

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74>

УДК 631.582:631.82:631.62

Динамика гумуса в полевых севооборотах на осушаемых землях

© 2024. Ю. И. Митрофанов✉, Н. К. Первушина

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Цель исследования – изучить влияние разных видов полевых севооборотов, удобрений, осушения и гидротермических условий на динамику гумуса в мелиорируемой почве. Исследования проводили на опытных полях Всероссийского НИИ мелиорируемых земель (объекты мелиорации «Кузьминское болото 2», «Семеновское» и «Губино» в Тверской области). Осушение переувлажняемых почв проведено закрытым дренажом (междреннее расстояние 18–20 м, глубина заложения дрен 0,9–1,2 м). Почвы опытных участков дерново-подзолистые легко-суглинистые глееватые, сформировавшиеся на морене или маломощном двучлене. Наблюдения за динамикой гумуса проводили в зернотравнопропашных (плодосменных), зернотравяных, зерновых и зернопропашных видах севооборотов. Влияние севооборота на содержание в почве гумуса определялось, прежде всего, составом, структурой выращиваемых культур и агротехникой их возделывания. За счет растительных остатков в плодосменном севообороте восстанавливалось 56,6–76,5 % объема минерализованного гумуса, в зерновом – 51,8 %, зернопропашном – 26,4 %. Наиболее существенные качественные изменения в составе гумуса наблюдали в плодосменном севообороте: при положительном балансе гумуса соотношение гуминовых и фульвокислот увеличилось с 0,63 до 0,74. Применение органических и минеральных удобрений существенно изменяет баланс гумуса в пахотном слое почвы. При органико-минеральной системе удобрения ежегодные потери гумуса (в кг/га) на осушаемом участке были меньше в 6,8–11,4 раза, на неосушаемом – в 2,1–2,6, чем в варианте без удобрений. Осушение переувлажняемых почв повышает роль удобрений в накоплении гумуса, уменьшает его потери и улучшает качественные параметры гумуса – соотношение гуминовых и фульвокислот в составе гумуса под влиянием осушения увеличилось с 0,61 до 0,88. Установлено влияние на динамику гумуса гидротермических условий. В годы с засушливой первой половиной вегетационного периода наблюдали повышение содержания гумуса, в избыточно влажные, наоборот, – понижение. Коэффициенты корреляции содержания гумуса с гидротермическими условиями мая-июня составили: –0,84 (1985–1993 гг.) и –0,95 (2014–2022 гг.).

Ключевые слова: севооборот, плодородие, динамика гумуса, осушение, удобрения, растительные остатки

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема № 0439-2021-0001).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Динамика гумуса в полевых севооборотах на осушаемых землях. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):62–74. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74>

Поступила: 21.12.2023

Принята к публикации: 12.02.2024

Опубликована онлайн: 28.02.2024

Dynamics of humus in field crop rotations on drained lands

© 2024. Yuriy I. Mitrofanov✉, Natalya K. Pervushina

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The purpose of the research is to study the influence of different types of field crop rotation, fertilizers, drainage and hydrothermal conditions on the dynamics of humus in reclaimed soil. The studies were carried out on the experimental fields of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (reclamation sites “Kuzminskoye Boloto 2”, “Semenovskoye” and “Gubino” in the Tver region). Waterlogged soils were drained using closed drainage (inter-drain distance is 18–20 m, drain depth is 0.9–1.2 m). The soils of the experimental plots are soddy-podzolic, light loamy, gleyic, formed on a moraine or thin binomial. Observations of the dynamics of humus were carried out in the grain-grass-row, grain-grass, grain and grain-row types of crop rotation. The influence of crop rotation on the content of humus in the soil was determined, first of all, by the composition, the structure of the crops grown and agricultural technology of their cultivation. Due to plant residues, 56.6–76.5 % of the volume of mineralized humus were restored in grain-grass-row crop rotation, 51.8 % in grain, 26.4 % in grain-row crop rotation. The most significant qualitative changes in the composition of humus were observed in grain-grass-row crop rotation: with a positive humus balance, the ratio of humic and fulvic acids increased from 0.63 to 0.74. The use of organic and mineral fertilizers significantly changes the balance of humus in the arable layer of the soil. With an organic-mineral fertilizer system, the annual loss of humus (in kg/ha) on the drained plot was 6.8–11.4 times less, on the non-drained plot – 2.1–2.6 times less than in the variant without fertilizers. Drainage of waterlogged soils increases the role of fertilizers in the accumulation of humus, reduces its losses and improves the quality parameters of humus – the ratio of humic and fulvic acids in the composition of humus under the influence of drainage increased from 0.61 to 0.88. The impact on the dynamics of humus of hydrothermal

conditions has been established. In years with a dry first half of the growing season, an increase in humus content is observed; in excessively wet years, on the contrary, a decrease is observed. The correlation coefficients of humus content with hydrothermal conditions in May-June were – 0.84 (in 1985–1993) and 0.95 (in 2014–2022).

Keywords: crop rotation, fertility, humus dynamics, drainage, fertilizers, plant residues

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0439-2021-0001).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citations: Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Dynamics of humus in field crop rotations on drained lands. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(1):62–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.62-74>

Received: 21.12.2023

Accepted for publication: 12.02.2024

Published online: 28.02.2024

Уровень плодородия конкретной почвы определяется совокупностью базовых ее свойств, характеризующих способность почвы создавать необходимые условия для жизнедеятельности растений, их роста, развития и формирования урожаев. При оценке этой способности используют целый комплекс показателей физического, химического и биологического порядка, позволяющих определять основные параметры почвенного плодородия и уровень обеспеченности растений факторами жизни [1, 2]. Для дерново-подзолистых почв, в том числе и осушаемых, одним из ведущих показателей уровня их плодородия является содержание в почвах органического вещества и гумуса, от количества и качества которых зависят агрохимические, водно-физические, биологические свойства почвы и продуктивность полевых культур¹ [3, 4].

На прямую и тесную связь урожайности культур, особенно требовательных к почвенным условиям произрастания, с гумусированностью автоморфных почв указывают многие исследователи [5, 6].

На осушаемых землях все основные проблемы, связанные с гумусированностью почв, в полной мере сохраняют свое значение. Особенностью осушаемых почв является свойственная большинству объектов мелиорации пространственная неоднородность почвенного покрова, в том числе по гумусированности пахотного слоя почвы, обусловленная природными и антропогенными факторами. Характер природной пестроты определяется разнообразием агроэкологических видов земель, присутствием разноогленных почв, отличающихся количественными и качественными параметрами гумуса, особенно на начальном этапе использования осушаемых земель. Антропогенная неоднородность почвенного покрова создается при проведении мелиоративных работ [7, 8].

