

УДК 631.417.2:631.582

О МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДАХ К РАСЧЕТУ БАЛАНСА ГУМУСА В СЕВООБОРОТЕ

© 2020 г. С. И. Новоселов

Марийский государственный университет
424002 Йошкар-Ола, ул. Красноармейская, 71, Россия

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

Поступила в редакцию 12.03.2020 г.

После доработки 27.03.2020 г.

Принята к публикации 10.07.2020 г.

Представлена модифицированная методика расчета баланса гумуса в севообороте. В основе предлагаемого метода расчета баланса гумуса положен фотобиохимический подход к минерализации гумусовых веществ почвы. Минерализация почвенного гумуса происходит за счет фотохимической деструкции гумусовых веществ под воздействием солнечного света и большой группы микроорганизмов. Воздействие солнечной энергии на почву приводит к разрушению сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и образование подвижных лабильных гумусовых веществ, которые легко подвергаются микробиологической минерализации. Гумификационные процессы рассматриваются в соответствии с окислительно-восстановительными условиями, складывающимися в зависимости от способов заделки органических удобрений и растительных остатков в почву.

Ключевые слова: почва, гумус, солнечная энергия, микроорганизмы, урожайность, растительные остатки, баланс.

DOI: 10.31857/S0002188120100075

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почвы представляет сложный комплекс органических веществ, состоящий из негумифицированных органических веществ растительного или животного происхождения и специфических гумусовых веществ. Гумусовое состояние почв принято характеризовать содержанием гумуса. Его роль в почве многогранна. Гумус играет важную роль в формировании как эффективного, так и потенциального плодородия почвы. От содержания гумуса зависят водно-воздушные, физические, физико-химические, агрохимические, микробиологические и экологические свойства почвы [1]. Любые изменения в структуре севооборотов, системах обработки почвы, удобрения приводят к его количественным и качественным изменениям [2–5]. Разработка и совершенствование методов контроля и прогнозирования содержания гумуса в почвах сельскохозяйственного назначения является важной научной и практической задачей. Расчет баланса гумуса дает возможность оценить характер изменений его содержания в почве при сложившейся системе земледелия.

При оценке гумусового состояния почв наиболее достоверными являются данные, полученные непосредственно при проведении агрохимического анализа почвы. При разработке севооборотов, обосновании агротехнических приемов и мероприятий применяют расчетные методы оценки гумусового состояния. При этом расчеты ведут либо по выносу азота почвы урожаем, либо по нормативным показателям поступления и минерализации органического вещества, установленным по данным полевых опытов. Расчетные методы менее точны, поскольку процессы минерализации и гумификации сложны, зависят от многих факторов, а используемые в расчетах коэффициенты весьма условны. Существенным недостатком имеющихся методов является то, что не учитывается влияние агротехнического фактора. Например, многочисленными исследованиями установлено, что при использовании в севообороте отвальной вспашки интенсивность минерализации гумусовых веществ выше, чем при поверхностной обработке почвы. Не берется во внимание и способ заделки органических удобрений, корневых и пожнивных остатков, хотя исследования свидетельствуют, что при глубокой заделке их минерализация почвенной биотой замедляется, а при

поверхностной – ускоряется [6, 7]. При расчете баланса гумуса через азот сравнивают показатели вообще с разными измерениями. Содержание гумуса оценивают в пахотном слое, а потребление азота растениями происходит и из более глубоких слоев почвы. При применении минеральных и органических удобрений можно лишь приблизительно оценить, какая доля азота потребляется из почвы, а какая из удобрений. Интервалы коэффициентов использования азота настолько велики, что можно лишь условно считать, какое его количество было поглощено растениями из удобрений, а какое из почвы. Неоднозначными являются и данные по вкладу биологического азота. Все это вносит элементы условности в расчеты и снижает достоверность полученных данных.

