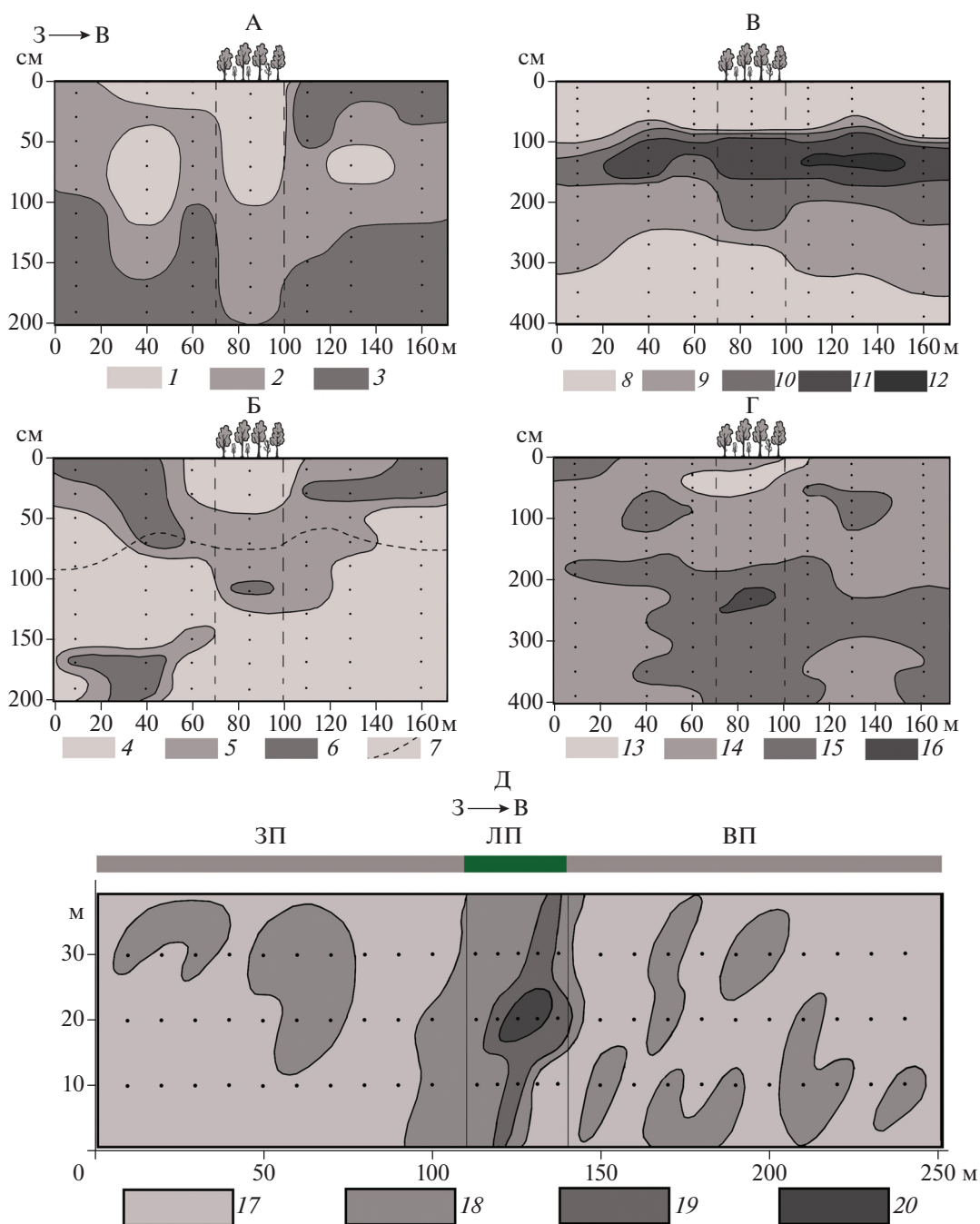
Слой, см	Почвы			
	лесополосы, <i>n</i> = 2	пашни в 10 м от края, <i>n</i> = 2	пашни в 30 м от края, <i>n</i> = 2	пашни в 60 м от края, <i>n</i> = 2
0–40	10.0	0.3	3.6	0.8
40–80	66.4	44.2	50.8	50.1
80–120	46.6	35.4	57.5	36.3
120–160	18.7	7.2	23.7	10.5
0–160	35.4	21.8	33.9	24.4

яние 30 м от лесополосы, наблюдается максимальная перерытость почв слепышами. Для точного обоснования причин требуется проведение дополнительных исследований. Можно предположить, что здесь складываются оптимальные по режиму влажности почв условия, на которые реагируют землерои, – с учетом формирования здесь теневого воздействия определенной длительности от рядом расположенной лесополосы.

Под лесополосой заметно снижена плотность сложения во всем почвенном профиле вплоть до глубины 180–200 см. В числе причин этого явления следует указать на вероятное разрыхляющее воздействие корней деревьев, которые распространяются до глубины >2.5 м (древесные корни встречались в отбираемых с большой глубины образцах из кернов скважин), а также на активность почвенных животных. В частности, при анализе степени перерытости почв слепышами выявлена большая доля перерытой площади передних стенок почвенных разрезов именно в почвах под лесополосой. Учитывая, что слепышины в почвенных профилях сохраняются длительное время, можно предположить, что сразу после создания лесополосы был период активизации деятельности этих животных в почвенном пространстве, отведенном под ле-

сополосу. Полагаем, что это происходило в течение первых лет после высаживания молодых деревьев, когда участок мог еще функционировать в режиме залежного, задернованного травянистого, угодья, на которое могли мигрировать землерои. Это согласуется с представлениями Александровского [2], который установил высокую перерытость слепышами почв окраинных участков старых пашен рядом с межами на территории Куликова поля в древнерусский период.

Повышенные уровни вскипания почв на удалении 30 м от краев лесополос, а также хорошая сформированность в этих местах иллювиально-карбонатных горизонтов с относительно высоким содержанием карбонатов (рис. 1В), вероятно, объясняются своеобразием режимов миграции карбонатных соединений почв в местах их интенсивной переработки слепышами. Тенденция к накоплению обменного натрия в слое 60–120 см почв указанных местоположений достаточно очевидна (рис. 1Г), и эта особенность, вероятно, также отражает своеобразие складывающихся здесь почвенно-климатических режимов, способствующих подтяжке снизу почвенных растворов, содержащих натрий, а также их латеральному растеканию.



