Научная статья
УДК 631.452
doi: 10.55186/25876740_2022_65_3_308

ВЛИЯНИЕ ДВУХ ВИДОВ КОМПОСТОВ НА БАЛАНС ГУМУСА В РАЗНОВИДНОСТЯХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Г.Ю. Рабинович, И.А. Трешкин
Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

Аннотация. Статья посвящена рассмотрению вопросов о состоянии плодородия двух разновидностей дерново-подзолистой почвы Нечерноземной зоны под влиянием удобрений, в том числе компоста многоцелевого назначения (КМН) и торфонавозного компоста (ТНК). Эксперимент был проведен на агрополигоне ВНИИМЗ (Тверской регион) в 2018-2020 гг. на супесчаной с содержанием гумуса 1,60 % и на легкосуглинистой с содержанием гумуса 1,42 % дерново-подзолистой почве. По нашим данным с 1 тонной КМН в почву поступило в 3 раза больше азота и фосфора и в 2 раза больше калия по сравнению с 1 тонной ТНК. Установлено, что КМН в первые 2 года после внесения в почву минерализовался интенсивнее, чем ТНК. Это обусловлено присутствием в КМН большого количества переработанных микрофлорой питательных веществ, которые активно расходуются из-за их высокой доступности. В то же время вещества, поступающие в почву из ТНК, пополняют почвенное органическое вещество, расходуясь менее интенсивно. По итогам трех лет минерализация КМН и ТНК составила порядка 37...41 %. КМН и ТНК в дозе 15 т/га в первый год действия удобрений обеспечили поддержание содержания гумуса в почве на уровне 1,60...1,67 %, а в год последействия — 1,54...1,65 %. Данное обстоятельство способствовало приближению исследуемых почв к категории с низким содержанием гумуса (до 2,0 %). Следует отметить, что на связной легкосуглинистой почве накопление гумуса происходило интенсивнее, что обусловлено ее способностью стабилизировать содержание органических веществ по сравнению с супесчаной. Было выявлено увеличение запасов гумуса в почвенном профиле на 1,2...2,7 т/га. При этом КМН с узким соотношением углерода к азоту (10:1) и высокой биологической активностью, способствовал ускоренному обогащению почвы гумусом.

Ключевые слова: плодородие, гумус, запасы и минерализация гумуса, компост многоцелевого назначения, торфонавозный компост, дерново-подзолистая супесчаная и легкосуглинистая почва

Original article

INFLUENCE OF TWO TYPES OF COMPOSTS ON THE BALANCE OF HUMUS IN VARIETIES OF SODDY-PODZOLIC SOIL

G.Yu. Rabinovich, I.A. Treshkin
V.V. Dokuchaev Soil Science Institute , Moscow, Russia

Abstract. The article is devoted to the consideration of the issues of the state of fertility of two varieties of soddy-podzolic soil of the Non-Chernozem zone under the influence of fertilizers, including multi-purpose compost (KMN) and peat-dung compost (TNK). The experiment was carried out at the VNIIMZ agricultural site (Tver region) in 2018-2020. on sandy loam with a humus content of 1.60 % and on light loamy with a humus content of 1.42 % soddy-podzolic soil. According to our data, 3 times more nitrogen and phosphorus and 2 times more potassium entered the soil with 1 ton of KMN compared to 1 ton of TNK. It has been established that KMN in the first 2 years after being introduced into the soil was mineralized more intensively than TNK. This is due to the presence in the KMN of a large amount of nutrients processed by the microflora, which are actively consumed due to their high availability. At the same time, substances entering the soil from TNK replenish soil organic matter, being consumed less intensively. According to the results of three years, the mineralization of KMN and TNK amounted to about 37...41 %. KMN and TNK at a dose of 15 t/ha in the first year of fertilizer action ensured the maintenance of the humus content in the soil at the level of 1.60 ... 1.67 %, and in the year of aftereffect — 1.54 ... 1.65 %. This circumstance contributed to the approach of the studied soils to the category with a low content of humus (up to 2.0 %). It should be noted that the accumulation of humus occurred more intensively on cohesive light loamy soil, which is due to its ability to stabilize the content of organic matter compared to sandy loam soil. An increase in humus reserves in the soil profile by 1.2...2.7 t/ha was revealed. At the same time, KMN with a narrow ratio of carbon to nitrogen (10:1) and high biological activity contributed to the accelerated enrichment of the soil with humus.

Keywords: fertility, humus, humus reserves and mineralization, multi-purpose compost, peat-and-dung compost, sod-podzolic sandy loamy and light loamy soil

Введение. Проблема продовольственной безопасности особо остро обозначилась в период пандемии, что оказалось характерным как для всего мира, так и для Российской Федерации. Были разрушены действующие логистические цепочки поставок продовольствия. Поэтому возрождение отечественного производства сельскохозяйственной продукции на основе рационального использования потенциала почвенного плодородия и его воспроизводства стало, как никогда, важной задачей.

