

АГРОХИМИЯ
И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.452:631.445.24:633.417.1

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ
И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ДИНАМИКУ СОДЕРЖАНИЯ
ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И АЗОТНЫЙ РЕЖИМ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ**

© 2019 г. М. Т. Васбиева*

Пермский НИИСХ ПФИЦ УрО РАН, ул. Культуры, 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, 614532 Россия

*e-mail: vasbievamt@gmail.com

Поступила в редакцию 19.02.2019 г.

После доработки 20.03.2019 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

Изучено влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику, содержание органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Loamic, Aric)) многолетнего стационарного опыта, заложенного в Пермском крае в 1976 г. Длительное (около 40 лет) возделывание сельскохозяйственных культур сопровождалось небольшим уменьшением содержания органического углерода с 1.28 до 1.13%. Внесение навоза крупного рогатого скота в дозе 40 т/га и минеральных удобрений NPK (I ротация – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, II ротация – N₉₀P₉₀K₉₀, III–V ротации – N₆₀P₆₀K₆₀) замедлило процессы минерализации органического вещества, но не компенсировало их полностью. Внесение осадков сточных вод в дозе 40 т/га 1 раз в ротацию полевого севопольного севооборота позволило поддерживать содержание органического углерода в почве на исходном уровне. Для оценки качественного состава азота почвы использовали метод кислотного гидролиза. Внесение навоза достоверно повысило в почве содержание трудногидролизуемой, легкогидролизуемой и минеральной фракций азота в 1.1–1.4 раза. Длительное применение осадков сточных вод значительно увеличило в почве содержание общего азота и всех его фракций в 1.1–1.6 раза. Внесение минеральных удобрений способствовало достоверному увеличению содержания общего, легкогидролизуемого и минерального азота в 1.1–1.4 раза. Максимальное положительное влияние на содержание органического углерода и азотный режим наблюдали при длительном применении органических удобрений по фону минеральных. Относительное содержание фракций азота в почве осталось стабильным, что свидетельствует об устойчивости азотного фонда почвы во времени.

Ключевые слова: осадки сточных вод, общее содержание азота, фракционный состав азота, полевой севопольный севооборот

DOI: 10.1134/S0032180X19110133

ВВЕДЕНИЕ

Содержание органического вещества в почве влияет на формирование режимов и свойств почвы. Размеры прироста органического вещества зависят от вида и регулярности применения удобрений, количества поступающих пожнивно-корневых остатков, их биохимического качества, от свойств почвы, погодных условий, агротехнических и других факторов. В Пермском крае насыщенность пашни органическими удобрениями за последние десять лет составила всего 0.9–1.4 т/га, минеральными 10–14 кг д. в. в год. Снижение объемов использования удобрений обусловлено возросшими затратами на их внесение и сокращением поголовья скота. Потребность в удобрениях может быть удовлетворена только при пол-

ной мобилизации всех ресурсов. В качестве дополнительного источника органического вещества могут быть использованы осадки сточных вод (ОСВ) [5, 6, 27, 31]. В Пермском крае запасы ОСВ составляют около 69 тыс. т сухого вещества.

По данным [17, 27, 30] применение органических удобрений (навоза, ОСВ) в умеренных дозах сдерживало уменьшение содержания гумуса пахотных почв, а в повышенных дозах – способствовало стабильному и существенному приросту содержания органического вещества в почвах. Увеличение органического углерода (C_{орг}) более заметно на почвах тяжелого гранулометрического состава, что связано со скоростью минерализации. Применение органических удобрений не препятствовало дегумусированию дерново-под-

золистых легкосуглинистых почв [16, 21, 27, 42]. Вопрос о влиянии минеральных удобрений на содержание органического вещества в почвах является дискуссионным. Одни авторы, считают, что исходя из непропорциональности роста урожая и количества корневых остатков, невозможно с помощью одних минеральных удобрений поддерживать содержание $C_{\text{орг}}$ на постоянном уровне. Данные отдельных опытов в нашей стране и за рубежом показали, что применение минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах снизило содержание $C_{\text{орг}}$ в них на 11–34% [16, 33, 35]. Минеральные удобрения оказывали длительное неблагоприятное воздействие даже после 19 лет последствия [33]. Убыль органического вещества при минеральной системе удобрения наиболее свойственна почвам с высоким исходным уровнем содержания гумуса [35]. Другие авторы утверждают, что благодаря росту количества поступающих в почву органического материала, изменению физико-химических свойств почвы, численности и активности почвенных микроорганизмов, минеральные удобрения способны поддерживать постоянный уровень содержания или обеспечивать увеличение органического вещества [9, 12, 30, 38]. В ряде исследований отмечено увеличение содержания органического вещества в почве или поддержание его на исходном уровне только при применении органо-минеральной системы удобрений [15, 21, 30, 41, 42, 45].