**Рис. 1.** Распределение ряда почвенных признаков под лесополосой и на смежных участках пахотных полей: А – плотность сложения,  $\text{г}/\text{см}^3$  (1 –  $<1.2$ , 2 –  $1.2-1.4$ , 3 –  $>1.4$ ); Б – суммарное содержание гранулометрических фракций ила и мелкой пыли ( $<0.005$  мм), % (4 –  $<50$ , 5 –  $50-54$ , 6 –  $>54$ ; на схеме условным знаком 7 отображена верхняя граница вскипания); В – содержание  $\text{CO}_2$  карбонатов, % (8 –  $<1$ , 9 –  $1-3$ , 10 –  $3-5$ , 11 –  $5-7$ , 12 –  $>7$ ); Г – содержание обменного натрия, смоль(экв)/кг (13 –  $<0.16$ , 14 –  $0.16-0.24$ , 15 –  $0.24-0.28$ , 16 –  $>0.28$ ); Д – содержание песчаной фракции ( $>0.05$  мм) в слое 0–20 см почв участка исследования (места отбора проб отмечены точками); 3П – пахотный участок к западу от лесополосы; ЛП – лесополоса; ВП – пахотный участок к востоку от лесополосы. Содержание песка, %: 17 –  $<4$ , 18 –  $4-6$ , 19 –  $6-8$ , 20 –  $>8$ . На схемах А–Г вертикальное распределение точек соответствует месту и глубинам отбора почвенных проб в разрезе; в центре лесополосы приводятся усредненные данные по двум почвенным разрезам.

Облегчение по гранулометрическому составу верхних слоев почвы под лесополосой (рис. 1Б) можно трактовать как результат выноса частиц тонких гранулометрических фракций в нижеле-

жащие слои в результате лессиважа – одного из наиболее важных элементарных почвообразовательных процессов в почвах, формирующихся под широколиственно-лесной растительностью [3].

Пространственное распределение гранулометрических фракций, способных к лессиважу, т.е. частиц ила и тонкой пыли размером  $<0.005$  мм [18] свидетельствует о том, что верхний слой почв мощностью 50–55 см оказался обедненным данной фракцией (содержится  $<50\%$  от общей массы минеральной основы), а слой 50(55)–130 см – обогащенным илом и крупной пылью.

Коэффициент текстурной дифференциации (т.е. отношение содержания частиц  $<0.005$  мм в гор. ВС – 54.2% – к их содержанию в гор. А1В – 45%) в почвах под лесополосой составляет 1.2. Дифференциация профиля почв по содержанию фракции  $<0.005$  мм не выявлена в почвах, удаленных от края лесополосы на расстояние 60 м. В профилях почв, расположенных ближе к краю лесополосы (на удалении 30 и 10 м), уже намечаются признаки элювиально-иллювиального перераспределения частиц с величиной коэффициента текстурной дифференциации профилей от 1.05 до 1.14. Согласно представленной на рис. 1Б схеме, глубина почвенного слоя, обогащенного фракцией частиц  $<0.005$  мм (50–54% от общей массы минеральной основы почв), закономерно возрастает от краевых участков, расположенных в 60 м от лесополосы, к почвам под лесополосой, что, на наш взгляд, подтверждает установленную закономерность усиления вертикальной миграции глинистых частиц в почвах лесополосы и на близлежащих участках. Эти участки получают дополнительное увлажнение при таянии снега весной, который в зимний период накапливается под лесополосой и в непосредственной близости от нее. Кроме того, теневой эффект лесополосы может снижать потери влаги на испарение и формировать лучшие условия для просачивания в почву атмосферных осадков в теплое время года.

Пространственные различия по содержанию и запасам тонкодисперсных гранулометрических фракций подтверждаются результатами исследования слоя 0–20 см в выборках почвенных проб под лесополосой и на прилегающих пашнях, а также по изменению признака от центра лесополосы в сторону пашни (рис. 2А).

Согласно проведенным расчетам, средние запасы ила в почве под лесополосой в слое 0–20 см составляют 605 т/га, тогда как на пашне в аналогичном слое (при усреднении характеристик двух прилегающих к лесополосе пахотных участков) – 879 т/га. С учетом использования обоснованного ранее коэффициента 0.864, запасы ила на пашне, приведенные к массовой доле почв под лесополосой, будут равны  $879 \times 0.864 = 759$  т/га. Таким образом, разница по запасам ила в верхних 20 см почв под лесополосой по сравнению с идентичным по массе слоем на пашне составляет 154 т/га или  $15.4$  кг/м<sup>2</sup>.

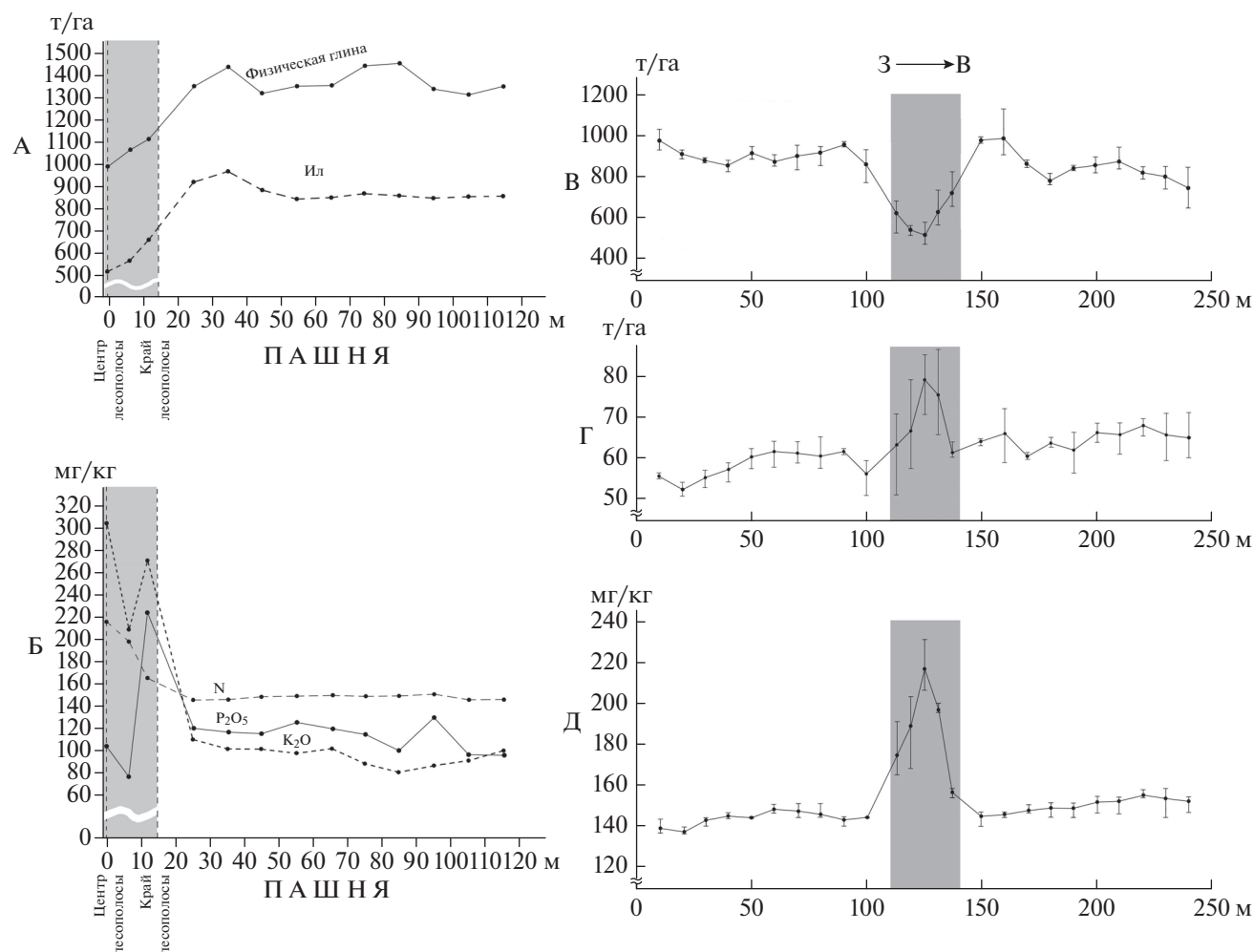
Запасы физической глины в слое 0–20 см почв имеют тенденцию увеличения от центра лесополосы в сторону пахотного угодья, и на пашне, на удалении  $>10$  м от края лесополосы, данный показатель уже изменяется незакономерно, варьируя в диапазоне значений 1300–1450 т/га (рис. 2А). Запасы ила имеют более сложный характер пространственного распределения – выявляется рост значений в пространстве от центра лесополосы к ее краям с продолжением роста на пашне до удаления 20 м от лесополосы, после чего происходит постепенный спад показателя и на расстоянии  $>50$  м от края лесополосы запасы ила уже практически не изменяются.