В процессе использования осушаемых земель динамика содержания гумуса в пахотном слое почвы формируется под влиянием целого комплекса факторов природного и антропогенного характера. Скорость и направленность процессов накопления и разложения органического вещества почвы зависит от генетических особенностей почв, вида севооборота, структуры и состава возделываемых культур в севообороте, количества и качества их растительных остатков, от применения удобрений и уровня урожайности, интенсивности физического воздействия на почву, почвенно-климатических условий и др. [9, 10].

Сохранение органического вещества почвы, а лучше его расширенное воспроизводство, является важнейшей системной проблемой земледелия в гумидной зоне, решение которой предполагает комплексный системный подход к реализации этой задачи. Особое место в сохранении и формировании положительного баланса гумуса занимает севооборот, являющийся интегрирующей структурой в системе управления почвенным плодородием [11, 12]. Севооборот, во многом, определяет соотношение отчуждаемой и накапливаемой в почве фитомассы, баланс органического вещества, элементов питания, направленность биологических и энергетических процессов и т. д. [13, 14]. Вместе с тем, многочисленными исследованиями, проведенными, в основном, на землях нормального увлажнения, установлено, что только отдельные зерноотраважные и травопольные севообороты могут обеспечивать бездефицитный баланс гумуса за счет собственных ресурсов (растительных остатков культур). Во всех других видах севооборотов для сохранения или расширенного воспроизводства органического вещества необходимы дополнительные источники его поступления в почву.

¹Воспроизводство гумуса и хозяйственно-биологический круговорот органического вещества в земледелии: рекомендации. М.: ВО «Агропромиздат», 1989. 63 с.

В качестве таких источников используются разные виды органических удобрений, солома, сидераты и др. В отношении их действия, норм внесения, обеспечивающих бездефицитный баланс гумуса в разных севооборотах, накоплен обширный экспериментальный материал [15, 16, 17].

На осушаемых землях длительных балансовых исследований по динамике органического вещества в полевых севооборотах проведено крайне мало. Вместе с тем, осушение оказывает существенное влияние на почвенные режимы, условия трансформации органического вещества в почве и на эффективность применения удобрений.

Цель исследования – изучить влияние полевых севооборотов, удобрений, осушения и гидротермических условий вегетации на динамику содержания гумуса в мелиорируемых дерново-подзолистых почвах Тверской области.

Новизна исследований – многолетние наблюдения за динамикой гумуса в осушаемой почве на различных объектах мелиорации позволили выявить временные закономерности его количественных и качественных изменений в условиях осушения под влиянием вида севооборота, дренажа, удобрений и гидротермических факторов.

Материал и методы. Исследования по динамике гумуса в пахотном слое мелиорируемых почв проводили на опытных полях Всероссийского НИИ мелиорируемых земель (ВНИИМЗ) в 6 опытах и 11 полевых севооборотах с длительностью наблюдений от 4 до 11 лет. Осушение переувлажненных почв закрытым дренажом (междренное расстояние 18–20 м, глубина заложения дрен 0,9–1,2 м) проведено на объектах мелиорации в 1972 г. («Кузьминское болото 2»), 1975 г. («Семеновское») и 1984 г. («Губино»). Почвы опытных участков дерново-подзолистые легкосуглинистые глееватые, сформировавшиеся на морене или маломощном двучлене. Исходное содержание подвижного фосфора в пахотном слое опытных участков, соответственно объектам мелиорации, составляло – 138...205, 121 и 216 мг/кг почвы, содержание обменного калия – 57...78, 38 и 123 мг/кг почвы; кислотность – 5,8...6,5, 6,1 и 6,0 ед. pH_{кол.}. Содержание гумуса в почве перед закладкой опытов, структурные параметры севооборотов, характеризующие их видовую принадлежность,

нормы внесения органических удобрений приведены в таблице 1.

Наблюдения за динамикой гумуса проводили в разных видах севооборотов (плодосменных (зернотравянопропашных), зернотравяных, зерновых, зернопропашных и пропашных), различающихся составом и соотношением культур в структуре севооборота, паровыми полями и вариантами использования пласта многолетних трав.

В 1979–1994 гг. минеральные удобрения вносили из расчета 200–250 кг на 1 га севооборотной площади, в виде аммиачной селитры, хлористого калия и двойного суперфосфата. Опыты проводили в севооборотах, развернутых только во времени (в полях - закладках) или во времени и пространстве одновременно. Повторность 3–4-кратная, общая площадь делянок 100–500 м², учетная 50–100 м². Почвенные образцы отбирали перед закладкой опытов, в середине и конце ротации севооборотов после уборки урожая культур.

В 2011–2022 гг. динамику агрохимических свойств изучали в вариантах с тремя технологическими уровнями (фонами) возделывания культур: 1 – экстенсивный (без удобрений); 2 – среднеинтенсивный – нормальные технологии; 3 – интенсивный. При выращивании культур по фону 2 на 1 га севооборотной площади в среднем было внесено 90 кг NPK и 3,0 т компоста многоцелевого назначения (КМН), по фону 3 – 200 кг и 3,0 т соответственно. Одна тонна КМН по эффективности приравнивается к 3–4 т полуперепревшего навоза или торфонавозного компоста. Исследования были выполнены на дренированном и недренированном участках в плодосменном севообороте, развернутом во времени и пространстве, с чередованием культур: пар занятый (клевер) – озимые (рожь, тритикале) – картофель – яровая пшеница с подсевом клевера. Дренированный участок осушали закрытым гончарным дренажом, междреннее расстояние 20 м, глубина заложения дрен 0,9–1,2 м. Опыт заложен в четырехкратной повторности, общая площадь делянок с технологическими вариантами 432 м², учетная для культур сплошного сева – 44 м², картофеля – 28 м². Почва обоих участков дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая, содержание подвижного фосфора перед закладкой опыта 120–240 мг/кг почвы, калия – 150–200 мг/кг и гумуса – 2,09–2,38 %, pH_{кол.} – 4,4.

