

ГЕНЕЗИС
И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

ЛАТЕРАЛЬНОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ГУМУСОВОГО И КАРБОНАТНОГО ПРОФИЛЕЙ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ
(БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2023 г. М. А. Смирнова^а, *, А. Н. Геннадиев^а, Ю. Г. Чендев^б

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

^бБелгородский государственный национальный исследовательский университет,
ул. Победы, 85, Белгород, 308015 Россия

*e-mail: summerija@yandex.ru

Поступила в редакцию 31.08.2022 г.

После доработки 09.11.2022 г.

Принята к публикации 10.11.2022 г.

Изучение латерального варьирования свойств агрочерноземов позволило получить количественную характеристику ненаправленных короткопериодичных, как правило, первые метры, измененный почвенно-профильных параметров. В основу настоящего исследования положены данные о почвах водораздельной поверхности, приуроченных к трем параллельным трансектам, каждая протяженностью 240 м, перпендикулярно пересекающим лесополосу 60-летнего возраста в их центральной части. Шаг опробования составил 10 м на сельскохозяйственных полях и 6 м – под лесополосой; изучены особенности гумусового и карбонатного профилей в 75 точках: содержание органического углерода в слое 0–20 см, мощность гумусового горизонта и гумусового профиля, глубина вскипания, содержание углекислоты карбонатов в слое вскипания и горизонте максимального скопления карбонатов. Выявлено, что параметры гумусового и карбонатного профилей почв меняются периодически с шагом 6–10 м. Параметры гумусового профиля характеризуются меньшими коэффициентами вариации (<30%), чем параметры карбонатного профиля почв (>50%). Произрастание лесных насаждений на агрочерноземах (Haplic Chernozem (Aric)) в течение 60 лет привело к формированию новых классификационных компонентов – агрочерноземов постагрогенных (Haplic Chernozem), характеризующихся меньшим латеральным варьированием свойств по сравнению с почвами пашни. Всего в пределах исследованного участка встречается 3 типа почв: агрочерноземы (64 точки; Haplic Chernozem (Aric, Loamic, Pachic)), агрочерноземам глинисто-иллювиальные (7 точек; Luvisc Chernozem (Aric, Loamic, Pachic) и Luvisc Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic)) и агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые (4 точки; Luvisc Stagnic Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic)), включающие 8 подтипов.

Ключевые слова: вариабельность свойств почв, разнообразие почв, органической углерод, Среднерусская возвышенность, черноземы (Chernozems)

DOI: 10.31857/S0032180X22601086, EDN: HDONUQ

ВВЕДЕНИЕ

Пространственная изменчивость почв является их неотъемлемым качеством и важной существенной характеристикой. Выделяются различные варианты пространственной изменчивости почвенных свойств с акцентом на: а) уровень ее векторности; б) выраженность ее периодичности; в) частоту и регулярность смены направлений и др. Латеральное варьирование почвенных свойств представляет собой частный случай пространственной изменчивости почв. Для латерального варьирования, как правило, характерны ненаправленные короткопериодичные – в диапазоне первых метров – изменения почвенно-профильных параметров, обусловленные из-

менениями, главным образом, литологического (гранулометрический состав), геоморфологического (микрорельеф) и зоологического (животные-землерои) факторов. Для корректной постановки задач и выбора методов анализа эмпирического материала при исследовании латерального варьирования почвенных свойств необходимо представлять, чем отличаются подходы к изучению латерального варьирования от подходов к изучению структуры почвенного покрова, поскольку и те, и другие имеют ряд общих целей и методологических инструментов. По Фридланду – автору целостного учения о структуре почвенного покрова – суть исследования последней заключается в достижении понимания того, какой харак-

тер имеет заполнение пространства почвенными классификационными единицами, каковы закономерности чередования этих классификационных единиц, и в чем состоят особенности их сопряжения и эволюции [23]. При изучении латерального варьирования почвенный покров представлен для исследователя, в первую очередь, не классификационными таксонами, а континуальным полем тех или иных почвенных свойств, выбранные границы диапазонов которых могут совпадать или не совпадать с границами классификационных выделов. Отметим, что при исследовании латерального варьирования информация о структуре почвенного покрова может использоваться и дополнять полученные результаты.

Выявление особенностей латерального варьирования свойств почв и причин, его вызывающих, способствует раскрытию природы структурно-функциональной организации почвенного покрова [10]. В практическом плане изучение латерального варьирования свойств почв имеет важное значение для проектирования систем точного земледелия, дифференцированного внесения удобрений, формирования оптимальной сети полевого опробования почв и др. В той или иной степени, вопросы, касающиеся латерального варьирования, затрагивались в работах [17, 28, 34, 32].

Считается, что свойства черноземов характеризуются относительно слабым латеральным варьированием, обусловленным как большой мощностью гумусового горизонта и простым строением их почвенного профиля, так и слабо выраженным варьированием факторов почвообразования на малых расстояниях [23]. При этом имеются сведения о значительной латеральной вариабельности свойств черноземов на коротких расстояниях, возникающей в результате естественных причин. Например, в работе [9], основанной на исследовании почв в 800-метровых трансектах с шагом опробования в 30–50 м, выявлены параметры пространственного варьирования значений pH_{KCl} , гидролитической кислотности, содержания гумуса и др. черноземов выщелоченных; показано, что ареалы черноземов выщелоченных с контрастным уровнем плодородия приурочены к разным элементам рельефа. На примере детального исследования выщелоченных черноземов (полигон размером 0,3 га) Кураченко [11] показано, что пространственная вариабельность содержания нитратного азота достигает 78%, фосфора и калия – менее 31%. В работе Сорокиной [19] для водораздельного участка Курской области выявлено сильное варьирование глубины обнаружения карбонатов – от 0 до 180 см. Результаты детальной почвенной съемки различных участков черноземной зоны представлены в работах [2, 4, 19, 22, 24, 26, 27, 30, 31]. Вместе с тем данных о латеральном варьировании свойств черноземов на коротких расстояниях недостаточно, тем более что для

каждого сочетания физико-географических условий характерны свои локальные комбинации факторов, определяющие пространственное варьирование свойств почв, что обуславливает необходимость расширения таких исследований.