Содержание азота в почве, его запасы, формы и подвижность в существенной степени определяют плодородие почвы. Органическое вещество – основной резерв и источник азотного питания растений. На долю минерального азота почвы (нитраты, нитриты, аммоний) приходится около 1–5% от общего содержания [11, 19]. Поэтому азот в пахотных почвах часто бывает в первом минимуме (по обеспеченности питания растений), так как органические соединения минерализуются медленно. При выращивании сельскохозяйственных культур в агроэкосистемах происходит отчуждения с растительной продукцией азота из почвы, нарушается его круговорот, что делает необходимым восполнение возникающего дефицита этого элемента питания через удобрения.

Результаты исследований, проведенных на базе длительных опытов России, стран Западной Европы и Америки, подтверждают, что на разных типах почвы, от подзолистых до латеритных, отмечается снижение содержания органического вещества и соответственно азота при возделывании культур без систематического применения удобрений. Абсолютные и относительные размеры убыли азота неодинаковы для различных районов и зависят от целого ряда факторов: от исходного количества азота в почве, длительности использования пашни, климата, гранулометрического состава

почвы, системы земледелия. Применение удобрений приводит к количественным и качественным изменениям в азотном режиме почв. Минеральные удобрения при длительном применении способствует установлению бездефицитного баланса азота в почвах подзолистого типа, но в условиях повышенной минерализации органического вещества (черноземы, интенсивная паровая обработка, пропашные культуры) они оказываются малоэффективными в уменьшении потерь органического вещества и азота. Введение в севооборот бобовых многолетних трав также является недостаточным для создания бездефицитного баланса азота даже при высоком насыщении севооборота травами (до 40%). Наиболее действенным средством регулирования азотного фондов почвы, поддержания и улучшения плодородия почв считается применение органических удобрений (в первую очередь навоза) и совместное использование органических и минеральных удобрений [19, 28, 32, 40, 44].

Влияние длительного применения различных систем удобрений (минеральной, органо-минеральной и органической) на изменение фракционного состава азота почвы отличается по накоплению азота в отдельных фракциях и по изменению в соотношениях фракций. Исследования показывают, что длительное внесение удобрений как органических, так и минеральных, приводит в первую очередь к повышению содержания в почве минерального и легкогидролизуемого азота [2, 7, 8, 13, 19, 22, 24, 39, 46]. В работе [10] показано, что длительное применение минеральных удобрений (более 40 лет) в шестипольном севообороте на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве повысило в почве содержание легко- и трудногидролизуемого азота в 1.2, негидролизуемого в 1.4 раза, использование минеральных удобрений в сочетании с навозом увеличило содержание данных фракций в 1.4 и 1.8 раза. В некоторых опытах применение минеральных удобрений снижало количество трудногидролизуемых фракций азота [25]. По данным [3], на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах закрепление и накопление азота происходило в большей степени в легко- и трудногидролизуемых фракциях. В работе [29] в длительном стационарном опыте через 42 года на черноземе южном отмечено снижение содержания общего азота и его фракций, как в контрольном варианте, так и при внесении минеральных удобрений.

Азот в ОСВ находится в менее доступной форме, чем в минеральных удобрениях и навозе, при внесении их в почву наблюдается постепенная минерализация органического вещества с высвобождением азота [18, 26, 43]. Исследования по влиянию ОСВ на азотный режим почвы направлены в основном на изучение минерального и легкогидролизуемого азота [4, 6, 14, 37].

Таблица 1. Агрохимическая характеристика ОСВ и навоза (усредненные данные)

Удобрение	Влажность, %	рН _{KCl}	C _{орг}	N _{общ}	P _{общ}	K _{общ}
			% от абсолютно сухого вещества			
ОСВ	68	6.5	64	1.5	3.1	0.5
Навоз	72	7.3	73	1.5	2.2	1.0

Цель исследований – изучить влияние длительного применения удобрений на содержание органического вещества и азотный режим пахотной дерново-подзолистой почвы в условиях Предуралья.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на базе длительного стационарного опыта, заложенного в 1976 г. Органические удобрения (ОСВ, навоз КРС) по 40 т/га вносили в пару 1 раз в ротацию севооборотов. ОСВ вносили в I–V ротациях, навоз в III–V ротациях севооборота. Минеральные удобрения (I ротация – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, II ротация – N₉₀P₉₀K₉₀, III–V ротации – N₆₀P₆₀K₆₀) вносили под все зерновые культуры севооборота под предпосевную культивацию в виде аммиачной селитры или мочевины, простого суперфосфата и хлористого калия. Наблюдения проводили в полевом севообороте с чередованием культур: чистый или занятый пар – озимая рожь – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 года пользования (г. п.) – клевер 2 г. п. – ячмень – овес.

