

ФАКТОРЫ И ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ И ГУМИФИКАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ

УДК 631.4

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОСТАГРОГЕННОЙ ЭРОДИРОВАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ В СРАВНЕНИИ С ПАХОТНЫМ АНАЛОГОМ

© 2022 г. Б. А. Борисов^а *, О. Е. Ефимов^а, О. В. Елисеева^а

^аРоссийский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева,
Тимирязевская ул., 49, Москва, 127434 Россия

*e-mail: borisov@rgau-msha.ru

Поступила в редакцию 01.12.2021 г.

После доработки 22.12.2021 г.

Принята к публикации 26.01.2022 г.

В среднесмытой агродерново-подзолистой реградированной глубокоподзолистой тяжелосуглинистой почве (Albic Retisol (Loamic)) Московской области, находящейся в течение 22 лет в залежном состоянии, произошло достоверное увеличение содержания и запасов общего углерода по сравнению с пахотным аналогом, в основном за счет увеличения содержания углерода легкоразлагаемого органического вещества (легкой фракции). В залежной почве содержание углерода водозэкстрагируемого органического вещества было больше, чем в пахотной. Увеличение содержания этих групп лабильных органических веществ, по-видимому, обусловлено количеством и составом растительных остатков, поступающих в залежную почву, а также замедлением их минерализации по сравнению с пахотной почвой. Установлено существенное увеличение содержания легкой фракции в нижней части поля под пашней относительно верхней части, что связано с переносом легких частиц в результате водной эрозии. На поле под залежью эти различия минимальны. Наметились тенденции к уменьшению плотности и плотности твердой фазы в слое 0–10 см залежной почвы по сравнению с пахотной за счет накопления растительных остатков в этом слое. Залежная почва характеризовалась большим содержанием агрономически ценных агрегатов размером 0.25–10 мм, водостойчивых агрегатов и крупных (>0.05 мм) микроагрегатов.

Ключевые слова: залежная почва, агрегатное состояние почвы, Albic Retisol (Loamic)

DOI: 10.31857/S0032180X22070036

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы возрастает интерес к динамике органического углерода в почвах. Известно, что в почвах содержится больше углерода, чем во вместе взятых наземной биомассе и атмосфере [17, 24]; связывание углерода в наземных экосистемах происходит в первую очередь в почве [10, 11, 13].

Поскольку система почва–растение может играть существенную роль в изменении концентрации CO₂ в атмосфере в зависимости от скорости образования или минерализации органического вещества в почве [30], появляется необходимость контроля динамики почвенного органического вещества, определяемой современным или предыдущим типами растительности. Также следует оценивать структуру и агрегатное состояние почвы, которые определяются многими биологическими и химическими процессами, в том числе разложением и образованием органического вещества [26].

Уменьшить степень нарушения почвенного покрова можно путем применения систем минерализации обработки почвы, резервации земель и возделывания многолетних культур. Запасы углерода в почвах возрастают за счет перехода от традиционного пахотного земледелия к другим видам землепользования с более активным накоплением углерода или с уменьшением интенсивности обработки почвы (например, выращивания биоэнергетических культур, преобразования пашни в пастбища, возобновления естественной растительности) [9, 32]. В результате развития многолетней растительности на бывших сельскохозяйственных землях увеличивается накопление органического углерода в почвах, так как появляются условия для связывания атмосферного углерода [21]. Значение залежных сельскохозяйственных земель для динамики органического почвенного углерода, для запасов и состава органического вещества почв изучено недостаточно, вклад за-

лежей в глобальный углеродный баланс окончательно не определен [28].

Серьезные экономические преобразования в сельском хозяйстве России привели к переходу огромных площадей пахотных земель в залежное состояние. По официальным данным на 2014 г. [4] площадь заброшенных сельскохозяйственных угодий в России составила 30 млн га, из них пашни 20 млн га; особенно велики площади залежных почв в лесной зоне. После прекращения обработки почв растительность на них проходит естественные стадии сукцессии.

При исключении почв из сельскохозяйственного использования обычно происходит увеличение запасов углерода, скорость накопления определяется типом почвы и периодом восстановления [15, 16].

Выход из оборота сельскохозяйственных земель и происходящее в результате этого естественное возобновление растительности через сукцессию способствует смягчению последствий изменения климата благодаря связыванию углерода [7] как в составе биомассы, так и в виде органического вещества почвы [25].