Цель работы – количественная оценка латерального варьирования параметров гумусового и карбонатного профилей агрочерноземов. В основу положены данные о свойствах агрочерноземов в 75 точках полевого опробования (с шагом в 6–10 м), приуроченных в пределах водораздельной поверхности к трем параллельным трансектам протяженностью 240 м, пересекающим лесополосу. В каждой точке определяли мощности гумусового горизонта и гумусового профиля, глубину вскипания от 10% HCl, содержание $C_{орг}$ в слое 0–20 см, содержание CO_2 карбонатов в слоях вскипания и с карбонатными новообразованиями (если последние два слоя не совпадали друг с другом). В задачи работы входило:

- охарактеризовать морфологическое строение почв трансект, провести описательную статистику свойств почв;

- выявить и оценить особенности латерального варьирования свойств почв в трансектах;

- провести картографирование почвенного покрова ключевого участка и охарактеризовать особенности его строения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Участок Бондарев находится на юге Среднерусской возвышенности в Краснояружском районе Белгородской области вблизи границы с Курской и Сумской областями. Климат территории умеренно континентальный; согласно метеостанции, расположенной в аэропорту г. Белгорода (82 км к Ю–В от участка исследования), среднегодовая температура составляет $+8.6^{\circ}C$, среднегодовое количество осадков – 582 мм/год (за период с 2012 по 2020 гг.). Гидротермический коэффициент Селянинова составляет 1,24, участок расположен в наиболее влажной части лесостепи Среднерусской возвышенности.

Участок представлен выровненной субгоризонтальной поверхностью с небольшим уклоном к югу ($<2^{\circ}$). На участке расположена меридионально-ориентированная лесополоса шириной 40 м, состоящая из 12 двоярных рядов деревьев; доминирует ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*); дополнительно встречаются вяз малый (*Ulmus minor*) и клен ясенелистный (*Acer negundo*). Возраст древостоя лесополосы составляет около 60 лет (определен подсчетом годовичных колец буровых колоннок). На прилегающих сельскохозяйственных полях выращивают зерновые и технические культуры, используют плужную обработку почв с оборотом пласта и дискование. Возраст пашни со-

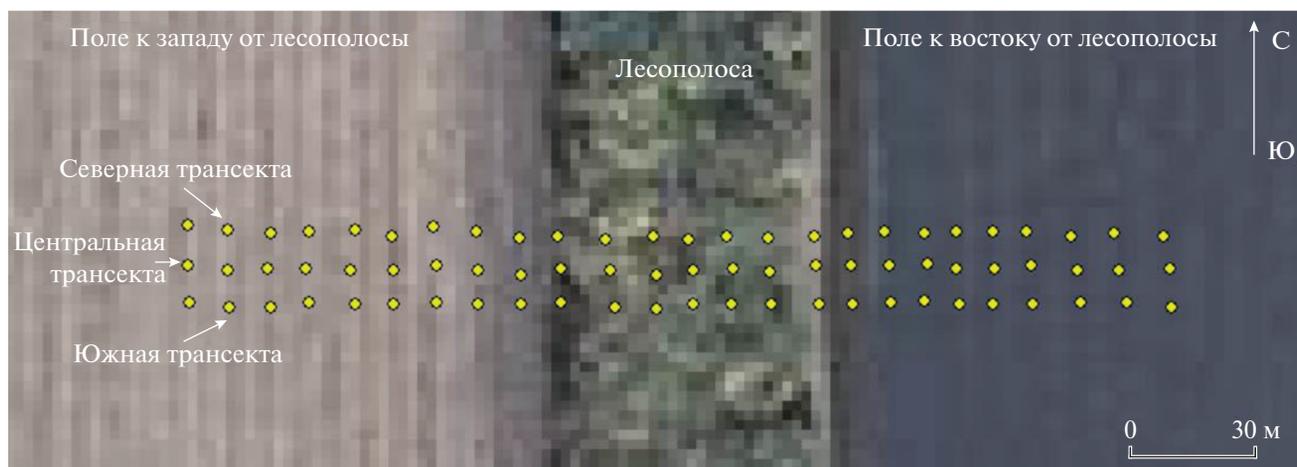


Рис. 1. Фрагмент космического снимка ключевого участка с указанием точек полевого опробования.

ставляет не менее 170 лет [16]. На момент проведения исследования на поле, расположенном к западу от лесополосы, выращивалась кукуруза, к востоку – пшеница. Почвообразующие породы представлены карбонатными лёссовидными суглинками, глубина залегания грунтовых вод – более 8 м [13].

На ключевом участке были заложены три трансекты (расстояние между трансектами 10 м), протяженностью по 240 м, перпендикулярные лесополосе (рис. 1). Опробование почв проводили каждые 10 м на сельскохозяйственных полях (по 30 точек на каждом поле, прилегающем к лесополосе) и каждые 6 м под лесополосой (15 точек). Глубина буровых скважин варьировала от 1.5 до 3 м в зависимости от расположения слоя с морфологически выраженными карбонатными новообразованиями. Индексация точек опробования включает номер трансекты (1 – северная, 2 – центральная, 3 – южная), особенности расположения относительно лесополосы (Л – лесополоса, З – к западу от лесополосы, В – к востоку от лесополосы) и номер точки в трансекте (номера даны с запада на восток отдельно для каждого поля, лесополосы). Например, разрез 2В-4 сделан на центральной трансекте к востоку от лесополосы в 30 м от ее края (то есть точка 4 в трансекте на поле к востоку от лесополосы).

Отбор образцов проводили из верхнего слоя гумусового горизонта (глубины 0–20) для определения содержания органического углерода (75 образцов) методом Тюрина [1]. Углерод карбонатов определяли в 90 образцах, отобранных на границе вскипания почвы от 10% HCl, и в слое обнаружения педогенных карбонатов (как правило, граница вскипания соответствовала верхней границе слоя обнаружения педогенных карбонатов, поэтому в большинстве случаев отбирался один образец на анализ) хроматографически через 1 ч после на-

чала реакции почвенной навески с 10%-ным раствором HCl, прилитой в избытке в сосуды, плотно закрытые резиновыми пробками. Классификация и диагностика почв проводилась согласно Классификации и диагностике почв России [7].