Таблица 1 – Динамика содержания гумуса в пахотном слое почвы разных видов севооборотов /
Table 1 – Dynamics of humus content in the arable layer of soil in different types of crop rotations

Номер, вид севооборота / Number, type of crop rotation	Соотношение культур (в %) в севообороте (зерновые: пропашные : мн. травы) / Ratio of crops (in %) in crop rotation (grains : row crops : many grasses)	Внесение органических удобрений, т / Application of organic fertilizers, t		Исходное содержание гумуса, % / Initial humus content, %	Изменения в содержании гумуса за ротацию, % / Changes in humus content per rotation (± to original), %
		на 1 га севооборотной площади / per 1 hectare of crop rotation area	Масса растительных остатков, т / Mass of plant residues, t		
1. Семипольный зернотравяной с чистым паром / Seven-field grain-grass with bare fallow	57,2 : 14,3 : 28,6	6,0	4,82	2,23	-0,15
2. Семипольный зернотравяной с занятым паром / Seven-field grain-grass with seed fallow	71,4 : 0 : 28,6	6,0	5,28	2,37	0,05
3. Семипольный зернотравяной с сидеральным паром / Seven-field grain-grass with green manure fallow	57,2 : 0 : 42,8	6,0	5,84	1,90	0,41
4. Пятипольный зернотравяной / Five-field grain-grass	60,0 : 0 : 40,0	8,0	5,79	3,70	0,25
5. Восьмипольный зернотравяной / Eight-field grain-grass	75,0 : 0 : 25,0	12,5	5,14	1,81	0,40
6. Семипольный зернотравяной пропашной с картофелем по пласту трав / Seven-field grain-grass with potatoes along a layer of grasses	57,2 : 14,3 : 28,6	6,0	4,96	2,34	-0,10
7. Восьмипольный зернотравяно-пропашной / Eight-field grain-grass-row	62,5 : 12,5 : 25,0	7,5	4,56	2,85	0,05
8. Пятипольный зернотравяно-пропашной / Five-field grain-grass-row	60,0 : 20,0 : 20,0	12,0	4,37	2,77	0,07
9. Четырехпольный зерновой / Four-field grain	100 : 0 : 0	15,0/1,3*	3,99	2,33	0,08
10. Четырехпольный зернопропашной / Four-field grain-row	50,0 : 50,0 : 0	15,0/1,8*	3,01	2,64	-0,07

Примечания: * в числителе – торфяноазотный компост, в знаменателе – солома; приведены данные за две ротации. Исследования в севооборотах 1, 2, 3, 5, 6 проведены в 1979–1987 гг., в севообороте 4 – в 1978–1984 гг., в севооборотах 7, 8, 9, 10 – в 1984–1994 гг.
Notes: * in the numerator – peat manure compost, in the denominator – straw; data for two rotations are given. Research in crop rotations 1, 2, 3, 5, 6 was carried out in 1979–1987, in crop rotation 4 – in 1978–1984, in crop rotations 7, 8, 9, 10 – in 1984–1994.

Сопутствующие исследования, анализы и наблюдения в полевых опытах проводили по общепринятым в растениеводческой науке методикам опытного дела². Содержание гумуса в почве определяли по методу И. В. Тюрина, групповой и фракционный состав гумуса – методом В. В. Пономаревой, Т. А. Плотниковой³. Почвенные образцы отбирали после уборки урожая на всех полях севооборота в четырехкратной повторности. Подготовка почвенных проб для анализа заключалась в удалении из почвы корешков и различных остатков растительного и животного происхождения, в растирании и просеивании образцов почвы, в тщательном очищении их от мелких корешков и детрита. Количество растительных остатков определяли методом Н. З. Станкова⁴. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа с помощью надстроек в Microsoft Office Excel 2019. При статистическом анализе использовали данные по содержанию гумуса, полученные в начале и конце проведения опыта, отражающие изменения гумуса за период исследований. Перед закладкой опыта различия в содержании гумуса между вариантами были незначительными.

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования показали, что на динамику содержания гумуса в пахотном слое почвы влияние оказывает целый комплекс факторов природного и антропогенного характера.

Растительные остатки являются одним из основных поставщиков органического вещества в почву. По количеству оставляемых растительных остатков и их качеству основные полевые культуры Нечерноземной зоны, в силу их биологических и технологических различий, разделяются на три принципиально отличающиеся группы: многолетние травы; зерновые; пропашные культуры; лен. Различие между культурами этих групп весьма значительное. По сравнению с ячменем, картофель оставляет растительных остатков в два раза меньше, а многолетние травы 2 г. п. – в 2,3 раза больше. По нашим исследованиям, в отдельных опытах после уборки урожая, при выращивании культур по базовой технологии, ячмень составлял от 3,25 до 4,87 т/га воздушно-сухой массы растительных остатков (РО) (наибольшее количество РО после ячменя оставалось при подсеиве

под него клевера), овес – от 3,10 до 4,18 т/га, озимая рожь – от 4,02 до 5,62 т/га, картофель – от 1,60 до 2,33 т/га, клевер – от 4,58 до 9,46 т/га, многолетние травы 2 г. п. – от 7,82 до 10,3 т/га, гречиха – 1,71 т/га, люпин зернового направления (сорт Ладный) – 3,52 т/га, перко (семейство рапсовых) – 4,40 т/га [12].

Масса растительных остатков находится в тесной взаимосвязи с уровнем урожайности культур. У овса при росте урожайности зерна с 2,30 до 3,73 т/га количество РО увеличивалось с 2,44 до 3,88 т/га воздушно-сухой массы, у ячменя в зависимости от уровня урожайности зерна количество растительных остатков изменялось от 3,15 до 4,57 т/га, у ржи – от 3,84 до 5,03 т/га, однолетних трав – от 2,70 до 4,19 т/га.

Большое влияние на развитие и характер распределения корневой системы оказывают погодные условия и режим увлажнения почвы. В засушливые годы растения формируют значительно более мощную и более глубоко расположенную корневую систему, чем во влажные.

Растительные остатки полевых культур существенно различаются по химическому составу, соотношению в них азота и углерода, скорости биохимических превращений органических остатков, коэффициентам гумификации и т. д. Среднее содержание азота в РО зерновых культур составило 0,73–0,99 %, клевера – до 1,81 %, картофеля – 1,80 %. При этом соотношение азота и углерода у зерновых культур находилось в пределах от 1:32,6 до 1:45,7, клевера, картофеля и горохоовсяной смеси – от 1:16,4 до 1:19,7. По массе поступающего в почву с растительными остатками азота выделялись многолетние травы. После клевера, в среднем по шести опытам, в почву с растительными остатками поступило 138,6 кг азота, или в 2,7–5,0 раз больше, чем после зерновых культур. Значительные различия между растительными остатками культур отмечены также по содержанию в них фосфора и калия [12, 18].

Возделываемые культуры оказывали неодинаковое влияние на скорость минерализации имеющихся запасов гумуса и в целом на расходную часть баланса органического вещества почвы. Здесь основное значение имеет физическое состояние пахотного слоя почвы в течение технологического цикла выращивания культур, зависящее в основном от приемов их

²Проведение научных исследований на мелиорированных землях избыточно увлажненной части СССР: методические указания. М., 1984. 162 с.

³Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование: методы и результаты изучения. Л.: Наука, 1980. 221 с.

⁴Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 280 с.

возделывания и способов обработки почвы. Наиболее интенсивно минерализация органического вещества почвы протекает под пропашными культурами, медленнее – под зерновыми и другими культурами сплошного сева, а наиболее медленно – под многолетними травами, когда почва не подвергается физическому воздействию в течение двух-трех лет и более.

