

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 631.4

### ЛЕСНЫЕ ПОЛОСЫ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГА СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Ю.Г. Ченdev<sup>1</sup>, А.Н. Геннадиев<sup>2</sup>, М.А. Смирнова<sup>3</sup>, М.Г. Лебедева<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет, институт наук о Земле

<sup>2,3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет,  
кафедра геохимии ландшафтов и географии почв

<sup>1</sup> Кафедра природопользования и земельного кадастра, проф., д-р геогр. наук; e-mail: chendev@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Проф., д-р геогр. наук; e-mail: alexagenna@mail.ru

<sup>3</sup> Доц., канд. геогр. наук; e-mail: summerija@yandex.ru

<sup>4</sup> Кафедра географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности,  
доц., канд. геогр. наук; e-mail: lebedeva\_m@bsu.edu.ru

Для выявления особенностей воздействия лесомелиораций на распаханные почвы на трех ключевых участках лесостепи юга Среднерусской возвышенности изучены автоморфные черноземы под широкими (30 м) меридионально ориентированными широколиственными лесополосами и их пахотные аналоги вблизи от лесополос. Исследования проводились в ареале распространения тяжелосуглинистых и глинистых черноземов типичных. За 60 лет произрастания лесополос произошли заметные изменения морфологических, физических и химических свойств черноземов. Анализ полевой влажности почв, проведившийся в течение двух вегетационных периодов (2020–2021), показал большее увлажнение почв на пашнях к западу от лесополос, чем к востоку, что обусловлено преимущественно западным переносом воздушных масс в теплую половину года. В почвах под лесополосами по сравнению с почвами пашен выявлен рост мощности гумусово-аккумулятивной части профилей (в среднем на 13 см), обнаружены признаки иллювирирования веществ в горизонте В (глянцевые пленки и тонкие кутаны), идентифицировано фрагментарное осветление средней и нижней части гумусированной толщи в виде слабого налета скелетан. В почвах под лесополосами имеет место радиальный вынос карбонатов по сравнению с пахотными аналогами. В трехметровой толще карбонатов углерода в среднем содержится на 40–50 т /га меньше, чем в почвах пашен. Указанные отличия свидетельствуют об эволюционной трансформации почв под лесополосами в направлении от черноземов типичных к черноземам выщелоченным. В трехметровой толще почв лесополос установлены более высокие запасы углерода органического вещества, в среднем на 27 т /га по сравнению с почвами пашен. Групповой состав гумуса в черноземах под лесополосами заметно трансформируется в сторону лесного типа – в слое 0–20 см возрастает содержание фульвокислот, а глубже формируется максимум накопления гуминовых кислот, тогда как для почв на пашнях остается характерным черноземный тип его профильного распределения. Установлена латеральная подтяжка ряда веществ (в частности, фосфора) от пашен в сторону лесополос благодаря десукционной деятельности корневых систем деревьев. Таким образом, полезащитные лесополосы активизируют комплекс автохтонных и аллохтонных явлений в почвенном покрове, заметно трансформирующих почвы в течение 60-летнего периода времени.

**Ключевые слова:** лесостепь, лесонасаждения, черноземы, пахотные почвы, агролесомелиорации, эволюция и динамика почв, влажность почв, карбонаты в почвах, гумус

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.4.8

#### ВВЕДЕНИЕ

Среди широкого спектра вопросов, касающихся изучения техногенной трансформации почвенного покрова, отдельное место занимают вопросы его изменения под влиянием агролесомелиораций. Эта тематика весьма значима в связи с признанием агролесомелиораций эффективным инструментом

управления качеством почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных земель в различных, в том числе аридных, регионах мира [Wezel et al., 2000; Szajdak, Życzyńska-Bałoniak, 2013; Ченdev и др., 2015; Wu et al., 2019]. Особенно актуально исследование влияния агролесомелиораций на направленность и стадийность видоизменения почв в

староосвоенных земледельческих районах России, где длительное возделывание земель во многих случаях привело к деградационным явлениям в почвах, и возникла необходимость восстановления утраченного почвенного плодородия [Данилов, Лобанов, 1973; Ерусалимский, Рыжков, 2017]. В настоящее время накоплен достаточно большой объем сведений по разным аспектам влияния лесополос на свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур, особенно в результате работ на опытных агролесомелиоративных станциях и стационарах как в нашей стране [Каменная..., 1992; Когут и др., 2009; Чевердин и др., 2016; Турусов и др., 2017], так и за рубежом [Kort, 1988; Breman, Kessler, 1997; Li et al., 2022]. В последнее десятилетие наряду с исследованиями на экспериментальных научных станциях перспективными полигонами для изучения влияния лесомелиораций на почвы все чаще становятся лесополосы на участках обычного сельскохозяйственного назначения – на фермерских полях и территориях других сельскохозяйственных предприятий, тем самым расширяется географическое пространство проводимых исследований [Рухович и др., 2014; Chendev et al., 2014; Novykh, Chendev, 2014; Chendev et al., 2015; Хитров, Чевердин, 2016; Li et al., 2022].

Большинство опубликованных работ, касающихся вопросов лесомелиорации, посвящено изучению лесополос как фактора: а) улучшения микроклимата вследствие снегозадержания [Kort, 1988; Wu et al., 2019]; б) снижения физического испарения и создания условий для накопления доступной для растений почвенной влаги [Breman, Kessler, 1997; Wezel et al., 2000]; в) повышения урожайности сельскохозяйственных культур [Агроэкологическое..., 1996; Кретинин, 1991]; г) удерживания в почвах углерода углекислого газа, что связано с регулированием парникового эффекта [Кретинин, 1992; Стеценко, 2013]; д) снижения интенсивности почвенной эрозии [Brandle et al., 2004]; е) формирования среды обитания диких животных и дикорастущих растений [Чегодаева и др. 2005]; ж) улучшения эстетического восприятия ландшафта [Peggy et al., 2009; Li et al., 2020]. Значительно меньше работ рассматривает лесополосы как фактор экспериментального видоизменения направленности почвообразования, позволяющий дополнить и углубить фундаментальные эволюционно-генетические представления о почвах, детальнее оценить особенности их развития в координатах пространства и времени. Именно этот подход к анализу строения и функционирования системы «лесополосы – почвы» используется нами в настоящем исследовании.

Результаты почвенно-генетического изучения названной системы различными авторами не одно-

значны. Это относится, например, к выявлению реакции черноземов на произрастание лесополос. В числе первых сведения о влиянии лесомелиораций на черноземные почвы были опубликованы Г.М. Туминым в 1930 г. [Тумин, 1930]. При исследовании почв Каменной степи автор отмечал улучшение почвенной структуры, понижение глубины вскипания, увеличение мощности гумусового горизонта и содержания в нем гумуса, констатировалась трансформация обыкновенного чернозема в выщелоченный. Однако в более поздних исследованиях на территории Каменной степи мнения авторов о вкладе лесополос в почвообразовательный процесс стали не столь однозначными. По данным Б.П. Ахтырцева [Каменная..., 1992], срок произрастания лесополос недостаточен для трансформации обыкновенных черноземов в выщелоченные. Под влиянием лесных полос в почвах отмечается лишь некоторое повышение содержания гумуса в верхнем 10–15-сантиметровом слое [Каменная..., 1992]. Близкие выводы содержатся в работах других авторов [Когут и др., 2009; Каганов, 2012; Приходько и др., 2013]. Имеется также дефицит сведений, либо существуют разноречивые суждения и по ряду других аспектов воздействия агролесомелиораций на черноземы: по масштабам территории, на которую лесополосы распространяют свое влияние на почвы [Данилов, Лобанов, 1973; Агролесомелиорация..., 1991; Кретинин, 1992; Колесникова, 2006]; по выраженности изменений физических свойств, включая гранулометрический состав черноземов под лесополосами [Королев и др., 2012; Трофимов и др., 2013]; по вопросу влияния лесополос на соловой баланс черноземов [Чевердин и др., 2014; 2016] и т. д. В этой связи представляется очевидной необходимость продолжения исследований для выявления и анализа изменений во времени и пространстве черноземных почв, обусловленных воздействием агролесомелиораций.