С учетом возраста лесопосадки (50 лет) средняя интенсивность выноса ила за весь период произрастания лесополосы в слое 0–20 см почв под центральной частью лесонасаждения могла составить  $3.1$  кг/м<sup>2</sup> за 10 лет. Подтверждают протекание лессиважа в почвах под лесополосой также следующие наблюдения. В верхней части профилей черноземов в разрезах под лесополосой по трещинной сети местами уже отмечалась слабая седоватость из-за наличия налета отбеленных пылеватых частиц кварца и полевых шпатов (скелетан). На поверхности почв под опадом листьев и веток, особенно на участках прикорневых микроповышений рядом со стволами деревьев, во многих местах была хорошо выражена седоватость, обусловленная скоплениями скелетан.

Учитывая вероятный вынос тонкодисперсных гранулометрических фракций в почвах под лесополосой, логично ожидать, что в верхних слоях данных почв будет наблюдаться относительное накопление крупнозема, в первую очередь, песчаной фракции. Действительно, такая закономерность выявляется (рис. 1Д).

Средние запасы  $C_{орг}$  в слое 0–20 см изученных почв под лесополосой ( $n = 15$ ) составили 69 т/га, тогда как величина данного показателя в почвах прилегающих пашен ( $n = 60$ ) оказалась равной 62 т/га. С учетом коэффициента уравнивания масс между почвами лесополосы и пашни (0.864), реальные запасы  $C_{орг}$  в почвах пашни составляют  $62 \times 0.864 = 54$  т/га.

При изучении пространственных различий между угодьями по плотности сложения почв, запасам ила и углерода гумуса закономерным представляется уменьшение коэффициента вариации по направлению от лесополосы к пашне: при регулярном перемешивании почв при вспашке происходит выравнивание пространственных различий почвенных свойств, тогда как под лесополосой условия почвообразования могут быть детерминированы различиями микроклиматических условий, формируемых лесной растительностью в центре лесополосы и на ее периферии.



**Рис. 2.** Запасы физической глины ( $<0.01\text{ мм}>$ ) и ила ( $<0.001\text{ мм}>$ ) (А), содержание гидролизуемого азота и подвижных соединений фосфора и калия (Б) в почвах от центра лесополосы в сторону пашни, слой 0–20 см; пространственный ход распределения почвенных свойств под лесополосой (отмечена серым тоном) и на прилегающих пашнях, слой 0–20 см: В – запасы ила; Г – запасы  $S_{\text{орг}}$ ; Д – содержание легкогидролизуемого азота. На схемах А, Б каждая точка кроме точки в центре лесополосы обеспечена данными шести измерений – по три измерения в трансектах к востоку и к западу от центра лесополосы; точка в центре лесополосы обеспечена тремя измерениями. На схемах В–Д каждая точка обеспечена данными трех измерений.

