

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС  
ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ БАЛАНСА ГУМУСА

**С.В. Митрофанов, к.с.-х.н., Д.А. Благоев, к.б.н., В.С. Никитин, С.А. Белых, к.т.н.,  
М.М. Варфоломеева, Институт технического обеспечения сельского хозяйства – филиал  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения  
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»  
Россия, 390025, г. Рязань, ул. Щорса, д. 38/11, e-mail: f-mitrofanoff2015@yandex.ru**

Представлены математические модели прогнозирования баланса гумуса сельскохозяйственных земель Центрального региона России, разработанные учеными ИТОСХ на базе многолетних данных полевых опытов Географической сети ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». На основе представленных математических моделей сформирован программный комплекс «Цифровая технология почвенного питания сельскохозяйственных культур». Использование программного комплекса позволяет: рассчитывать динамику гумуса в системе севооборотов, дозы и общую потребность в органических удобрениях, необходимую для поддержания положительного баланса органического вещества почвы при известном удельном весе многолетних трав; проводить рациональное формирование структуры посевных площадей, севооборотов и агротехнологий, направленных на сохранение и повышение плодородия почв, их биологической активности, поддержание биоразнообразия экосистем.

Ключевые слова: питание растений, математические модели, расчеты доз органических удобрений, баланс гумуса, севооборот.

DOI: 10.25680/S19948603.2019.111.15

Органическое вещество почвы является сложным химическим комплексом, состоящим из веществ органического происхождения, который аккумулирует все органические вещества, разделяемые на две группы. Первая группа – гумусовые, или перегнойные вещества специфической природы, вторая – негумифицированные вещества растительного и животного происхождения, которая составляет 10-15% органического вещества от общего его запаса в почве [1, 2].

Гумус – важный показатель потенциального плодородия почвы, активности происходящих в ней биологических процессов. Он составляет от 85 до 90% суммарного количества органического вещества почвы. Факторы, влияющие на содержание гумуса в почве: тип почвы, природно-климатические условия, характер и интенсивность земледелия, специализация севооборота [3].

В последние годы активно идет процесс дегумификации почв. За последние 10 лет содержание гумуса в дерново-подзолистых почвах России уменьшилось на 0,34 %. Снижаются запасы гумуса в черноземных почвах: за последние 100 лет на 25-30 %. Ежегодные потери органического вещества с мелиорированных торфяных почв составляют 6-7 т/га (на пашне) и достигают 36 т/га (на лугах и пастбищах). Средние ежегодные потери гумуса на пашне по России равны 1,5-8 т/га. Большинство предприятий имеют отрицательный баланс гумуса, несмотря на разработанные нормативы и регламенты внесения органических удобрений. Поэтому постоянный контроль динамики гумуса – необходимое условие обеспечения плодородия почвы. Однако, существующие методы расчета баланса гумуса почв носят приблизительный характер [1, 3].

Цель исследований – повысить эффективность производственных процессов в растениеводстве за счет проектирования рациональных систем удобрения и технологий возделывания культур в сельскохозяйственных

предприятиях путем использования инновационных цифровых технологий.

**Методика.** Исследования проводили с использованием монографического, аналитического, математического и статистического методов, а также методов систематизации, сравнения, обобщения, декомпозиции и стратификации.

**Результаты и их обсуждение.** Сотрудниками ИТОСХ собран массив данных агрохимических полевых опытов Географической сети ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» на разных типах (подтипах) почв. На его основе разработан алгоритм, который позволяет производить расчеты гумусного баланса севооборота:

$$dC/x_8 = a_0 + a_1[k_3x_3 + k_2x_2 + k_{11}x_{11} + k_{12}x_{12} + k_5(100 - x_{11} - x_{12} - x_2)], \quad (1)$$

где  $dC$  – прирост или снижение содержания гумуса, т/га;  $x_8$  – продолжительность наблюдений;  $a_0, a_1$  – коэффициенты уравнения;  $k_3, k_2$  – коэффициенты, учитывающие темпы накопления гумуса в почве, соответственно, от внесения в почву органического вещества (навоза) и от посевных площадей, занятых многолетними травами;  $k_5, k_{11}, k_{12}$  – коэффициенты, учитывающие степень минерализации гумуса почвы посевных площадей, занятых, соответственно, под культурами сплошного посева, пропашными, а также под чистыми парами;  $x_{11}$  – площадь посева пропашных культур, %;  $x_{12}$  – площадь под паром, %;  $(100 - x_{11} - x_{12} - x_2)$  – площадь культур сплошного посева, %;  $x_2$  – площадь посева многолетних трав, %;  $x_3$  – органическое вещество в пересчете на навоз, применяемое хозяйстве в расчете на 1 га пашни, т.