Цель настоящей работы – проведение комплексного анализа трендов преобразования черноземов, вызванных обустройством и длительным функционированием лесополос на территории аграрно-освоенной лесостепи юга Среднерусской возвышенности.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевые участки исследования выбирались с учетом ряда условий. Все участки должны были находиться на территории лесостепи юга Среднерусской возвышенности. На всех участках должны были практиковаться традиционные для региона способы обработки почв и выращивания сельскохозяйственных культур. Участки должны были находиться на ровных слабонаклонных поверхностях и включать многорядные и широкие (30–35 м)

старовозрастные полезащитные лесополосы с меридиональной (юг–север) ориентировкой для достижения равноэкспозиционного эффекта влияния лесополос на прилегающие к ним с запада и востока почвы. Исследовались лесополосы, которые высаживались на пашнях с лугово-степными черноземами. Прилегающие к лесополосам почвы весь

период развития лесополос должны были распахиваться. Схема местоположения ключевых участков исследования приводится на рис. 1. Участок «Бондарев» расположен на плоской приводораздельной поверхности, «Приветный» – в верхней приводораздельной части склонов с уклоном менее 2°.



Рис. 1. Местоположение ключевых участков исследования

Fig. 1. Location of key research sites

На участке «Бондарев» объектом исследования была 7-рядная ясенево-вязовая лесополоса, высаженная в конце 1950-х гг., на участке «Терновка» – 5-рядная дубовая лесополоса, высаженная в середине 1960-х гг., на участке «Приветный» – 6-рядная вязово-ясеневая с примесью клена лесополоса, высаженная в начале 1950-х гг. Средний возраст лесополос составляет 60 лет, все они создавались в соответствии с государственным планом преобразования природы, утвержденном в 1948 г. [Ерусламский, Рожков, 2017].

Все ключевые участки исследования в 1780-х гг. занимали пограничное положение между распахиваемыми угодьями и целинными степями. Поэтому возраст земледельческого освоения участков нами был принят в 230–240 лет (с 1784–1791-го (время создания старинных карт периода Генерального межевания) по 2024 г.).

Ключевые участки находятся в различных климатических обстановках лесостепной зоны – от наиболее влажной лесостепи на западе с коэффициентом увлажнения 1,24 (участок «Бондарев») до наиболее засушливой лесостепи на юго-востоке региона с коэффициентом увлажнения 1,03 (участок «Приветный»). Все участки соответствуют ареалам распространения черноземов типичных с незначительным участием в структуре почвенного покрова черноземов выщелоченных.

Содержание физической глины в верхнем 20-сантиметровом слое почв на крайнем западе (участок «Бондарев») составляет 55–62% и имеет тенденцию роста в юго-восточном направлении: на участке «Терновка» – 60–69%, на участке «Приветный» – 63–79%. На участках «Бондарев» и «Терновка» почвообразующими породами являются лессовидные карбонатные тяжелые суглинки и глины (содер-

жение физической глины – 51–69%), а на участке «Приветный» – лессовидные карбонатные легкие глины (содержание физической глины – 66–85%).

На всех участках закладывалось по два почвенных разреза в центральной части лесополос и по одному разрезу на пашнях с двух сторон лесополос на расстоянии 10, 30 и 60 м от их края. Пробоотбор на разные виды лабораторного анализа осуществлялся послойно с одинаковых глубин почв в каждом разрезе. На каждом участке отдельно изучались свойства почв в слое 0–20 см вдоль линий трех трансект, удаленных друг от друга на 10 м и ориентированных перпендикулярно лесополосе. Трансекта начиналась в 100 м от края лесополосы, пересекала лесополосу и заканчивалась на другом поле также в 100 м от края лесополосы. На каждой трансекте пробы почв отбирались на пашнях через 10 м, а под лесополосами – через 6 м. Дополнительно в течение двух полных вегетационных периодов 2020–2021 гг. (с апреля по октябрь) в почвах крайних участков («Бондарев» и «Приветный») проводились ежемесячные наблюдения за режимами почвенной влажности с помощью парного бурения и отбора проб до глубины 2 м в каждой изучаемой точке (центр лесополосы, пашня к западу и востоку на удалении 10, 30 и 60 м от края лесополосы).

Полевые описания почв выполнялись с помощью метода морфологического анализа почвенного профиля. Лабораторные анализы включали определение плотности сложения почв с помощью стальных колец известного объема, гранулометрического состава почв методом Качинского (ГОСТ 12536),  $C_{\text{опр}}$  по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), группового состава гумуса по ускоренной методике Кононовой-Бель-

чиковой [Пономарева, Плотникова, 1980], pH водной суспензии (ГОСТ 26423-85), подвижных форм фосфора по методу Чирикова (ГОСТ 26205-91),  $\text{CO}_2$  карбонатов ацидиметрическим методом. Определение полевой влагоемкости почв осуществлялось согласно ГОСТ 28268-89. Почвы. При анализе и интерпретации полученных данных также были использованы методы математической статистики с помощью программного комплекса STATISTICA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов двухлетних наблюдений за изменением почвенной влажности в зонах влияния лесополос позволяет сделать ряд наиболее важных выводов.

В целом, содержание влаги в почвах участка «Приветный», расположенного в засушливых условиях лесостепной зоны ( $\text{ГТК} = 1,03$ ), оказалось более высоким по сравнению с почвами участка «Бондарев», расположенного в более влажных обстановках лесостепи ( $\text{ГТК} = 1,24$ ). Главной причиной выявляемых различий выступает более глинистый гранулометрический состав почв участка «Приветный» (в глинах содержание капиллярной и пленочной влаги выше, чем в суглинках, что повышает общий процент влажности почв).

Вторым выводом является констатация факта формирования в почвах под лесополосами зон пониженной влажности (рис. 2). Это происходит вследствие эффекта корневой десукции деревьев, когда корни извлекают необходимую влагу с большой глубины намного интенсивнее, чем корни культурных растений [Wu et al., 2019].

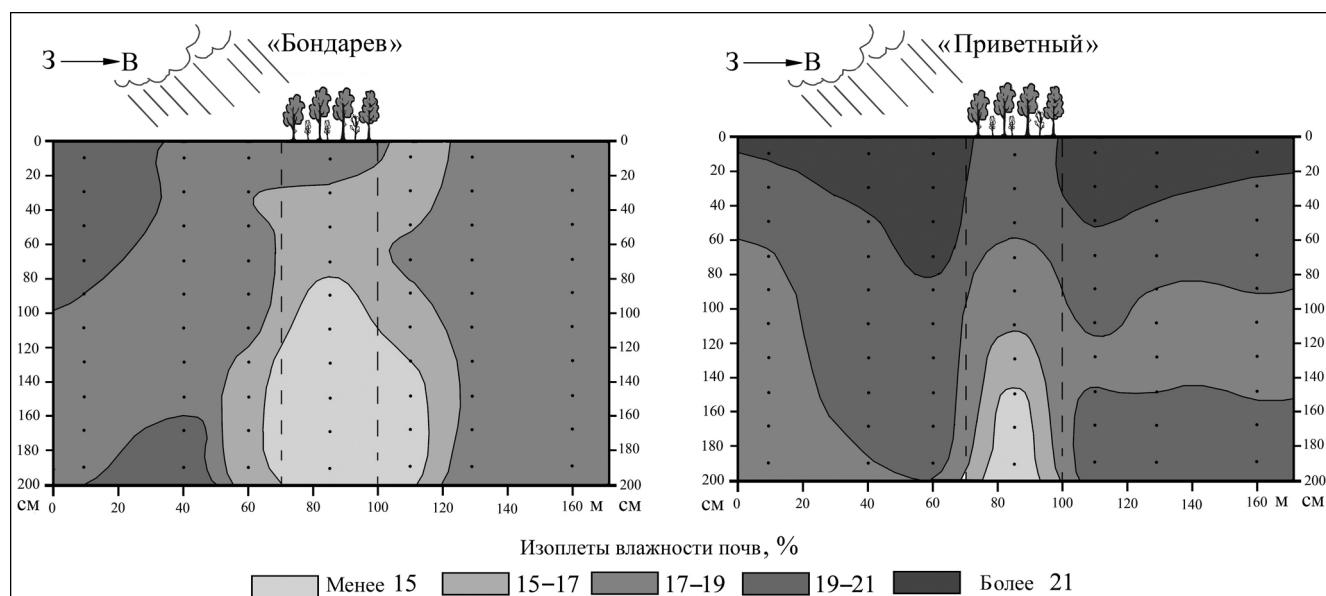


Рис. 2. Изоплеты влажности почв на двух изученных участках (средние значения за вегетационные периоды 2020–2021 гг.)