Статистическую обработку данных выполняли в программе Statistica; рассчитывали основные статистические параметры, проверили гипотезы о нормальности и лог-нормальности распределения исследованных свойств почв (на основании критериев Колмогорова–Смирнова и Уилка–Шапиро), провели корреляционный анализ Спирмена. Почвенную карту составляли экспертным методом с применением методики, описанной в работе [25]. Проведение границ между почвенными ареалами, в том числе базировалось на результатах наложения карт мощности гумусового профиля и глубины вскипания (построены методом крикинга).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологическое строение почв. Исследованные почвы характеризуются следующим строением почвенного профиля: под маломощной (не более 3 см) лесной подстилкой (только на поверхности почв лесополосы), встречается агро-темногумусовый горизонт PU. Этот горизонт имел темно-серый цвет, был гомогенным, глыбистым в почвах пашни и комковатым в почвах под лесополосой (признак ра, горизонт PUра). Нижняя часть горизонта PU очень плотная, с признаками горизонтальной делимости), подстилается хорошо оструктуренным комковато-зернистым темно-серым темногумусовым горизонтом AU. В разрезах (Л-4, 23-1, 23 -5, 23 -8, 33 -4, 33-9) нижняя часть горизонта AU вскипает при реакции с 10%-ной HCl и может содержать нитевидные карбонатные налеты (признак Ic). Темногу-

мумовый горизонт подстилается переходными к срединному, глинисто-иллювиальному ВІ (разрезы 13-2, 13-3, 13-7, 33-1, 33-2, 1Л-2, 1В-4, 1В-5, 1В-8, 2В-1, 3В-2) или аккумулятивно-карбонатному ВСА (в остальных разрезах). Горизонт ВІ, в отличие от горизонта ВСА, не содержит карбонатов, для него характерно наличие тонких пленок на поверхности педов (придающих более темный цвет поверхности педов в отличие от внутripедной массы). Общей особенностью этих горизонтов является сильная степень перерытости материала почвенными животными (слепышами), что проявляется в неоднородной окраске горизонтов, наличии пятен более темного (материал гумусового горизонта) и более светлого (материал нижележащих горизонтов) цветов, изменении плотности (от рыхлого до плотного) в пределах горизонта. Под глинисто-иллювиальным горизонтом, как правило, залегает аккумулятивно-карбонатный горизонт (разрезы 1Л-2, 1В-4, 1В-5, 1В-8, 2В-1), реже квазиглеевый горизонт Q (разрезы 13-7, 33-1, 33-2 и 3В-2) или почвообразующая порода (разрезы 13-2 и 13-3). Горизонт Q имеет оливковую окраску, охристые пятна вблизи мелких пор и трещин, иногда карбонатные новообразования в виде белоглазки. Под горизонтами ВСА и Q идет почвообразующая порода.

Таким образом, с учетом перечисленных диагностических горизонтов и признаков почвы трансект относится к трем типам – агрочерноземам (64 точки; *Haplic Chernozem (Aric, Loamic, Pachic)*), агрочерноземам глинисто-иллювиальным (7 точек (*Luvic Chernozem (Aric, Loamic, Pachic)*, *Luvic Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic)*), агрочерноземам глинисто-иллювиальным квазиглеевым (4 точки (*Luvic Stagnic Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic)*) – и восемью подтипами – агрочерноземам глинисто-иллювиальным *Pu–AU–VI–C(ca)*, агрочерноземам (постагрогенным) глинисто-иллювиальным мицелярно-карбонатным *PU(pa)–AU–VI–BCAmc–Cca*, агрочерноземам (постагрогенным) мицелярно-карбонатным *PU(pa)–AU–BCAmc–Cca*, агрочерноземам (постагрогенным) миграционно-мицелярным *PU(pa)–AU–AUlc–BCAmc–Cca* и агрочерноземам глинисто-иллювиальным квазиглеевым *PU–AU–VI–Q–Cq*. В терминах Классификации и диагностики почв СССР [8], описанные на ключевом участке агрочерноземы соответствуют черноземам типичным, агрочерноземы глинисто-иллювиальные – черноземам выщелоченным, агрочерноземы квазиглеевые – лугово-черноземным почвам; слабоконтрастные сочетания и пятнистости черноземов типичных, выщелоченных и лугово-черноземных почв являются типичными для агроландшафтов Среднерусской возвышенности [2, 18–20, 22, 24], а исследованный участок, таким образом, – представительным.

Статистические параметры гумусового и карбонатного профилей почв. Гумусовые профили почв образуют агротемногумусовые горизонты (*PU(pa)*), темногумусовые горизонты (*AU*) и горизонты, переходные от темногумусовых к срединным (*AUb,i* и *VIyu, AUb,ca* и *BCAyu*); гумусовые горизонты соответствуют мощности агротемногумусового (*PU(pa)*) и темногумусового горизонта (*AU*). В табл. 1 приведены статистические параметры свойств почв.

Почвы ключевого участка характеризуются большой мощностью гумусового горизонта, достигающей в некоторых случаях 120 см, при большом разбросе значений (от 25 до 120 см), коэффициент вариации (*Cv*) составляет 28.0%. Мощность гумусового профиля почв достигает 150 см, *Cv* 19.3%, что свидетельствует о меньшей степени латерального варьирования мощности гумусового профиля по сравнению с латеральным варьированием мощности гумусового горизонта. Аналогичные результаты – меньшие коэффициенты вариации для мощности гумусового профиля по сравнению с мощностью гумусового горизонта черноземов – были получены Фридландом с соавт. [24] при изучении черноземов Ямской степи. В работе Сорокиной [19] для черноземных почв Курской опытной станции Почвенного института им. В.В. Докучаева выявлена обратная тенденция. Положение границ гумусового горизонта и гумусового профиля в рассматриваемых ситуациях определяется рядом локальных факторов, в том числе интенсивностью зоопедотурбаций, приводящих к нарушению естественного залегания почвенных горизонтов [5, 33]. Поэтому можно предположить, что наблюдаемые различия в степени латерального варьирования мощности гумусового горизонта и мощности гумусового профиля в исследованных почвах и по данным из литературных источников, могут быть обусловлены разной интенсивностью деятельности почвенных животных-землероев [6].