Вместе с тем в период 1990-2015 гг. посевные площади сельскохозяйственных культур в России сократились на треть. Результатом стало существенное изменение облика современных агроландшафтов. В Центральном федеральном округе земли сельскохозяйственного назначения составляют 34,8 млн. га, из них пашни — 21,99 млн. га (63 %) [1,2,3]. В составе пахотных земель Нечерноземной зоны РФ в основном дерново-подзолистые почвы, характеризующиеся низким естественным плодородием из-за недостаточного содержания питательных веществ, повышенной кислотности и низкой гумусированности. К тому же ситуацию усугубляет присущий этим почвам промывной тип водного режима и большая пестрота почвенного покрова.

Отметим, что с каждым годом проблема истощения плодородия почв Нечерноземной зоны только нарастает, требуя новых подходов к формированию эффективного почвенного плодородия. Ключевым фактором почвенного плодородия является содержание гумуса, в котором заключено до 90 % почвенного азота [4,5].

Оценивать потенциальное плодородие сельскохозяйственных земель принято путем измерения содержания гумуса. Содержание гумуса в почве признается оптимальным только тогда, когда аграрии получают стабильные урожаи. Оптимальные величины гумуса в дерново-подзолистых почвах: суглинистых — 2,5…3,0 %, супесчаных — 2,0…2,5 %, песчаных — 1,8…2,0 %. На практике в Нечернозёмной зоне России среднее содержание гумуса в пахотном горизонте дерново-подзолистых песчаных почв ниже оптимальных значений и колеблется от 0,5 до 1,2 %, легкосуглинистых

© Рабинович Г.Ю., Трешкин И.А., 2022

дерново-подзолистых почв — от 1,75 до 1,86%, дерново-подзолистых среднесуглинистых почв — от 1,90 до 2,13% [2,4,6]. В осушаемых легкосуглинистых почвах оптимальное содержание гумуса может достичь величин 2,0…4,0%, а в тяжелосуглинистых — 4,0…5,0%.

Среди почв Тверской области, расположенной на северо-западе Нечерноземной зоны, преобладают дерново-подзолистые (60%) и болотно-подзолистые (22,6%) разновидности почв. Торфяно-болотные почвы занимают 10,7% почвенного покрова, аллювиальные — 2,5%, дерново-глеевые и дерново-карбонатные — менее 1%. Для области характерно преобладание малопродуктивных земель: 2/3 почв содержат менее 2% гумуса, более 80% пашни представлены кислыми почвами, 4,8% сельскохозяйственных земель заболочены и переувлажнены. Средневзвешенное содержание гумуса в целом по области соответствует группе среднеобеспеченных почв и составляет 2,1%. Согласно многолетним наблюдениям (более 45 лет) государственного центра агрохимической службы «Тверской» за динамикой плодородия почв и урожайностью сельскохозяйственных культур оптимальным содержанием гумуса для дерново-подзолистых почв Тверской области является 2,0…2,5%, которое обеспечивает возможность получать стабильные и полноценные урожаи [7,8].

Накопление гумуса в почве регулируется путем поступления органической массы при возделывании культур, оставляющих после себя растительные и корневые остатки, а также заделкой сидеральных культур и соломы и, собственно, за счет внесения повышенных доз органических удобрений [9,10]. Согласно балансовым расчетам, бездефицитный баланс гумуса в пахотных дерново-подзолистых почвах может быть достигнут при ежегодном внесении органических удобрений в пределах 8…9 т/га, тогда как фактически в Тверской области вносится менее 0,5 т/га. Использование минеральных удобрений также сокращено в 15…18 раз. При этом в настоящее время увеличение объемов внесения органических удобрений не осуществимо, так как значительно сократилось поголовье скота, повлекшее снижение в 3,6 раза нормативов внесения навоза в расчёте на 1 га пашни.

Итак, во многих регионах Российской Федерации, в том числе в Тверской области, наблюдается деградация почвенного плодородия, ставящая под угрозу продовольственную безопасность страны. В связи с этим необходимо мобилизовать и рационально использовать все имеющиеся в распоряжении аграриев ресурсы органического сырья с минимальным вредным воздействием на окружающую природную среду и качество жизни человека [4,11]. Наиболее оптимальным и эффективным, на наш взгляд, является использование различных биоудобрений или компостов. Биоудобрения обычно имеют высокий уровень агрономически полезной микрофлоры, поэтому обогащенный ею почвенный микробоценоз эффективнее воздействует на ключевые процессы, обеспечивающие почвенное плодородие — минерализацию и гумификацию, участвует в накоплении почвой элементов минерального питания и делает их наиболее доступными для вегетирующих растений [4].

Цель исследований. Цель настоящего исследования — сравнение влияния двух видов органических удобрений — торфонавозного компоста (ТНК) и компоста многоцелевого назначения (КМН), относимого к биоудобрениям, на плодородие, формируемое под их воздействием в разновидностях дерново-подзолистой почвы Тверской области и оцениваемое посредством выявления динамических изменений, происходящих с гумусом.

Материалы и методы. Исследования по изучению влияния двух видов компостов на почвенное плодородие и содержание гумуса проводились на агрополигоне ВНИИМЗ в 2018-2020 гг. на двух почвах: дерново-среднеподзолистой глееватой супесчаной и дерново-подзолистой глееватой легкосуглинистой, подстилаемых мореной. Супесчаная почва среднегумусированная (1,60%), легкосуглинистая почва уступает ей по содержанию гумуса (1,42%).