Цель работы – совершенствование методики расчета баланса гумуса в севообороте на основе современных представлений о процессах гумификации и минерализации гумусовых веществ почвы.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА БАЛАНСА ГУМУСА

В основе предлагаемого метода расчета положен фотобиохимический подход к минерализации гумусовых веществ обрабатываемых почв. Баланс гумуса рассчитывают, как разность между его образованием и минерализацией. Образование гумуса происходит при гумификации органического вещества растений, почвенных животных, органических удобрений, отходов органического происхождения. По способности к образованию гумусовых веществ растительные остатки и органические удобрения значительно отличаются. Максимальное количество гумуса образуется при заделке растительных остатков и соломы, а минимальное – при заделке сидератов (табл. 1). Гумификационные процессы рассматривают в соответствии с окислительно-восстановительными условиями, складывающимися в зависимости от способов заделки органических удобрений и растительных остатков в почву. Глубокая заделка органического вещества обеспечивает анаэробные условия, способствующие восстановительным процессам и гумусообразованию. Поверхностная заделка создает аэробные условия, которые активизируют минерализационные процессы. Интенсивная минерализация гумуса начинается с распашки целинных и залежных земель и вовлечения их в сельскохозяйственное использование [4]. Дегумификационные процессы во многом зависят от интенсивности воздействия на почву. Чем чаще происходит механическое воздействие на почву, тем интенсивнее идет минерализация

гумуса. Механизм данного процесса можно представить следующим образом. Минерализация почвенного гумуса происходит за счет фотохимической деструкции гумуса под воздействием солнечного света и большой группы микроорганизмов, которые используют гумусовые вещества как источник питания и энергии. Воздействие солнечной энергии на почву приводит к разрушению сложных по составу и ценных по свойствам гуминовых кислот и образованию более подвижных лабильных гумусовых веществ, которые легко подвергаются микробиологической минерализации [6, 8]. Процесс минерализации зависит от общих запасов гумуса, климатических условий, интенсивности фотохимического воздействия, вида севооборота и применяемой системы обработки почвы. Минимальная минерализация гумусовых веществ почвы происходит под многолетними травами. При этом важную роль в минерализационных процессах играет почвенная фауна. Землеройки, кроты, дождевые черви выносят на поверхность значительные количества почвы, которая в дальнейшем подвергается воздействию солнечного света. Учитывая, что их деятельность носит регулярный характер, ее масштабы весьма существенны. Минерализация органических удобрений и растительных остатков при глубокой заделке замедляется, а при поверхностной – ускоряется (табл. 1). Поскольку фотохимическое облучение – явление поверхностное, то его воздействие на почву зависит от ряда факторов: 1 – зональности почв: чем интенсивнее и продолжительнее воздействие солнечной радиации на почву, тем масштабнее результат деструкции гумусовых веществ; 2 – интенсивности обработки почвы: чем интенсивнее воздействуют на почву, тем чаще обновляется ее облучаемая поверхность и возрастает деструктивное воздействие; 3 – структуры севооборотов: максимальное воздействие солнечной энергии на почву и как следствие наибольшие потери гумуса происходят при обработке чистых паров и возделывании пропашных культур, минимальные – при выращивании многолетних трав; 4 – применяемой агротехники: снижают фотохимическое воздействие поверхностная заделка растительных остатков, использование соломы в качестве мульчи, выращивание многолетних трав, пожнивных и промежуточных культур.

Баланс гумуса в севообороте ($B_{гс}$) складывается из баланса гумуса в почве под отдельными культурами ($B_{гк}$) и в чистом пару ($B_{гчп}$):

$$B_{гс} = B_{гчп} + B_{гк}.$$

Баланс гумуса в почве при возделывании культуры – это разность между гумусообразованием,

Таблица 1. Коэффициенты гумификации растительных остатков и органических удобрений

Растительные остатки сельскохозяйственных культур и виды удобрений	Способ заделки растительных остатков и органических удобрений	
	Отвальная вспашка	Дискование
Зерновые, рапс, лен, однолетние и многолетние травы	0.18	0.14
Картофель, корнеплоды, овощи	0.06	0.05
Солома зерновых	0.18	0.13
Сидеральное удобрение	0.04	0.03
Навоз подстилочный	0.06	0.05
Торфо-навозный компост 1 : 1	0.07	0.06

его минерализацией и потерей гумуса при эрозионных процессах:

$$B_{гк} = \text{гумусообразование} - \text{минерализация} - \text{эрозионные потери.}$$

Гумусообразование в почве происходит за счет гумификации растительных остатков возделываемой культуры ($\Gamma_{ро}$ (т/га) = $У_{ро}$ (т/га) $\times K_{гро}$) и применяемых под культуру органических удобрений ($\Gamma_{оу}$ (т/га) = Доза оу (т/га) $\times K_{гоу}$), гумусообразование = $\Gamma_{ро}$ (т/га) + $\Gamma_{оу}$ (т/га).