Влияние в целом севооборота на плодородие и содержание в почве гумуса определяется, прежде всего, видом севооборота, составом и структурой выращиваемых культур, агротехникой их возделывания. На первом месте по количеству растительных остатков, поступающих в пахотный слой почвы, находятся севообороты с многолетними травами: зернотравяные оставляли 4,82–5,84 т сухой массы на 1 га севооборотной площади; плодосменные – 4,37–4,96 т. В зернопропашных и зерновом севооборотах растительных остатков накапливалось в 1,5–1,9 раза меньше: в зерновом – 3,99 т, зернопропашном – 3,01 т на 1 га севооборотной площади (табл. 1).

В севооборотах с многолетними травами (клеверо-тимофеечная смесь) на количество растительных остатков, поступающих в почву, влияние могут оказывать их покровные культуры. От выбора покровной культуры зависит полевая всхожесть семян трав, прежде всего клевера, сохранность и развитие растений, их продуктивность и, как следствие, биомасса растительных остатков [12, 19].

В севооборотах, имеющих в своем составе паровое звено, важное значение для накопления растительных остатков имеет выбор парозанимающей культуры. Использование в качестве парозанимающей культуры клевера позволяет, по сравнению с однолетними травами, увеличить поступление в почву растительных остатков, накопление азота и сократить количество обработок. Увеличение количества поступающей в почву органической массы в этом звене севооборота может быть достигнуто за счет выращивания в паровом поле сидеральных и промежуточных культур [20].

Возделывание поукосных и пожнивных промежуточных культур (горчица белая и редька масличная) увеличивало, по сравнению с одной основной культурой, поступление органического вещества на 23,6–48,2 %. Дополнительное поступление растительных остатков в почву способствовало накоплению гумуса и

увеличению биологической активности почвы. При поукосном возделывании горчицы белой и редьки масличной с их растительными остатками в почве оставалось 30,0–40,1 кг азота, 3,5–4,6 кг фосфора и 8,5–9,2 кг калия.

Виды севооборотов существенно различались по скорости минерализации органического вещества почвы – почти в два раза. В среднем по опытам в зернотравяном севообороте ежегодный объем минерализации составил 940 кг/га, или 1,26 % валового запаса, в зернопропашном с 50 % пропашных культур в структуре посевов – 1900 кг/га и 2,56 % соответственно. Скорость минерализации органического вещества в севообороте во многом определяется интенсивностью обработки почвы. В восьмипольном зернотравяном севообороте, по сравнению с восьмипольным зернотравянопропашным, количество механических обработок (вспашка, культивация) сокращается на 25 %, а в зернопропашном, наоборот, возрастает в два раза. В четырехпольном зернопропашном севообороте почва за две ротации подвергалась механическому воздействию 48 раз, а в восьмипольном зернотравянопропашном с двумя полями многолетних трав – 24 раза, что в два раза меньше. Данные длительных исследований по динамике содержания гумуса в пахотном слое разных видов полевых севооборотов на осушаемых минеральных почвах приведены в таблице 1.

Негативная динамика гумуса усиливается при введении в севооборот пропашных культур и чистого пара, при размещении по пласту многолетних трав картофеля и освоении севооборотов без трав. В таких севооборотах, чаще всего, наблюдается отрицательная динамика гумуса, возрастает потребность в ресурсах для поддержания его бездефицитного баланса. Введение в севооборот пропашной культуры усиливает процесс минерализации гумуса и оказывает дестабилизирующее воздействие на почву, включение многолетних трав в структуру севооборота, наоборот, значительно повышает ресурсовоспроизводящие возможности полевых севооборотов в отношении органического вещества почвы. Поэтому наиболее напряженный баланс гумуса складывается в пропашных и зернопропашных севооборотах, наименее – в зернотравяных; плодосменные и зерновые севообороты занимают промежуточное положение. В опыте с разными системами

воспроизводства почвенного плодородия установлено, что в зернотравянопропашном (плодосменном) севообороте (№7) за счет растительных остатков возделываемых культур восстанавливалось 56,6–76,5 % объема минерализованного гумуса, в зерновом – 51,8, зернопропашном – 26,4 %. В отдельных зернотравяных севооборотах складывались благоприятные условия для полного восстановления гумуса (88–112 %) за счет растительных остатков. Без внесения органических удобрений бездефицитный баланс гумуса получили в пятипольном зернотравяном севообороте, в структуре которого многолетние травы составляли 40 % с урожайностью 4,0–5,0 т сена с 1 га. Выявленные различия в динамике гумуса указывают на необходимость дифференцированного подхода к решению проблемы воспроизводства органического вещества почвы с учетом вида севооборота и уровня продуктивности растений. В плодосменных севооборотах, при сложившемся в опытах уровне урожайности культур, для сохранения запасов гумуса достаточно вносить на 1 га севооборотной площади 5,0–8,5 т качественных органических удобрений, в зернотравяных – не более 3,0 т/га, зерновом – 11,2 т/га, зернопропашном с 50 % пропашных – 23,4 т/га.

Виды севооборотов различаются по своему влиянию на качественный состав гумуса (фракционный состав, соотношение гуминовых и фульвокислот). Исследования проводили в плодосменном (зернотравянопропашном) (№7), зерновом (№9) и зернопропашном севооборотах (№10). В плодосменном севообороте баланс гумуса был положительным, в зерновом – нейтральным, зернопропашном – отрицательным. Изменения фракционного состава гумуса в пахотном слое почвы под влиянием этих видов севооборотов были во времени однонаправленными – за восьмилетний период в составе гумуса увеличился негидролизующий остаток, уменьшилось количество гуминовых и фульвокислот. В плодосменном севообороте негидролизующий остаток увеличился на 9,7 % (с 27,4 до 37,1 %), в зерновом – на 13,1 % (с 21,4 до 34,5 %), в зернопропашном – на 12,6 % (с 20,4 до 33,0 %). Количество фульвокислот соответственно севооборотам уменьшилось на 8,4, 7,5 и 11,0 %, гуминовых кислот – на 1,3, 4,6 и 1,6 %. Соотношение гуминовых и фульвокислот в плодосменном севообороте увеличилось с 0,63 до 0,74, в зернопропашном – с 0,62 до 0,75,

в зерновом осталось без изменений – 0,63. Наиболее существенные качественные изменения в составе гумуса произошли в плодосменном севообороте – при положительном изменении в соотношении гумусовых кислот, в их составе уменьшилось относительное содержание агрессивных и связанных фульвокислот. В зернопропашном севообороте перераспределение в составе гумуса произошло с участием не только всех групп фульвокислот, но и гуминовых кислот (связанных и прочно связанных), что указывает на разрушающее воздействие зернопропашного севооборота на гумусное состояние почвы. Освоение плодосменных севооборотов с многолетними травами следует рассматривать не только как способ сохранения запасов гумуса в осушаемой почве, но и как прием улучшения его качественного состава [12, 18].