Для черноземов и серых лесных почв Тюменской области отмечено значительное увеличение запасов органического углерода после перехода в залежь. Средняя скорость накопления углерода в слое 0–5 см за 20 лет в почвах заброшенных пахотных земель составила 0.66 Мг С/(га год). При этом в первые 10 лет показатели секвестрации были намного больше, чем в залежах возраста 11–20 лет, то есть наблюдалась тенденция к насыщению почвенным органическим углеродом на заброшенных землях [31].

Исследование постагрогенных изменений серых лесных почв Московской области показало, что запасы углерода в слое 0–20 см в пахотной почве составили 28.8 т/га, в залежи 15-летнего возраста эти запасы возросли до 33.6 т/га, а в залежи 30-летнего возраста до 40 т/га, при этом отмечено достоверное уменьшение плотности почвы, значительное увеличение доли макроагрегатов, их диаметра и коэффициента структурности, то есть в почвах под залежью происходило секвестирование углерода, постепенное восстановление естественной структуры и улучшение агрономических свойств [1].

В результате изучения постагрогенной динамики показателей гумусового состояния почв южной тайги, хвойно-широколиственных лесов и лесостепи показано, что с севера на юг тренд увеличения содержания органического углерода в ходе постагрогенной сукцессии ослабевает [5].

На изменения характера использования почв в первую очередь реагирует легкая фракция почвенного органического вещества, которая в основном состоит из растительных остатков разной

степени разложения и гумификации, имеет высокую концентрацию углерода, легко подвергается минерализации [29], тяжелая фракция более стабильна, представляет собой органо-минеральную субстанцию, имеющую высокую плотность и более низкое содержание углерода. Легкая фракция играет существенную роль в формировании и сохранении почвенной структуры, особенно макроагрегатов (>250 мкм) [20].

В почвах прерий (штат Миннесота, США), выведенных из обработки несколько десятилетий назад, последовательно увеличивалось содержание как стабильного, так и лабильного органического вещества, общее увеличение составляло в среднем 516.8 кг С/(га год) [19]. Установлено, что заметные изменения физических свойств почв (плотности, пористости, воздухопроницаемости, влагоемкости) начали проявляться на шестой–седьмой сезон после прекращения обработки почв и их перехода в залежное состояние [22].

Использование одних и тех же почв под пашню и пастбище показало, что содержание общего органического углерода оставалось постоянным при различных видах использования. Содержание таких лабильных форм органического вещества почв, как легкая фракция, микробная биомасса и водорастворимый углерод в почве пастбищ было значительно больше, чем под пашней. Лабильные формы могут служить индикатором состояния органического вещества почв, поскольку они быстро минерализуются при интенсивных обработках и вновь накапливаются после прекращения обработок [14]. Хотя водорастворимое органическое вещество в почвах составляет не более 2% от общего содержания почвенного органического вещества, оно считается чувствительным к изменениям характера использования почвы из-за его высокой растворимости и скорости оборота [12]. Водорастворимое органическое вещество является важным компонентом почвы, поскольку служит основным источником углерода и энергии для почвенных микроорганизмов и отвечает за перемещение многих питательных и загрязняющих веществ в почвенной среде [6].