При этом  $k_3, k_2, k_{11}, k_{12}, k_5$  – коэффициенты, рассчитанные по экспоненциальному уравнению:

$$k = k_{\max} [1 - e^{-(b_0 + b_1 \cdot t)}], \quad (2)$$

где  $k$  – искомый коэффициент для уравнения;  $k_{\max}$  – генетическое максимально возможное значение коэффициента;  $b_0$ ,  $b_1$  – коэффициенты уравнения;  $c$  – содержание углерода гумуса, т/га.

Полученные результаты позволяют планировать мероприятия по бездефицитному гумусному балансу, а при возможности – положительному, например, увеличение доли площадей, занятых многолетними травами, или внесение расчетных доз органических удобрений [4-6].

По этой модели определяют начальные и конечные значения гумуса по фактической структуре севооборотной площади хозяйства и рассчитывают два варианта структуры севооборота: с обеспечением бездефицитного и положительного баланса органического вещества (гумуса) почв пашни севооборота.

В первом варианте рассчитывают: процент многолетних трав ( $x_2$ ), который необходимо иметь в севообороте при известном значении вносимых ежегодно ко-

личеств органических удобрений ( $x_3$ ); процент площади посева пропашных культур ( $x_{11}$ ); процент площади под паром ( $x_{12}$ ) и процент площади культур сплошного посева для поддержания бездефицитного баланса гумуса пашни севооборота. Во втором варианте определяют какое количество органических удобрений ( $x_3$ ) нужно ежегодно вносить на 1 га посевных площадей севооборота при известных значениях процентов многолетних трав ( $x_2$ ), площади посева пропашных культур ( $x_{11}$ ), площади под паром ( $x_{12}$ ) и площади культур сплошного посева в севообороте для поддержания бездефицитного баланса гумуса пашни севооборота.

Представленные математические модели легли в основу программного комплекса «Цифровая технология почвенного питания сельскохозяйственных культур», с помощью которого возможно рассчитать динамику гумуса, потребность в органических удобрениях, производить рациональное формирование структуры посевных площадей, севооборотов и агротехнологий.

**Хозяйство**  
АО "Павловское" Рязанского района Рязанской обл.

**Почва**  
Черноземы

**Площадь (га) севооборота №** 1

**Гумус, %**  
4.2000

**Динамика гумуса севооборотной площади, т га**

в начале сезона	в конце сезона	
121.96800	121.96524	-0.00276

Пар, га	Пар, %	Пропаш., га	Пропаш., %	Спл., га	Спл., %	Мл. тр., га	Мл. тр., %	Орг.уд., т/га
<b>Исходная структура севооборота</b>								
0.00	0.00	0.00	0.00	6745.00	100.00	0.00	0.00	0.000
<b>Варианты способов для обеспечения бездефицитного баланса гумуса почв севооборота</b>								
<b>Вариант 1</b> Предлагается новая (расчетная) структура севооборота с многолетними травами								
0.00	0.00	0.00	0.00	3861.20	57.25	2883.80	42.75	0.00
<b>Вариант 2</b> При исходной структуре севооборота необходимо внести расчетный объем орг. уд. (подстилочный навоз КРС) на 1 га севооборотной площади								
0.00	0.00	0.00	0.00	6745.0	100.00	0.00	0.00	8.606
<b>Расчет общего объема органических удобрений</b>								
Код	Наименование	Коэфф. пересчета на подст. навоз КРС	Всего орг. уд., т					
5001	Твердая фракция подстилочный навоз КРС (25% сух.в-ва)	1.00	58045					

Рис. Определение баланса гумуса и расчет доз органических удобрений

Апробация программного комплекса произведена в АО «Павловское» Рязанской области. Расчеты показали, что динамика гумуса в севообороте хозяйства имела отрицательное значение. На начало сезона баланс гумуса составлял 121,96800 т/га, а на конец сезона уровень данного показателя снизился до 121,96524 т/га (рис.), т.е. баланс гумуса отрицательный (– 0,00276 т/га).

В соответствии с произведенными расчетами, для положительной динамики баланса гумуса необходимо вносить органические удобрения – 8,606 т/га в виде подстилочного навоза твердой фракции с содержанием сухого вещества 25,0%. Потребность в органических удобрениях на общую занимаемую хозяйством площадь 6745 га составила – 58045 т.