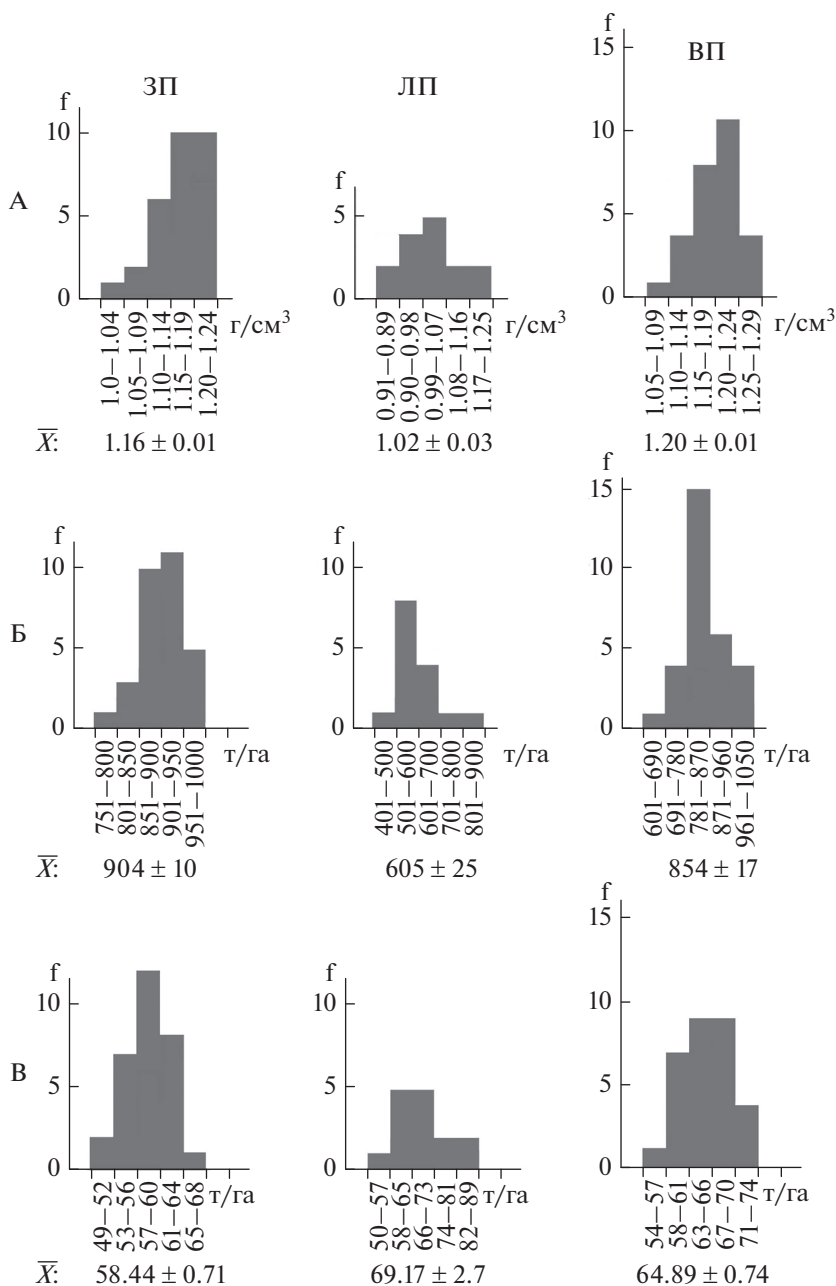
Выявленные достоверные отличия по плотности сложения, запасам ила и органического углерода в почвах под лесополосой и на прилегающих пахотных угодьях дополняются результатами статистического распределения рассматриваемых показателей, которые, по нашему мнению, отражают тенденции развития во времени процессов почвообразования (рис. 3).

На пашнях к западу и к востоку от лесополосы (на рис. 3 обозначены как ЗП и ВП соответственно) гистограммы распределения плотности сложения почв в слое 0–20 см показывают рост частоты встречаемости признака в области больших значений по сравнению с медианой, т.е. формируются правосторонние асимметрии распределения показателя (рис. 3А). Это свидетельствует о закономерном развитии во времени уплотнения в

пахотных почвах. В почве под лесополосой (на рис. 3А, ЛП), наоборот, выявлена тенденция смещения частоты встречаемости признака в сторону меньших значений по отношению к медиане, т.е. лесная растительность производит на почвы разуплотняющий эффект, тренд которого, вероятно, не изменится в ближайшие годы и десятилетия.

По формированию запасов ила прослеживается следующая особенность: в почвах под лесополосой левосторонняя асимметрия признака (рост частоты встречаемости показателя в области меньших значений) свидетельствует о направленном обеднении верхнего почвенного слоя илом, тогда как на пахотных участках, напротив, имеет место обратная тенденция (рис. 3Б).

Если вынос ила в верхней части почв под лесополосой можно объяснить складывающимися



**Рис. 3.** Гистограммы распределения признаков в изученных почвах (слой 0–20 см): А – плотность сложения; Б – запасы ила (фракция <0.001 мм); В – запасы C<sub>орг</sub> почв. Обозначения столбцов: ЗП – пахотный участок к западу от лесополосы (n = 30); ЛП – лесополоса (n = 15); ВП – пахотный участок к востоку от лесополосы (n = 30).

здесь относительно влажными и прохладными микроклиматическими условиями, то процесс накопления во времени илистой фракции в верхних слоях пахотных черноземов (рис. 3Б) и особенно в 20-метровой полосе пашен рядом с лесополосами (рис. 2А) требует специального рассмотрения. Согласно высказанному ранее предположению, утяжеление гранулометрического состава пахотных горизонтов лесостепных черноземов происходит вследствие физического дробления мелкозема при распашке, в результате чего возрастает доля

почвенных микроагрегатов, что отражается на увеличении содержания илистой фракции [28]. Также следует учесть и вероятность более частого прохождения сельскохозяйственной техники вдоль границ рабочих участков пахотных полей (в нашем случае – рядом с лесополосами), что в совокупности с перепашкой почв также могло отразиться на возрастании в пахотных горизонтах доли почвенных микроагрегатов и утяжелении гранулометрического состава.



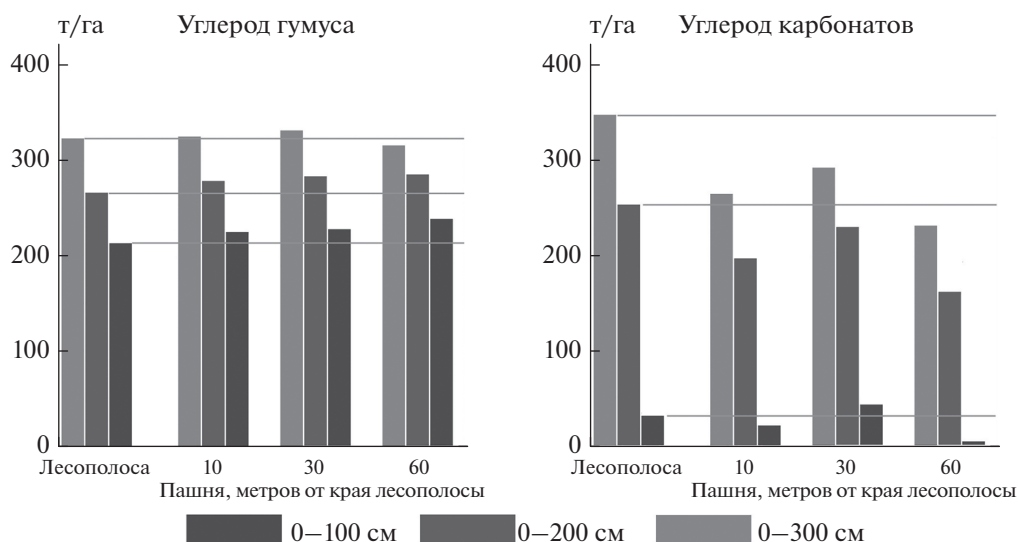


Рис. 4. Запасы  $C_{\text{орг}}$  и карбонатов в слоях 0–100, 0–200 и 0–300 см изученных почв.