Сравниваемые компосты готовили из подстилочного навоза КРС и низинного торфа: КМН — по технологии аэробной твердофазной ферментации, разработанной во ВНИИМЗ, ТНК — по классической технологии.

При выборе доз вносимых удобрений исходили из рекомендуемой полномасштабной дозы ТНК (50 т/га). КМН отличается от традиционных компостов большей (в 3…4 раза) концентрацией питательных веществ, поэтому дозы его внесения составляли 5, 10 и 15 т/га. В целях корректного сравнения удобрений количество элементов питания, вносимых с ними в почву, рассчитывали исходя из их химического состава. В качестве варианта сравнения использовали минеральные удобрения в дозе, эквивалентной КМН по азоту. Контроль — вариант без удобрений.

Органические и минеральные удобрения вносились весной перед посевом под первую культуру звена севооборота. В последующие годы изучалось их последействие. Звено севооборота на дерново-подзолистой супесчаной почве состояло из ячменя и овса, на легкосуглинистой — из викоовсяной смеси и озимой ржи.

Определение гумуса в почвах проводилось по методу Тюрина в модификации ЦИНАО. Скорость разложения органических веществ сравниваемых компостов выявляли по убыли массы, заложенной в полипропиленовые пакеты, помещенные в почву на глубину 15-20 см. Пакеты с компостами закладывали в почвенные разности в начале вегетационного сезона 2018 г., затем их последовательно извлекали для оценки убыли массы через 2 и 4 месяца, а в 2 последующих года с той же целью — дважды за сезон.

Результаты и обсуждение. Наши исследования показали, что химический состав органических удобрений отличался существенно (табл. 1). По содержанию углерода и основных макроэлементов КМН превалировал над ТНК, подтверждая предыдущие исследования [12]. Результаты проведенного анализа свидетельствовали, что наибольшее количество углерода ($C_{орг}$) и основных элементов питания поступало в почву с КМН. При сравнении со стандартным ТНК, в почву вместе с КМН поступило практически в 3 раза больше азота и фосфора, и в 2 раза больше калия.

Известно, что важнейший процесс, протекающий в почве и направленный на преобразование вносимых удобрений с целью использования растениями и микрофлорой содержащихся в них элементов питания — минерализация, как часть общеобменных процессов, другой стороной которых является гумификация [5,13,14]. Интенсивность разложения органических удобрений исследовали на протяжении всего эксперимента. В результате было замечено, что в течение всех вегетационных периодов (1-го года действия удобрений и в годы последействия) уровень потерь биомассы обоих компостов был равнозначным. Из представленных данных видно (рис. 1), что трансформация КМН и ТНК шла довольно медленно. В этой связи сохранность КМН составила 59,9…62,8%, ТНК — 58,8…61,4%.

Однако, исходя из данных, представленных на рисунке 1, видно, что КМН на протяжении первых двух лет минерализовался интенсивнее, чем ТНК. Но к концу третьего года исследований ТНК начал разлагаться эффективнее, опережая темпы разложения КМН на 2,7% в дерново-подзолистой супесчаной почве, а в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве — на 6,1%. О том, что трансформированные микрофлорой питательные вещества КМН в начале 1-го и 2-го годов эксперимента активно расходуются из-за высокой доступности подтверждали выполненные ранее исследования ВНИИМЗ [15].

В последующем питательные вещества из КМН благодаря почвенной микрофлоре используются в реакциях биосинтеза, становясь менее доступными. В то же время вещества, поступающие с ТНК, пополняли органическую составляющую почвы, не подвергаясь быстрой минерализации. Однако долговременного сохранения в почве органических веществ ТНК не происходило — процесс минерализации в обоих почвенных разностях все-таки запускался, хотя и с объективным запозданием. В целом можно констатировать, что внесение каждого из компостов способствовало заметному увеличению содержания гумуса в дерново-подзолистых почвах, обеспечивая тем самым должный уровень эффективного плодородия.

Органическое вещество агроэкосистемы почвы в целом за счет сорбционно-буферных свойств формирует режим поведения элементов питания, поступающих с органическими или минеральными удобрениями. Эффект их пролонгации возможен при стабилизации трансформационных процессов, достичь которого очень трудно в дерново-подзолистых почвах Тверской области, поскольку им присущ промывной режим.

Почвы опытных участков в соответствии с существующей градацией относятся к категории: с низким содержанием гумуса в супесчаной почве (1,60%), и с очень низким содержанием гумуса в легкосуглинистой (1,42%).