Почва опытного участка дерново-мелкоподзолистая тяжелосуглинистая (Eutric Albic Retisols (Abruptic, Epiloamic, Endoclayic, Aric, Cutanic, Ochric)). Агрохимическая характеристика почвы на момент закладки опыта: C_{орг} – 1.28%, рН_{KCl} – 4.8, гидролитическая кислотность – 3.7 и сумма обменных оснований – 18.1 смоль(экв)/кг, подвижный P₂O₅ и K₂O (по Кирсанову) – 154 и 170 мг/кг. Почвообразующая порода – желто-бурая некарбонатная покровная глина. Характерной особенностью почвы, сформированной на богатых в минералогическом отношении пермских глинах, является высокое содержание обменных форм кальция и магния, которое увеличивается с глубиной, как и сумма обменных оснований.

Повторность вариантов в опыте трехкратная, расположение делянок систематическое. Общая площадь делянки 47.5 м². В опыте использовали ОСВ биологических очистных сооружений г. Перми. Агрохимическая характеристика ОСВ и навоза представлена в табл. 1. ОСВ, применяемые в опыте, по агрохимическим показателям и содержанию ТМ соответствуют требованиям ГОСТ Р. 17.4.3.07-2001. ОСВ, применяли после выдержки на иловых площадках не менее трех лет, в ре-

зультате чего происходит их обеззараживание, и они соответствуют требуемым микробиологическим и паразитологическим показателям (СанПиН 2.1.7.573-96).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе многолетней динамики содержания органического углерода в контрольном варианте пахотного горизонта (0–20 см) дерново-подзолистой почвы отмечена тенденция постепенного небольшого снижения содержания органического углерода от первой ротации к пятой (рис. 1). Длительное возделывание сельскохозяйственных культур около 40 лет привело к потере C_{орг} в пахотном слое почвы на 12%, его запасы после пяти ротаций достоверно снизились на 7 т/га (НСР₀₅ = 3.0 т/га). Основными причинами уменьшения запасов органического углерода в почвах при вовлечении их в пашню являются сокращение поступления растительных остатков, а также усиление процессов минерализации, эрозии и дефляции как следствие механической обработки почвы [34]. Внесение навоза КРС 40 т/га (насыщенность 5.7 т/га) замедлило этот процесс, но не компенсировало его полностью, в пятой ротации отмечена тенденция снижения C_{орг} на 8%. Внесение ОСВ в дозе 40 т/га 1 раз в ротацию севооборота позволило поддерживать содержание C_{орг} в почве на исходном уровне. Более существенное влияние ОСВ, чем навоза, на содержание органического вещества почвы возможно связано с качеством поступающего органи-

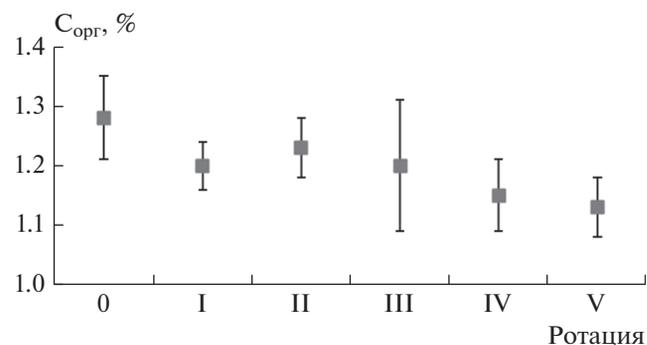


Рис. 1. Динамика содержания органического углерода в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы контрольного варианта длительного стационарного опыта.