Цель работы – исследование изменений показателей состояния органического вещества (содержания и запасов общего углерода, углерода легкой фракции, содержания водоэкстрагируемого органического вещества) и физических свойств (плотности, плотности твердой фазы, общей пористости, агрегатного и микроагрегатного состояния) в результате длительного пребывания дерново-подзолистой тяжелосуглинистой среднесмытой почвы в залежи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились почвы расположенных рядом полей в Волоколамском районе Московской области. Одно из полей, площадью 12 га, находится под пашней, используется в полевом севообороте (фиксированного севооборота нет, возделывались яровые зерновые, однолетние и многолетние травы, кукуруза на силос, органические удобрения не вносились); другое поле, площадью 17 га, 22 года назад выведено из земледелия, в течение 7–8 лет после этого использовалось как сенокос, затем находилось в залежном состоянии, на нем произошла сукцессия травянистой растительности. В растительном покрове преобладают представители семейства злаковых: ежа сборная (*Dactylis glomerata*), тимopheевка луговая (*Phleum pratense*), овсяница красная (*Festuca rubra*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*) и бобовых: клевер луговой (*Trifolium pratense*), горошек посевной (*Vicia sativa*), встречаются отдельные деревья – береза повислая (*Betula pendula*), ива козья (*Salix caprea*), возрастом не более 5–6 лет. Разделенные балкой поля расположены на склоне северо-западной экспозиции, крутизной 3°–3.5°, высота над уровнем моря 210–220 м, среднегодовая температура 3.3°C, среднегодовое количество осадков 610 мм. Почвенный покров пахотной почвы представлен агродерново-подзолистой среднепахотной глубокоподзолистой тяжелосуглинистой почвой на покровном суглинке (Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic)), на поле отмечено проявление водной эрозии. Степень эрозии исследуемой почвы оценена как средняя, поскольку в распашку вовлечен горизонт A2B, признаки оподзоливания малозаметны, мощность горизонта A2B залежной почвы на 3–4 см больше, чем пахотной. Залежная почва – агродерново-подзолистая реградированная глубокоподзолистая тяжелосуглинистая на покровном суглинке (Albic Retisol (Loamic, Cutanic)). Признаками процессов реградации залежной почвы являются отсутствие следов струйчатой водной эрозии на поверхности, увеличение мощности горизонта A2B, увеличение содержания и запасов гумуса, улучшение структурного состояния и физических свойств. Глубина пахотного горизонта (как и глубина старопашотного горизонта на залежи) – 24 см.

Образцы почв отбирали на каждом из полей в верхней и в нижней частях склонов с площадок размером 20 × 20 м в пятикратной повторности методом конверта из слоев 0–10 и 10–20 см. Перепад высот между верхними и нижними площадками составил 9–10 м, расстояние по склону 260–280 м. Отбор образцов проведен в августе 2020 г., после уборки урожая пшеницы на возделываемом поле. Для определения плотности почвы отбирали керны диаметром 5 см и длиной 10 см, при расчете сухую массу почвы в керне делили на

его объем. Плотность твердой фазы определяли пикнометрическим методом, общую пористость расчетным методом.

Агрегатный анализ исследуемых почв проводили по методу Саввинова [3]: среднюю пробу не растертой почвы массой 0.5 кг просеивали через набор сит с диаметрами ячеек 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0.5; 0.25 мм. Количество водоустойчивых агрегатов определяли путем мокрого просеивания через набор сит с диаметрами отверстий 5; 3; 2; 1; 0.5; 0.25 мм. Микроагрегатный анализ выполнен по Н.А. Качинскому [3].

Образцы почв проанализированы на содержание общего органического углерода, углерода легкой фракции и углерода водоэкстрагируемого органического вещества.

Легкую фракцию выделяли из просеянной (<1 мм) сухой почвы методом, описанном в [2]. Использовали две последовательные экстракции: первую проводили раствором NaI плотностью 1.8 г/см³ (соотношение почва : экстрагент 1 : 2), после тщательного перемешивания полученную суспензию центрифугировали при 5000 об./мин в течение 10 мин, легкую фазу почвы отделяли от супернатанта фильтрованием на бумажном фильтре, затем переносили в центрифужную пробирку и проводили вторую экстракцию раствором NaI плотностью 1.6 г/см³ для отделения минеральных илистых частиц. Суспензию центрифугировали и отделяли легкую фракцию от супернатанта на фильтре, так же как при первой экстракции. Легкую фракцию на фильтре промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе при 70°C.

Содержание органического углерода в почве и в легкой фракции определяли методом сухого сжигания (900°C) с использованием анализатора CN Vario Micro Cube (Elementar, Langensfeld, Германия).

Содержание водоэкстрагируемого органического вещества почвы определяли путем встряхивания 10 г почвы, просеянной через сито 1 мм, с 20 мл деионизированной воды в течение 2 ч на горизонтальном встряхивателе при 140 об./мин [18] Концентрацию углерода в воде определяли при мокром сжигании с колориметрическим определением Cr³⁺ [23].