Полигоны распределения запасов  $C_{\text{орг}}$  в почвах пашни передают тенденцию формирования правосторонней асимметрии признака, а под лесополосой – левосторонней асимметрии (рис. 3В). Это происходит несмотря на то, что в почвах лесополосы запасы органического вещества достоверно выше, чем на пашнях. Как показали проведенные ранее исследования, в первые десятилетия (50–70 лет) произрастания лесополос в лесоаграрных ландшафтах как на территории Среднерусской возвышенности, так и на территории Великих равнин США, в почвах под лесополосами происходит накопление почвенного органического вещества [26, 27]. По уточненным сведениям американских исследователей, изучавших моллисоли штата Айова США, пик накопления гумуса в поверхностных горизонтах почв под лесополосами наблюдается примерно к 30-му году произрастания лесополос, а затем интенсивность этого процесса начинает снижаться [34]. Поэтому устанавливаемые тенденции роста гумусированности почв под лесополосами в первые десятилетия их произрастания на черноземах могут отражать стадийность их эволюции и смену проградационного тренда изменения их гумусного состояния на деградационный. Установленная под лесополосой левосторонняя асимметрия распределения запасов  $C_{\text{орг}}$  почв (рис. 3В, ЛП) может свидетельствовать о данной смене стадий.

Внутрипрофильный характер распределения в изученных почвах углерода органического вещества и карбонатов был проанализирован на основе расчета его послонных запасов в профилях почв до глубины 3 м (табл. 3, рис. 4). Как следует из результатов анализа (сравнивали усредненные характеристики парных профилей) в почвах под центральной частью лесополосы запасы органи-

ческого углерода оказались больше, чем в почвах пашен на удалении 10 и 30 м от края лесополосы лишь в самом верхнем слое 0–20 см. В слое 20–60 см наблюдается обратная тенденция – запасы органического углерода в почвах лесополосы меньше (в среднем на 19 т/га), чем в почвах прилегающих пахотных участков, причем особенно заметные различия отмечены для слоя 20–40 см. В более глуболежащих слоях различия по изучаемому показателю оказались незначительными. Можно предположить, что в слое 20–60 см пахотных почв в зоне влияния лесополосы складываются благоприятные условия для гумусообразования, в том числе учитывая поступление в почвы органического вещества в виде опада листьев и веток, разносимых ветром от лесополосы на прилегающие участки пашни. Дополнительным источником гумуса также могут быть периодически отмирающие части корневых систем деревьев, включая тонкие корни, распространяющиеся на расстояние >10 м от края лесополосы. В пахотных почвах, которые изучали на ближайшем удалении от лесополосы, в передней и боковых стенках разрезов в заметном количестве идентифицированы мелкие (1–6 мм) корни дуба, концентрирующиеся, главным образом, в слое 30–60 см почв.

При сравнении с почвой лесополосы относительное накопление гумуса в прилегающих почвах пашни в слое 20–60 см, вероятно, можно также объяснить внутрипрофильной миграцией гумусовых веществ в сравнительно прохладных микроклиматических условиях, формирующихся под влиянием лесополосы.

Однако можно дать и другое объяснение – начавшуюся дегумификацию черноземов под лесной растительностью, особенно интенсивно раз-

**Таблица 3.** Послойные запасы углерода в изученных почвах (по усредненным значениям парных профилей)

Слой, см	Запасы $C_{орг}$ , т/га							
	под лесополосой		в 10 м от края лесополосы		в 30 м от края лесополосы		в 60 м от края лесополосы	
	$C_{орг}$	$C_{карб}$	$C_{орг}$	$C_{карб}$	$C_{орг}$	$C_{карб}$	$C_{орг}$	$C_{карб}$
0–20	71.19	0	66.40	0	64.24	0	74.71	0
20–40	50.04	0	62.65	0	60.94	0	66.56	0
40–60	40.96	0	45.17	0	48.47	2.66	45.21	0
60–80	30.26	1.82	31.75	0	32.27	12.35	31.06	0
80–100	24.17	29.40	20.20	23.12	24.36	30.17	22.48	2.97
100–120	15.63	37.87	15.17	40.36	18.17	40.57	13.23	27.65
120–140	11.81	40.83	11.10	42.54	8.07	50.23	9.30	39.71
140–160	7.99	39.09	9.96	36.99	6.51	42.99	7.34	35.09
160–180	6.12	32.64	7.62	29.87	9.05	29.94	6.03	33.43
180–200	9.03	24.75	9.17	26.14	11.35	23.81	8.46	23.54
200–220	9.51	24.07	9.39	22.19	10.93	18.71	7.79	18.23
220–240	9.99	23.38	9.61	18.24	10.50	13.61	7.11	12.92
240–260	11.33	19.39	8.65	10.82	9.85	10.82	6.46	13.58
260–280	12.67	15.40	7.67	9.12	9.19	8.03	5.81	14.24
280–300	10.07	10.01	8.68	8.14	8.63	7.50	5.99	12.11

вивающуюся в слое 20–60 см. Для окончательных выводов по данному вопросу необходимо проведение дополнительных исследований.

Анализ послойного распределения запасов углерода в 1-, 2- и 3-метровой толщах изученных почв (рис. 4) показывает, что различия по органическому веществу обнаруживаются в верхней метровой толще почв и нивелируются при рассмотрении запасов органического углерода в 3-метровой почвенной толще.

По запасам углерода карбонатов очевидной выступает тенденция выщелачивания карбонатов из почв пашни по сравнению с рядом расположенной лесополосой. Так, в 3-метровой толще почв на удалении 10 м от лесополосы в почвенных профилях утрачивается примерно 100 т/га углерода карбонатов, а на удалении 60 м – еще дополнительно около 30 т/га. В почвах, удаленных от края лесополосы на расстояние 30 м, происходит некоторое увеличение запасов карбонатов по сравнению с близлежащими к лесополосе, и более удаленными пахотными почвами. Но и в этом случае запасы углерода карбонатов в 2- и 3-метровой толще почв оказываются меньшими по сравнению с почвами под лесополосой. Активизация окарбонирования почв на удалении 30 м от края лесополосы нами ранее обсуждалась в контексте складывающихся здесь микроклиматических условий и роста перерывности данных профилей землероями.

Причины установленного выщелачивания карбонатов из профилей пахотных почв (в слое 0–200 см потеря углерода карбонатов в среднем составила 57 т/га, а в слое 0–300 см – 84 т/га) видятся в следующем. После уборки урожая в конце лета или в начале осени на пашне прекращается корневая десукция, что приводит к большему

промачиванию почвы атмосферными осадками и выносу карбонатов – в соответствии с представлениями о гумидизации водного режима пахотных черноземов [8]. В почвах под лесополосой иссушение профиля в результате корневой десукции в конце лета и в начале осени еще остается. Поэтому здесь складываются лучшие условия для сохранения почвенных карбонатов по сравнению с прилегающими пашнями.