Таблица 2. Влияние длительного применения удобрений на фракционный состав азота дерново-подзолистой почвы (V ротация)

Вариант опыта	C _{орг} , %	N _{общ} , мг/кг	N _{нг}	N _{тг}	N _{лг}	N _{мин}	N–NH ₄ , мг/кг	N–NO ₃ , мг/кг	C/N
Контроль	1.13	1176	<u>777*</u> 66.0	<u>260</u> 22.1	<u>118</u> 10.0	<u>22</u> 1.8	21.4	0.2	10
Навоз 40 т/га	1.18	1162	<u>710</u> 61.1	<u>297</u> 25.6	<u>125</u> 10.7	<u>30</u> 2.6	30.1	0.2	10
ОСВ 40 т/га	1.28	1372	<u>903</u> 65.8	<u>297</u> 21.6	<u>136</u> 9.9	<u>36</u> 2.6	36.1	0.2	9
НPK – фон	1.20	1281	<u>811</u> 63.3	<u>300</u> 23.4	<u>139</u> 10.8	<u>32</u> 2.5	31.4	0.5	9
Фон + навоз 40 т/га	1.31	1379	<u>854</u> 61.9	<u>328</u> 23.8	<u>159</u> 11.5	<u>39</u> 2.8	38.8	0.4	9
Фон + ОСВ 40 т/га	1.40	1442	<u>896</u> 62.1	<u>359</u> 24.9	<u>157</u> 10.9	<u>31</u> 2.1	30.3	0.5	9
НCP ₀₅	0.09	92	123	28	16	8	7.4	0.3	–

* Над чертой – содержание фракции азота, мг/кг; под чертой – % фракции от общего содержания азота.

ческого материала. Углерод ОСВ на 70–80% состоит из органических соединений, которые не экстрагируются 0.1 моль/л Na₄P₂O₇ и 0.1 моль/л NaOH. Это показывает, что соединения очень стабильны и медленно подвергаются процессам минерализации в почве [20]. Применение минеральных удобрений НPK (I ротация – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, II ротация – N₉₀P₉₀K₉₀, III–V ротации – N₆₀P₆₀K₆₀) не компенсировало уменьшение содержания органического вещества по сравнению с исходным содержанием. Наблюдалась тенденция к сокращению его количества. Полное воспроизводство C_{орг} отмечено при совместном применении органических и минеральных удобрений. При внесении навоза по фону минеральных удобрений содержание органического углерода составило 1.31%, ОСВ – 1.40%.

Содержание общего азота в пахотном слое (0–20 см) контрольного варианта на конец ротации V

Таблица 3. Влияние длительного применения удобрений на запасы азота в пахотном горизонте (0–20 см) почвы (V ротация), т/га

Вариант опыта	N _{общ}	N _{нг}	N _{тг}	N _{лг}	N _{мин}
Контроль	2.9	1.9	0.7	0.3	0.05
Навоз 40 т/га	2.9	1.8	0.7	0.3	0.08
ОСВ 40 т/га	3.4	2.3	0.7	0.3	0.09
НPK – фон	3.2	2.0	0.8	0.3	0.08
Фон + навоз 40 т/га	3.4	2.1	0.8	0.4	0.10
Фон + ОСВ 40 т/га	3.6	2.2	0.9	0.4	0.08
НCP ₀₅	0.2	0.2	0.1	0.1	0.02

полевого севопольного севооборота составило 1176 мг/кг (табл. 2). Степень обогащенности органического вещества азотом средняя, C : N = 10. Запасы общего азота в верхнем горизонте составили 2.9 т/га (табл. 3) или 29.3% от его запасов в метровом слое почвы.

Исследования показали, что длительное применение ОСВ по 40 т/га раз в ротацию севооборота достоверно повысило содержание общего азота в пахотном слое почвы с 1176 до 1372 мг/кг (на 16.7%), соответственно возросли и запасы общего азота в почве на 0.5 т/га. При внесении навоза в дозе 40 т/га количество валового азота в почве существенно не изменилось, отмечено небольшое снижение. Известно, что использование навоза в невысоких дозах может способствовать ускоренной минерализации органического вещества в результате повышения микробиологической деятельности и привести к определенным потерям азота из почвы. Внесение минеральных удобрений под все зерновые культуры полевого севопольного севооборота в течение пяти ротаций способствовало достоверному увеличению в пахотном слое общего азота в 1.1 раза. Максимальное увеличение содержания общего азота отмечено при длительном применении органических удобрений (навоз, ОСВ) по фону минеральных – на 17.3–22.6%.