Поступление в почву пожнивных и корневых растительных остатков ($У_{ро}$, т/га) зависит от урожайности основной продукции сельскохозяйственных культур и определяется через коэффициенты выхода – K_p или через использование рекомендованных для зоны уравнений регрессии (табл. 2). Гумификация корневых и пожнивных остатков зависит от вида культур и способа заделки их в почву. Коэффициенты гумификации органических удобрений ($K_{гоу}$) и растительных остатков ($K_{гро}$) представлены в табл. 1. При применении других органических удобрений их следует привести в стандартный подстилочный полуперепревший навоз КРС с учетом пересчетных коэффициентов.

Расход гумуса почв складывается из минерализации и потерь гумуса от эрозии: расход Γ = минерализация Γ + Γ эрозии. Минерализация гумуса зависит от вида возделываемых культур, способов обработки почвы в севообороте и может быть рассчитана через коэффициенты минерализации гумуса. Они установлены на основании обобщения полевых опытов и показывают долю (в %) ежегодной минерализации запасов гумуса пахотного слоя почвы (табл. 3). Потери гумуса в результате эрозии почвы носят локальный характер и зависят от степени ее развития. При наличии эрозионных процессов расчеты ведут согласно степени смывости почвенного покрова [9, 10].

Расчет баланса гумуса следует вести в абсолютных величинах, т.е. в т/га. Вначале определяют общие запасы гумуса ($\Gamma_{общ}$) в пахотном слое почвы по формуле:

$$\Gamma_{общ} \text{ (т/га)} = M \times C : 100, \text{ где}$$

M – масса пахотного слоя почвы на 1 га, т; C – содержание гумуса в почве, %; 100 – коэффициент для перерасчета.

Массу пахотного слоя рассчитывают по формуле: M (т/га) = $h \times OM \times 100$, где h – мощность пахотного слоя, см; OM – объемная масса почвы, г/см³;

100 – коэффициент пересчета массы почвы из граммов в тонны на площадь 1 га.

Общий запас гумуса в почве можно также рассчитать и по формуле:

$$\Gamma_{общ} \text{ (т/га)} = h \times OM \times C.$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА БАЛАНСА ГУМУСА В СЕВООБОРОТЕ

Для расчета баланса гумуса были использованы данные стационарных опытов, проводимых на опытном поле Марийского государственного университета. Опыт № 1 проводили с 1990 по 1997 г., опыт № 2 – с 2002 по 2008 г. Почва опытов – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая малогумусная. Почва перед закладкой опыта № 1 имела следующие агрохимические показатели: рН_{КCl} 5.8, H_T – 1.9 мг-экв/100 г, $S_{очн}$ – 10.0 мг-экв/100 г, содержание гумуса – 1.85%, легкогидролизуемого азота – 7.0 мг/100 г, подвижных форм фосфора – 15.0 и калия – 13.0 мг/100 г почвы. При мощности пахотного слоя 22 см и объемной массе 1.36 г/см³ масса пахотного слоя составляла 2992 т/га ($22 \times 1.36 \times 100$), запасы гумуса – 55.35 т/га ($22 \times 1.36 \times 1.85$). Почва опыта № 2 перед закладкой имела следующие агрохимические показатели: рН_{КCl} 6.0, H_T – 1.6 мг-экв/100 г почвы,

Таблица 2. Коэффициенты выхода (K_p) корневых и пожнивных остатков при различной урожайности основной продукции