Для оценки значимости обнаруженных различий рассчитывали стандартное отклонение и наименьшую существенную разницу с уровнем значимости α , равном 0.05 (НСР $\alpha = 0.05$), расчет вариации и дисперсионный анализ выполнены с помощью программного комплекса STRAZ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В пахотной почве различия в содержании и запасах органического вещества между слоями 0–10 и 10–20 см были незначительными, поскольку

Таблица 1. Содержание и запасы общего углерода в дерново-подзолистой почве под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Содержание общего углерода, %	Запасы общего углерода, т/га
Пашня, верхняя часть склона	0–10	0.97 ± 0.20	13.1
	10–20	0.95 ± 0.22	12.9
	0–20	–	26.0
Пашня, нижняя часть склона	0–10	1.28 ± 0.21	16.9
	10–20	1.26 ± 0.18	17.0
	0–20	–	33.9
Залежь, верхняя часть склона	0–10	1.99 ± 0.22	26.1
	10–20	1.37 ± 0.17	19.3
	0–20	–	45.4
Залежь, нижняя часть склона	0–10	1.96 ± 0.30	25.3
	10–20	1.50 ± 0.20	20.7
	0–20	–	46.0
НСР для $\alpha = 0.05$		0.31	–

эти слои относятся к одному пахотному горизонту, ежегодно перемешиваемому при обработках (табл. 1). В залежной почве произошло достоверное увеличение содержания и запасов общего углерода в слое 0–10 см по сравнению со слоем 10–20 см, что обусловлено накоплением преобладающей части растительных остатков в верхнем слое.

Для пахотной почвы отмечено достоверное более высокое содержание общего углерода в почвах нижней части поля по сравнению с верхней.

Содержание общего углерода было достоверно выше в залежной почве по сравнению с пахотной.

Для точной оценки воздействия обработки почвы на органическое вещество необходимо помимо содержания органического вещества, учитывать его запасы (единицы массы на единицу площади) [8]. Запас общего углерода в верхней части поля под пашней в слое 0–20 см составил 26.0 т/га, а в верхней части поля под залежью увеличился до 45.4 т/га. Для нижних частей полей увеличение на залежи запаса общего углерода в слое 0–20 см было менее значительным. Содержание и запасы общего углерода в почве верхней и нижней частей поля за 22 года пребывания в залежном состоянии практически выровнялись.

Различия в содержании и запасах углерода легкой фракции между слоями 0–10 и 10–20 см в пахотной почве были незначительными и обусловлены, по-видимому, растительными остатками года отбора образцов (табл. 2). В залежной почве в результате преимущественного накопления растительных остатков в слое 0–10 см проявились

достоверные различия в содержании и запасах углерода легкой фракции между слоями 0–10 и 10–20 см. Также отмечено достоверное увеличение содержания углерода легкой фракции в слоях 0–10 и 10–20 см пахотной почвы, расположенной в нижней части поля, по сравнению с этими слоями верхней части поля. По-видимому, это обусловлено переносом частиц легкой фракции органического вещества с верхней части поля на нижнюю в результате водной эрозии. На залежной почве различия в содержании и запасах углерода легкой фракции в почвах между верхней и нижней частями склонов почти сгладились и были недостоверными, что объясняется почти полной остановкой процесса водной эрозии под травянистой растительностью.

В почве залежного поля по сравнению с пахотной почвой содержание и запасы углерода легкой фракции возросли очень значительно – в 2–3 раза.

Сравнение прироста содержания и запасов общего углерода и углерода легкой фракции в результате перехода пахотной почвы в залежь показывает, что увеличение количества общего углерода преимущественно обусловлено ростом содержания и запасов легкой фракции.

Содержание водоекстрагируемого органического вещества в исследуемых почвах изменялось в соответствии с изменениями содержания и состава легкой фракции – было достоверно больше в почве нижней части обрабатываемого поля. В слое 0–10 см залежной почвы также отмечено значительное (в 3–4 раза) увеличение этого показателя по сравнению с пахотной почвой, что мо-

Таблица 2. Лабильные формы органического вещества в дерново-подзолистой почве под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Содержание углерода легкой фракции, %	Запасы углерода легкой фракции, т/га	Содержание водозэкстрагируемого органического вещества, мг/г почвы
Пашня, верхняя часть склона	0–10	0.26 ± 0.10	3.5	2.4 ± 0.7
	10–20	0.24 ± 0.09	3.3	2.4 ± 0.6
	0–20	–	6.8	–
Пашня, нижняя часть склона	0–10	0.48 ± 0.18	6.3	3.8 ± 1.0
	10–20	0.45 ± 0.16	6.1	3.6 ± 0.6
	0–20	–	12.4	–
Залежь, верхняя часть склона	0–10	0.95 ± 0.19	12.4	11.3 ± 0.8
	10–20	0.43 ± 0.09	6.1	4.1 ± 0.4
	0–20	–	18.5	–
Залежь, нижняя часть склона	0–10	0.92 ± 0.37	11.9	11.5 ± 0.9
	10–20	0.52 ± 0.16	7.2	4.8 ± 0.7
	0–20	–	19.1	–
НСР для $\alpha = 0.05$		0.21	–	1.1