Fig. 2. Isopleths of soil moisture at two studied sites (average values for the 2020–2021 vegetation periods)

Кроме того, установлено более интенсивное накопление почвенной влаги на полях, расположенных к западу от лесополос по сравнению с полями к востоку от них (см. рис. 2). Это явление обусловлено тем, что территория центра Восточно-Европейской равнины находится в области западного переноса воздушных масс. Поэтому пахотные поля с наветренной стороны лесополос получают больше влаги по сравнению с почвами подветренных сторон: высокая (20–25 м) стена деревьев в лесополосах формирует ветровую и дождевую тень на участках пашен к востоку от лесополос; кроме того, лесополосы способствуют большему накоплению снега в зимний период с наветренной стороны [Данилов, Лобанов, 1973].

Морфометрические признаки почв, изученных на каждом участке, представлены в табл. 1. На всех ключевых участках («Бондарев», «Терновка», «Приветный») при переходе от почв лесополос к почвам пашен выявляются направленные пространственные изменения мощности гумусированной части почвенных профилей (суммарной мощности горизонтов A1 и A1B) и мощности горизонтов B: мощность гумусированной части профилей достоверно снижается (в среднем на 13 см), а мощность горизонтов B достоверно возрастает (в среднем на 7 см). Установленные изменения отражают различия в трендах почвообразования, складывающиеся на пашнях и под длительно прорастающими лесополосами и наблюдаемые в различных физико-географических условиях [Chendev et al., 2014].

По глубине залегания карбонатов (глубина вскипания) направленное выщелачивание почв под лесополосами установлено на участках «Бондарев» и «Приветный» и не столь очевидный тренд выявляется на участке «Терновка» (см. табл. 1). В первых двух случаях почвы под лесополосами в результате произошедшего выщелачивания были идентифицированы как черноземы выщелоченные, тогда как на прилегающих пашнях их аналогами являются черноземы типичные.

В черноземах под лесополосами по сравнению с черноземами пашен повсеместно констатировались новые морфологические признаки, образованные в относительно влажном микроклимате под пологом древесной растительности и отражающие начальную стадию текстурной дифференциации почвенных профилей. К ним относятся очаговый налет скелетан в нижней части гумусовых горизонтов, наличие пленок иллювиирования со слабым глянцевым блеском в горизонтах A1B, тонкие фрагментарные кутаны иллювиирования и мелкие железисто-марганцевые примазки в горизонтах B и BC.

Еще одним важным отличием профильного строения черноземов под лесополосами от черноземов на пашнях выступает разная степень открытости профилей роющими животными – полевыми мышами-слепышами (табл. 2). Повышенное количество слепышин в почвах центральных зон под лесополосами может быть следствием определенной этапности формирования экосистем лесополос: на стадии закладки лесополос и в первые годы роста деревьев, когда еще хорошо освещаемое пространство лесополос функционировало в режиме залежного угодья, почвы на этих участках могли активно осваиваться слепышами, оставившими значительное количество ходов в почвенных профилях (см. табл. 2).

Как показали более детальные исследования, корни деревьев распространяются на расстояние более 10 м от края лесополос. Это выявлялось повсеместно на участках полевого исследования почв. В качестве примера на рис. 3 приводится профиль чернозема, изученного на пашне в 10 м от края лесополосы на участке «Бондарев», с присутствием на стенках разреза древесных корней.

Следствием распространения корней деревьев в разные стороны от лесополос является латеральная подтяжка корнями некоторых веществ из почв пашни к почвам лесополос [Wu et al., 2019]. Одним из примеров такой подтяжки служит пространственный профиль распределения в почвах содержания подвижного фосфора по усредненным характеристикам на трех ключевых участках (рис. 4). Фосфор, попадающий на поля с минеральными удобрениями, захватывается древесными корнями, поступает в деревья, а затем с опадом листьев и веток аккумулируется в почвах, постепенно накапливаясь в краевых зонах лесополос и формируя здесь своеобразные почвенно-геохимические аномалии. Данный процесс контролируется количеством вносимых на поля минеральных удобрений: чем выше дозы вносимых удобрений, тем больше проявляется накопление элементов питания растений в краевых частях лесополос. Таким образом, лесополосы являются биогеохимическими барьерами, аккумулирующими в органах растений и почвах различные химические элементы и вещества в концентрациях, которые могут иметь негативные последствия для здоровья человека.

В почвах пашен в 10–30 м от края лесополос формируются зоны повышенного уплотнения и более ярко выражен горизонт подпружной подошвы по сравнению с удаленными от лесополос пахотными почвами (рис. 5). Главной причиной этого является более частое и регулярное прохождение сельскохозяйственной техники вблизи границ пахотных полей.

Таблица 1

**Результаты статистической обработки морфометрических признаков изученных почв**

Показатель	Расположение почвы	<i>n</i>	<i>Lim</i>	$X \pm \delta_x$	$\delta$	<i>V</i> , %
<b>Участок «Бондарев»</b>						
Мощность гумусированной части профиля (A1+A1B), см	Под лесополосой	30	72–91	82,8±1,0	5,49	6,6
	В 10 м от края лесополосы	30	59–78	67,1±0,9	4,70	7,0
	В 30 м от края лесополосы	30	62–80	69,4±0,9	4,72	6,8
	В 60 м от края лесополосы	30	51–82	69,4±1,1	6,16	8,9
Мощность горизонта B, см	Под лесополосой	30	9–35	23,1±1,0	5,24	22,7
	В 10 м от края лесополосы	30	8–47	27,0±1,8	9,88	36,6
	В 30 м от края лесополосы	30	10–38	26,5±1,1	6,01	22,7
	В 60 м от края лесополосы	30	23–52	33,3±1,1	6,25	18,8
Глубина вскипания, см	Под лесополосой	15	93–116	106,3±1,8	7,09	6,7
	В 10 м от края лесополосы	30	37–70	54,9±1,8	10,11	18,4
	В 30 м от края лесополосы	30	54–95	68,7±2,1	11,70	17,0
	В 60 м от края лесополосы	30	32–61	43,5±1,4	7,60	17,5
<b>Участок «Терновка»</b>						
Мощность гумусированной части профиля (A1+A1B), см	Под лесополосой	30	67–84	76,3±0,8	4,19	5,5
	В 10 м от края лесополосы	30	63–77	68,7±0,7	3,66	5,3
	В 30 м от края лесополосы	30	61–84	69,3±0,8	4,15	6,0
	В 60 м от края лесополосы	30	58–77	65,4±0,8	4,65	7,1
Мощность горизонта B, см	Под лесополосой	30	15–38	25,3±1,1	5,88	23,2
	В 10 м от края лесополосы	30	17–45	28,3±1,3	7,04	24,9
	В 30 м от края лесополосы	30	19–55	38,5±1,4	7,58	19,7
	В 60 м от края лесополосы	30	20–45	31,3±1,1	6,24	19,9
Глубина вскипания, см	Под лесополосой	30	70–89	77,9±0,9	5,08	6,5
	В 10 м от края лесополосы	30	70–90	79,2±1,0	5,33	6,7
	В 30 м от края лесополосы	30	48–83	68,4±1,6	8,57	12,5
	В 60 м от края лесополосы	30	92–116	103,3±1,3	7,03	6,8
<b>Участок «Приветный»</b>						
Мощность гумусированной части профиля (A1+A1B), см	Под лесополосой	30	80–98	88,9±0,8	4,52	5,1
	В 10 м от края лесополосы	30	70–88	79,4±0,7	3,72	4,7
	В 30 м от края лесополосы	30	62–76	69,3±0,7	3,84	5,5
	В 60 м от края лесополосы	30	57–74	63,4±0,7	4,00	6,3
Мощность горизонта B, см	Под лесополосой	30	12–36	24,7±1,0	5,66	22,9
	В 10 м от края лесополосы	30	21–46	30,1±1,2	6,43	21,4
	В 30 м от края лесополосы	30	16–45	32,3±1,4	7,80	24,1
	В 60 м от края лесополосы	30	20–65	36,0±1,9	10,45	29,0
Глубина вскипания, см	Под лесополосой	30	87–126	106,3±2,8	15,14	14,2
	В 10 м от края лесополосы	30	39–66	52,8±1,4	7,88	14,9
	В 30 м от края лесополосы	30	35–60	45,1±1,2	6,52	14,5
	В 60 м от края лесополосы	30	30–65	49,5±1,8	10,09	20,4

Примечание: *n* – объем выборки; *Lim* – разброс значений, *X* – среднее арифметическое значение,  $\delta$  – ошибка выборочной средней, *V* – коэффициент вариации; те же показатели использованы в табл. 3.