Культура	Урожайность, т/га	K_p	Культура	Урожайность, т/га	K_p
Озимые зерновые	0–1.0	1.6	Кукуруза на силос	0–10.0	0.18
	1.1–2.0	1.5		10.1–20.0	0.14
	2.1–3.0	1.3		20.1–30.0	0.13
	3.1–4.0	1.1		30.1–40.0	0.11
	>4.0	1.1		>40.0	0.10
Яровые зерновые, зернобобовые	0–1.0	1.6	Однолетние травы на зеленую массу	0–10.0	0.25
	1.1–2.0	1.3		10.1–20.0	0.20
	2.1–3.0	1.2		20.1–30.0	0.14
	3.1–4.0	1.0		30.1–40.0	0.13
	>4.0	1.0		>40.0	0.12
Лен-долгунец, соломка	0–1.0	0.52	Многолетние травы на зеленую массу	0–10.0	0.35
	1.1–2.0	0.47		10.1–20.0	0.31
	2.1–3.0	0.39		20.1–30.0	0.28
	3.1–4.0	0.35		30.1–40.0	0.26
	>4.0	0.33		>40.0	0.22
Картофель, корнеплоды	0–10.0	0.14	Рапс	0–1.0	1.5
	10.1–20.0	0.13		1.1–1.5	1.3
	20.1–30.0	0.12		1.6–2.0	1.2
	30.1–40.0	0.11		2.1–2.5	1.0
	Выше 40.0	0.11		2.6–3.0	1.0

$S_{\text{очн}}$ – 13.1 мг-экв/100 г почвы, содержание гумуса – 1.97%, легкогидролизуемого азота – 7.3 мг/100 г почвы, подвижных форм фосфора – 33.7 и калия – 19.4 мг/100 г почвы. При мощности пахотного слоя 22 см и объемной массе 1.35 г/см³ масса пахотного слоя составляла 2970 т/га (22 × 1.35 × 100), запасы гумуса – 58.51 т/га. Результаты исследований в этих опытах были опубликованы в 2012 и 2013 гг. [4, 6]. Вследствие выровненности участка

эрозионные потери гумуса при расчетах не учитывали.

Расчет баланса гумуса в опыте № 1. Урожайность культур 1-й и 2-й ротаций севооборота опыта № 1 представлена в табл. 4. Первой культурой 1-й ротации севооборота был рапс, возделываемый на зеленое удобрение, а первой культурой 2-й ротации была викоовсяная смесь, выращиваемая на зеленый корм. Торфо-навозный компост (ТНК) с содержанием азота 0.75, фосфора – 0.57 и калия – 0.51% был внесен в 1996 г. под картофель в дозе 80 т/га.

Таблица 3. Коэффициенты минерализации гумуса, % от валовых запасов в почве

Культура севооборота	Способ основной обработки почвы в севообороте	
	Отвальная вспашка	Поверхностная
Зерновые, зернобобовые	1.8	1.4
Пропашные	2.8	2.8
Однолетние травы	1.6	1.5
Многолетние травы	0.15	0.15
Чистый пар	3.3	3.3

Расчеты показали, что при выращивании рапса на сидерат баланс гумуса в почве был положительным, а при возделывании зерновых культур – отрицательным. Викоовсяная смесь, выращиваемая на зеленый корм, при использовании в качестве основной обработки почвы отвальной вспашки обеспечила близкий к бездефицитному баланс гумуса, а при применении поверхностной обработки почвы – отрицательный. Возделывание картофеля на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса. Внесение под

Таблица 4. Урожайность культур в севообороте (опыт № 1), т/га

Способ основной обработки почвы в севообороте	Удобрения	1-я ротация				2-я ротация			
		рапс, (сидерат) 1990 г.	озимая рожь, 1991 г.	картофель, 1992 г.	ячмень, 1993 г.	Викоовсяная смесь (зеленая масса), 1994 г.	Озимая рожь, 1995 г.	Картофель, 1996 г.	Ячмень, 1997 г.
Вспашка	Без удобрений	20.0	3.21	16.7	2.67	38.7	2.09	15.8	2.10
	N680P365K690	20.0	3.83	20.7	2.80	37.7	3.89	21.2	3.86
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	20.0	4.67	21.2	2.73	38.5	2.24	23.8	3.62
Комбинированная	Без удобрений	20.0	3.44	16.8	2.83	35.5	1.97	15.6	2.25
	N680P365K690	20.0	4.09	23.9	2.98	38.7	3.70	22.0	3.92
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	20.0	4.81	20.0	2.60	29.5	2.09	23.5	3.41