Таблица 3. Физические свойства дерново-подзолистой почвы под пашней и под залежью

Землепользование	Глубина, см	Плотность почвы	Плотность твердой фазы почвы	Общая пористость, %
		г/см ³		
Пашня, верхняя часть склона	0–10	1.35 ± 0.04	2.71 ± 0.07	50.2
	10–20	1.36 ± 0.05	2.70 ± 0.09	49.6
Пашня, нижняя часть склона	0–10	1.32 ± 0.04	2.66 ± 0.07	50.7
	10–20	1.35 ± 0.05	2.67 ± 0.08	49.4
Залежь, верхняя часть склона	0–10	1.31 ± 0.04	2.62 ± 0.04	50.0
	10–20	1.41 ± 0.04	2.66 ± 0.06	47.0
Залежь, нижняя часть склона	0–10	1.29 ± 0.04	2.61 ± 0.06	50.6
	10–20	1.38 ± 0.04	2.66 ± 0.03	48.1
НСР для $\alpha = 0.05$		0.06	0.10	–

жет обеспечить усиление биологической активности.

В залежной почве наметилась слабая тенденция к уменьшению плотности в слое 0–10 см и к ее увеличению в слое 10–20 см по сравнению с пахотной почвой, однако эти различия оказались недостоверными (табл. 3). Достоверное уменьшение плотности произошло в слое 0–10 см залежной почвы по сравнению со слоем 10–20 см. В залежных почвах можно отметить тенденцию к уменьшению плотности твердой фазы по сравнению с пахотными почвами, что обусловлено, по-

видимому, увеличением поступления растительных остатков в почву залежи и соответствующим увеличением содержания легкой фракции органического вещества. Однако эти различия были недостоверными. Общая пористость всех исследованных пахотных и залежных почв в соответствующих слоях почти не различалась.

Содержание агрономически ценных агрегатов размером 0.25–10 мм в слое 0–10 см залежной почвы увеличилось до 55.5% в верхней части склона и до 56.2% (табл. 4) в нижней части склона (на пашне количество агрономически ценных аг-

Таблица 4. Результаты агрегатного анализа (сухое просеивание, глубина 0–10 см)

Землепользование	Размер фракций, мм; содержание, %								
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25
Пашня, верхняя часть склона	15.4	10.1	4.4	4.7	7.5	3.3	5.3	11.3	38.0
Пашня, нижняя часть склона	13.2	12.2	5.1	5.9	8.1	4.1	5.0	10.7	35.7
Залежь, верхняя часть склона	11.4	12.8	6.8	7.8	8.7	4.7	4.4	10.2	33.2
Залежь, нижняя часть склона	11.6	12.5	7.3	8.2	8.4	4.7	4.8	10.3	32.2

Таблица 5. Содержание водоустойчивых агрегатов (мокрое просеивание, глубина 0–10 см)

Землепользование	Размер фракций, мм; содержание, %						
	>5	5–3	3–2	2–1	1–0.5	0.5–0.25	<0.25
Пашня, верхняя часть склона	3.6	5.7	12.4	5.9	3.8	4.4	64.2
Пашня, нижняя часть склона	5.9	6.9	10.7	6.0	4.5	4.2	61.8
Залежь, верхняя часть склона	13.2	10.1	11.4	4.1	3.7	3.2	54.3
Залежь, нижняя часть склона	12.8	10.5	9.9	4.0	3.4	3.7	55.7

регатив составляло 46.1 и 51.1% на соответствующих частях склона).

Установлено, что количество макроагрегатов положительно коррелирует с плодородием почвы [27]. Содержание макроагрегатов размером от 3 до 10 мм в слое 0–10 см пахотной почвы в нижней части склона (23.2%) было заметно больше, чем в почве верхней части склона (19.2%). В залежной почве количество макроагрегатов такого размера увеличилось по сравнению с пахотной почвой, причем различия между почвой верхней и нижней частей склона почти отсутствовали (27.1 и 27.4%).