Таблица 1. **Количество питательных веществ в исследуемых удобрениях**
Table 1. **The amount of nutrients in the studied fertilizers**

Удобрение	$C_{орг}$	$N_{общ}$	$P_2O_{5общ}$	$K_2O_{общ}$	C:N	Влажность	$pH_{сол}$
	кг/т						
КМН	169	17,2	15,6	15,1	10:1	58,3	7,7
ТНК	136	5,7	4,9	7,6	24:1	64,5	6,3

Данные о содержании гумуса, полученные для дерново-подзолистой супесчаной почвы (рис. 2), свидетельствовали о том, что в первый год действия удобрений его максимум (1,67 %) был зафиксирован в варианте с КМН в максимальной дозе, при этом прибавка к контролю составила 5,4 %. Заметное увеличение гумуса (прибавка к контролю 3,7…4,8 %) обеспечивали вариант с КМН в дозе 10 т/га и вариант с ТНК. В то же время в варианте с минеральными удобрениями количество гумуса оказалось немногим больше контрольного варианта.

В год последействия удобрений в вариантах с ТНК и с КМН в максимальной дозе обнаружили наибольшее и равнозначное содержание гумуса (1,65…1,64 %, прибавка к контролю — 4,9 … 5,5 %). Остальные дозы КМН также обеспечивали прибавку содержания гумуса в почве, но в меньших размерах. А в варианте с минеральными удобрениями содержание гумуса, как и в 1-й год действия удобрений, незначимо превышало контрольные значения.

Отметим, что в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве самое высокое содержание гумуса как в первый год действия удобрений, так и в последующие, наблюдалось в вариантах с ТНК — прирост по годам составил 14,1 % и 9,7 % относительно контроля (рис. 3). Варианты с КМН в дозах 15 и 10 т/га в свою очередь также позволили значительно увеличить в почве содержание гумуса соответственно на 12,5 % и 10,3 % в первый год трансформации удобрений и на 9,7 % и 7,9 % соответственно во второй.

Минерализация обоих компостов осуществлялась таким образом, что в начале распадались наиболее доступные микроорганизмам компоненты, что и было продемонстрировано на рисунке 1. В то же время грубодисперсные и неразложившиеся остатки постепенно накапливались, пополняя запасы органического вещества почвы, тем самым способствуя повышению ее плодородия.

Применение КМН и ТНК обеспечивало приближение исследуемых почв к категории с низким содержанием гумуса (до 2,0 %), принятым для Тверской области. При этом накопление гумуса в легкосуглинистой почве происходило интенсивнее в связи с ее хорошей способностью ассимилировать органическое вещество (рис. 3). Следует отметить, что минеральные удобрения, задействованные в опыте, повышая урожайность сельскохозяйственных культур, не способствовали накоплению гумуса.

Содержание гумуса в почве целесообразно оценивать, оперируя значениями его запаса в почвенном профиле. Именно величина запаса гумуса дает точное представление об истинном масштабе возможного гумусообразования. Согласно нашим расчетам, увеличение запасов гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве произошло в вариантах опыта с ТНК и полномасштабной дозой КМН (рис. 4). Минимальный прирост (1,8 т/га) относительно контроля получил вариант с КМН в дозе 10 т/га. Максимальные (2,7 и 2,4 т/га) — вариант с КМН в дозе 15 т/га и ТНК.

На втором году последействия удобрений запасы гумуса в вариантах с ТНК и с КМН (15 т/га) почти выровнялись, увеличение составило 2,4…2,7 т/га. Доза КМН 10 т/га обеспечила меньший прирост запасов гумуса (1,8 т/га), но равнозначный прибавке в первый год. КМН в дозе 5 т/га удерживал содержание гумуса на уровне исходного значения.

В целом к концу второго года эксперимента ТНК и КМН в максимальной дозе обеспечили в дерново-подзолистой супесчаной почве максимальную и равнозначную прибавку содержания гумуса в размере 1,2…1,5 т/га относительно исходного уровня. В почве вариантов с минеральными удобрениями и на контроле содержание гумуса к концу 2-го года уменьшилось на 0,3 и 1,2 т/га соответственно.

В дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в год внесения удобрений максимальная прибавка гумуса была зафиксирована в варианте с ТНК — 5,1 т/га (рис. 5). Несколько уступали ему варианты с КМН в дозах 15 и 10 т/га, обеспечив прибавку 4,4 и 3,5 т/га соответственно. На следующий год проведения опыта запасы гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в вариантах с ТНК и КМН в максимальной дозе (15 т/га) выровнялись и составили 33,9 т/га. Меньшие дозы КМН обеспечили и меньшую прибавку гумуса.

По итогам второго года опыта (последействие удобрений) максимальную прибавку содержания гумуса (2,7 т/га) относительно исходного значения обеспечили варианты с ТНК и