Таблица 2

**Распределение слепышин в профилях почв ключевых участков исследования, % от площади слоя**

Слой, см	Почвы			
	Лесополосы, n=2	Пашни в 10 м от края, n = 2	Пашни в 30 м от края, n = 2	Пашни в 60 м от края, n = 2
<b>Участок «Бондарев»</b>				
0–40	5,4	1,0	1,9	5,1
40–80	74,2	43,0	44,0	62,6
80–120	79,4	79,6	65,9	70,9
120–160	48,8	34,9	56,2	62,8
0–160	52,0	39,6	42,0	50,4
<b>Участок «Терновка»</b>				
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
<b>Участок «Приветный»</b>				
0–40	10,8	0,6	1,7	5,5
40–80	74,0	53,9	54,8	59,7
80–120	73,2	68,1	30,5	59,1
120–160	4,1	7,9	6,0	15,8
0–160	40,5	32,6	23,3	35,0



Рис. 3. Живые и отмершие корни деревьев в стенке почвенного разреза в 10 м от края лесополосы на участке «Бондарев»

Fig. 3. Living and dead tree roots in the soil profile wall 10 m from the edge of the shelterbelt at the “Bondarev” site

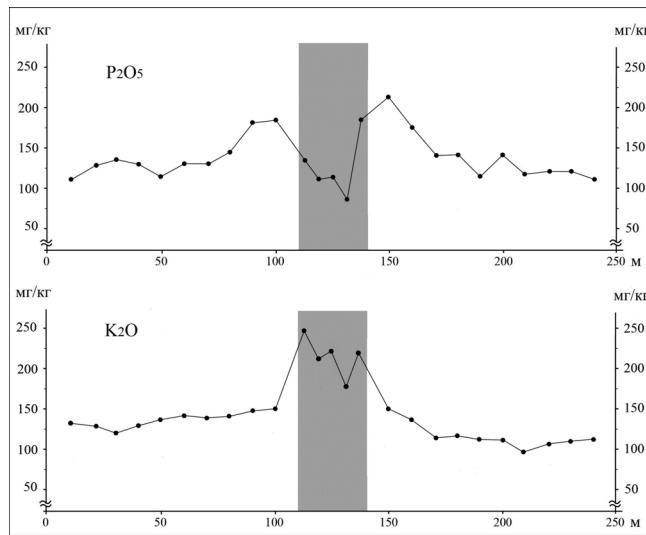


Рис. 4. Содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ) в слое почв 0–20 см в зоне влияния лесополос (по усредненным характеристикам на трех ключевых участках исследования). Каждая точка обеспечена результатами девяти анализов. Серый столбик – место нахождения лесополос

Fig. 4. Content of mobile phosphorus ( $P_2O_5$ ) and potassium ( $K_2O$ ) in the 0–20 cm soil layer within the influence zone of the shelterbelt (based on averaged characteristics at three key research sites). Each point represents results from 9 analyses. Gray column – location of the shelterbelt

На территории наиболее влажной лесостепи (участок «Бондарев») в слоях образования подпружной подошвы формируются признаки поверхностного оглеения. В более южных (засушливых) районах лесостепи данные признаки не выявлены.

Для понимания изменений, происходящих в профилях черноземов при смене пашен лесополосами, важным аспектом выступает сравнительный анализ запасов в почвах органического (в гумусе почв) и неорганического (в почвенных карбонатах) углерода (табл. 3). По результатам сравнительного анализа (см. табл. 3), главные отличия почв лесополос от почв прилегающих пашен заключаются в более значительных запасах в них органического углерода (в слое 0–300 см – на 27 т/га, а в слое 0–100 см – на 19 т/га); по оценкам [Ченdev и др., 2015], средняя скорость накопления органического углерода в почвах под лесополосами Среднерусской возвышенности и Великих равнин США составляла 0,7–1,5 т/га в слое 1 м за 55–60-летний период. В почвах под лесополосами обнаружены меньшие запасы углерода педогенных карбонатов (в слое 0–300 см – на 46 т/га, а в слое 0–100 см – 23 т/га) за счет прогрессирующего выщелачивания почв под лесополосами в результате изменения микроклимата, который становится более прохладным и влажным.

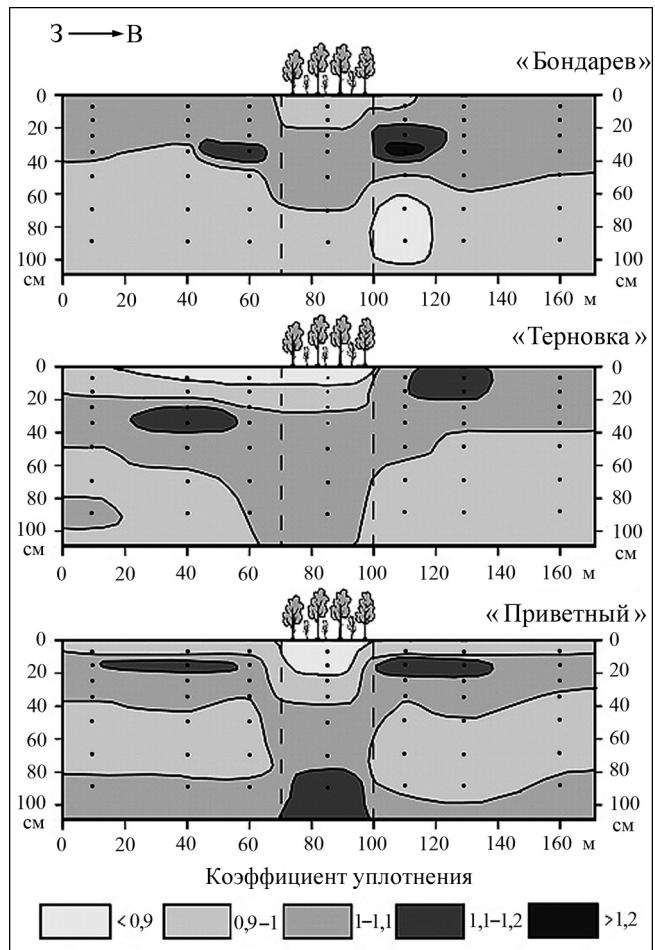


Рис. 5. Пространственное распределение коэффициента уплотнения ( $K_{up}$ ) в метровой толще черноземов трех изученных участков.  $K_{up}$  – плотность ( $\text{г}/\text{см}^3$ ) в каждом 20-санитметровом слое: средняя плотность в метровом слое

Fig. 5. Spatial distribution of the compaction coefficient ( $K_{up}$ ) in the meter-thick chernozems of the three studied areas.  $K_{up}$  – density ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) in each 20-centimeter layer: average density in a meter layer

За 60 лет произрастания лесополос заметные изменения произошли в качественном составе органического вещества почв. В почвах под лесополосами гумус верхних слоев обогащается фульвокислотами, а в нижележащих слоях становится более гуматным по сравнению с идентичными слоями почв прилегающих пашен (табл. 4). Изменение состава органического вещества почв под лесополосами выявлено и в других работах [Maryganova et al., 2010].

Изменение характера профильного распределения Сгк:Сfk в почвах под лесополосами можно объяснить сменой почвенных климатических режимов и характера растительности – с условно луговой на сельскохозяйственных полях на широколиственноподлесную. В литературе есть указание на то, что для почв широколиственных лесов на территории Европейской России «характерно передвижение в ниж-

ние горизонты почвы неполноусредненных гуматов кальция... Усреднение перемещающихся гуматов кальция часто начинается уже в нижней части горизонта А (гор. А1А2), где образуется первый подгоризонт вмывания гумуса» [Рубилин и др., 1964, с. 63].