Для оценки качественного состава азота почв широко применение получил метод кислотного гидролиза, разработанный Ф.К. Воробьевым, в последующем модифицированный Э.И. Шконде и И.Е. Королевой. По данной методике весь азот, содержащийся в почве, делят на 4 фракции: 1 – минеральную (нитратный, нитритный, обмен-

Таблица 4. Влияние органических и минеральных удобрений на динамику содержания минерального и легкогидролизуемого азота по фазам развития растений овса в пахотном горизонте (0–20 см) почвы (V ротация), мг/кг

Вариант опыта	N _{лг}	N _{мин}	N _{лг}	N _{мин}	N _{лг}	N _{мин}	N _{лг}	N _{мин}
	всходы		кущение		выметывание метелки		восковая спелость	
Контроль	94.3	9.4	99.4	10.6	93.1	11.7	92.1	6.0
Навоз 40 т/га	118.3	14.6	105.7	11.1	98.8	11.8	95.9	9.3
ОСВ 40 т/га	111.9	13.4	103.6	11.9	103.6	7.5	98.8	8.4
НРК – фон	113.4	17.9	120.3	20.2	122.5	18.9	113.9	18.4
Фон + навоз 40 т/га	129.7	20.9	123.9	22.7	125.3	15.6	113.5	15.6
Фон + ОСВ 40 т/га	115.5	15.2	118.3	17.3	123.6	13.1	114.8	18.8
НСР ₀₅	15.1	3.2	10.2	2.8	12.3	3.6	12.1	F _ф < F _т

ный аммоний); 2 – легкогидролизуемую (амиды, часть аминов); 3 – трудногидролизуемую (амины, часть амидов, часть необменного аммония и азота гуминов); 4 – негидролизуемую (азот гуминов, меланинов, битумов, необменный аммоний) [1, 36]. Этот метод позволяет достаточно объективно судить о качественных и количественных преобразованиях азота в почве при использовании агрохимикатов, а также определить степень участия соединений азота в питании растений.

Фракция негидролизуемого азота, представленная более стойкими к гидролизу и микробиологическому разложению органическими азотсодержащими соединениями, необменным аммонием, составила большую часть валовых запасов азота в изучаемой дерново-подзолистой почве (контрольный вариант) – 66.0%. На втором месте находится трудногидролизуемая – 22.1% и на третьем легкогидролизуемая фракция – 10.0%. Суммарное содержание легко- и трудногидролизуемого азота представляет собой гидролизуемый азот почвы, который может служить источником пополнения запасов его минеральных форм. На долю минеральной фракции пришлось всего 1.8%.

Установлено, что длительное применение органических и минеральных удобрений повысило содержание всех фракций азота в почве. Внесение органических удобрений (навоз, ОСВ) достоверно повысило содержание минерального азота в пахотном слое почвы в 1.4–1.7, легко-, трудно- и негидролизуемого – в 1.1–1.2 раза. Максимальное накопление данных фракций отмечено при сочетании органической и минеральных систем удобрений. Содержание минерального азота возросло в 1.4–1.8, легко-, трудно- и негидролизуемого – в 1.1–1.4 раза. Исключение составил вариант навоз 40 т/га, здесь отмечена тенденция к снижению негидролизуемой фракции азота.

Относительное содержание фракций азота в почве в вариантах осталось достаточно стабиль-

ным, что свидетельствует об устойчивости азотного фонда почвы во времени.

Об обеспеченности растений элементами питания по фазам их развития позволяет судить изучение динамики содержания их доступных и подвижных форм в почве в период вегетации сельскохозяйственных культур, которая является одним из важнейших показателей плодородия почвы, условием высокой продуктивности агроценозов и их устойчивости к неблагоприятным условиям. Непосредственным источником питания растений является минеральный азот, ближайшим резервом – легкогидролизуемая фракция. В ее состав входят минеральный азот и наиболее подвижные органические соединения (амиды, часть аминов), которые при благоприятных условиях способны перейти в минеральную форму [23, 32].

В опыте изучали влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику минерального и легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы по фазам развития овса. Исследования показали, что динамика содержания минерального и легкогидролизуемого азота находилась в определенной зависимости от фазы развития культуры, погодных условий проведения опыта и используемых органических и минеральных удобрений. Ход сезонной динамики при внесении удобрений существенно не изменился, отмечено постепенное снижение количества минерального и легкогидролизуемого азота от посева к уборке (табл. 4).

В зависимости от фазы развития растений содержание минерального и легкогидролизуемого азота в почве при внесении удобрений превышало контрольный вариант в 1.1–3.1 раза, что свидетельствует об обеспеченности азотом растений в течение всей вегетации сельскохозяйственных культур. Максимальное содержание подвижных форм азота в почве отмечено при минеральной и органо-минеральной системах удобрения.