Не выявлено явных закономерностей в пространственном изменении на пахотных угодьях таких показателей как содержание легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и калия (рис. 2Б). Вместе с тем отмечаются явные максимумы содержания данных показателей в почвах лесополосы, что логично объяснить их накоплением в верхних слоях почв вне сферы сельскохозяйственной деятельности. На пашнях уровень содержания данных показателей контролируется внесением в почвы минеральных удобрений (азотных, фосфорных, калийных) и их отчуждением с урожаем.

Заметное увеличение содержания подвижного фосфора и калия в почвах под лесополосой наблюдается не в центре, а в краевых зонах лесополосы – ближе к ее границе с пашней. Мы полагаем, что это результат “перекачки” части фосфора и калия с пашни, которая регулярно получает минеральные удобрения, в приграничные участки почв лесополосы: данные элементы усваиваются корнями деревьев рядом с пашней, а затем с опадом листьев и веток – попадают в почву. Таким образом, осуществляется функционирование лесополос как биогеохимических барьеров, аккумулирующих в верхнем слое почв краевых частей продукты химизации сельскохозяйственного производства и, в частности, фосфор и калий.

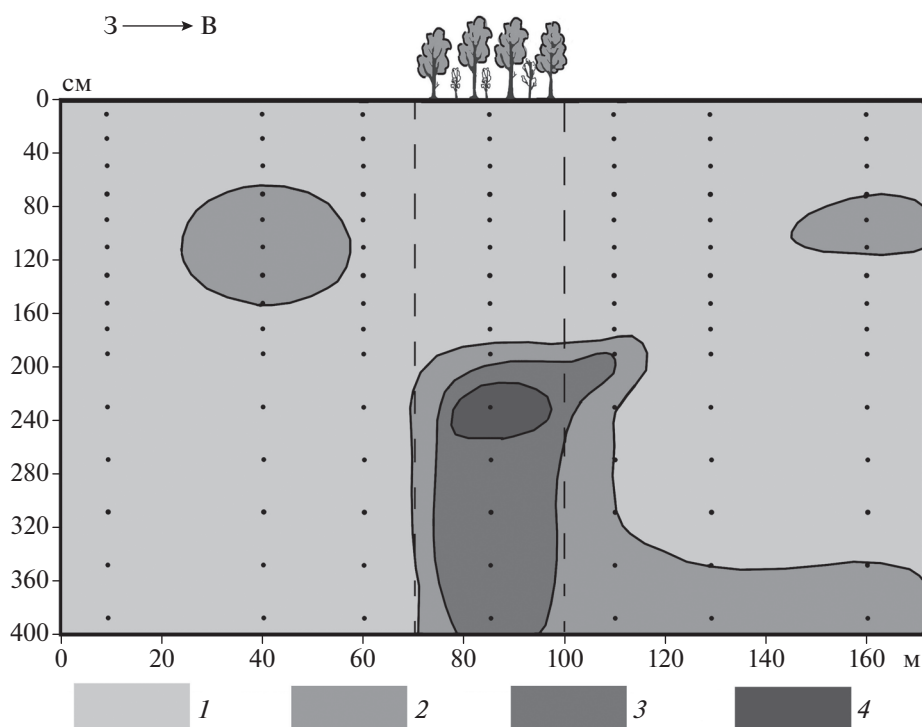


Рис. 5. Распределение содержания иона натрия в составе солевой вытяжки почв в зоне влияния лесополосы. Содержание натрия, смоль(экв)/кг: 1 –  $<0.06$ ; 2 –  $0.06–0.08$ ; 3 –  $0.08–0.1$ ; 4 –  $>0.1$ .

Среди закономерно изменяющихся признаков в почвенном пространстве под лесополосой, выделяются профили распределения запасов илистой фракции, углерода органического вещества почв и содержания легкогидролизуемого азота (рис. 2, В, Г, Д). Три указанных показателя выбраны как примеры ярко выраженной пространственной дифференциации почвенных свойств от центра лесополосы к ее краям. Эти изменения доказывают закономерный характер пространственных переходов почвенных свойств как следствие разной интенсивности протекания почвообразовательных процессов в различных местоположениях внутри лесополосы. Ранее на такие закономерные смены почвенных свойств обратили внимание американские исследователи [33].

На наш взгляд, минимальные запасы ила в верхнем слое почв в центральной части изученной лесополосы являются результатом более интенсивного промачивания почв атмосферными осадками в наиболее затененной ее части, с хорошо развитыми кронами деревьев. Здесь же наблюдаются максимальные запасы почвенного органического вещества и легкогидролизуемого азота – индикаторы активной гумификации растительных остатков. Вероятно, это обусловлено особенностями микроклимата и складывающегося здесь благоприятного гидрологического режима почв.

Теоретический и прикладной интерес представляет анализ солевого режима почв, сопря-

женных с лесополосами. Например, в почвах Каменной степи исследования солевой вытяжки почв, формирующихся под старовозрастными лесополосами, выявили увеличение концентрации солей непосредственно под древесными культурами, причем особенно интенсивно в центральных (осевых) частях широких лесополос [24, 25].

Специально проведенное исследование состава солевой вытяжки почв в зоне влияния изученной лесополосы не обнаружило явных признаков аккумуляции солей в почвах лесополосы.

Содержание плотного остатка в пробах почв, отобранных до глубины 4 м под лесополосой и на смежных участках пашен, нигде не превышало 0.2% (что эквивалентно минерализации 2 г/л) и в большинстве проб находилось в пределах 0.05–0.1% (0.5–1 г/л). По некоторым показателям намечающаяся тенденция роста концентрации легкорастворимых солей в почвах под лесополосой нами все же была выявлена. В почвах центральной части лесополосы на глубине 2 м и более отмечена локальная область повышенных концентраций иона магния ( $0.3–0.45$  смоль(экв)/кг) – в отличие от содержания иона на идентичных глубинах с обеих сторон лесополосы на пашнях ( $0.1–0.3$  смоль(экв)/кг). Также выявляется тенденция к накоплению натрия на тех же глубинах (рис. 5). По мере увеличения возраста лесопосадки и продолжения развития корневых систем дуба тренд

соленакпления в почвах лесополосы, возможно, будет усиливаться.

## ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований установлено, что лесополосы характеризуются своей структурной организацией и своеобразием развития во времени. Лесополосы оказывают влияние на направленность и интенсивность почвообразовательного процесса как внутри лесонасаждений, так и на участках прилегающих пахотных угодий.