Как показал анализ почв, изученных в разрезах и на трансектах, лесополосы способствуют проявлению различных вариантов латеральной дифференциации почвенных свойств. Так, некоторые почвенные характеристики (такие как рН и групповой состав гумуса), изменяясь в пределах пространства лесополос и прилегающих пашен, обусловили формирование двухкомпонентных полосчатых микроструктур почвенного покрова – с центральным компонентом под лесополосой, где происходит подкисление почв и наблюдается перераспределение группового состава гумуса с повышенным содержанием фульвокислот в слое 0–20 см, и с боковым компонентом на пахотном пространстве с двух сторон лесополосы, где в почвах выражен черноземный тип распределения значений рН и отношение Сгк:Сфк (рис. 6А, 6Б). Другой вариант латеральной дифференциации почвенных свойств указывает на формирование трехкомпонентной полосчатой микроструктуры по-

чвенного покрова: с центральным компонентом под лесополосами, со вторым компонентом на удалении до 30 м от края лесополос на пашнях и с третьим компонентом, распространяющимся на более удаленную от лесополос часть пахотных почв (см. рис. 6В, 6Г). Эти пространственно сопряженные полосчатые микрокомпоненты почвенного покрова отличаются такими показателями, как коэффициент уплотнения и площадь распространения слепышин (коэффициент уплотнения рассчитывался как отношение плотности сложения в 20 см слоях к средней плотности сложения в слое 0–1 м почвенных профилей). В пространстве второго компонента микроструктуры с двух сторон лесополос в слое 20–40 см почв четко фиксируются участки повышенного уплотнения как результат более частого здесь прохождения сельскохозяйственной техники при обработке почв и при уборке урожая. В период промачивания атмосферными осадками или в весенние периоды после снеготаяния здесь в почвах возникают водоупоры, на которых застаивается влага. Это приводит к поверхностному оглеению, что было установлено на участке «Бондарев» в наиболее влажной части лесостепной зоны. На других изученных участках лесостепи

Таблица 3

**Запасы углерода в профилях почв под лесополосами и на пашне, т /га**

Слой, см	Органическое вещество почв				Карбонаты почв			
	Lim	X±δ <sub>x</sub>	δ	V, %	Lim	X±δ <sub>x</sub>	δ	V, %
<i>Почвы лесополос</i>								
0–100	210–375	286±25	61,44	21,5	0–37	18±6	14,28	79,3
100–200	53–119	86±12	29,63	34,4	150–226	178±11	26,00	14,6
200–300	50–91	69±6	14,65	21,2	55–180	147±20	48,68	33,1
0–300	313–579	441±41	101,45	23,0	274–423	342±20	48,71	14,2
<i>10 м от края лесополос</i>								
0–100	182–361	266±24	59,51	22,4	11–86	44±12	30,38	69,0
100–200	57–111	84±9	23,42	27,9	155–245	207±14	34,87	16,8
200–300	36–68	57±5	12,32	21,6	55–185	135±23	56,82	42,1
0–300	286–534	407±36	87,36	21,5	237–509	386±45	110,44	28,6
<i>30 м от края лесополос</i>								
0–100	211–355	267±23	57,09	21,4	20–77	41±8	20,19	49,2
100–200	56–102	81±8	18,55	22,9	152–247	213±15	36,07	16,9
200–300	49–80	65±5	12,63	19,4	43–291	158±35	86,02	54,4
0–300	324–535	412±34	82,45	20,0	215–509	411±48	118,75	28,9
<i>60 м от края лесополос</i>								
0–100	221–352	268±23	57,09	21,3	0–73	38±12	30,56	80,4
100–200	51–118	87±7	18,55	21,3	73–236	188±24	59,73	31,8
200–300	32–98	67±5	12,63	18,9	58–194	142±22	54,72	38,5
0–300	305–568	422±34	82,45	19,5	131–503	367±55	135,10	36,8

*Примечание.* Средние характеристики трех изученных участков, для каждого слоя объем выборки равен 6.

с менее влажным климатом поверхностное оглеение в почвах указанных местоположений не было выявлено. На этих же участках в результате уплотнения

формируется неблагоприятное для жизнедеятельности слепыша пространство, что отражается в снижении площади слепышин (см. рис. 6Г).

Таблица 4

**Отношение Сгк:Сфк в изученных черноземах под лесополосами и на пашнях**

Глубина, см	Лесополосы, <i>n</i> = 2	Пашня (10, 30, 60 м от края лесополос), <i>n</i> = 6
<i>Влажная лесостепь (участок «Бондарев», ГТК = 1,24)</i>		
0–20	1,49	1,71
20–40	1,67	1,47
40–60	1,12	1,13
60–80	0,97	0,92
80–100	0,80	0,72
<i>Типичная лесостепь (участок «Терновка», ГТК = 1,10)</i>		
0–20	2,06	2,42
20–40	2,31	2,32
40–60	2,05	1,62
60–80	1,32	0,89
80–100	0,86	0,68
<i>Южная лесостепь (участок «Приветный», ГТК = 1,03)</i>		
0–20	1,67	1,78
20–40	2,02	1,40
40–60	1,15	1,08
60–80	0,98	0,81
80–100	0,65	0,65

*Примечание.* Усредненные характеристики почвенных разрезов на каждом участке.

**ВЫВОДЫ**

Под меридионально ориентированными широколиственными лесополосами на водораздельных поверхностях в разных климатических условиях лесостепи юга Среднерусской возвышенности в вегетационные периоды происходит глубокое иссушение почв в результате корневой десукиции деревьев. На пашнях к западу от лесополос формируются большие запасы влаги в почвах, чем на пашнях к востоку от них, что определяется западным переносом воздушных масс и эффектом ветровой тени под влиянием высоких древостоев.

Черноземы типичные в результате 60-летнего произрастания на них многорядных лесополос из широколиственных пород деревьев характеризуются трендом перехода в черноземы выщелоченные. Запасы карбонатов в этих почвах меньше по сравнению с почвами прилегающих пашен (в трехметровой толще – на 46 т/га, а в слое 0–1 м – на 23 т/га). Почвы под лесополосами также характеризуются более высокой гумусированностью по сравнению с почвами пашен (в слое 0–300 см углерода органического вещества содержится на 27 т/га больше, чем на пашнях, а в слое 0–100 см – на 19 т/га больше). Групповой состав гумуса верхних слоев черноземов под лесополосами становится более фульватным по сравнению с чер-

ноземами прилегающих пашен. Почвы под лесополосами характеризуются более высокой степенью перерывности роющими животными (слепышами) и определенной этапностью зоогенной трансформации морфологических профилей.

В процессе функционирования лесополос в почвах происходит латеральная подтяжка веществ со стороны пашен в сторону лесонасаждений благодаря воздействию корневых систем деревьев, которые распространяются на расстояние более 10 м от края лесополос в сторону пашен. Таким образом, лесополосы оказывают влияние на направленность и интенсивность почвообразования как внутри лесонасаждений (автохтонные процессы), так и на участках прилегающих пахотных угодий (аллохтонные процессы).

Изученные лесополосы и сопряженные с ними участки агроландшафтов являются специфическими геосистемами со своей структурной организацией и особенностями развития во времени. Установлено формирование линейно ориентированных (полосчатых) двух- и трехкомпонентных микроструктур почвенного покрова, обусловленных особенностями развития почвообразовательных процессов при формировании лесополос, а также характером агротехнических приемов земледелия на краях полей вблизи лесополос.