Средние и медианные значения мощности гумусового горизонта и гумусового профиля агрочерноземов, агрочерноземов глинисто-иллювиальных, а также почв лесополосы и пашни, в целом, близки и находятся в пределах 55–60 (гумусовый горизонт) и 90–110 см (гумусовый профиль). Повышенной мощностью явно выделяются агрочерноземы квазиглеевые – средняя мощность гумусового горизонта в них превышает 90 см, профиля – 129 см. Несмотря на небольшой объем выборки агрочерноземов квазиглеевых (4 точки), эти почвы характеризуются максимальным коэффициентом вариации для мощности гумусового горизонта (20.5%) и сопоставимым с агрочерноземами (64 точки опробования) для мощности гумусового профиля (соответственно 19.1 для агрочерноземов и 18.7% для агрочерноземов квазиглеевых). Сходные результаты – относительно повышенная мощ-

Таблица 1. Статистические параметры свойств гумусового и карбонатного профилей агрочерноземов ключевого участка

Свойство	Выборка	Статистические параметры					
		размер выборки	среднее	медиана	min	max	стандартное отклонение
Мощность гумусового горизонта, см	Все точки	75	58.5	60	25	120	16.4
	Агрочерноземы	64	56.7	55	25	100	14.8
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	7	55.7	60	50	60	5.3
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	4	92.5	85	80	120	18.9
	Пашня (к 3 от ЛП)	30	61.0	60	35	120	18.1
	Пашня (к В от ЛП)	30	57.3	55	25	80	17.5
	Почвы под ЛП	15	56.0	50	40	70	9.1
	Все точки	75	104.6	110	55	150	20.2
	Агрочерноземы	64	104.4	110	55	130	19.1
Мощность гумусового профиля, см	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	7	91.4	90	70	120	16.78
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	4	129.7	134	100	150	24.22
	Пашня (к 3 от ЛП)	30	113.1	120	70	150	18.89
	Пашня (к В от ЛП)	30	98.0	100	55	130	21.28
	Почвы под ЛП	15	100.7	100	80	130	14.86
	Все точки	75	5.56	5.57	3.83	9.92	0.88
	Агрочерноземы	64	5.58	5.58	3.83	9.92	0.928
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	7	5.14	5.22	4.14	5.71	0.479
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	4	5.93	5.91	5.64	6.25	0.250
$S_{орг}, \%$	Пашня (к 3 от ЛП)	30	5.49	5.59	3.83	6.65	0.664
	Пашня (к В от ЛП)	30	5.34	5.34	4.16	6.46	0.601
	Почвы под ЛП	15	6.11	5.76	4.51	9.92	1.420

Таблица 1. Окончание

Свойство	Выборка	Статистические параметры					
		размер выборки	среднее	медиана	min	max	стандартное отклонение
Глубина залегания карбонатов*, см	Все точки	71	79.0	80	30	170	27.6
	Агрочерноземы	64	74.0	72	30	120	22.0
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	6	123.3	110	100	170	55.2
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	1	150	150	150	150	—
	Пашня (к 3 от ЛП)	27	73.7	60.0	30	170	32.3
	Пашня (к В от ЛП)	29	84.0	90.0	35	150	24.7
СО ₂ карб в горизонте вскипания, %*	Почвы под ЛП	15	80.0	90	40	100	23.3
	Все точки	71	2.4	2.0	0.2	5.3	1.26
	Агрочерноземы	64	2.3	1.9	0	5.3	1.25
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	6	3.7	3.6	2.4	4.4	0.73
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	1	1.9	1.9	1.9	1.9	—
	Пашня (к 3 от ЛП)	27	2.3	2.0	0.2	5.3	1.42
СО ₂ карб в горизонте проявления новообразования, %*	Пашня (к В от ЛП)	29	2.7	2.6	1.1	5.3	1.13
	Почвы под ЛП	15	2.1	1.8	1.0	5.0	1.17
	Все точки	71	2.9	2.9	0.7	5.3	1.26
	Агрочерноземы	64	2.9	2.9	0.7	5.3	1.29
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные	6	3.7	3.6	2.4	4.4	0.73
	Агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые	1	1.9	1.9	1.9	1.9	—
СО ₂ карб в горизонте проявления новообразования, %*	Пашня (к 3 от ЛП)	27	3.0	2.9	0.7	5.3	1.23
	Пашня (к В от ЛП)	29	3.0	3.1	1.1	5.9	1.19
	Почвы под ЛП	15	2.8	2.9	1.0	5.3	1.50

* При расчетах исключены почвы, в которых вторичные карбонаты отсутствуют (разрезы 13-3, 13-7, 33-1, 33В-2).

ность гумусового горизонта, гумусового профиля и максимальные значения коэффициентов вариации для лугово-черноземных почв (соответствуют черноземам квазиглеевым по [7]) – выявлены Сорокиной для почв Курской опытной станции [19]. Там они, соответственно, равны, 95 и 143 см при вариации в 19.5 и 13.3%.

Для почв под лесополосой по сравнению с почвами пашни характерен меньший коэффициент вариации мощности гумусового горизонта (16.3% против 29.7 и 30.4%) и гумусового профиля (14.8% против 16.7 и 21.7%). Аналогичная тенденция выявлена для почв лесополосы и прилегающих пашен другого ключевого участка Белгородской области (Губкинской район), при исследовании которых соблюдался одинаковый шаг опробования почв пашен и лесополосы, в каждой выборке было по 10 [14]. По-видимому, древесная растительность способствовала гомогенизации рассматриваемых свойств почв.

Средние значения содержания органического углерода в исследованных почвах находятся в пределах 5.1–6.1%, C_v 16%. Это несколько меньшие значения по сравнению с усредненными показателями содержания $C_{орг}$ (6.2%) для агрогоризонтов почв Среднерусской возвышенности [12]. Максимальные значения содержания органического углерода среди исследованных почв характерны для почвенных разностей под лесополосой и агрочерноземов квазиглеевых, что может быть связано с их формированием в условиях более благоприятных для гумусонакопления по сравнению с другими почвами участка. Позитивными факторами в этом случае могут быть функционирование черноземов квазиглеевых в несколько более влажных условиях [31], способствующих закреплению органического вещества в почвах из-за его замедленного разложения [16].

Глубина залегания педогенных карбонатов в исследованных почвах варьирует в значительных пределах, от 30 до более, чем 250 см. Глубина их обнаружения увеличивается от агрочерноземов к агрочерноземам глинисто-иллювиальным и агрочерноземам квазиглеевым; в последних карбонаты обнаружены только в одной точке из четырех исследованных. Почвы пашни, расположенной к западу от лесополосы, характеризуются более близким к поверхности залеганием педогенных карбонатов и большим коэффициентом вариации (64.7%) по сравнению с почвами под лесополосой и на пашне к востоку от лесополосы, для которых $C_v = 29$ и 43.4% соответственно. В среднем педогенные карбонаты обнаруживаются в почвах на глубинах в 60–90 см, их содержание варьирует от 1 до 3%. Глубина залегания педогенных карбонатов в исследованных почвах превышает таковую для черноземов типичных Центрально-Черноземной области (по усредненным данным),

где она составляет 40–60 см. Кроме того, ни в одной из точек опробования исследованного участка карбонаты не залегают с поверхности, что не типично для почвенного покрова Среднерусской возвышенности [19, 27]. Наблюдаемые особенности могут быть вызваны расположением ключевого участка в наиболее влажной части Среднерусской возвышенности с гидротермическим коэффициентом Селянинова, равным 1.24.