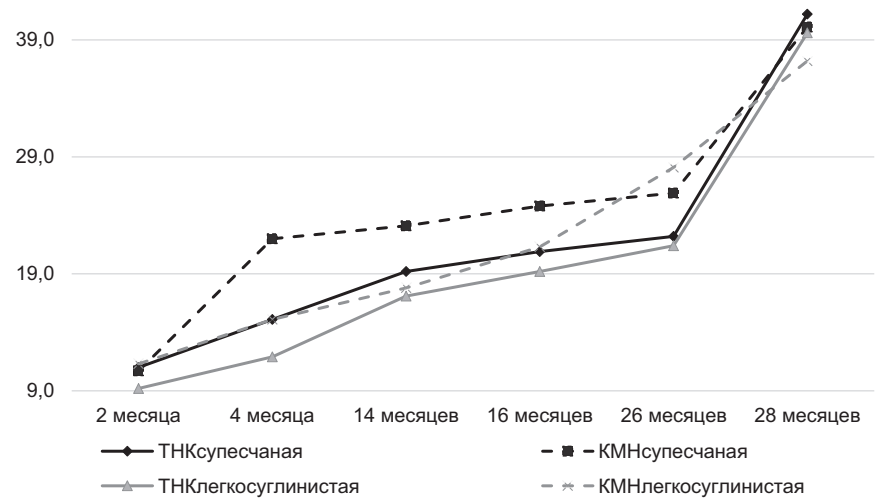

Рисунок 1. **Динамика потерь массы двумя видами компостов в процессе их разложения в дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почве, %**
Figure 1. **Dynamics of mass loss by two types of composts during their decomposition in soddy-podzolic sandy and light loamy soil, %**

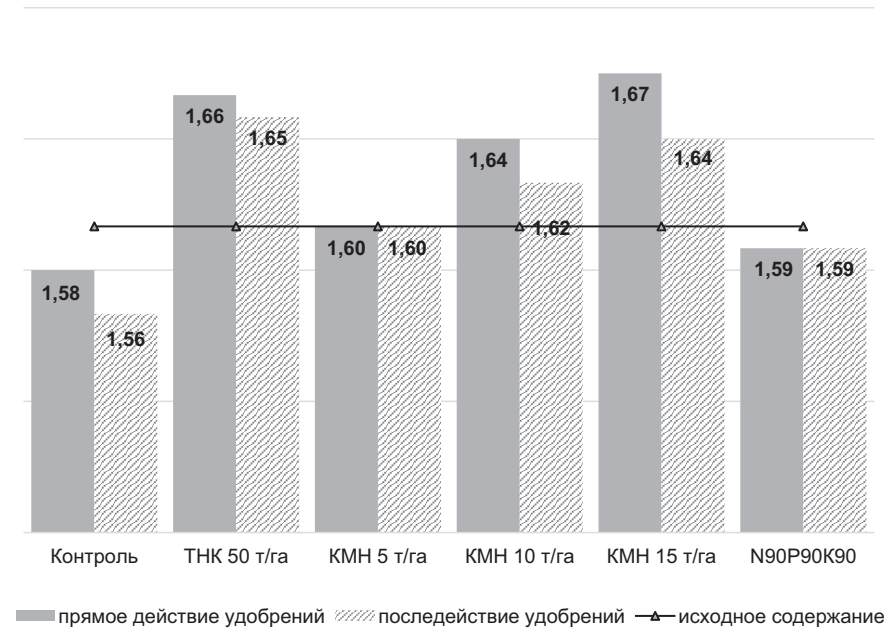

Рисунок 2. **Влияние удобрений на содержание гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве, % на сухую массу**
Figure 2. **Influence of fertilizers on the humus content in soddy-podzolic sandy loamy soil, % of dry weight**

с КМН в дозе 15 т/га. Содержание гумуса в почве в вариантах с КМН увеличивалось с ростом дозы, но несколько уступало ТНК. Вместе с тем запасы гумуса в почве контрольного варианта сократились относительно исходного запаса — на 0,6 т/га. Варианты с КМН в дозе 5 т/га и минеральными удобрениями обеспечили поддержание гумуса чуть выше уровня исходного значения (прибавка 0,3 т/га). Кроме того, положительную лепту в увеличение запасов органического вещества в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве вносили растительные и пожнивные остатки культур севооборота.

По современным данным до 90% органического углерода аккумулируется в составе почвенных агрегатов [16,17,18,19]. Учитывая способность глинистых минералов к связыванию органического вещества, следует отметить, что его формирование в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве протекало более интенсивно. Наряду с этим внесение в почву КМН, обладающего узким соотношением углерода к азоту (10:1) и высокой микробиологической активностью, способствовало ускоренному обогащению почвы микробным углеродом.

В значительной степени это связано с тем, что экзополисахариды, выделяемые большим количеством микрофлоры, содержащейся в КМН, способны обеспечивать интенсивное слипание почвенных частиц, способствуя, очевидно, формированию компонентов гумуса или гумусоподобных соединений. В то же время продолжительность и интенсивность их встраивания в органоминеральный комплекс дерново-подзолистой почвы регулируется ее гранулометрическим составом и, как показали наши исследования, в меньшей степени данное обстоятельство срабатывает в слабо связанной супесчаной почве, в которой процессы минерализации обычно преобладают над гумификацией.

Выводы.

1. Исследования, выполненные в Тверской области, показали, что доступные микроорганизмам компоненты вносимых в почву компостов минерализуются, а грубодисперсные накапливаются, в конечном итоге способствуя формированию гумуса. Интенсивность минерализации обоих удобрений (КМН и ТНК) за 3 года практически не различалась и составила 37 … 41% от первоначальной массы.