Содержание водоустойчивых агрегатов в слое 0–10 см пахотной почвы в верхней части склона при низком содержании легкой фракции органического вещества составило 35.8% (табл. 5), в нижней части склона 38.2%. В почве под залежью (слой 0–10 см) количество водоустойчивых агрегатов увеличилось по сравнению с пахотной почвой и на разных частях склона составило 44.3–45.7%. Особенно заметно возросло в залежной почве содержание крупных водоустойчивых агрегатов размером от 2 до 5 мм (до 33.2–34.7), в пахотной почве – 21.7–23.5%.

Микроагрегатный анализ показал, что в слое 0–10 см почвы залежи содержание крупных микроагрегатов размером 0.05–0.25 мм составило 36.4–37.7, а в пахотной почве 24.8–28.2%.

Поскольку пахотная почва длительное время используется практически в неизменных условиях, с большой долей вероятности можно предположить, что показатели, характеризующие ее основные свойства, находятся в равновесном состоянии, и, сравнивая свойства современной пахотной и современной залежной почвы, можно выявить коли-

чественные изменения, произошедшие в результате перехода от сельскохозяйственного использования в полевом севообороте (вспашки с оборотом пласта) к залежи с естественной сукцессией травянистой растительности в течение 22 лет.

Известно, что в большинстве случаев в почвы, находящиеся под естественной травянистой растительностью, поступает больше растительных остатков по сравнению с находящейся в аналогичных условиях пахотной почвой. Прекращение обработки почвы также способствует уменьшению скорости минерализации растительных остатков. Количественная оценка изменения содержания и запаса общего углерода и углерода легкой фракции в дерново-подзолистой почве показала, что за 22 года, прошедших с момента прекращения обработки почвы и начала восстановления естественной растительности, в слое 0–20 см залежной почвы, расположенной в верхней части склона, запас общего углерода увеличился по сравнению с аналогичной почвой, остававшейся под пашней, почти вдвое с 26.0 до 45.4 т/га (на 19.4 т/га). В залежной почве в нижней части склона рост запаса общего углерода в слое 0–20 см составил 12.1 т/га. При этом запас углерода легкой фракции в слое 0–20 см под залежью в верхней части склона возрос по сравнению с пашней на 11.7 т/га, а в нижней части склона на 6.7 т/га, то есть увеличение запаса общего углерода на залежи было обусловлено увеличением запаса углерода легкой фракции.

В пахотной почве на склоне отмечена дифференциация легкой фракции органического вещества. Запасы углерода легкой фракции в слое 0–20 см пахотной почвы в верхней части поля составили 6.8 т/га, а в нижней части 12.4 т/га (то есть возросли более, чем на 80%). В залежной почве

запасы углерода легкой фракции в слое 0–20 см в верхней части поля были равны 18.5 т/га, а в таком же слое нижней части поля 19.1 т/га (больше, чем в верхней части, примерно на 3%). Таким образом, перераспределение по склону легкой фракции органического вещества в пахотной почве, очевидно, обусловлено водной эрозией. В залежной почве под покровом естественной травянистой растительности почти полностью прекратились эрозионные процессы, и за 22 года произошло выравнивание содержания и запасов легкой фракции органического вещества в почвах разных частей склона.

Значительный рост содержания водорастворимого органического вещества, имеющего большое значение для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов в почве залежи, по-видимому, обусловлен увеличением содержания легкой фракции.

Достоверных различий в плотности залежной почвы по сравнению с равновесной плотностью пахотной почвы не обнаружено. Возможно, на данной стадии сукцессии разрыхляющий эффект от поступления дополнительных растительных остатков и накопления легкой фракции органического вещества в залежной почве был сравним по величине с разрыхляющим эффектом от регулярных обработок пахотной почвы. В горизонте 10–20 см залежной почвы отмечалась более высокая плотность по сравнению с пахотной почвой.

Вследствие распашки целинных почв происходит значительное уменьшение содержания макроагрегатов и увеличение доли микроагрегатов [20]. На объекте отмечен обратный процесс, в результате перехода пахотной почвы в залежное состояние возросло количество макроагрегатов, в том числе водостойких, а также крупных микроагрегатов. Можно предположить, что это обусловлено увеличением поступления растительных остатков в почву, накоплением легкой фракции органического вещества, после гумификации которой новообразованные гумусовые вещества при взаимодействии с минеральной частью почвы формируют макро- и микроагрегаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Через 22 года после перехода пахотной дерново-подзолистой почвы в залежное состояние произошло достоверное увеличение содержания в ней общего углерода, преимущественно за счет накопления углерода легкой фракции органического вещества, что обусловлено, по-видимому, увеличением поступления растительных остатков в почву и уменьшением скорости их минерализации при отсутствии обработок.