Из технологических факторов, создающих условия для формирования в севооборотах бездефицитного, и тем более положительного, баланса гумуса, большое значение имеют удобрения [4, 7]. При их применении увеличивается поступление в почву органических веществ как за счет внесения в отдельных полях севооборота органических удобрений, так и за счет накопления большей массы растительных остатков. В вариантах с удобрениями поступление в почву растительных остатков увеличивалось в два и более раза, что оказывало существенное влияние на баланс органического вещества в пахотном слое почвы, создавало условия для его сохранения и расширенного воспроизводства.

Наши исследования в опыте с тремя технологическими уровнями (фонами) возделывания культур (при принятой системе внесения органических и минеральных удобрений) показали, что ежегодные потери гумуса, по сравнению с неудобренным фоном, уменьшались многократно. Без удобрений ежегодная убыль гумуса на осушаемом фоне, при его исходном содержании 2,20 %, составила 1370 кг/га, или 2,22 % от исходной массы, на неосушаемом фоне, при исходном содержании 2,44 % – 1540 кг/га и 2,25 % соответственно (табл. 2).

На осушаемом участке на фоне удобрений ежегодные потери гумуса снизились до 120 и 200 кг/га (0,21 и 0,34 % от валового запаса) соответственно вариантам – в 11,4 и 6,8 раза меньше, чем в варианте без удобрений. На неосушаемом участке при применении удобрений ежегодные потери гумуса также уменьшились, но менее

значительно – в 2,1 и 2,6 раза, по массе они оставались достаточно большими – 730 и 600 кг/га севооборотной площади. Влияние удобрений на баланс гумуса в условиях повышенного увлажнения, по сравнению с осушаемым фоном,

снижалось в 6,1 и 3,0 раза. Как видно из данных, полученных в этом опыте, в динамику гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой глееватой почвы, определенные изменения вносит система дренажа.

Таблица 2 – Влияние удобрений на динамику содержания гумуса в плодосменном севообороте (пахотный слой) (2011–2022 гг.) /

Table 2 – The effect of fertilizers on the dynamics of humus content in grain-grass-row crop rotation (arable layer) (2011–2022)

Вариант удобрений / Variant of fertilizer	Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменение в содержании гумуса (± за 10 лет), % / Change in humus content (± over 10 years), %	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	Ежегодные потери гумуса / Annual humus loss	
	перед закладкой опыта в 2011 г. / before laying down the experiment in 2011	в 2021-2022 гг. / in 2021-2022			кг/га / kg/ha	% от начальной массы / % of initial weight
Почва – осушаемая дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая / Soil – drained soddy podzolic light loamy gleyic						
Без удобрений / No fertilizers	2,20	1,71	-0,49	0,17	1370	2,22
Средние нормы / Average norms	2,00	1,98	-0,02	Различия незначимы / The differences are insignificant	120	0,21
Высокие нормы / High standards	2,07	2,00	-0,07		200	0,34
Почва – неосушаемая дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая / Soil – undrained soddy-podzolic light loamy gleyic						
Без удобрений / No fertilizers	2,44	1,89	-0,55	0,45	1540	2,25
Средние нормы / Average norms	2,36	2,10	-0,26	0,21	730	1,10
Высокие нормы / High standards	2,27	2,05	-0,22	Различия незначимы / The differences are insignificant	600	0,94

Примечания: Результаты дисперсионного анализа динамики гумуса по схеме двухфакторного опыта: осушаемая почва – HCP₀₅ для фактора А (варианты удобрений) – 0,12 %; для фактора В (фактор времени) – 0,10, неосушаемая почва – 0,28 и 0,16 соответственно /

Notes: Results of variance analysis of humus dynamics according to a two-factor experiment: in the variant with drained soil – LSD₀₅ for factor A (fertilizer variants) – 0.12 %; for factor B (time factor) – 0.10, with non-drained soils – 0.28 and 0.16, respectively

Наблюдения за содержанием гумуса в осушаемой и неосушаемой почвах были проведены в двух опытах – в пахотном слое плодосменного севооборота (табл. 3). Первый опыт охватывает первые 10 лет использования объекта мелиорации «Губино», второй – последние 10 лет 40-летнего периода использования почвы в осушаемом режиме. В первом опыте для сохранения в почве запасов гумуса на 1 га

севооборотной площади вносили 12,0 т торфо-навозного компоста, во втором – 3,0 т компоста многоцелевого назначения и запахивали солому озимых культур. На осушаемом участке за 10 лет значимых изменений в содержании гумуса не отмечено, в этих же технологических условиях на неосушаемой почве содержание гумуса снизилось на 0,18 и 0,22 абс. %. Потери гумуса в осушаемой почве, по сравнению с неосушаемой, были существенно меньше.

Таблица 3 – Влияние осушения на динамику содержания гумуса в плодосменном севообороте (пахотный слой, на фоне удобрений) /

Table 3 – The effect of drainage on the dynamics of humus content in grain-grass-row crop rotation (arable layer, against the background of fertilizers)

Почва / Soil	Номер опыта / Experiment number	Содержание гумуса, % / Humus content, %		Изменения в содержании гумуса (\pm за 10 лет), % / Change in humus content (\pm over 10 years), %	HCP ₀₅ / LSD ₀₅
		начало опыта / start of experiment	окончание опыта / end of experiment		
Неосушаемая дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая / Undrained soddy-podzolic light loamy gleyic	1	2,11	1,93	-0,18	0,19
	2	2,27	2,05	-0,22	0,21
	Среднее / Average	2,19	1,99	-0,20	0,15
Осушаемая дерново-подзолистая легкосуглинистая глееватая / Drainable soddy-podzolic light loamy gleyic	1	2,77	2,84	0,07	Различия незначимы / The differences are insignificant
	2	2,07	2,00	-0,07	
	Среднее / Average	2,42	2,42	0,00	

Примечания: Опыт 1 – начало в 1983–1985 гг., окончание в 1994–1995 гг.; опыт 2 – начало в 2011 г., окончание в 2021–2022 гг. /

Notes: Experiment 1 – the beginning of the experiment is in 1983–1985, the end is in 1994–1995; experiment 2 – the beginning of the experiment is in 2011, the end is in 2021–2022

Положительное влияние осушения на динамику гумуса связано, видимо, с тем, что осушение коренным образом изменяет водно-воздушный режим почвы и условия гумификации органического вещества в пахотном слое. Дренаж существенно уменьшает продолжительность периода нахождения почвы в состоянии избыточного увлажнения с активным участием анаэробного процесса в разложении органического вещества. Наиболее благоприятным для накопления гумуса является сочетание в почве оптимального гидротермического и водно-воздушного режимов при периодически повторяющемся некотором иссушении почвы⁵. В этих условиях происходит активное разложение органических остатков, достаточно энергичная гумификация и закрепление образующихся гумусовых веществ минеральной частью почвы. При постоянном или временном избыточном увлажнении почвы в составе гумуса образуется относительно большое количество фульвокислот, которые создают с кальцием, магнием, калием и другими основаниями растворимые соли, мигрирующие по профилю почвы с водой⁶. Важной качественной характеристикой почвы, позволяющей судить об условиях гумификации и свойствах почвы, является отношение гуминовых и фульвокислот в составе гумуса. Под влиянием осушения это отношение в рассмат-

риваемом опыте существенно увеличилось – с 0,61 до 0,88.