2. Изучаемые компосты увеличили гумусированность двух разновидностей дерново-подзолистой почвы относительно исходного уровня на 3,6 … 12,9% в первый год действия удобрений и на 2,4 … 7,8% в год их последействия, способствуя их приближению к категории почв с низким содержанием гумуса (до 2,0%), принятым для Тверской области. При этом абсолютное увеличение содержания гумуса было несколько выше в более связной легкосуглинистой почве относительно супесчаной.

3. По итогам эксперимента при внесении ТНК и КМН запасы гумуса в дерново-подзолистой почве увеличились на 1,2 … 2,7 т/га. С ростом дозы КМН увеличивалось и содержание гумуса в почве. Следовательно, положительный баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах может быть обеспечен внесением компостов, приготовленных из одного сырья разным способом. При этом компосты с узким соотношением углерода к азоту, к которым относится КМН, справедливо относимый к биоудобрениям, обеспечивают ускоренное обогащение почвы микробным углеродом.

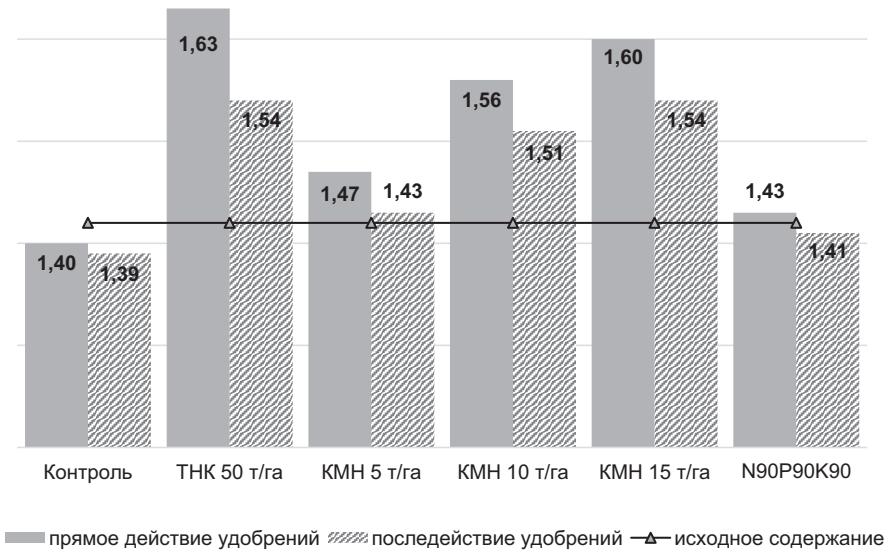

Рисунок 3. **Влияние удобрений на содержание гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, % на сухую массу**
Figure 3. **Influence of fertilizers on the humus content in soddy-podzolic light loamy soil, % of dry weight**

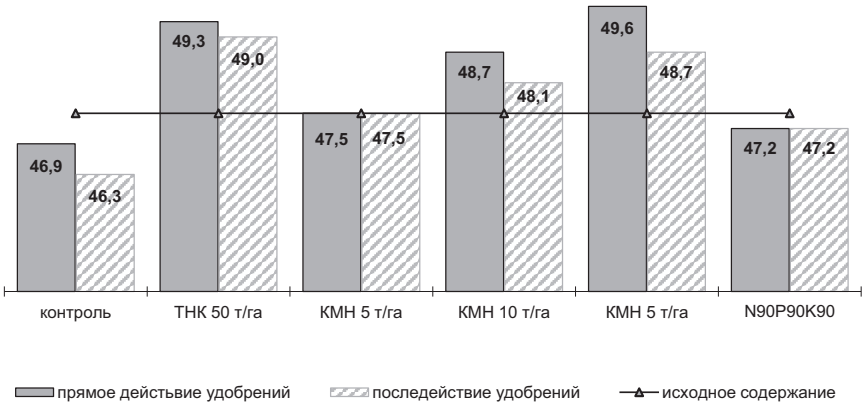

Рисунок 4. **Влияние удобрений на запасы гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве**
Figure 4. **Influence of fertilizers on the reserves of organic matter in soddy-podzolic sandy loamy soil**

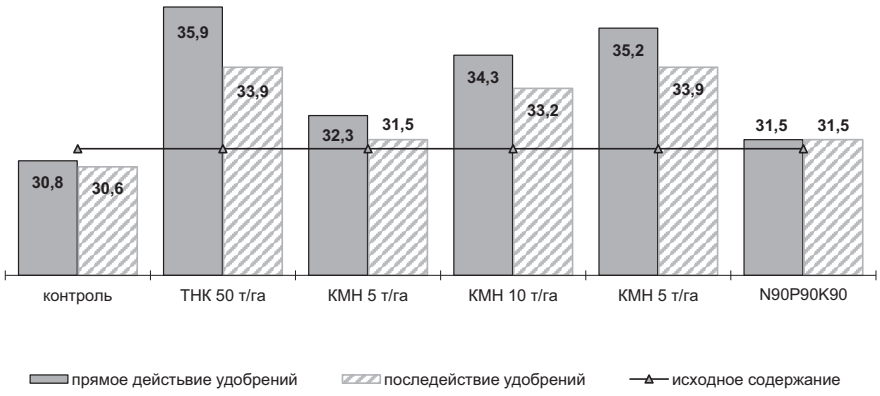

Рисунок 5. **Влияние удобрений на запасы гумуса в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве**
Figure 5. **The Effect of Fertilizers on the Reserves of Organic Matter in Soddy Podzolic Light Loamy Soil**

Список источников

1. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2018 году. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 340 с.