Выявлена очень сильная и сильная взаимосвязь между содержанием в почве общего азота и его негидролизуемой ($r = 0.93$), трудногидролизуемой ($r = 0.81$) и легкогидролизуемой ($r = 0.89$) фракциями и средняя – для минерального азота ($r = 0.64$), свидетельствующая о том, что при длительном применении минеральных и органических удобрений формируется азотный фонд с соотношением азотных соединений, характерным для данного типа почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительное (около 40 лет) возделывание сельскохозяйственных культур привело к потере органического углерода в пахотном горизонте дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы с 1.28 до 1.13%. Внесение навоза крупного рогатого скота в дозе 40 т/га замедлило потери органического углерода почвы, но не компенсировало их полностью, отмечены тенденции к снижению содержания $C_{орг}$. Внесение ОСВ в дозе 40 т/га 1 раз в ротацию севооборота позволило поддерживать содержание $C_{орг}$ в почве на исходном уровне. При длительном применении минеральных удобрений НРК (I ротация – $N_{120}P_{120}K_{120}$, II ротация – $N_{90}P_{90}K_{90}$, III–V ротации – $N_{60}P_{60}K_{60}$) отмечено снижение $C_{орг}$ по сравнению с исходным до 1.20%. Максимальное положительное влияние отмечено при длительном применении органических удобрений по фону минеральных.

Внесение навоза в дозе 40 т/га 1 раз в ротацию полевого семипольного севооборота на конец V ротации достоверно повысило в почве содержание трудно-, легкогидролизуемой фракций азота в 1.1 и минеральной в 1.4 раза. Длительное применение ОСВ в дозе 40 т/га значительно повысило в почве содержание общего азота (в 1.2 раза), отмечено увеличение содержания всех фракций азота. Содержание самой подвижной и доступной части азота – минеральной – возросло в 1.7 раза. Запасы общего азота в почве увеличились с 2.9 до 3.4 т/га, минерального с 0.05 до 0.09 т/га. Внесение минеральных удобрений под все зерновые культуры полевого семипольного севооборота в течение пяти ротаций способствовало достоверному увеличению в пахотном слое содержания общего, легкогидролизуемого и минерального азота в 1.1–1.4 раза. Максимальное положительное влияние на азотный режим наблюдали при длительном применении органических удобрений по фону минеральных. Установлена очень сильная и сильная взаимосвязь между содержанием в почве общего азота и его негидролизуемой, трудно- и легкогидролизуемой фракциями и средняя – для минерального азота, свидетельствующая о том, что при длительном применении минеральных и органических удобрений форми-

руется азотный фонд с соотношением азотных соединений, характерным для данного типа почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Бакун А.И., Бакун Ю.А. Влияние систем удобрения и пестицидов на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность плодосменного севооборота // Агрохимия. 2003. № 12. С. 21–26.
3. Бобрицкая М.А., Бойко Т.А. Влияние удобрений на содержание различных фракций в дерново-подзолистых и темно-серых лесных почвах // Агрохимия. 1977. № 4. С. 10–16.
4. Варламова Л.Д., Титова В.И., Грибова М.Н. Влияние доз осадков сточных вод на показатели почвы при удобрении зерновых культур // Агрохимический вестник. 2009. № 4. С. 19–21.
5. Васбиева М.Т. Влияние длительного применения осадков сточных вод в качестве удобрения на продуктивность зернотравяного севооборота и качество сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2016. № 1. С. 44–51.
6. Гладких Д.П. Влияние ОСВ на питательный режим дерново-подзолистой почвы и урожайность // Агрохимический вестник. 2009. № 1. С. 38–39.
7. Гомонова Н.Ф. Эколого-агрохимические функции удобрений при их длительном применении (более 50 лет) в агроценозе на дерново-подзолистой почве. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М., 2010. 46 с.
8. Гомонова Н.Ф., Минеев В.Г. Динамика гумусного состояния и азотного режима дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2012. № 6. С. 23–31.
9. Дьяконова К.В., Титова Н.А., Козут Б.М., Исмагилова Н.Х. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия. М.: Агропромиздат, 1990. 27 с.
10. Егоров В.Е., Лыков А.М., Ульянов В.Ф. Влияние обработки и удобрений на содержание органического вещества и азота в среднесуглинистой дерново-подзолистой почве в условиях севооборота // Известия ТСХА. 1972. № 2. С. 20–27.
11. Завьялова Н.Е. Влияние минеральных удобрений на агрохимические свойства и фракционный состав азота дерново-подзолистой почвы // Плодородие. 2018. № 3. С. 2–4.
12. Завьялова Н.Е., Косолапова А.И., Сторожева А.Н. Влияние возрастающих доз полного минерального удобрения на органическое вещество и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2014. № 6. С. 20–28.
13. Завьялова Н.Е., Фомин Д.С., Тетерлев И.С. Влияние севооборотов и бессменных посевов на агрохимические свойства и азотный режим дерново-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2019. № 1. С. 5–10.
<https://doi.org/10.1134/S0002188119010162>
14. Иванов И.А., Иванова В.Ф., Кравчук Е.И., Качнова Т.И., Лебедев Д.Л. О возможности использования осадка городских сточных вод в качестве органи-