Наблюдавшееся в пахотной почве увеличение содержания легкой фракции органического вещества в нижней части склона по сравнению с верхней было почти полностью скомпенсировано в

почве залежи, так как здесь приостановился эрозионный процесс, приводивший к переносу частиц легкой фракции.

На текущей стадии сукцессии не обнаружено достоверных изменений плотности, плотности твердой фазы и общей пористости в залежной почве по сравнению с пахотным аналогом.

В постагрогенной почве отмечено увеличение количества крупных макроагрегатов, в том числе водостойких, а также крупных микроагрегатов по сравнению с обрабатываемой почвой.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудеяров В.Н.* Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 345–353.
2. *Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф.* Географические закономерности распределения и обновления легко-разлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071–1078.
3. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А.* Практикум по почвоведению. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2012. 285 с.
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2014 г. М.: Минсельхоз России, 2015. 235 с.
5. *Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсянян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мирин Д.М.* Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17120115>
6. *Bartos A., Szymański W., Klimek M.* Impact of conventional agriculture on the concentration and quality of water-extractable organic matter (WEOM) in the surface horizons of Retisols—A case study from the Carpathian Foothills in Poland // Soil and Tillage Research. V. 204. October 2020. P. 104750.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104750>
7. *Bell S.M., Barriocanal C., Terrer C., Rosell-Melé A.* Management opportunities for soil carbon sequestration following agricultural land abandonment // Environmental Science & Policy. V. 108. June 2020. P. 104–111.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.03.018>
8. *Ellert B.H., Bettany J.R.* Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes // Canadian J. Soil Science. V. 75. № 4. November 1995. P. 529–538.
<https://doi.org/10.4141/cjss95-075>