Как показали наши исследования, в осушаемой почве активное влияние на скорость и направленность биохимических превращений растительных остатков могут оказывать гидротермические условия первой половины вегетации. Так, в зерновом севообороте №9 (1985–1993 гг.) в годы с прохладной и дождливой погодой в мае-июне содержание гумуса в пахотном слое в конце вегетационного периода снижалось, в годы с засушливыми условиями – как правило, повышалось (рис. 1). Аналогичные результаты были получены в плодосменном севообороте (2014–2022 гг.) (рис. 2). Коэффициенты корреляции содержания гумуса с гидротермическими условиями мая и июня составили $r = -0,84$ и $r = -0,95$ соответственно севооборотам.

Связано это, видимо с тем, что процесс закрепления гуминовых кислот, накопившихся в почве в осенне-весенний периоды, при наступлении в первой половине вегетации определенной засушливости почвенной среды протекает более активно, чем при высокой влажности почвы в этот период. При этом, уровень минерализации и интенсивность биологических процессов разрушения гуминовых веществ в условиях дефицита влаги замедляются⁷.

⁵Почвоведение. Под ред. И. С. Кауричева. Изд.2-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1975. 496 с.

⁶Там же.

⁷Там же.

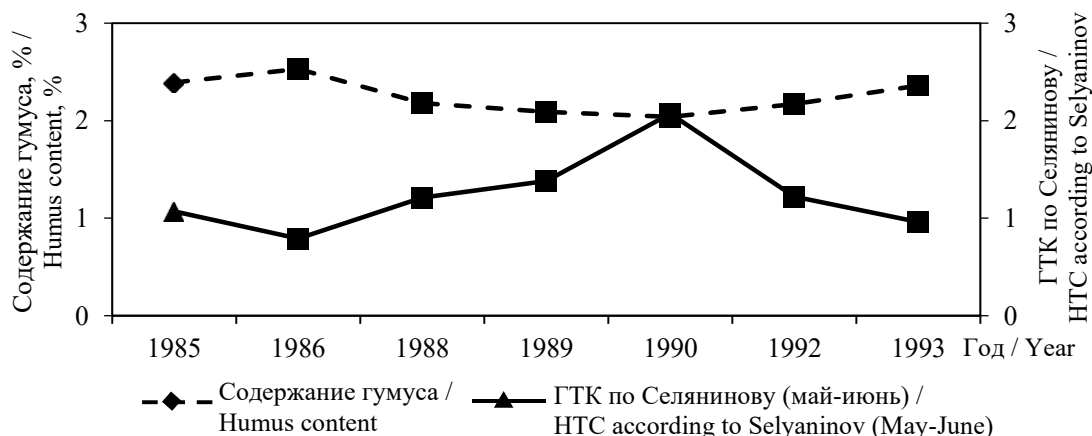


Рис. 1. Динамика содержания гумуса в почве зернового севооборота в зависимости от гидротермических условий вегетации /

Fig. 1. Dynamics of humus content in the soil of grain crop rotation in dependence to hydrothermal conditions of vegetation

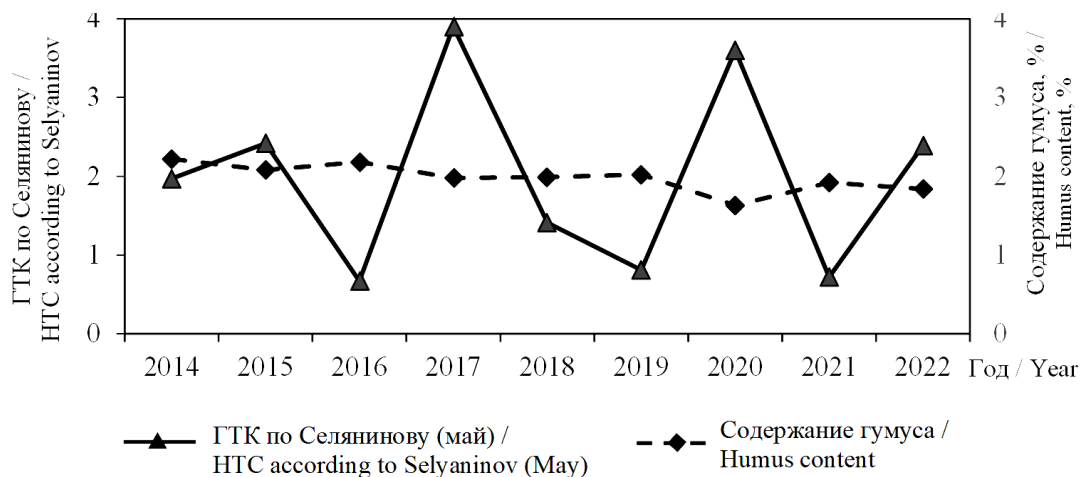


Рис. 2. Динамика содержания гумуса в почве плодосменного севооборота в зависимости от гидротермических условий вегетации /

Fig. 2. Dynamics of humus content in the soil of grain-grass-row crop rotation in dependence to hydrothermal conditions of vegetation

В условиях повышенного увлажнения почвы, наоборот, процессы минерализации органического вещества активизируются, усиливается вымывание водорастворимых форм гуминовых кислот в нижележащие горизонты. Подтверждением этому служат наблюдения за целлюлозоразрушающей активностью почвы – на переувлажненном участке она в пахотном слое в 1,8 раза выше, чем на осушаемом [21].

Это явление необходимо учитывать при анализе динамики гумуса в севооборотах и разработке способов более эффективной гумификации растительных остатков.