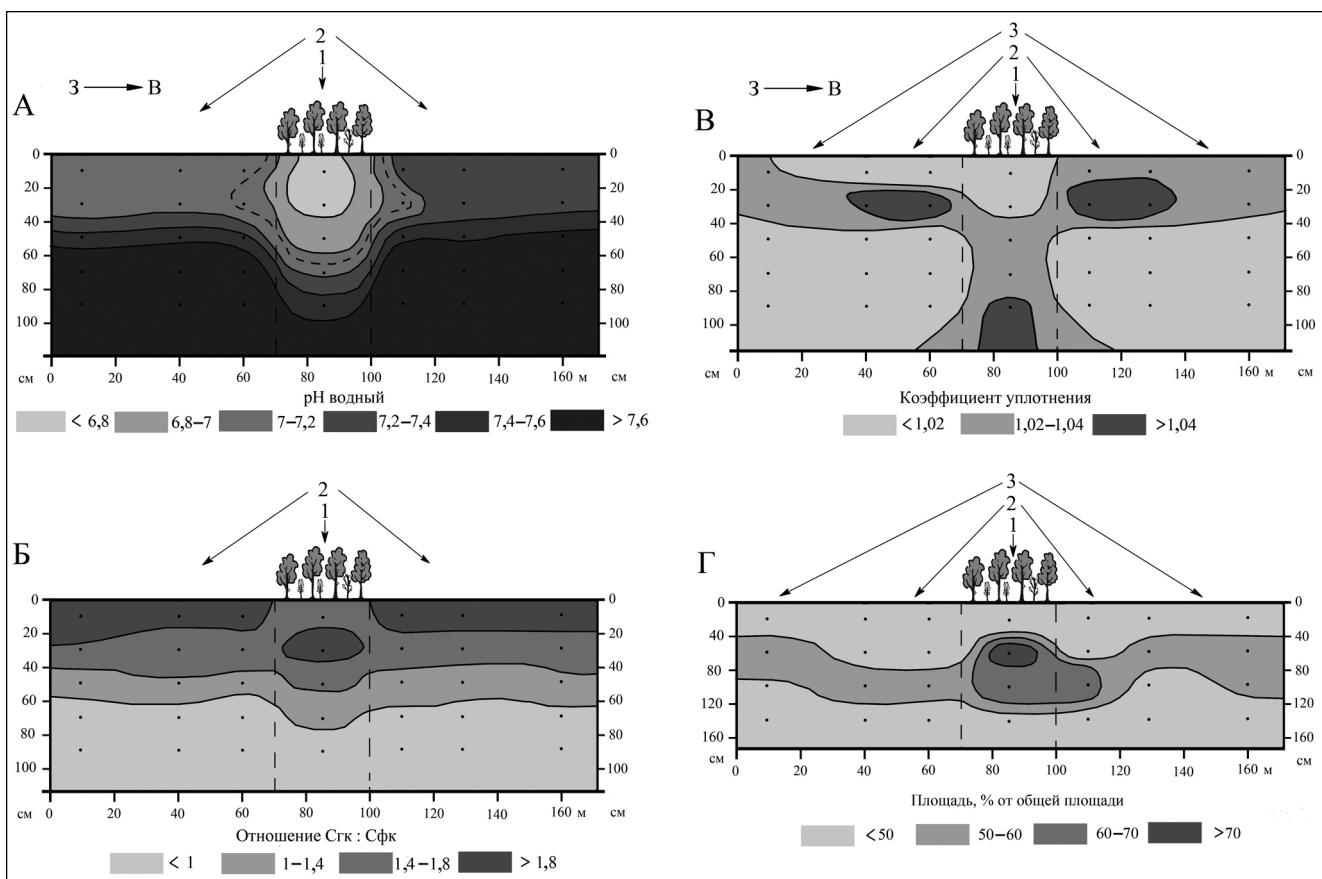


Рис. 6. Пространственное распределение почвенных свойств, сформировавших разное количество вариантов полосчатых микроструктур почвенного покрова под лесополосами и на прилегающих пашнях (усредненные характеристики трех ключевых участков): двухкомпонентные варианты: А – рН водный; Б – отношение Сгк:Сфк; трехкомпонентные варианты: В – коэффициент уплотнения; Г – площадь слепышин, %

Fig. 6. Spatial distribution of soil properties that formed a different number of banded microstructures of the soil cover under forest belts and on adjacent arable lands (averaged characteristics of three key areas): two-component options: А – aqueous pH; Б – ratio Sgk:Sfk; three-component options: В – compaction coefficient; Г – area of mole rats, %

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агролесомелиорация и плодородие почв / под ред. Е.С. Павловского. М.: Агропромиздат, 1991. 288 с.
- Агроэкологическое состояние черноземов. Курск: Изд-во Всероссийского НИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 1996. 330 с.
- Данилов Г.Г., Лобанов Д.А. Агролесомелиорация лесостепи. М.: Лесная промышленность, 1973. 125 с.
- Ерусалимский В.И., Рожков В.А. Многофункциональная роль защитных лесных насаждений // Бюллетень почвенного института имени В.В. Докучаева. 2017. № 88. С. 121–137.
- 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.
- Каменная степь: Лесоаграрные ландшафты. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1992. 224 с.
- Когут Б.М., Титова Н.А., Булеева В.С. Антропогенная трансформация качественного состава гумуса черноземов Каменной степи // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2009. № 64. С. 41–49.
- 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.
- 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.
- Кретинин В.М. Мониторинг плодородия почв лесоаграрного ландшафта лесостепи Среднерусской равнины // Вестник сельско-хоз. науки. 1991. № 6. С. 45–49.
- Кретинин В.М. Мониторинг плодородия почв лесоаграрных ландшафтов лесостепной зоны // Доклады

- ВАСХНИЛ. № 3. 1992. С. 16–20.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А.* Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980. 222 с.
- Приходько В.Е., Чевердин Ю.И., Титова Т.В.* Изменение форм органического вещества черноземов Каменской степи при разном использовании, местоположении и увеличении степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 12. С. 1494–1504. DOI: 10.7868/S0032180X13120095.
- Рубилин Е.В., Вернандер Н.Б., Парфенова Е.И. и др.* Степные лесные почвы европейской части СССР // Генезис, классификация и картография почв СССР. Доклады к VIII Международному конгрессу почвоведов. Отдельный оттиск. М.: Наука, 1964. С. 58–73.
- Рухович Д.И., Симакова М.С., Куланица А.Л. и др.* Влияние лесополос на фрагментацию овражно-балочной сети и образование мочаров // Почвоведение. 2014. № 47. С. 1086–1099. DOI: 10.7868/S0032180X14110094.
- Стещенко А.В.* Лесные проекты – результаты Киотского протокола // Вестник алтайской науки. 2013. № 2-2. С. 48–51.
- Трофимов И.Т., Беховых Ю.В., Болотов А.Г. и др.* Физические свойства черноземов под хвойными лесополосами // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2013. № 9(107). С. 23–27.
- Тумин Г.М.* Влияние лесных полос на почву в Каменной степи. Воронеж: Коммуна, 1930. 40 с.
- Турусов В.И., Лепехин А.А., Чеканышкин А.С.* Опыт лесной мелиорации степных ландшафтов (к 125-летию «Особой экспедиции...» В.В. Докучаева). Воронеж: Истоки, 2017. 228 с.
- Хитров Н.Б., Чевердин Ю.И.* Почвы Каменной степи от времени В.В. Докучаева до наших дней // Живые и биокосные системы. 2016. № 16. DOI: 10.18522/2308-9709-2016-16-2.
- 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: ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия», Региональный фонд «Аграрный университетский комплекс». 2016. С. 352–355.
- Чевердин Ю.И., Вавин В.С., Ахтямов А.Г. и др.* Роль лесных насаждений в изменении свойств черноземов // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 2. С. 11–14.
- Чегодаева Н.Д., Каргин И.Ф., Астрадамов В.И.* Влияние полезащитных лесных полос на водно-физические свойства почвы и состав населения жужелиц прилегающих полей: монография. Саранск: Мордовское кн. изд-во, 2005. 125 с.
- Чендей Ю.Г., Соэр Т.Д., Геннадиев А.Н. и др.* Накопление органического углерода в черноземах (Моллисолях) под полезащитными лесными насаждениями в России и США // Почвоведение. 2015. № 1. С. 49–60.
- DOI: 10.7868 /S0032180X15010037.
- Brandle J.R., Hedges L., Zhou X.H.* Windbreaks in North American agricultural systems, *Agroforestry Systems*, 2004, no. 61, p. 65–78, DOI: 10.1007/978-94-017-2424-1\_5.
- Breman H., Kessler J.J.* The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions, *European Journal of Agronomy*, 1997, vol. 7, no. 1–3, p. 25–33, DOI: 10.1016/S1161-0301(97)00035-X.
- Chendev Yu.G., Novykh L.L., Sauer T.J. et al.* Evolution of Soil Carbon Storage and Morphometric Properties of Afforested Soils in the U.S. Great Plains, *Soil Carbon. Progress in Soil Science*, New York, Springer International Publ., 2014, p. 475–482, DOI: 10.1007 /978-3-319-04084-4\_47.
- Chendev Yu.G., Sauer T.J., Ramirez G.H. et al.* History of East European Chernozem Soil Degradation; Protection and Restoration by Tree Windbreaks in the Russian Steppe, *Sustainability*, 2015, vol. 7(1), p. 705–724, DOI: 10.3390/su7010705.
- Kort J.* Benefits of windbreaks to field and forage crops, *Agricultural Ecosystems and Environment*, 1988, vol. 22/23, p. 165–190, DOI: 10.1016/0167-8809(88)90017-5.
- Li S., Gong S., Hou Y. et al.* The impacts of agroforestry on soil multi-functionality depending on practices and duration, *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 847, p. 157438, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157438.
- Maryanova V., Szajdak L.W., Tychinskaya L. et al.* Chemical composition and hydrophobic-hydrophilic properties of humic acids from soils under shelterbelts of different age, *Physical, chemical and biological processes in soils*, Poznan, Wydawnictwo-Drukarnia “Prodruk”, 2010, p. 359–372.
- Novykh L.L., Chendev Y.G.* Change in the Morphological Properties of Chernozems in an Agrosilvicultural Landscape, *Arid Ecosystems*, 2014, vol. 4, no. 1, p. 6–10, DOI: 10.1134/S2079096114010065.
- Perry C.H., Woodall C.W., Liknes G.C. et al.* Filling the gap: improving estimates of working tree resources in agricultural landscapes, *Agroforestry Systems*, 2009, vol. 75, no. 1, p. 91–101, DOI: 10.1007 /s10457-008-9125-6.
- Szajdak L.W., Życzyńska-Bałoniak I.* Effectiveness of a shelterbelt in decreasing the level of inorganic elements in agricultural landscape, *Estonian Journal of Ecology*, 2013, vol. 62, no. 1, p. 24–34.
- Wezel A., Rajot J.L., Herbrig C.* Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger, *Journal of arid environments*, 2000, vol. 44, no. 4, p. 383–398, DOI: 10.1006/jare.1999.0609.
- Wu Y., Wang Q., Wang H. et al.* Shelterbelt poplar forests induced soil changes in deep soil profiles and climates contributed their inter-site variations in dryland regions, northeastern China, *Frontiers in Plant Science*, 2019, vol. 10, p. 220, DOI: 10.3389/fpls.2019.00220.