9. *Freibauer A., Rounsevell M.D.A., Smith P., Verhagen J.* Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe // *Geoderma*. V. 122. Iss. 1. September 2004. P. 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.021>
10. *Grace J.* Understanding and managing the global carbon cycle // *J. Ecology*. V. 92. Iss. 2. April 2004. P. 189–202. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00874.x>
11. *Gregorich E.G., Greer K.J., Anderson D.W., Liang B.C.* Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects // *Soil and Tillage Research*. V. 47. Iss. 3–4. 6 July 1998. P. 291–302. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00117-2)
12. *Guigue J., Lévêque J., Mathieu O., Schmitt-Kopplin P., Lucio M., Arrouays D., Jolivet C., Dequiedt S., Chemidlin N., Prévost-Bouré L., Ranjard.* Water-extractable organic matter linked to soil physico-chemistry and microbiology at the regional scale // *Soil Biology and Biochemistry*. V. 84. May 2015. P. 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.016>
13. *Guo L.B., Gifford R.M.* Soil carbon stocks and land use change: A meta analysis // *Global Change Biology*. V. 8. Iss. 4. April 2002. P. 345–360. <https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
14. *Haynes R.J.* Labile organic matter as an indicator of organic matter quality in arable and pastoral soils in New Zealand // *Soil Biology and Biochemistry*. V. 32. Iss. 2. February 2000. P. 211–219. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00148-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00148-0)
15. *Kurganova I.N., De Gerenyu V.O.L.* Assessment and prediction of changes in the reserves of organic carbon in abandoned soils of European Russia in 1990–2020 // *Eurasian Soil Science*. 2008. V. 41. № 13. P. 1371–1377. <https://doi.org/10.1134/S1064229308130048>
16. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y.* Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan // *Catena*. V. 133. October 2015. P. 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.002>
17. *Lal R.* Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma*. 2004. V. 123. P. 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.032>
18. *Maxin C.R., Kogel-Knabner I.* Partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) to water-soluble soil organic matter // *European J. soil science*. 1995. V. 4. P. 193–204. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1995.tb01827.x>
19. *McLauchlan K.K.* Effects of soil texture on soil carbon and nitrogen dynamics after cessation of agriculture // *Geoderma*. V. 136. Iss. 1–2. December 2006. P. 289–299. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2006.03.053>
20. *Miller R.M., Jastrow J.D.* Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation // *Soil Biology and Biochemistry*. 1990. V. 2. Iss. 5. P. 579–584. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(90\)90001-G](https://doi.org/10.1016/0038-0717(90)90001-G)
21. *Post W.M., Kwon K.C.* Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential // *Global Change Biology*. 2000. V. 6. P. 317–327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>
22. *Pranagal J., Podstawka-Chmielewska E.* Physical properties of a Rendzic Phaeozem during a ten-year period of falling under the conditions of south-eastern Poland // *Geoderma*. V. 189–190. November 2012. P. 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.06.023>
23. *Prokushkin A.S., Shibata H., Prokushkin S.G. et al.* Dissolved Organic Carbon in Coniferous Forests of Central Siberia // *Eurasian J. Forest Research*. 2001. V. 2. P. 45–58.
24. *Schlesinger W.H., Andrews J.A.* Soil respiration and the global carbon cycle // *Biogeochemistry*. 2000. V. 48. P. 7–20. <https://doi.org/10.1023/A:1006247623877>
25. *Silver W.L., Ostertag R., Lugo A.E.* The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands // *Restoration ecology*. December 2000. V. 8. № 4. P. 394–407. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80054.x>
26. *Six J., Callewaert P., Lenders S., De Gryze S., Morris S.J., Gregorich E.G., Paul E.A., Paustian K.* Measuring and Understanding Carbon Storage in Afforested Soils by Physical Fractionation // *Soil Sci. Soc. Am. J.* November 2002. V. 66. Iss. 6. P. 1981–1987. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1981>
27. *Six J., Elliott E.T., Paustian K.* Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture // *Soil Biology and Biochemistry*. December 2000. V. 32. Iss. 14. P. 2099–2103. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(00\)00179-6](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(00)00179-6)
28. *Smith J., Pearce B.D., Wolfe M.S.* Reconciling productivity with protection of the environment: is temperate agroforestry the answer? // *Renewable Agriculture and Food Systems*. March 2013. V. 28. Iss. 1. P. 80–92. <https://doi.org/10.1017/S1742170511000585>
29. *Tan Z., Lal R., Owens L., Izaurralde R.C.* Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice // *Soil and Tillage Research*. January 2007. V. 92. Iss. 1–2. P. 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.01.003>
30. *Van Breemen N., Feijtel T.C.J.* Soil processes and properties involved in the production of greenhouse gases, with special relevance to soil taxonomic systems // *Soils and the greenhouse effect*. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 1990. P. 195–220.
31. *Wertebach T.-M., Hölzel N., Kämpf I., Yurtaev A., Tupitsin S., Kiehl K., Kamp J., Kleinebecker T.* Soil carbon sequestration due to post-Soviet cropland abandonment: estimates from a large-scale soil organic carbon field inventory // *Global change biology*. September 2017. V. 23. Iss. 9. P. 3729–3741. <https://doi.org/10.1111/gcb.13650>
32. *West T.O., Post W.M.* Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation // *Soil Sci. Soc. of Am. J.* 2002. V. 66. Iss. 6. P. 1930–1946. <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.1930>

Organic Matter and Physical Properties of Postagrogenic Eroded Soddy-Podzolic Soil in Comparison with the Arable Analogue

B. A. Borisov^{1, *}, O. E. Efimov¹, and O. V. Eliseeva¹

¹ *Russian State Agrarian University, Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia*

**e-mail: borisov@rgau-msha.ru*

In medium-eroded agro-soddy-podzolic regraded deep-podzolic heavy loamy soil (Albic Retisol (Loamic)) based in the Moscow region, which has been in an abandoned state for 22 years, has experienced a significant increase in the content and reserves of total carbon compared to its arable analogue, mainly due to an increase in the carbon content of easily degradable organic matter (light fraction). There was a higher content of the carbon in water-extractable organic matter in fallow soil than in arable soil. The increase of the content of these groups of labile organic substances is apparently due to the amount and composition of plant residues entering the fallow soil, as well as a slowdown in their mineralization compared to arable soil. A significant increase in the content of the light fraction in the lower part of the field under the arable land, relative to the upper part, was found, which is associated with the transfer of light particles as a result of water erosion. In the abandoned field, these differences are minimal. There has been a downtrend of the density and of the solid phase density in a layer of 0–10 cm of fallow soil compared to arable due to the accumulation of plant residues in this layer. The fallow soil was characterized by a high content of agronomically valuable aggregates of 0.25–10 mm in size, waterproof aggregates and large (>0.05 mm in size) microaggregates.

Keywords: fallow soil, soil aggregate state, Albic Retisol (Loamic)