Таблица 5. Баланс гумуса при возделывании культур севооборота, т/га

Обработка почвы в севообороте	Удобрения	Статьи баланса	1-я ротация				2-я ротация			
			рапс, 1990 г.	озимая рожь, 1991 г.	картофель, 1992 г.	ячмень, 1993 г.	Викоовсяная смесь, 1994 г.	озимая рожь, 1995 г.	картофель, 1996 г.	ячмень, 1997 г.
Вспашка	Без удобрений	Приход	+1.52	+0.64	+0.13	+0.58	+0.91	+0.49	+0.12	+0.49
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.36	-1.42	-0.42	+0.02	-0.51	-1.43	-0.51
	NPK	Приход	+1.52	+0.76	+0.15	+0.61	+0.88	+0.77	+0.15	+0.69
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.24	-1.40	-0.39	-0.01	-0.23	-1.40	-0.31
	ТНК 80 т/га	Приход	+1.52	+0.92	+0.15	+0.59	+0.83	+0.52	+4.97	+0.65
		Расход	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00	-0.89	-1.00	-1.55	-1.00
		Баланс	+0.63	-0.08	-1.40	-0.41	-0.06	-0.48	+3.42	-0.35
Комбинированная	Без удобрений	Приход	+1.52	+0.53	+0.10	+0.48	+0.65	+0.41	+0.10	+0.38
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.23	-1.45	-0.30	-0.18	-0.37	-1.45	-0.40
	NPK	Приход	+1.52	+0.63	+0.14	+0.50	+0.70	+0.57	+0.13	+0.55
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.19	-1.41	-0.28	-0.13	-0.21	-1.42	-0.23
	ТНК 80 т/га	Приход	+1.52	+0.74	+0.36	+0.44	+0.58	+0.44	+4.94	+0.48
		Расход	-0.89	-0.78	-1.55	-0.78	-0.83	-0.78	-1.55	-0.78
		Баланс	+0.63	-0.04	-1.19	-0.34	-0.25	0.34	+3.39	-0.30

картофель в 1996 г. торфо-навозного компоста в дозе 80 т/га обеспечило значительное превышение приходной части баланса над расходной (табл. 5).

В целом за 2 ротации севооборота возделывание сельскохозяйственных культур на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса, при

Таблица 6. Баланс гумуса за 2 ротации севооборота

Обработка почвы, удобрения		Статьи баланса гумуса, т/га			Содержание гумуса в почве, %		
		приход	расход	баланс	до закладки опыта	в конце ротации	расчетное
Вспашка	Без удобрений	+4.88	-8.88	-4.00	1.85	1.72	1.72
	N680P365K690	+5.53	-8.88	-3.35	1.85	1.71	1.73
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	+10.95	-8.88	+2.07	1.85	1.96	1.92
Комбинированная	Без удобрений	+4.17	-7.94	-3.77	1.85	1.75	1.73
	N680P365K690	+4.74	-7.94	-3.2	1.85	1.75	1.75
	ТНК 80 т/га (N600P456K408)	+10.55	-7.94	+2.61	1.85	2.08	1.94

Таблица 7. Урожайность культур в севообороте (зеленая масса, зерно, клубни) (опыт № 2), т/га

Вид севооборота, удобрения	Пар, 2002 г.	Озимая рожь, 2003 г.	Картофель, 2004 г.	Ячмень, 2005 г.	Клевер, 2006 г.	Озимая пшеница, 2007 г.	Ячмень, 2008 г.
С чистым паром без удобрений	—	1.97	6.94	2.00	22.40	2.37	1.65
С чистым паром N275P100K285	—	3.20	8.48	3.00	25.37	2.83	1.72
С чистым паром навоз 60 т/га (N275P100K285)	—	3.34	7.93	2.48	30.47	2.93	1.67
С занятым паром без удобрений	12.0	1.62	7.00	1.58	23.73	2.41	1.60
С сидеральным паром без удобрений	12.0	1.81	8.25	2.17	26.80	2.58	1.62

применении торфо-навозного компоста — к положительному. Корректность произведенных расчетов подтверждают и аналитические данные (табл. 6). Результаты анализов почвы по содержанию гумуса в почве до закладки опыта и после 2-й ротации севооборота были опубликованы в 2013 г. [6]. Фактическое содержание гумуса в почве и расчетное были очень близкими, а различия не выходили за пределы ошибки метода определения. Расчетное содержание гумуса в почве для первого варианта проводили следующим образом: $55.35 \text{ т/га} - 4.00 \text{ т/га} \times 100 : 2992 \text{ т/га} = 1.72\%$.