Поступила в редакцию 05.04.2024

После доработки 15.04.2024

Принята к публикации 24.04.2024

## SHELTERBELTS AS A FACTOR OF SOIL FORMATION IN AGROLANDSCAPES OF THE SOUTHERN PART OF THE CENTRAL RUSSIAN UPLAND

**Yu.G. Chendev<sup>1</sup>, A.N. Gennadiev<sup>2</sup>, M.A. Smirnova<sup>3</sup>, M.G. Lebedeva<sup>4</sup>**

<sup>1,4</sup> Belgorod State University, Institute of Earth Sciences

<sup>2,3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of landscape geochemistry and soil geography

<sup>1</sup> Department of Environmental Management and Land Cadastre, Professor; D.Sc. in Geography; e-mail: chendev@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Professor; D.Sc. in Geography; e-mail: alexagenna@mail.ru

<sup>3</sup> Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: summerija@yandex.ru

<sup>4</sup> Department of geography, geoecology and life safety, Associate Professor;  
Ph.D. in Geography; e-mail: lebedeva\_m@bsu.edu.ru

The study aimed to identify the impact of shelterbelts on cultivated soils at three key sites in the forest-steppe zone of the southern part of the Central Russian Uplands. Automorphic chernozems were studied under 30 m wide longitudinally oriented broad-leaved shelterbelts; their plowed analogues - near the shelterbelts. The research was carried out in the area with heavy loamy and clayey typical chernozems. Over 60 years of shelterbelt growth, significant changes in the morphological, physical, and chemical properties of chernozems have occurred. Field soil moisture was analyzed during two growing seasons (2020–2021) showing that soils in the fields are moister to the west of the shelterbelts than to the east, primarily due to the western transport of air masses in the warm season. Compared to arable soils, those under shelterbelts demonstrated greater depth of the humus-accumulative part of the profiles (on average by 13 cm), signs of clay illuviation in the B horizons (glossy films and thin cutans), and fragmentary lightening of the middle and lower parts of the humus layer in the form of a weak skeleton deposit. There is a radial outflow of carbonates in soils under shelterbelts, compared to arable analogues. Three-meter deep soil profile contains on average 40-50 t /ha less carbonate carbon than the arable soils. These differences indicate an evolutionary transformation of soils under shelterbelts from typical chernozems to leached chernozems. Higher stocks of organic carbon have been recorded in the three-meter profiles of shelterbelt soils (on average by 27 t /ha) compared to arable soils. The composition of humus in chernozems under shelterbelts undergoes significant transformation towards a forest type: the content of fulvic acid increases in the 0–20 cm layer, and deeper layers show a maximum accumulation of humic acids, while the chernozem type of its vertical distribution remains characteristic of soils on arable lands. Lateral transfer of several substances (particularly phosphorus) from arable land towards shelterbelts soils has been established due to the desorption activity of tree root systems. Thus, shelterbelts activate a complex of autochthonous and allochthonous phenomena in soil cover, resulting in an obvious transformation of soils over a 60-year period.

**Keywords:** forest-steppe, shelterbelts, chernozems, arable soils, agroforestry, soil evolution and dynamics, soil moisture, soil carbonates, humus

**Acknowledgments.** The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 19-17-00056-P).

### REFERENCES

- Agroekologicheskoe sostoyanie chernozemov [Agroecological state of chernozems]*, Kursk, Izd-vo vserossijskogo NII zemledeliya i zashchity pochv ot erozii Publ., 1996, 330 p. (In Russian)
- Agrolesomelioraciya i plodorodie pochv [Agroforestry and soil fertility]*, E.S. Pavlovskij (ed.), Moscow, Agropromizdat Publ., 1991, 288 p. (In Russian)
- Brandle J.R., Hodges L., Zhou X.H. Windbreaks in North American agricultural systems, *Agroforestry Systems*, 2004, no. 61, p. 65–78, DOI: 10.1007/978-94-017-2424-1\_5.
- Breman H., Kessler J.J. The potential benefits of agroforestry in the Sahel and other semi-arid regions, *European Journal of Agronomy*, 1997, vol. 7, no. 1-3, p. 25–33, DOI: 10.1016/S1161-0301(97)00035-X.
- Chegodaeva N.D., Kargin I.F., Astradamov V.I. *Vliyanie polezashchitnykh lesnykh polos na vodno-fizicheskie svojstva pochvy i sostav naseleniya zhuzhelic prilegayushchih polej: monografiya [Study of shelterbelt forest belts on the water-physical properties of the soil and the composition of the population of ground beetles colonizing the fields: monograph]*, Saransk, Mordovskoe kn. Izd-vo Publ., 2005, 125 p. (In Russian)
- Chendev Yu.G., Novykh L.L., Sauer T.J. et al. Evolution of Soil Carbon Storage and Morphometric Properties of Afforested Soils in the U.S. Great Plains, *Soil Carbon. Progress in Soil Science*, monograph., New York, Springer International Publ., 2014, p. 475–482, DOI: 10.1007/978-3-319-04084-4\_47.
- Chendev Yu.G., Sauer T.J., Ramirez G.H., Burras C.L. History of East European Chernozem Soil Degradation; Protection and Restoration by Tree Windbreaks in the Russian Steppe, *Sustainability*, 2015, no. 7(1), p. 705–724, DOI: 10.3390/su7010705.