Гистограммы значений мощностей гумусового горизонта, гумусового профиля и глубины обнаружения карбонатов не подчиняются нормальному и логнормальному распределению; содержания $C_{орг}$ и CO_2 соответствуют нормальному закону распределения, поэтому использование корреляционного анализа Спирмена является обоснованным. Результаты анализа показали наличие прямой значимой ($p = 0.01$) связи между мощностью гумусового горизонта и мощностью гумусового профиля (коэффициент корреляции 0.59), глубиной обнаружения педогенных карбонатов (коэффициент корреляции 0.43). Содержание $C_{орг}$ в слое 0–20 см положительно связано ($p = 0.05$) с мощностью гумусового горизонта (коэффициент корреляции 0.28) и гумусового профиля (коэффициент корреляции 0.25). Выявлено, что, чем глубже залегают слои педогенных карбонатов в почвах, тем меньше содержание карбонатов в слое с их выраженными новообразованиями ($p = 0.01$, коэффициент корреляции -0.33).

Латеральное варьирование свойств агрочерноземов. Графики изменения свойств почв в трансектах (рис. 2) позволяют заметить тенденцию периодического (то есть смены повышенных значений на пониженные) изменения мощности гумусового горизонта и гумусового профиля, глубины обнаружения карбонатов, содержания $C_{орг}$ и CO_2 карбонатов вдоль трансект с периодом, равным шагу опробования (6–10 м). Аналогичная периодичность, но с несколько большим шагом в 15–25 м, была выявлена в работе Фомина [21] при изучении содержания органического углерода и углекислоты карбонатов в черноземах опытных полей Курского НИИ агропромышленного производства (отбор проб проводили в трансектах через каждые 5 м). Для черноземов южных [15] показано, что квазипериодичность в содержании $C_{орг}$ наблюдается с протяженности исследованного участка, большей чем 800 м; при этом шаг опробования 150 м. Поскольку пространственная вариабельность свойств может быть выявлена на разных масштабных уровнях [29], считаем, что полученные данные не противоречат данным Сидоровой и Красильникова [15], а характеризуют вариабельность содержания органического углерода в разных пространственных масштабах. Кроме того, полагаем, что при увеличении протяженности исследованных трансект возможно вы-

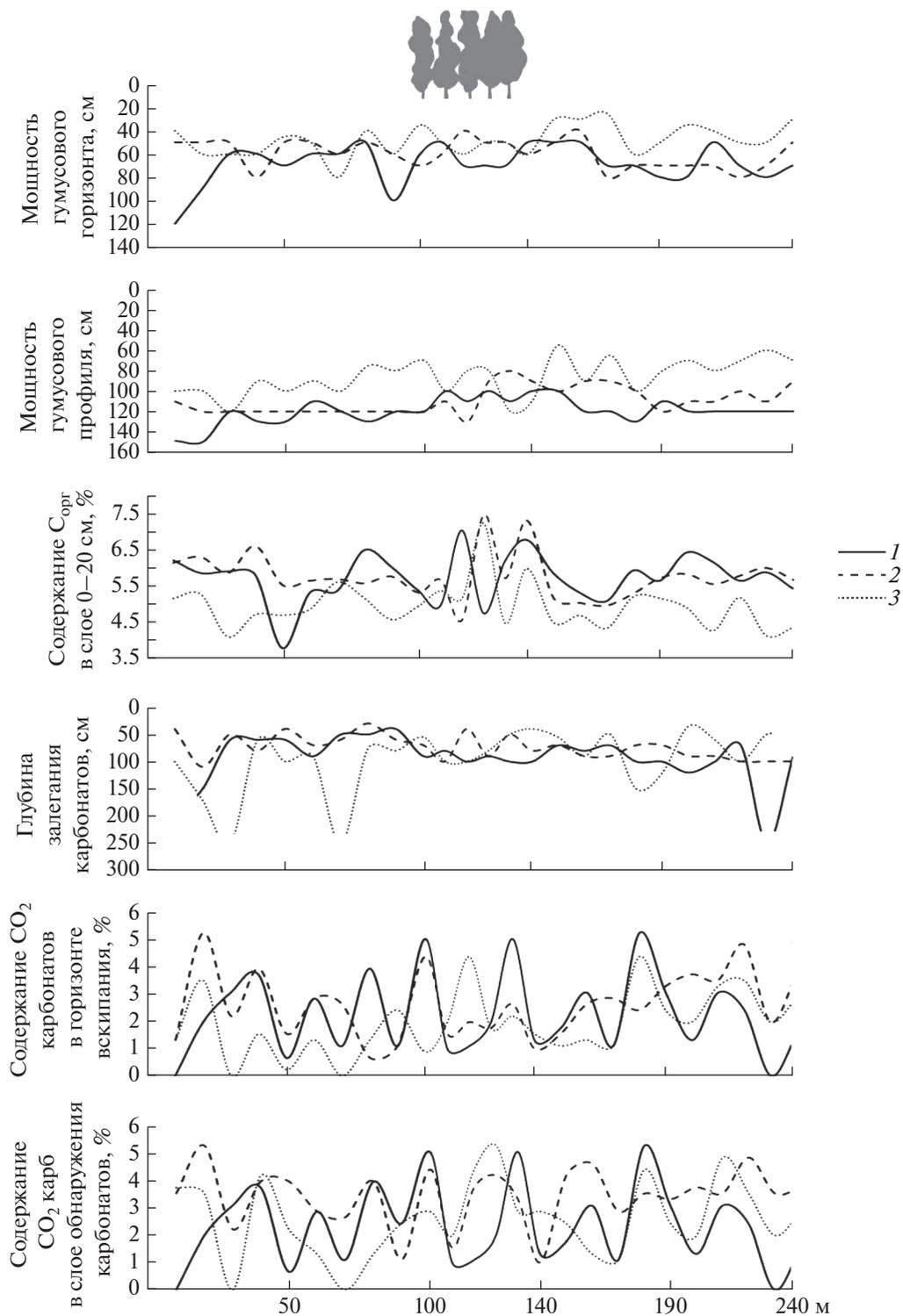


Рис. 2. Изменения свойств почв в трансектах: 1 – северной, 2 – центральной, 3 – южной.