Корреляционный анализ результатов показал, что связь между содержанием гумуса в почве в конце 2-й ротации севооборота и расчетной величиной была сильной, коэффициент корреляции был равен $r = 0.98$.

Расчет баланса гумуса в опыте № 2. Урожайность культур в 7-польных севооборотах с разными видами паров представлена в табл. 7. Навоз с содержанием азота 0.46, фосфора — 0.17 и калия

0.48% был внесен в 2002 г. под озимую рожь в дозе 60 т/га. В занятом и сидеральном пару возделывали викоовсяную смесь. В занятом пару ее убрали на зеленый корм, в сидеральном — запахали.

Расчеты показали, что при возделывании зерновых и пропашных культур баланс гумуса был отрицательным. Максимальные потери гумуса были в чистом пару и при возделывании картофеля.

Применение минеральных удобрений несколько снижало дефицит, а внесение навоза 60 т/га обеспечило в чистом пару положительный баланс гумуса. Возделывание в севооборотах клевера значительно пополняло почву органическим веществом и обеспечивало положительный баланс гумуса (табл. 8). В целом за ротацию во всех севооборотах баланс гумуса был отрицательным. Наибольшие потери гумуса (-4.59 т/га) были в севообороте с чистым паром при возделывании культур без применения удобрений, минимальные (-0.39 т/га) — при внесении навоза 60 т/га. Внесение в 7-польном севообороте навоза 60 т/га

Таблица 8. Баланс гумуса в почве паровых полей и культур севооборотов, т/га

Вид севооборота, удобрения	Статьи баланса	Пар, 2002 г.	Озимая рожь, 2003 г.	Картофель, 2004 г.	Ячмень, 2005 г.	Клевер, 2006 г.	Озимая пшеница, 2007 г.	Ячмень, 2008 г.
С чистым паром (без удобрений)	Приход	–	+0.54	+0.06	+0.54	+1.13	+0.55	+0.45
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–1.93	–0.51	–1.58	–0.51	+1.04	–0.50	–0.60
С чистым паром N275P100K285	Приход	–	+0.75	+0.07	+0.70	+1.28	+0.66	+0.46
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–1.93	–0.3	–1.57	–0.35	+1.19	–0.39	–0.59
С чистым паром навоз 60 т/га (N275P100K285)	Приход	+3.60	+0.66	+0.06	+0.58	+1.43	+0.69	+0.45
	Расход	–1.93	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	+1.67	–0.39	–1.58	–0.47	+1.34	–0.36	–0.60
С занятым паром (без удобрений)	Приход	+0.43	+0.44	+0.06	+0.43	+1.20	+0.56	+0.43
	Расход	–1.05	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–0.62	–0.61	–1.58	–0.62	+1.11	–0.49	–0.62
С сидеральным паром (без удобрений)	Приход	+1.03	+0.32	+0.06	+0.51	+1.42	+0.60	+0.44
	Расход	–1.05	–1.05	–1.64	–1.05	–0.09	–1.05	–1.05
	Баланс	–0.02	–0.73	–1.58	–0.54	+1.33	–0.45	–0.61

Таблица 9. Баланс гумуса в севооборотах с разными видами паров

Вид севооборота, удобрения	Статьи баланса гумуса, т/га			Содержание гумуса в почве, %		
	приход	расход	баланс	до закладки опыта	в конце ротации	расчетное
С чистым паром (без удобрений)	+3.27	–7.86	–4.59	1.97	1.76	1.81
С чистым паром (NPK)	+3.92	–7.86	–3.94	1.97	1.74	1.84
С чистым паром (навоз)	+7.47	–7.86	–0.39	1.97	1.96	1.96
С занятым паром (без удобрений)	+3.55	–6.98	–3.43	1.97	1.80	1.85
С сидеральным паром (без удобрений)	+4.38	–6.98	–2.60	1.97	1.82	1.88