1. Дубовые полезащитные лесополосы в лесостепной зоне, приуроченные к абсолютно ровным водоразделам и ориентированные с юга на север в ареале распространения среднemosных черноземов на тяжелых карбонатных лёссовидных суглинках, за 50 лет произрастания привели к формированию пространственных различий почв под лесополосами и на прилегающих пашнях. Закономерные изменения почвенных свойств идентифицируются по статистическим рядам распределения показателей, их пространственным трендам вдоль трансект, по изолинейным интерпретациям латерального и радиального распределения признаков почв относительно центра лесополосы к западу и востоку от нее.

2. Почвы дубовых лесополос в слое 0–20 см достоверно отличаются от почв прилегающих пашен меньшей плотностью сложения, меньшими запасами ила и физической глины, большими запасами органического вещества.

3. На основании анализа асимметрии полигонов распределения статистических выборок показателей выявлено, что процессы уплотнения почв на пашнях рядом с лесополосой имеют тенденцию к дальнейшему развитию, тогда как в почвах лесополосы прогнозируется дальнейшее разуплотнение верхних почвенных слоев. Аналогичным образом обоснованы дальнейшие тренды развития таких почвенных процессов как вынос ила из слоя 0–20 см и уменьшение интенсивности накопления гумуса в почвах под лесополосой.

4. Длительное произрастание дубовой лесополосы оказало влияние на профильные признаки черноземов. В течение первых лет после высаживания молодых деревьев в месте проектирования лесополосы, когда участок еще функционировал в режиме задернованного травянистого угодья, чернозем под лесополосой подвергался заметной переработке слепышами, что нашло отражение в увеличении площади, занятой ходами этих животных, особенно в интервале глубин 0–80 см. В современных почвах лесополосы по сравнению с окружающими пространствами заметно снижена плотность сложения до глубины 180–200 см. На пашнях в 30 м от краев лесополосы к западу и востоку также сформированы участки с пониженной

плотностью почв, соответствующие зонам максимальной перерыхлости профилей землероями (слепышами), что объясняется своеобразием формирующихся здесь микроклиматических условий почвообразования. На указанных участках обнаружены повышенные уровни вскипания, а также хорошо сформированные иллювиально-карбонатные горизонты черноземов с относительно высоким содержанием в них карбонатов. Тенденция к накоплению обменного натрия в слое 60–120 см указанных почв также отражает своеобразие формирующихся здесь почвенных климатических режимов, способствующих подтяжке из материнских пород почвенных растворов, содержащих натрий. В почвах под лесополосой протекает процесс текстурной дифференциации профиля по содержанию и запасам ила и мелкой пыли (частиц <0.005 мм). Вынос данных фракций наблюдался в слое 0–50 см, а их накопление происходило в слое 50–130 см. За 50 лет произрастания лесополосы коэффициент текстурной дифференциации профиля составил 1.2 против 1 на пашнях до посадки лесополосы. Пахотные почвы, прилегающие к лесополосе, содержат меньше карбонатов, чем почвы под лесополосой: в слое 0–200 см вынос карбонатов в почвах пашни в среднем составил 57 т/га, а в слое 0–300 см – 84 т/га. В почвах под лесополосой обнаружена начальная стадия аккумуляции легкорастворимых солей по тенденции накопления в слое 200–400 см натрия и магния в составе солевой вытяжки почв.

5. Внутри лесополосы сформирована зональность, обусловленная различиями в специфичности и интенсивности протекания почвообразовательных процессов на разных участках вдоль поперечного профиля лесонасаждения: в центре лесополосы выявлена максимальная интенсивность выноса ила, накопления  $C_{орг}$  и легкогидролизующего азота; в краевых частях лесополосы в почвах установлены максимумы содержания подвижных форм фосфора и калия.