деление периодичности с шагом большим, чем 6–10 м, соответствующим появлению в составе почвенного покрова черноземов квазиглеевых с повышенной мощностью гумусового профиля и часто выщелоченных от карбонатов.

Согласно работам [2, 4, 19, 22, 24, 26, 27, 30, 31], посвященным детальной съемке почвенного покрова различных участков Среднерусской возвышенности, для этой территории характерна смена на коротких расстояниях черноземов ти-

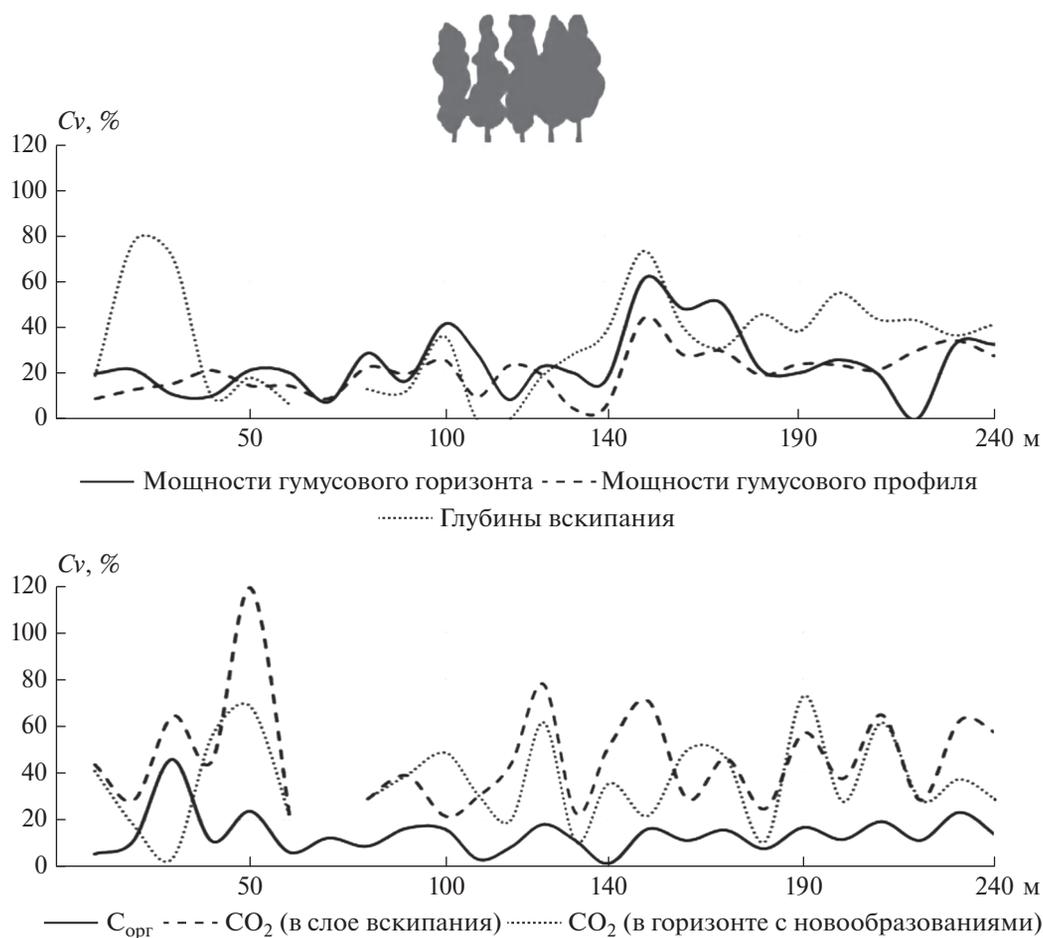


Рис. 3. Значения коэффициентов вариации свойств почв в рядах, перпендикулярных трансектам (каждый коэффициент вариации рассчитан для выборки из трех точек). Разрывы линий соответствуют почвам, расположенным в 30 м к западу от края лесополосы (вторичные карбонаты отсутствуют в двух точках из трех).

пичных карбонатных, типичных, выщелоченных с разными параметрами карбонатного и гумусового профилей. Выбранная сеть опробования (шаг в 6–10 м) примерно соответствует протяженности элементарных почвенных ареалов в пределах водораздельных пространств Среднерусской возвышенности [18, 20, 22, 31], что может объяснять выявленные тенденции периодического изменения свойств гумусового и карбонатного профилей почв исследованных трансект. Лугово-черноземные почвы, характеризующиеся повышенной мощностью гумусового горизонта и часто отсутствием карбонатов в пределах профиля, приурочены к днищам крупных западин и ложбин; они встречаются существенно реже, чем обозначенные выше черноземы типичные карбонатные, черноземы типичные и выщелоченные, и присутствие лугово-черноземных почв в составе почвенного покрова проявляется с более протяженной пространственной периодичностью (через 100–300 м).

На рис. 3 отображены значения коэффициентов вариации исследованных морфологических и химических свойств почв. Для определения коэффициентов вариации были сформированы выборки, каждая из которых содержит три точки (по одной точке из северной, центральной и южной трансект), образующие ряд, перпендикулярный направлению трансект. Всего на ключевом участке выделено 25 рядов.

На графиках видна согласованность изменения коэффициентов вариации исследованных свойств почв; то есть при высокой вариабельности какого-либо одного из свойств (например, мощности гумусового горизонта), наблюдается большая вариабельность для остальных исследованных свойств (мощности гумусового профиля, глубины вскипания, содержания $C_{орг}$ и углекислоты педогенных карбонатов). При этом обнаруживается, что различия между близко расположенными точками трансект больше для параметров карбонатного профиля почв, чем для гумусового.



Рис. 4. Почвенная карта ключевого участка. $\text{Ч}_{\text{МК}}$ – агрочерноземы мицелярно-карбонатные, $\text{Ч}_{\text{ММ}}$ – агрочерноземы миграционно-мицелярные, $\text{Ч}_{\text{ГИ}}$ – агрочерноземы глинисто-иллювиальные, $\text{Ч}_{\text{КВГ}}$ – агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые, $\text{Ч}_{\text{МК}}^{\text{ГИ}}$ – агрочерноземы глинисто-иллювиальные мицелярно-карбонатные, $\text{Ч}_{\text{МК}}^{\text{ПА}}$ – агрочерноземы постагрогенные мицелярно-карбонатные, $\text{Ч}_{\text{ММ}}^{\text{ПА}}$ – агрочерноземы постагрогенные миграционно-мицелярные, $\text{Ч}_{\text{ПАММ}}^{\text{ГИ}}$ – агрочерноземы постагрогенные глинисто-иллювиальные мицелярно-карбонатные.