- Chendev Yu.G., Soer T.D., Gennadiev A.N. et al. Accumulation of organic carbon in chernozems (Mollisols) under shelterbelts in Russia and the United States, *Eurasian soil science*, 2015, vol. 48, p. 43–53, DOI: 10.1134/S1064229315010032.
- Cheverdin Yu.I., Vavin V.S., Ahtyamov A.G. [Formation of the salt regime of soils under the influence of forest belts], *Sovremennye tendencii razvitiya agrarnogo kompleksa: Materialy mezdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern trends of the agrarian complex development: Proceedings of the International scientific and practical conference], Solenoe Zajmishche, FGBNU "Prikalskij nauchno-issledovatel'skij institut aridnogo zemledeliya", Regional'nyj Fond "Agrarnyj universitet-skij kompleks" Publ., 2016, p. 352–355. (In Russian)
- Cheverdin Yu.I., Vavin V.S., Ahtyamov A.G., Voronin D.A. Rol' lesnyh nasazhdennij v izmenenii svojstv chernozemov [The role of forest plantations on changes in chernozems properties], *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2014, no. 2, p. 11–14. (In Russian)
- Danilov G.G., Lobanov D.A. *Agrolesomelioraciya lesostepi* [Agroforestry of forest-steppe], Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973, 125 p.
- Hitrov N.B., Cheverdin Yu.I. Pochvy Kamennoj stepi ot vremeni V.V. Dokuchaeva do nashih dnej [Soils of the Kamennaya Steppe from the time of V.V. Dokuchaev to the present days], *Zhivye i biokosnye sistemy*, 2016, no. 16, DOI: 10.18522/2308-9709-2016-16-2. (In Russian)
- Kaganov V.V. Izmenenie ekosistemnyh zapasov ugleroda pri oblesenii v stepnoj i polupustynnoj zonah Evropejskoj chasti Rossii [Changes in ecosystem carbon stocks during afforestation in the steppe and semi-desert zones of the European part of Russia], *Problemy regional'noj ekologii*, 2012, no. 4, p. 7–12. (In Russian)
- Kamennaya step': Lesoagrarnye landshafty* [Kamennaya Steppe: forest-agrarian landscapes], Voronezh, Izd-vo Voronezh. un-ta Publ., 1992, 224 p. (In Russian)
- Kogut B.M., Titova N.A., Buleeva V.S. Antropogennaya transformaciya kachestvennogo sostava gumusa chernozemov Kamennoj stepi [Anthropogenic transformation of the qualitative composition of humus in the chernozems of the Kamennaya Steppe], *Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2009, no. 64, p. 41–49. (In Russian)
- Kolesnikova L.V. *Lesnye polosy i ih vliyanie na plodorodie chernozema obyknovenного и produktivnosti' ugodij v stepi Privolzhskoj vozvyshennosti* [Shelterbelts and their impact on the fertility of typical chernozem and land productivity in the steppe of the Near-Volga Upland], Ph.D. thesis in agricultursl science, Saratov, 2006, 238 p. (In Russian)
- Korolev V.A., Gromovik A.I., Jonko O.A. Changes in the organic matter forms in chernozems of the Kamennaya Steppe under different land uses, locations, and hydro-morphism degrees, *Eurasian soil science*, 2013, vol. 46, p. 1230–1240, DOI: 10.1134/S1064229313120065.
- Kort J. Benefits of windbreaks to field and forage crops, *Agricultural Ecosystems and Environment*, 1988, vol. 22/23, p. 165–190, DOI: 10.1016/0167-8809(88)90017-5.
- Kretinin V.M. Monitoring plodorodiya pochv lesoagrarnogo landshafta lesostepi Srednerusskoj ravniny [Monitoring of soil fertility within the forest-agrolandscape in forest-steppe of the Middle Russian Plain], *Vestnik s.-h. nauki*, 1991, no. 6, p. 45–49. (In Russian)
- Kretinin V.M. Monitoring plodorodiya pochv lesoagrarnyh landshaftov lesostepnoj zony [Monitoring of soil fertility of forest-agrolandscapes in the forest-steppe zone], *Dokl. VASKHNIL*, 1992, no. 3, p. 16–20. (In Russian)
- Li S., Gong S., Hou Y. et al. The impacts of agroforestry on soil multi-functionality depending on practices and duration, *Science of the Total Environment*, 2022, vol. 847, p. 157438, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157438.
- Maryganova V., Szajdak L.W., Tychinskaya 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*, Poznan, Wydawnictwo-Drukarnia "Prodruk", 2010, p. 359–372.
- Mnogofunktional'naya rol' zashchitnyh lesnyh nasazhdennij [Multifunctional role of protective forest plantings], *Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, no. 88, p. 121–137.
- Novykh L.L., Chendev Y.G. Change in the Morphological Properties of Chernozems in an Agrosilvicultural Landscape, *Arid Ecosystems*, 2014, vol. 4, no. 1, p. 6–10, DOI: 10.1134/S2079096114010065.
- Perry C.H., Woodall C.W., Liknes G.C., Schoeneberger M.M. Filling the gap: improving estimates of working tree resources in agricultural landscapes, *Agroforestry Systems*, 2009, vol. 75, no. 1, p. 91–101, DOI: 10.1007/s10457-008-9125-6.
- Ponomareva V.V., Plotnikova T.A. *Gumus i pochvoobrazovanie* [Humus and soil formation], Leningrad, Nauka Publ., 1980, 222 p. (In Russian)
- Prihod'ko V.E., Cheverdin Yu.I., Titova T.V. Changes in the organic matter forms in chernozems of the Kamennaya Steppe under different land uses, locations, and hydro-morphism degrees, *Eurasian soil science*, 2013, vol. 46, p. 1230–1240, DOI: 10.1134/S1064229313120065.
- Rublin E.V., Vernander N.B., Parfenova E.I. et al. [Gray forest soils of the territory of the USSR], *Genezis, klassifikaciya i kartografiya pochv SSSR (doklady k VIII Mezdunarodnomu kongressu pochvovedov)* [Genesis, classification and cartography of soils of the USSR (reports to the VIII International Congress of Soil Scientists)], Moscow, Nauka Publ., 1964, p. 58–73. (In Russian)
- Ruhovich D.I., Simakova M.S., Kulyanica et al. Impact of shelterbelts on the fragmentation of erosional networks and local soil waterlogging, *Eurasian soil science*, 2014, vol. 47, p. 1086–1099, DOI: 10.1134/S106422931411009X.
- Stecenko A.V. Lesnye proekty – rezul'taty Kiotskogo protokola [Forestry projects – results of the Kyoto Protocol], *Vestnik altajskoj nauki*, 2013, no. 2–2, p. 48–51. (In Russian)
- Szajdak L.W., Zyczyńska-Bałoniak I. Effectiveness of a shelterbelt in decreasing the level of inorganic elements in agricultural landscape, *Estonian Journal of Ecology*, 2013, vol. 62, no. 1, p. 24–34.
- Trofimov I.T., Bekhovyh Yu.V., Bolotov A.G., Sizov E.G. Fizicheskie svojstva chernozemov pod hvojnymi lesoplosami [Physical properties of chernozems under coniferous forest belts], *Vestnik Altajskogo gos. agrarnogo un-ta*, 2013, no. 9(107), p. 23–27. (In Russian)
- Tumin G.M. *Vliyanie lesnyh polos na pochvu v Kamennoj Stepi* [Imfluence of forest belts on soil in the Kamennaya Steppe], Voronezh, Kommuna Publ., 1930, 40 p. (In Russian)

Turusov V.I., Lepekhin A.A., Chekanyshkin A.S. *Opyt lesnoj melioracii stepnyh landshaftov (k 125-letiyu "Osoboj ekspedicii..." V.V. Dokuchaeva)* [Experience of forest reclamation of steppe landscapes (to the 125th anniversary of the "Special Expedition..." of V.V. Dokuchaev)], Voronezh, Istoki Publ., 2017, 228 p. (in Russian)

Wezel A., Rajot J.L., Herbrig C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-

ecosystems in semi-arid Niger, *Journal of arid environments*, 2000, vol. 44, no. 4, p. 383–398, DOI: 10.1006/jare.1999.0609.

Wu Y., Wang Q., Wang H. et al. Shelterbelt poplar forests induced soil changes in deep soil profiles and climates contributed their inter-site variations in dryland regions, northeastern China, *Frontiers in Plant Science*, 2019, vol. 10, p. 220, DOI: 10.3389/fpls.2019.00220.

Received 05.04.2024

Revised 15.04.2024

Accepted 24.04.2024