6. Влияние изученной лесополосы на свойства почв прилегающих пашен прослеживается на расстоянии до 50–60 м от ее краев. При этом явные отличия по количественным показателям отмечаются для запасов ила в слое 0–20 см почв. По ряду других признаков (запасам  $C_{орг}$ , содержанию подвижных азота, фосфора, калия) пространственных трендов изменения почвенных свойств в пахотном горизонте почв рядом с лесополосой не выявлено.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агролесомелиорация и плодородие почв / Под ред. Павловского Е.С. М.: Агропропиздат, 1991. 288 с.
2. Александровский А.Л. Палеопочвенные исследования на Куликовом поле // Куликово поле. Материалы и исследования. М., 1990. С. 54–71.
3. Геннадиев А.Н., Глазовская М.А. География почв с основами почвоведения. М.: Высш. шк., 2005. 461 с.
4. Данилов Г.Г., Лобанов Д.А. Агролесомелиорация лесостепи. М.: Лесная промышленность, 1973. 125 с.
5. Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121–137.
6. 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.
7. Козут Б.М., Титова Н.А., Булеева В.С. Антропогенная трансформация качественного состава гумуса черноземов Каменной степи // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2009. № 64. С. 41–49.
8. Коковина Т.П., Лебедева И.И. Современные гидротермические режимы и генетико-географические особенности черноземов ЕТС // Успехи почвоведения. Советские почвоведы к XIII Междунар. конгр. почвоведов. Гамбург, 1986. М.: Наука, 1986. С. 148–153.
9. 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.
10. Королев В.А., Громовик А.И., Йонко О.А. Изменение физических свойств почв Каменной степи под влиянием полезных лесных полос // Почвоведение. 2012. № 3. С. 299–308. <https://doi.org/10.1134/S1064229312030064>
11. Кретинин В.М. Мониторинг плодородия почв лесоаграрных ландшафтов лесостепной зоны // Докл. ВАСХНИЛ. 1992. № 3. С. 16–20.
12. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Климатические условия // Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. Белгород: КОНСТАНТА, 2018. С. 70–72.
13. Лебедева М.Г., Крымская О.В. Показатель увлажнения территории за период 2001–2015 гг. // Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. Белгород: КОНСТАНТА, 2018. С. 80–82.
14. Мильков Ф.Н., Нестеров А.И., Петров П.Г. и др. Каменная степь: Лесоаграрные ландшафты. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1992. 224 с.
15. Накаряков А.В., Чирков Ф.Н., Филькин Т.Г. О детальной дифференциации почв под лесополосами в Троицком лесостепном заказнике Пермского университета. [Электронный ресурс], 2005. URL:[http://nakaryakov.narod.ru/articles/a\\_2005/solonec.htm](http://nakaryakov.narod.ru/articles/a_2005/solonec.htm)
16. Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Изменение форм органического вещества черноземов Каменной степи при разном использовании, местоположении и увеличении степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1494–1504. <https://doi.org/10.1134/S1064229313120065>
17. Рухович Д.И., Симакова М.С., Куляница А.Л., Брызжев А.В., Королева П.В., Калинина Н.В., Вильчевская Е.В., Долинина Е.А., Рухович С.В. Влияние лесополос на фрагментацию овражно-балочной сети и образование мочаров // Почвоведение. 2014. № 11. С. 1293–1307. <https://doi.org/10.1134/S106422931411009X>
18. Тонконогов В.Д. Глинисто-дифференцированные почвы Европейской России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1999. 156 с.
19. Трофимов И.Т., Беховых Ю.В., Болотов А.Г., Сизов Е.Г. Физические свойства черноземов под хвойными лесополосами // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2013. № 9(107). С. 23–27.
20. Тумин Г.М. Влияние лесных полос на почву в Каменной Степи. Воронеж: Коммуна, 1930. 40 с.
21. Федоров С.И., Гумеров Ф.Р. Влияние лесополос на морфологические и агрохимические свойства черноземов // Севооборот, обработка почв и удобрение при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивной технологии. Уфа, 1990. С. 16–20.
22. Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И. Почвы Каменной степи от времени В.В. Докучаева до наших дней // Живые и биокосные системы. 2016. № 16. <http://www.jbks.ru/archive/issue-16/article-2>
23. Цветнов Е.В., Марахова Н.А., Макаров О.А., Строков А.С., Абдулханова Д.Р. Апробации подхода к определению общественной ценности земель в качестве основы для проведения эколого-экономической оценки ущерба от их деградации // Почвоведение. 2019. № 10. С. 1269–1277. <https://doi.org/10.1134/S1064229319100168>
24. Чевердин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г., Воронин Д.А. Роль лесных насаждений в изменении свойств черноземов // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 2. С. 11–14.
25. Чевердин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г. Формирование солевого режима почв под влиянием лесных полос // Современные тенденции развития аграрного комплекса: материалы международной научно-практической конференции. Соленое Займище, 2016. С. 352–355.
26. Чендев Ю.Г., Соэр Т.Д., Холл Р.Б., Петин А.Н., Новых Л.Л., Заздравных Е.А., Чевердин Ю.И., Тищенко В.В., Филатов К.И. Оценка запасов и баланса органического углерода в экосистемах лесополос Восточно-Европейской лесостепи // Проблемы региональной экологии. 2013. № 4. С. 7–13.
27. Чендев Ю.Г., Соэр Т.Д., Геннадиев А.Н., Новых Л.Л., Петин А.Н., Петина В.И., Заздравных Е.А., Буррас С.Л. Накопление органического углерода в черноземах (моллисолях) под полезными лесными насаждениями в России и США // Почвоведение. 2015. № 1. С. 49–60. <https://doi.org/10.1134/S1064229315010032>
28. Чендев Ю.Г., Хохлова О.С., Александровский А.Л. Агротенная эволюция автоморфных черноземов лесостепи (Белгородская область) // Почвоведение. 2017. № 5. С. 515–531. <https://doi.org/10.1134/S1064229317050040>

29. Яковлев А.С., Макаров О.А., Евдокимова М.В., Огородников С.С. Деградация земель и проблемы устойчивого развития // Почвоведение. 2018. № 9. С. 1167–1174.
30. Brandle J.R., Hodges L., Zhou X.H. Windbreaks in North American agricultural systems // Agroforestry Systems. 2004. № 61. P. 65–78.
31. Maryganova V., Szajdak L.W., Tyhinskaya L., Parmon S. Chemical composition and hydrophobic-hydrophilic properties of humic acids from soils under shelterbelts of different age // Physical, chemical and biological processes in soils / Eds. Szajdak L.W., Karabanov A.K. Poznan'. 2010. P. 359–372.
32. Pinho R.C., Miller R.P., Alfaia S.S. Agroforestry and the improvement of soil fertility: a view from Amazonia // Appl. Environ. Soil Sci. 2012. V. 2012. P. 1–11. <https://doi.org/10.1155/2012/616383>
33. Sauer T.J., Cambardella C.A., Brandle R.B. Soil carbon and tree litter dynamics in a red cedar-scotch pine shelterbelt // Agrofor. Syst. 2007. V. 71. P. 163–174.
34. 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.

## Change of Forest-Steppe Chernozems under the Influence of Shelterbelts in the South of the Central Russian Upland

Yu. G. Chendev<sup>1, \*</sup>, A. N. Gennadiev<sup>2</sup>, S. V. Lukin<sup>3</sup>, T. J. Sauer<sup>4</sup>, E. A. Zazdravnykh<sup>3</sup>, V. G. Belevantsev<sup>1</sup>, and M. A. Smirnova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Belgorod State University, Belgorod, 308015 Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

<sup>3</sup>State Center of Agrochemical Service "Belgorodskiy", Belgorod, 308027 Russia

<sup>4</sup>USDA-ARS National Laboratory for Agriculture and the Environment, North University Boulevard, Ames, 50011-3611 USA

\*e-mail: Chendev@bsu.edu.ru

This research is aimed at a comprehensive study of the soils of the 5-row (30 m) oak shelterbelt with meridional orientation located on the interfluvium of the agroforestry landscape (typical forest-steppe of Belgorod oblast). Background soils are leached medium-deep light clayey chernozems on heavy carbonate loesslike loams (Luvic Chernozems). We found changes in the intensity and direction of soil-forming processes in soils of both the shelterbelt and the adjacent arable land as a result of tree growth during the past 50 years (age of the shelterbelt). Data on the contents and stocks of the clay and fine silt fractions in the soil profile under the shelterbelt attest to the development of its textural differentiation. The accumulation of sodium and magnesium in soil water extracts is detected in the layer of 200–400 cm of this soil. Adjacent arable soils contain less carbonates than soils under the shelterbelt; the removal of carbonates from the layers of 0–200 and 0–300 cm is estimated at 57 and 84 t/ha, respectively. The topsoil (0–20 cm) under the shelterbelt significantly differs from the topsoil of the adjacent arable land in a lower bulk density, lower storage of clay (<0.001 mm) and physical clay (<0.01 mm), and higher storage of C<sub>org</sub>. The influence of the shelterbelt on the properties of adjacent arable soils can be traced to a distance of 50–60 m from the shelterbelt edges. In quantitative indicators, the significant differences are seen in the clay storage.

**Keywords:** Belgorod oblast, agroforestry, bulk density, organic carbon, nitrogen, potassium, phosphorus, Chernozems, soil transformation