На осушаемых землях при оценке динамики гумуса в севооборотах, прежде всего на начальном этапе их освоения, важно учитывать разнообразие агроэкологических видов земель, состояние водного режима почв до и после про-

ведения осушения. При смене режима использования переувлажняемых дерново-подзолистых почв, преимущественно глеевых, изменения в содержании гумуса, в зависимости от его исходных параметров, могут быть значительными и труднорегулируемыми. Перевод переувлажняемых территорий с глеевыми почвами после осушения в пахотный режим их использования с активизацией механических обработок приводит к наиболее глубоким, по сравнению с другими почвами, нарушениям сложившегося в них природного равновесия в процессах накопления и минерализации органического вещества. При использовании дерново-подзолистой глеевой почвы в плодосменном севообороте в первые 11 лет после осушения содержание гумуса в пахотном слое снизилось с 4,50 до 3,64 % (табл. 4), ежегодная убыль составила 2190 кг/га.

Таблица 4 – Динамика содержания гумуса в пахотном слое почв разных агроэкологических видов, %
 Table 4 – Dynamics of humus content in the arable layer of soils of different agroecological types, %

Период определения / The period of determination	Дерново-подзолистая почва / Soddy-podzolic soil				
	авто- морфная / automorphic	осушаемая / drained			неосушаемая глеватая / undrained gleyic
		слабооглеенная / weakly gleyed	глеватая / gleyic	глеевая / gleyed	
Начало опыта (1983–1985 гг.) / Beginning of experiment (1983–1985)	1,53	2,28	2,77	4,50	2,11
Окончание опыта (1993–1994 гг.) / End of experiment (1993–1994)	1,62	2,40	2,84	3,64	1,93
Изменения / Changes	0,09	0,12	0,07	-0,86	-0,18

В слабооглеенной и глееватой дерново-подзолистых почвах содержание гумуса (в этих же условиях) повысилось на 0,07–0,12 абс. %, масса гумуса в пахотном слое ежегодно увеличивалась на 200–300 кг в пересчете на 1 га севооборотной площади. В результате за время проведения опыта произошло определенное выравнивание почвенного покрова опытного участка по содержанию гумуса в пахотном слое – разница в содержании гумуса между крайними вариантами осушаемых почв за время проведения опыта снизилась с 2,22 до 1,24 %. Проблема гумусового режима почв на объектах мелиорации со сложной структурой почвенного покрова должна решаться с учетом каждого агроэкологического вида земель, что становится возможным при организации земледелия на осушаемых почвах с использованием агроэкологически и технологически сбалансированных видов севооборотов и экономически обоснованных систем воспроизводства в этих севооборотах органического вещества почвы.

Заключение. Исследования показали, что виды севооборотов по массе органического вещества, поступающего в почву с растительными остатками культур, и скорости минерализации гумуса различаются почти в два раза и размещаются в следующем порядке убывания: зернотравяные, плодосменные, зерновые, зернопропашные. За счет растительных остатков в плодосменном севообороте восстанавливалось 56,6–76,5 % объема минерализованного гумуса, в зерновом – 51,8 %, зернопропашном – 26,4 %. Освоение севооборотов с многолетними травами является способом улучшения баланса гумуса и его качественного состава. При положительном балансе гумуса соотношение гуминовых и фульвокислот в плодосменном севообороте увеличилось с 0,63 до 0,74.

Установлено, что применение органических и минеральных удобрений существенно

изменяет баланс гумуса в пахотном слое почвы. При органоминеральной системе удобрения количество растительных остатков, поступающих в почву, увеличивалось в два и более раза, ежегодные потери гумуса (кг/га) в плодосменном севообороте на осушаемом участке снижались в 6,8–11,4 раза, на неосушаемом – в 2,1–2,6 раза. При использовании в качестве органического удобрения КМН (компост многоцелевого использования, продукт биоферментации) для сохранения запасов гумуса в плодосменном севообороте необходимо вносить на 1 га не менее 3,0 тонн этого удобрения.

Важным условием улучшения баланса гумуса в полевых севооборотах на переувлажняемых почвах является их дренирование. При сбалансированной системе удобрения осушение уменьшает убыль гумуса, делает баланс гумуса менее дефицитным и более устойчивым, повышает роль удобрений в накоплении гумуса, улучшает качественные параметры гумуса. Соотношение гуминовых и фульвокислот в составе гумуса под влиянием осушения увеличилось с 0,61 до 0,88. Выявлено влияние на динамику гумуса гидротермических условий. Наиболее благоприятные условия для накопления гумуса создаются в годы с засушливой первой половиной вегетационного периода – в эти годы в пахотном слое севооборота наблюдается повышение содержания гумуса, в избыточно влажные, наоборот, – понижение. Коэффициенты корреляции содержания гумуса с гидротермическими условиями мая-июня составили -0,84 и -0,95. На осушаемых землях со сложной структурой почвенного покрова при формировании бездефицитного баланса гумуса в севооборотах важно учитывать разнообразие агроэкологических видов земель, их почвенно-гидрологическую пестроту, уровень гумусированности, состояние водного режима почв до и после проведения осушения.