2. Зинковский В.Н., Зинковская Т.С. Теория и технологии комплексного управления плодородием осушаемых почв с использованием эффективных приемов и средств биологической мелиорации: монография. Тверь: Тверской государственный университет, 2018. 268 с.

3. Клюев Н.Н. Аграрное природопользование в российских регионах: эколого-ресурсный «Диссонанс» // Известия Русского географического общества. 2017. Вып. 3. С. 4-15.

4. Шевченко В.А., Соловьев А.М. Динамика содержания органического вещества при освоении выбывших из оборота малопродуктивных мелиорированных земель в зависимости от системы удобрения и предшественников // Плодородие. 2019. № 6. С. 6-10. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.02

5. Viaud V., Kunnemann T. Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. Agriculture, ecosystems & environment. 2021. Vol. 305. P.107174. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107174

6. Сычёв В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. С. 19-34.

7. Фирсов С.А. Мониторинг потенциала почвенных ресурсов, качества и безопасности сельскохозяйственной продукции (Монография). Тверь: Спринт, 2010. 194 с.

8. Фирсов С.А. Состояние плодородия почв Тверской области // Агрохимический вестник. 2011. № 5. С. 30-32.

9. Hancock G.R., Wells T. Predicting soil organic carbon movement and concentration using a soil erosion and landscape evolution model. Geoderma. 2021. vol. 382. pp. 114759. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114759

10. Kögel-Knabner I., Amelung W. Organic matter in major pedogenic soil groups. Geoderma. 2021. vol. 384. pp. 114785. DOI:10.1016/j.geoderma.2020.114785

11. Sychev V.G., Naliukhin A.N., Shevtsova L.K., Rukhovich O.V., Belichenko M.V. Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia // Eurasian Soil Science. 2020. vol. 53. no. 12. pp.1794-1808. DOI: 10.1134/S1064229320120133

12. Рабинович Г.Ю. Научные основы, опыт продвижения и перспективы биотехнологических разработок: монография. Тверь:ТГУ, 2016. 196 с.

13. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.

14. Saint-Laurent D., Arsenault-Boucher L. Soil properties and rate of organic matter decomposition in riparian woodlands using the TBI protocol. Geoderma. 2020. vol. 358. pp.113976. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113976

15. Рабинович Г.Ю., Ковалев Н.Г., Сульман Э.М. Биоконверсия органического сырья в удобрения и кормовые добавки (микробиологические аспекты). Тверь: ТГТУ,1999. 167 с.

16. Kiryushin V.I. The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems // Eurasian Soil Science. 2019. vol. 52. no.9. pp. 1137-1145. DOI: 10.1134/S1064229319070068

17. Williams H., Colombi T., Keller T. The influence of soil management on soil health: an on-farm study in southern Sweden. Geoderma. 2020. vol. 360. pp. 114010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114010

18. Акимов А.А., Шоля П.С. Влияние применения компоста на основе осадка сточных вод в технологии выращивания сеянцев хвойных пород // Потенциал науки и современного образования в решении приоритетных задач АПК и лесного хозяйства: материалы Юбилейной национальной научно-практической конференции. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет, 21-22 февраля 2019. С. 21-25.

19. Цыгуткин А.С., Азаров А.В. Изучение влияния технологий возделывания сельскохозяйственных культур и почвы, как саморазвивающейся системы, на содержание гумуса // Достижения науки и техники. 2021. № 6. С. 44-49.

References

1. *Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya Rossiyskoy Federatsii v 2018 godu* (2020). [Report on the state and use of agricultural land in the Russian Federation in 2018]. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 340 p.

2. Zinkovskiy V.N., Zinkovskaya T.S. (2018). *Teoriya i tekhnologii kompleksnogo upravleniya plodorodiyem osushayemykh pochv s ispol'zovaniyem effektivnykh priyemov i sredstv biologicheskoy melioratsii: monografiya* [Theory and technologies of integrated management of the fertility of drained soils using effective methods and means of biological reclamation: monograph]. Tver': *Tverskoj gosudarstvennyj universitet*, 2018, 268 p.

3. Klyuyev N.N. (2017). *Agrarnoye prirodopol'zovaniye v rossiyskikh regionakh: ekologo-resursnyy «Dissonans»* [Agrarian nature management in the Russian regions: ecological and resource «Dissonance»]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva* [News of the Russian Geographical Society, v. 3, pp. 4-15.