и выращивание клевера обеспечило близкий к бездефицитному баланс гумуса (табл. 9). Сравнение содержания гумуса в почве в конце ротации севооборотов с расчетными показателями выявило, что они имели близкие величины и хорошо между собой коррелировали. Коэффициент корреляции составил $r = 0.96$. Различия в содержании гумуса в почве в конце ротации севооборотов с расчетными показателями составляли от 0.5 до 0.1% и одинаково характеризовали изменения гумусового состояния почвы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, представленная методика расчета баланса гумуса в севообороте, учитывающая

количество поступившего в почву органического вещества, условия его гумификации и минерализации, позволяет достоверно прогнозировать содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве при сложившейся системе земледелия. Расчеты показали, что в опыте № 1 в целом за 2 ротации севооборота, возделывание сельскохозяйственных культур на неудобренном фоне и при применении минеральных удобрений приводило к отрицательному балансу гумуса, а при применении торфо-навозного компоста 80 т/га – к положительному балансу.

В опыте № 2 наибольшие потери гумуса (–4.59 т/га) были в севообороте с чистым паром при возделывании культур без применения удоб-

рений, минимальные (-0.39 т/га) – при внесении навоза. Внесение в 7-польном севообороте навоза 60 т/га и выращивание клевера одного года пользования обеспечило близкий к бездефицитному баланс гумуса. Сравнение фактических показателей содержания гумуса в почве опытов с расчетными показало их близкие величины, коэффициенты корреляции между которыми составляли 0.96–0.98.

Поскольку фотохимическое воздействие на гумус почвы – явление поверхностное и зависит от зональности, интенсивности обработки почвы, структуры севооборотов и применяемой агротехники, поэтому в расчетах необходимо использовать коэффициенты, установленные для конкретных почвенно-климатических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерзлая Г.Е. Научные основы и рекомендации по эффективному применению органических удобрений. М., 1991. 216 с.
2. Программа и методы исследований гумусного состояния почв длительных опытов Геосети, реперных участков и полигонов агроэкологического мониторинга. М.: ВНИИА, 2008. 36 с.
3. Сафонов А.Ф., Платонов И.Г. Методика разработки адаптивно-ландшафтных систем земледелия Нечерноземной зоны. М.: АНО “Изд-во МСХА”, 2001. 104 с.
4. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Романенко В.А. Бюллетень Географической сети опытов с удобрениями. Научные основы, состояние и рекомендации применения удобрений в Поволжском регионе. М., 2012. Вып. 13. 64 с.
5. Никитин С.Н. Изменение содержания гумуса в почве за ротацию севооборота при использовании удобрений // Достиж. науки и техн. АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 13–15.
6. Новоселов С.И., Завалин А.А. Роль фотохимического фактора в деструкции гумусовых веществ почвы // Агрохимия. 2013. № 1. С. 59–64.
7. Шейджен А.Х. Агробιοгеохимия чернозема. 2-е изд. доп. и перераб. Майкоп: ООО “Полиграф-ЮГ”, 2018. 308 с.
8. Novoselov S. I. Influence of photochemical reactions on the content and transformation of mineral nitrogen in sod-podzol soil // Key engineering materials ISSN: 1662-9795. V. 781. P. 195–199. doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.781.195
9. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 40 с.
10. Титова В.И. Баланс гумуса в земледелии: Метод. пособ. Н. Новгород: НГСХА, 1999. 23 с.

About Methodological Approaches to Calculation the Balance of Humus in Crop Rotation

S. I. Novoselov

Mari State University

Krasnoarmeyskaya ul. 71, Yoshkar-Ola 424002, Russia

E-mail: Serg.novoselov2011@yandex.ru

A method for calculating the humus balance for sod-podzolic loamy soils is presented. The proposed method for calculating the humus balance is based on a photo-biochemical approach to the mineralization of humus substances in the soil. Soil humus mineralization occurs due to photochemical destruction of humus substances under the influence of sunlight and a large group of microorganisms. The effect of salt energy on the soil leads to the destruction of complex and valuable humic acids and the formation of mobile labile humus substances, which are easily subjected to microbiological mineralization. Humification processes are considered in accordance with the redox conditions that develop depending on the methods of embedding organic fertilizers and plant residues in the soil.

Key words: soil, humus, solar energy, microorganisms, yield, plant residues, balance.