- нического удобрения // *Агрохимия*. 1996. № 3. С. 25–31.
15. *Кузьменко Н.Н.* Изменение показателей плодородия дерново-подзолистой почвы при использовании агротехнологий различной интенсивности в льняном севообороте // *Агрохимия*. 2018. № 9. С. 14–19.
<https://doi.org/10.1134/S0002188118090077>
 16. *Кузьменко Н.Н.* Мониторинг гумуса дерново-подзолистой почвы при применении разных систем удобрений // *Успехи современной науки*. 2017. Т. 2. № 9. С. 181–184.
 17. *Литвинский В.А., Муравин Э.А., Черников В.А. и др.* Продуктивность севооборота с клеверным паром и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы в длительном опыте Д.Н. Прянишникова № 2 на Долгопрудной агрохимической опытной станции // *Агрохимия*. 2010. № 9. С. 19–30.
 18. *Лучицкая О.А., Севостьянов С.М.* Воздействие осадков сточных вод на почву и растения // *Агрохимия*. 2007. № 9. С. 80–84.
 19. *Лыков А.М., Еськов А.Л., Новиков М.П.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М., 2004. 630 с.
 20. *Маринова-Гарванска С., Петрова Л.* Состав органического вещества осадков сточных вод городских очистных сооружений // *Агроэкологические функции органического вещества почв и использование органических удобрений и биоресурсов в ландшафтном земледелии*. Сб. междунар. науч.-пр. конф. М., 2004. С. 318–322.
 21. *Мерзлая Г.Е.* Эффективность длительного применения биологизированных систем удобрения // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 27–33.
<https://doi.org/10.1134/S0002188118100113>
 22. *Минакова О.А., Тамбовцева Л.В., Александрова Л.В.* Влияние длительного применения удобрений на азотный режим чернозема выщелоченного и баланс азота в зернопаропропашном севообороте // *Агрохимия*. 2016. № 8 С. 11–22.
 23. *Минеев В.Г.* *Агрохимия*. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 720 с.
 24. *Назарюк В.М.* Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 257 с.
 25. *Новоселов С.И., Новоселова Е.С., Завалин А.А.* Эффективность использования биологического азота в земледелии Нечерноземья. Йошкар-Ола, 2012. 149 с.
 26. *Оттабонг Э., Якименко О.С., Садовникова Л.К.* Влияние осадков городских сточных вод на доступность биогенных элементов в вегетационном эксперименте // *Агрохимия*. 2001. № 2. С. 55–60.
 27. *Пахненко Е.П.* Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 311 с.
 28. *Пискунов А.С.* Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. Пермь, 1994. 165 с.
 29. *Сайфуллина Л.Б., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю.* Фракционный состав азота на черноземе южном в условиях длительного применения минеральных удобрений // *Плодородие*. 2017. № 5(98). С. 12–16.
 30. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
 31. Стратегия использования осадков сточных вод и компостов на их основе в агрикультуре / Под ред. Милащенко Н.З. М., 2002. 140 с.
 32. *Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я.* Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Т. 1. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. М.: ВНИИА, 2009. 424 с.
 33. *Хайдуков К.П., Шевцова Л.К., Коваленко А.А., Милотина А.А.* Влияние длительного применения и последствий различных систем удобрения на кислотность, содержание и качественный состав органического вещества почвы // *Плодородие*. 2014. № 1(76). С. 30–33.
 34. *Шарков И.Н.* Концепция воспроизводства гумуса в почвах // *Агрохимия*. 2011. № 12. С. 21–27.
 35. *Шевцова Л.К., Хайдуков К.П., Кузьменко Н.Н.* Трансформация органического вещества легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы при длительном применении в льняном севообороте // *Агрохимия*. 2012. № 10. С. 3–12.
 36. *Шконде Э.И., Королева И.Е.* О природе и подвижности почвенного азота // *Агрохимия*. 1964. № 10. С. 17–35.
 37. *Шуравилин А.В., Меркурьев В.С., Сурикова Н.В.* Применение осадка сточных вод для удобрения почв // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2006. № 4. С. 42–46.
 38. *Christopher S.F., Lal R.* Nitrogen management affects carbon sequestration in North American cropland soils // *Critical Rev. Plant Sci*. 2007. V. 26. P. 45–64.
<https://doi.org/10.1080/07352680601174830>
 39. *Dai S., Wang J., Cheng Y., Zhang J., Cai Z.* Effects of long-term fertilization on soil gross N transformation rates and their implications // *J. Integrative Agriculture*. 2017. V. 16. P. 2863–2870.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61673-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61673-3)
 40. *Hemalatha S., Radhika K., Maragatham S., Praveena Katharine S.* Influence of long term fertilization on soil fertility – a review // *Res. Rev.: J. Agriculture Allied Sci*. 2013. V. 2 № 3. P. 30–36.
 41. *Körschens M., Kubát J.* Soil organic matter – climate change – carbon sequestration? The importance of long-term field experiments // 60th Anniversary of long-term field experiments in the Czech Republic. Prague, 2015. P. 43–50.
 42. *Liu X., Herbert S.J., Hashemi A.M., Zhang X., Ding G.* Effects of agricultural on soil organic matter and carbon transformation – a review // *Plant Soil Environ*. 2006. V. 52. P. 531–543.
 43. *Sims J., Boswell F.* The influence of organic wastes and inorganic nitrogen sources on soil nitrogen, yield and elemental composition of corn // *J. Environ. Qual*. 1980. V. 9. P. 512–518.
 44. *Wang W., Xie X., Chen A., Yin C., Chen W.* Effects of long-term fertilization on soil carbon, nitrogen, phosphorus and rice yield // *J. Plant Nutrition*. 2013. V. 36. P. 551–561.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2012.748795>