4. Shevchenko V.A., Solov'yev A.M. (2019). *Dinamika soderzhaniya organicheskogo veshchestva pri osvoyenii vybyvshikh iz oborota maloproduktivnykh meliorirovannykh zemel' v zavisimosti ot sistemy udobreniya i predshestvennikov* [Dynamics of the content of organic matter during the development of unproductive reclaimed lands that have retired from circulation, depending on the fertilizer system and predecessors]. *Plodorodiye* [Fertility], no.6, pp. 6-10. DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.02

5. Viaud V., Kunnemann T. (2021). Additional soil organic carbon stocks in hedgerows in crop-livestock areas of western France. Agriculture, ecosystems & environment. vol. 305. pp.107174. DOI: 10.1016/j.agee.2020.107174

6. Sychov V.G. (2019). *Sovremennoye sostoyaniye plodorodiya pochv i osnovnyye aspekty yego regulirovaniya* [The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation]. Moscow: *RAN*, pp. 19-34.

7. Firsov S.A. (2010). *Monitoring potentsiala pochvennykh resursov, kachestva i bezopasnosti sel'skokhozyaystvennoy produktsii (Monografiya)* [Monitoring the potential of soil resources, quality and safety of agricultural products (Monograph)]. Tver': Sprint, 194 p.

8. Firsov S.A (2011). *Sostoyaniye plodorodiya pochv Tverskoy oblasti* [The state of soil fertility in the Tver region]. *Agrokhimicheskiy vestnik* [Agrochemical Bulletin], no 5, pp. 30-32.

9. Hancock G.R., Wells T. (2021). Predicting soil organic carbon movement and concentration using a soil erosion and landscape evolution model. Geoderma. vol. 382. pp. 114759. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114759

10. Kögel-Knabner I., Amelung W. (2021). Organic matter in major pedogenic soil groups. Geoderma. vol. 384. pp. 114785. DOI:10.1016/j.geoderma.2020.114785

11. Sychev V.G., Naliukhin A.N., Shevtsova L.K., Rukhovich O.V., Belichenko M.V. (2020). Influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. Eurasian Soil Science, vol. 53, no. 12, pp.1794-1808. DOI: 10.1134/S1064229320120133

12. Rabinovich G.YU. (2016). *Nauchnyye osnovy, opyt prodvizheniya i perspektivy biotekhnologicheskikh razrabotok: monografiya* [Scientific foundations, promotion experience and prospects for biotechnological developments: monograph]. Tver': *Tverskoj gosudarstvennyj universitet*, 196 p.

13. Semenov V.M., Kogut B.M. (2015). *Pochvennoye organicheskoye veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow: *GEOS*, 233 p.

14. Saint-Laurent D., Arsenault-Boucher L. (2020). Soil properties and rate of organic matter decomposition in riparian woodlands using the TBI protocol. Geoderma. vol. 358. p.113976. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.113976

15. Rabinovich G.YU., Kovalev N.G., Sul'man E.M. (1999). Biokonversiya organicheskogo syr'ya v udobreniya i kormovyye dobavki (mikrobiologicheskiye aspekty) [Bioconversion of organic raw materials into fertilizers and feed additives (microbiological aspects)]. Tver': *TGTU*, 167 p.

16. Kiryushin V.I. (2019). The Management of Soil Fertility and Productivity of Agrocenoses in Adaptive-Landscape Farming Systems. Eurasian Soil Science, vol. 52, no.9, pp. 1137-1145. DOI: 10.1134/S1064229319070068

17. Williams H., Colombi T., Keller T. (2020). The influence of soil management on soil health: an on-farm study in southern Sweden. Geoderma, vol. 360, p. 114010. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.114010

18. Akimov A.A., Sholya P.S. (2019). *Vliyaniye primeneniya komposta na osnove osadka stochnykh vod v tekhnologii vyrashchivaniya seyantsev khvoynykh porod* [Influence of the use of compost based on sewage sludge in the technology of growing coniferous seedlings] . Potentsial nauki i sovremennogo obrazovaniya v reshenii prioritetnykh zadach APK i lesnogo khozyaystva: materialy Yubileynoy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ryazan': *Ryazanskiy gosudarstvennyy agrotekhnologicheskiy universitet*, 21-22.02, pp. 21-25.

19. Tsygutkin A.S., Azarov A.V. (2021). *Izucheniye vliyaniya tekhnologiy vozdelyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur i pochvy, kak samorazvivayushcheysya sistemy, na soderzhaniye gumusa* [Study of the influence of cultivation technologies of agricultural crops and soil, as a self-developing system, on the content of humus]. *Dostizheniya nauki i tekhniki* [Achievements of science and technology], no 6. pp. 44-49.

Информация об авторах:

Рабинович Галина Юрьевна, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая отделом биотехнологий, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5060-6241, 2016vniimz-noo@list.ru

Трешкин Игорь Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий, заместитель директора по инновационной и научно-производственной работе, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0003-0408-5913, 2016vniimz-noo@list.ru

Information about authors:

Galina Yu. Rabinovic, doctor of biological sciences, professor, chief researcher, head of the department of biotechnology, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5060-6241, 2016vniimz-noo@list.ru

Igor A. Treshkin, candidate of agricultural sciences, senior researcher, department of biotechnology, deputy director for innovation and research and production work, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID: http://orcid.org/ 0000-0003-0408-5913, 2016vniimz-noo@list.ru

2016vniimz-noo@list.ru