Преобладание коэффициентов вариации меньше 20% характерно для содержания органического углерода (наблюдается для 22 рядов из 25); для остальных параметров коэффициент $<20\%$ наблюдается только для 6–11 рядов. Коэффициенты вариации $>60\%$ наблюдаются для пяти рядов в случае содержания углекислоты карбонатов в слое обнаружения педогенных карбонатов, четырех рядов для глубины обнаружения карбонатов, по одному ряду – для мощности гумусового горизонта и содержания углекислоты карбонатов в слое вскипания. Большинство значений коэффициентов вариации приходится на интервал 20–60% (за исключением содержания органического углерода в почвах).

Почвенный покров ключевого участка. На рис. 4 представлена почвенная карта ключевого участка. Основной фон занимают агрочерноземы мицелярно-карбонатные, полосами встречаются другие подтипы агрочерноземов. Площади, занимаемые почвенными ареалами, уменьшаются в следующем порядке: агрочерноземы мицелярно-карбонатные – агрочерноземы постагрогенные мицелярно-карбонатные – агрочерноземы миграционно-мицелярные – агрочерноземы глинисто-иллювиальные – агрочерноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые – агрочерноземы глинисто-иллювиальные мицелярно-карбонатные – агрочерноземы постагрогенные миграционно-мицелярные – агрочерноземы постагрогенные глинисто-иллювиальные мицелярно-карбонатные. Рисунок почвенного покрова простой; ареалы, как правило, соседствуют не более чем с двумя другими компонентами почвенного покрова.

В целом полученная почвенная карта ключевого участка соответствует существующим пред-

ставлениям о почвенном покрове Среднерусской возвышенности [2, 4, 19, 22, 24, 26, 27, 30, 31]. Размеры ключевого участка не позволяют охарактеризовать структуру почвенного покрова в полной мере. Вместе с тем можно предположить, что такой тип почвенного покрова может быть охарактеризован как слабоконтрастные сочетания и пятнистости водно-миграционного генезиса агрочерноземов, занимающих фоновые пространства, и агрочерноземов глинисто-иллювиальных, агрочерноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых преимущественно неупорядоченно-пятнистой формы.

Проведенное исследование показывает, что произрастание древесной растительности на агрочерноземах в течение 60 лет приводит к появлению в составе почвенного покрова новых постагрогенных подтипов агрочерноземов, отличающихся на качественном уровне от пахотных аналогов улучшением структуры гумусового горизонта, на количественном – большей мощностью гумусового горизонта и содержания в нем $\text{C}_{\text{орг}}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного в Белгородской области изучения почв водораздельной поверхности в трех параллельных трансектах (расстояние между трансектами 10 м, шаг опробования 6–10 м, общее количество точек 75), пересекающих в центре лесополосу 60-летнего возраста, выявлены следующие параметры латерального варьирования свойств агрочерноземов:

– степень латерального варьирования морфологических свойств почв возрастает в следующем ряду: мощность гумусового профиля – мощность

гумусового горизонта – глубина обнаружения педогенных карбонатов; степень латерального варьирования химических свойств почв возрастает в ряду: содержание $C_{орг}$ в слое 0–20 см – содержание CO_2 карбонатов в слое с карбонатными новообразованиями и слое вскипания. При этом параметры гумусового профиля характеризуются меньшими коэффициентами вариации (<30%), чем параметры карбонатного профиля почв (>50%).

– латеральное варьирование мощности гумусового горизонта, гумусового профиля, глубины обнаружения педогенных карбонатов, содержания $C_{орг}$ в слое 0–20 см и содержания углекислоты карбонатов (в слое вскипания и слое с выраженными карбонатными новообразованиями) носит периодический характер с шагом в 6–10 м.

– в результате шестидесятилетнего произрастания лесных насаждений в почвенном покрове под древесной растительностью появились новые классификационные компоненты: агрочерноземы постагрогенные, характеризующиеся меньшим латеральным варьированием свойств почв по сравнению с почвами пашни. Преобладающими почвами на участке являются агрочерноземы (в 64 точках опробования), встречаются агрочерноземы глинисто-иллювиальные (в 7 точках опробования) и черноземы глинисто-иллювиальные квазиглеевые (в 4 точках опробования).

– исследованный на опробованном участке почвенный покров в плане особенностей его структуры может быть охарактеризован как состоящий из слабоконтрастных сочетаний и пятнистостей водно-миграционного генезиса агрочерноземов, занимающих фоновые пространства, и агрочерноземов глинисто-иллювиальных, агрочерноземов глинисто-иллювиальных квазиглеевых преимущественно неупорядоченно-пятнистой формы.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

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

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 490 с.
2. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
3. *Белеванцев В.Г., Чендев Ю.Г.* Картографический анализ социальных и природных явлений на территории Белгородской области в XVIII, XIX и XX вв. //

- Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах. Белгород: Политерра, 2015. С. 6–16.
4. *Денисова Н.В.* Почвенный покров Курской опытной станции // Научн. тр. Курской с.-х. опытной станции. Курск, 1967. Т. 1. С. 27–31.
 5. *Дмитриев П.П., Худяков О.И.* Педогенез в поселениях млекопитающих-землероев. М.: КМК, 2018. 250 с.
 6. *Жидкин А.П., Геннадиев А.Н.* Количественная оценка интенсивности вертикальной транслокации твердофазного вещества почв с помощью метода магнитного трассера // Почвоведение. 2016. № 7. С. 785–793.
 7. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
 8. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
 9. *Княжнева Е.В., Надежкин С.М., Фрид А.С.* Пространственная неоднородность уровня плодородия выщелоченного чернозема в пределах поля // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1120–1129.
 10. *Козловский Ф.И.* Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: ГЕОС, 2003. 534 с.
 11. *Кураченко Н.Л.* Пространственно-временная динамика агрохимических показателей чернозема в условиях минимальной обработки // Проблемы современной аграрной науки. 2018. С. 42–45.
 12. *Лебедева И.И.* Гумусовые и карбонатные аккумуляции как диагностические критерии в черноземах Восточной Европы // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2011. № 68. С. 3–18.
 13. *Лукин С.В.* Агроэкологическое состояние и продуктивность почв Белгородской области. Белгород: Константа, 2016. 344 с.
 14. *Смирнова М.А., Геннадиев А.Н., Чендев Ю.Г., Ковач Р.Г.* Влияние полезащитных лесных насаждений на локальное разнообразие почв (Белгородская область) // Почвоведение. 2020. № 9. С. 1041–1052.
 15. *Сидорова В.А., Красильников П.В.* Почвенно-географическая интерпретация пространственной вариабельности химических и физических свойств поверхностных горизонтов почв степной зоны // Почвоведение. 2007. № 10. С. 1168–1178.
 16. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: Геос, 2015. 233 с.
 17. *Соколов И.А.* Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма, 1993. 232 с.
 18. *Сорокина Н.П.* Динамика почвенного покрова распаханного склона Курской опытной станции за 20-летний период // Региональные модели плодородия почв как основа совершенствования зональных систем земледелия. М.: Почв ин-т им. В. В. Докучаева, 1988. С. 163–171.
 19. *Сорокина Н.П.* Применение статистических методов при уточнении диагностики черноземов // Крупномасштабная картография почв. М.: Наука, 1971. С. 123–132.
 20. *Сорокина Н.П.* Элементарные почвенные структуры на полях Курской опытной станции // Крупно-

- масштабная картография почв и ее значение в сельском хозяйстве черноземной зоны. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. С. 155–173.
21. Фомин Д.С. Пространственные закономерности распределения органического, карбонатного углерода в агроландшафте (Курский НИИ АПП) // Почвоведение: горизонты будущего. 2017. С. 76–81.
 22. Фишман М.И. Черноземные комплексы и их связь с рельефом на Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 1977. № 5. С. 17–30.
 23. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. С. 424.
 24. Фридланд В.М., Белобров В.П., Дайнеко Е.К. Опыт статистического анализа морфологических свойств черноземов целинной степи // Почвоведение. 1969. № 4. С. 12–24.
 25. Хитров Н.Б. Создание детальных почвенных карт на основе интерполяции данных о свойствах почв // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1045–1046.
 26. Хитров Н.Б., Лойко С.В. Структура почвенного покрова плоских водораздельных пространств Каменной Степи // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1411–1423.
 27. Целищева Л.К., Дайнеко Е.К. Очерк почв стрелецкого участка центрально-черноземного заповедника // Тр. Центрально-черноземного государственного заповедника им. В.В. Алёхина. 1966. Вып. 10.
 28. Hartemink A.E., Gennadiyev A.N., Bockheim J.G., Bero N. Short-range variation in a Wisconsin soilscape (USA) // Eurasian Soil Science. 2017. V. 50. № 2. P. 198–209.
 29. Heuvelink G.B.M., Webster R. Modelling soil variation: past, present, and future // Geoderma. 2001. V. 100. № 3–4. P. 269–301.
 30. Khitrov N., Smirnova M., Lozbenev N., Levchenko E., Gribov V., Kozlov D., Rukhovich D., Kalinina N., Koroleva P. Soil cover patterns in the forest-steppe and steppe zones of the East-European plain // Soil Sci. Annual. 2019. V. 70(3). P. 198–210. <https://doi.org/10.2478/ssa-2019-0018>
 31. Lozbenev N., Yurova A., Smirnova M., Kozlov D. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: A case study in the virgin steppe of the central Russian upland // Geoderma. 2021. V. 383. P. 114733. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114733>
 32. McBratney A.B., Webster R. Spatial dependence and classification of the soil along a transect in northeast Scotland // Geoderma. 1981. V. 26. № 1–2. P. 63–82.
 33. Wilkinson M.T., Richards P.J., Humphreys G.S. Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation // Earth-Sci. Rev. 2009. V. 97. P. 254–269. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.09.005>
 34. Zhang Y., Hartemink A.E. Quantifying short-range variation of soil texture and total carbon of a 330-ha farm // Catena. 2021. V. 201. P. 105200.

Short–Range Variation of Humus and Carbonate Profiles of Arable Chernozems (Key Site in Belgorod Region)

M. A. Smirnova^{1, *}, A. N. Gennadiev¹, and Yu. G. Chendev²

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119999 Russia

²Belgorod State National Research University, Belgorod, 308015 Russia

*e-mail: summerija@yandex.ru

The short-range variation of soil properties is a particular expression of the spatial soil variability; it is non-directional short-periodic (in the range of a few meters) changes in soil-profile features. The short-range variation of soil properties is aimed to characterize the continuum nature of soil cover instead of the discrete (as in the soil cover pattern theory), thus the soil cover is presented by a continuum field of various soil properties, and the boundaries of the selected soil properties ranges may or may not coincide with the soil taxonomic boundaries. The study is based on soil data of three parallel transects (length 240 m) in the watershed, perpendicularly crossing the 60-year-old shelterbelt in their central part. The sampling step was 10 m on agricultural fields, 6 – under the shelterbelt; In total, the features of the humus (the content of organic carbon in the 0–20 cm layer, the thickness of the humus horizon and profile) and carbonate (the effervescence depth, the carbonate content in the effervescence layer and the horizon of maximum accumulation of carbonates) profiles were studied at 75 points. It was revealed that the parameters of the humus and carbonate profiles of soils have periodic changes with a step of 6–10 meters. The parameters of the humus profile are characterized by lower coefficients of variation (less than 30%) than the parameters of the carbonate profile of soils (more than 50%). The growth of trees on agrochernozems (Haplic Chernozem (Aric)) for 60 years led to the formation of new taxonomic components (postagrogenic agrochernozems (Haplic Chernozem)), characterized by a smaller lateral variation in soil properties compared to arable soils. In total, 3 types of soils are found within the studied area: agrochernozem (64 points; Haplic Chernozem (Aric, Loamic, Pachic)), clay-illuvial agrochernozem (7 points; Luvic Chernozem (Aric, Loamic, Pachic) and Luvic Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic, Loamic, Pachic)) and agrochernozems, clay-illuvial quasigley (4 points; Luvic Stagnic Chernic Phaeozem (Aric, Loamic, Pachic)), including 8 subtypes.

Keywords: variability, pedodiversity, organic carbon, Central Russian Upland, Chernozems