45. Yuan Y., Li L., Li N., Yang C., Han X. Long-term fertilization effects on organic carbon stabilization in aggregates of Mollisols // *J. Food, Agriculture Environ.* 2013. № 11(2). P. 1164–1168.
<https://doi.org/10.4141/cjss2010-004>
46. Zhang J.B., Zhu T.B., Cai Z.C., Qin S.W. Effects of long-term repeated mineral and organic fertilizer applications on soil nitrogen transformations // *Europ. J. Soil Sci.* 2012. V. 63. № 1. P. 75–85.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2011.01410.x>

Effect of Long-Term Application of Organic and Mineral Fertilizers on Carbon Content Dynamics and Nitrogen Regime of Soddy-Podzolic Soil

M. T. Vasbieva[#]

Perm Agricultural Researcher Institute Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, 614532 Russia

[#]*e-mail: vasbievamt@gmail.com*

The effect of long-term use of organic and mineral fertilizers on organic carbon content dynamics and nitrogen regime of soddy-podzolic heavy loamy soil (Umbric Albeluvisols Abruptic) in a long-term stationary experience established in Permskiy krai in 1976 was studied. Long-lasting crop growing (for about 40 years) resulted in the loss of organic carbon from 1.28 to 1.13%. The application of cattle manure at a dose of 40 t/ha and mineral fertilizers NRK (I rotation – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, II rotation – N₉₀P₉₀K₉₀, III–V rotation – N₆₀P₆₀K₆₀) slowed down the process of organic matter mineralization but did not fully compensate losses. The introduction of sewage sludge at a dose of 40 t/ha once in the seven-field crop rotation allowed maintaining the content of organic carbon in the soil at the initial level. To assess the composition of soil nitrogen, acid hydrolysis was used. The application of manure reliably increased the content of hardly hydrolyzable, hydrolyzable and mineral fractions of nitrogen in the soil by 1.1–1.4 times. Prolonged use of sewage sludge significantly increased the content of total nitrogen and all its fractions (by 1.1–1.6 times) in the soil. The application of mineral fertilizers contributed to a significant increase in total, easily hydrolyzed and mineral nitrogen by 1.1–1.4 times. The maximum positive effect on the organic carbon content and the nitrogen regime was observed with prolonged use of organic fertilizers on the mineral background. The relative content of nitrogen fractions in the soil remained fairly stable, which indicates the stability of the nitrogen stock of the soil over time.

Keywords: sewage sludge, total nitrogen content, fractional nitrogen composition, field seven-field crop rotation