Список литературы

1. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(9):1137–1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068> EDN: FHEBPH
2. Кирюшин В. И. Научно-инновационное обеспечение приоритетов развития сельского хозяйства. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(3):5–10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10301> EDN: HZAGFN
3. Vasbieva M. T., Zavyalova N. E., Shishkov D. G. Changes in the agrochemical properties of albic retisol (abruptic, aric, loamic) during a long-term use of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers under Cis-Ural. *Eurasian Soil Science*. 2022;55(11):1623–1632. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322110138> EDN: QDIQIC
4. Завьялова Н. Е., Фомин Д. С., Тетерлев И. С. Фракционно-групповой состав гумуса дерново-подзолистей почвы при различном земледелии. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;4(65):82–86. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.82-86> EDN: UWAIZE
5. Новоселов С. И., Кузьминых А. Н., Еремеев Р. В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота. *Плодородие*. 2019;(6(111)):22–25. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.06> EDN: TOCOSL
6. Semenov V. M., Zinyakova N. B., Lebedeva T. N., Tulina A. S., Kogut B. M., Masyutenko N. P., Malyukova L. S. Biologically active organic matter in soils of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(4):434–447. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040117> EDN: XXMDTN
7. Дьяченко Е. Н., Разина А. А., Шевелев А. Т., Дятлова О. Г. Технология комплексного применения удобрений, химических и биологических мелиорантов, средств защиты растений в плодосменном севообороте. *Земледелие*. 2018;(3):28–31. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-201810306> EDN: YWZHUD
8. Овчинникова М. Ф. Свойства и продуктивность дерново-подзолистых почв при длительном осушении в разных агроусловиях. *Плодородие*. 2019;(5(110)):34–37. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.110.10> EDN: VEWQHD
9. Hirte J., Walder F., Hess J., Büchi L., Colombi T., van der Heijden M. G., Mayer J. Enhanced root carbon allocation through organic farming is restricted to topsoils. *Science of the Total Environment*. 2021;755(2):143551. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143551>
10. Ахметзянов М. Р., Таланов И. П. Влияние приемов основной обработки почвы и растительной биомассы на продуктивность культур в звене севооборота. *Плодородие*. 2019;(5(110)):41–45 DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.110.12> EDN: WGYZER
11. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Совершенствование севооборотов для сохранения плодородия почвы и увеличения их продуктивности в условиях биологической интенсификации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(5):467–477. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477> EDN: JRQJQM
12. Митрофанов Ю. И. Адаптивные севообороты и технологии на осушаемых землях Нечерноземной зоны. Тверь: АгросферА, 2009. 210 с.
13. Шрамко Н. В., Вихорева Г. В. Роль биологизированных севооборотов в изменении содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах Верхневолжья. *Земледелие*. 2016;(1):14–15.
14. Карабутов А. П., Соловченко В. Д., Никитин В. В., Навольнева Е. В. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов. *Земледелие*. 2019;(2):3–8. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201> EDN: YXVHJJ
15. Байбеков Р. Ф., Хайдуков К. П., Коваленко А. А., Забугина Т. М. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте. *Земледелие*. 2020;(1):8–11. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102> EDN: QNPYKG
16. Эседуллаев С. Т., Касаткин С. А. Использование сидеральных культур и их смесей при выращивании картофеля в Верхневолжье. *Земледелие*. 2021;(6):16–20. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-6-16-20> EDN: ZLWDRG
17. Debska B. Content and changes in dissolved organic matter in meadow and arable soils over time. *Polish Journal of Soil Science*. 2019;52(2):183. DOI: <https://doi.org/10.17951/pjss.2019.52.2.183>
18. Митрофанов Ю. И. Совершенствование севооборотов на осушаемых землях. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2021;(5(383)):106–110. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-106-110> EDN: QMZZBV
19. Митрофанов Ю. И. Особенности земледелия на осушаемых почвах. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2022;(4(388)):423–428. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_4_423 EDN: BOGJJQ
20. Митрофанов Ю. И. Мелиоративно-паровое звено в севооборотах на осушаемых землях Нечерноземной зоны. *Мелиорация и водное хозяйство*. 2018;(1):10–13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32529971> EDN: YQRJIO
21. Петрова Л. И., Митрофанов Ю. И., Первушина Н. К. Влияние осушения и технологий возделывания на урожай яровой пшеницы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018;64(3):70–74. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74> EDN: USMKLX

References

1. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(9):1137–1145. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229319070068>
2. Kiryushin V. I. Scientific and innovative support of priorities of agricultural development. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(3):5–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10301>
3. Vasbieva M. T., Zavyalova N. E., Shishkov D. G. Changes in the agrochemical properties of albic retisol (abruptic, aric, loamic) during a long-term use of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers under Cis-Ural. *Eurasian Soil Science*. 2022;55(11):1623–1632. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229322110138>
4. Zavyalova N. E., Fomin D. S., Teterlev I. S. Fractional and group humus composition of the sod-podzolic soils under different land use. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):82–86. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.82-86>

5. Novoselov S. I., Kuz'minykh A. N., Ereemeev R. V. The influence of fallow types and methods of primary tillage on soil fertility and productivity crop rotation. *Plodorodie*. 2019;(6(111)):22–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.111.06>
6. Semenov V. M., Zinyakova N. B., Lebedeva T. N., Tulina A. S., Kogut B. M., Masyutenko N. P., Malyukova L. S. Biologically active organic matter in soils of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2018;51(4):434–447. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229318040117>
7. Djachenko E. N., Razina A. A., Shevelev A. T., Dyatlova O. G. Technology of complex application of fertilizers, chemical and biological ameliorants, plant protection means in a crop rotation. *Zemledelie*. 2018;(3):28–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-201810306>
8. Ovchinnikova M. F. Properties and productivity of soddy-podzolic soils under the impact of long-term drainage in different agrogenic conditions. *Plodorodie*. 2019;(5(110)):34–37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.110.10>
9. Hirte J., Walder F., Hess J., Büchi L., Colombi T., van der Heijden M. G., Mayer J. Enhanced root carbon allocation through organic farming is restricted to topsoils. *Science of the Total Environment*. 2021;755(2):143551. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143551>
10. Akhmetzyanov M. R., Talanov I. P. Influence of principles of basic tilling of soil and vegetable biomass on productivity of crops in the part of crop rotation. *Plodorodie*. 2019;(5(110)):41–45 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.110.12>
11. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Improvement of crop rotations aimed at increasing their efficiency and conserving soil fertility in conditions of biological intensification. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(5):467–477. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.5.467-477>
12. Mitrofanov Yu. I. Adaptive crop rotations and technologies on drained lands of the Non-Chernozem zone. *Tver' Agrosfera*, 2009. 210 p.
13. Shramko N. V., Vikhoreva G. V. Role of biologized crop rotations in humus content change in sod-podzol soils of the upper volga region. *Zemledelie*. 2016;(1):14–15. (In Russ.).
14. Karabutov A. P., Solovichenko V. D., Nikitin V. V., Navol'neva E. V. Reproduction of soil fertility, productivity and energy efficiency of crop rotations. *Zemledelie*. 2019;(2):3–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>
15. Baybekov R. F., Khaydukov K. P., Kovalenko A. A., Zabugina T. M. Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment. *Zemledelie*. 2020;(1):8–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102>
16. Eshedullaev S. T., Kasatkin S. A. The use of green manure crop and their mixtures in potato cultivation in the upper Volga region. *Zemledelie*. 2021;(6):16–20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2021-6-16-20>
17. Debska B. Content and changes in dissolved organic matter in meadow and arable soils over time. *Polish Journal of Soil Science*. 2019;52(2):183. DOI: <https://doi.org/10.17951/pjss.2019.52.2.183>
18. Mitrofanov Yu. I. Improvement of crop rotations on drained lands. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(5(383)):106–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-5-106-110>
19. Mitrofanov Yu. I. Features of agriculture on drained soils. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2022;(4(388)): 423–428. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_4_423
20. Mitrofanov Yu. I. Meliorative-fallow link of crop rotation on drained lands Non-Chernozem zone. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2018;(1):10-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32529971>
21. Petrova L. I., Mitrofanov Yu. I., Pervushina N. K. Effect of drainage and application of mineral fertilizers on the yield of spring wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;64(3):70–74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.70-74>

Сведения об авторах

✉ **Митрофанов Юрий Иванович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0994-6743>

Первушина Наталья Константиновна, научный сотрудник отдела мелиоративного земледелия, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-4405>

Information about the authors

✉ **Yuriy I. Mitrofanov**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0994-6743>

Natalya K. Pervushina, researcher, the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0618-4405>

✉ – Для контактов / Corresponding author