**Заключение.** Формирование рационального питания растений – важнейший фактор повышения урожайно-

сти сельскохозяйственных культур. Современное сельское хозяйство должно переходить от разрозненных приемов удобрения отдельных культур к применению научно обоснованных систем удобрения, отвечающих потребностям возделываемых культур, природным и экономическим условиям сельскохозяйственного производства, активно внедряя цифровые технологии мониторинга элементов питания культур и формирования агротехнологий.

Комплексный подход, предлагаемый в программе «Информационная технология почвенного питания сельскохозяйственных культур», позволяет обеспечить оптимальное питание растений, помогая реализовывать их генетическую продуктивность в зависимости от зональных систем земледелия, соответствующих природ-

но-экономической зоне, структуре посевных площадей и севооборотов.

#### Литература

1. *Агрохимия*: Классический университетский учебник для стран СНГ / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА имени Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
2. Вильдфлуш И.Р. Рациональное применение удобрений: Пособие / И.Р. Вильдфлуш. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – 324 с.
3. Минеев В.Г. Агрохимия: учеб. пособ. – 2-е изд., перераб. и доп. / В.Г. Минеев. – М.: МГУ, 2004. – 720 с.

4. Митрофанов С.В., Никитин В.С., Бельх С.А., Благов Д.А., Любченко В.Б. Программный комплекс по прогнозированию урожайности основных сельскохозяйственных культур Центрального региона России // Техника и оборудование для села. - 2018. - № 8. - С. 41-43.
5. Никитин В.С., Любченко В.Б. Математическая модель динамики гумуса почв Нечерноземной зоны Центрального региона РФ // Проблемы механизации агрохимического обеспечения сельского хозяйства. - 2015. - № 7. - С. 134-138.
6. Никитин В.С., Бельх С.А., Благов Д.А., Митрофанов С.В. Программа по расчету доз микроудобрений // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Косычева. - 2018. - № 2 (38). - С. 36-41.

## MATHEMATICAL MODELS AND SOFTWARE PACKAGE FOR FORECASTING HUMUS BALANCE

**S.V. Mitrofanov, D.A. Blagov, V.S. Nikitin, S.A. Belykh, M.M. Varfolomeeva**  
*Institute of engineering support of agriculture – a branch of the FSBI FNATS VIM, Schorsa ul. 38/11,*  
*390025 Moscow, Russia, E-mail: [f.mitrofanoff2015@yandex.ru](mailto:f.mitrofanoff2015@yandex.ru)*

*This paper introduces mathematical models for forecasting humus balance in arable lands of Central Russia, developed by research workers of the Institute for Engineering Support of Agriculture – branch of FSBI FNATS VIM on the basis of long-term experimental data of the Geographic Network of Pryanishnikov Institute of Agrochemistry. The presented mathematical models were put in the basis for the development of the software package «Digital Technology of soil nutrition of crops». Application of this software package allows to user to calculate humus dynamics in crop rotation system, dosages and total need for organic fertilizers needed to maintain positive balance of organic matter in soil with known part of perennial grasses, carry out rational formation of cultivated area structure, crop rotation and agricultural techniques, dedicated to preservation and improvement of soil fertility and biotic soil activity, maintain biological diversity of ecosystems.*

*Keywords: plant nutrition, mathematical models, calculation of organic fertilizers dosages, humus balance, crop rotation.*

\*\*\*\*\*

## СООБЩЕНИЕ О КОНФЕРЕНЦИИ

Во ВНИИ агрохимии 26-27 ноября 2019 г. прошла Международная научно-практическая конференция «Плодородие почв России. Состояние и возможности», посвященная 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ Т.Н. Кулаковской. В конференции приняло участие свыше 150 ученых и специалистов из России и стран зарубежья. Были представлены 49 докладов и выступлений по восьми следующим направлениям (секциям): Географическая сеть опытов с удобрениями; вопросы органического земледелия и гумусного состояния почв; эффективность минеральных удобрений; плодородие почв мелиорируемых земель; агротехнологии и агрохимикаты; фосфорное питание и фосфатный режим почвы; азотное питание растений; калийное питание растений.

Приветствие по случаю начала конференции прислала вице-президент РАН И.М. Донник. В пленарном заседании приняли участие ведущие ученые-агрохимики из различных регионов нашей страны и стран ближнего зарубежья.

Открыл конференцию директор ВНИИ агрохимии академик РАН В.Г. Сычев докладом: «Плодородие почв, как показатель уровня земледелия». Почетными гостями конференции были директор Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, академик Лапа В.В.; Генеральный директор Казахского научно-исследовательского института почвоведения и агрохимии имени У.У. Успанова, академик АСХН РК Сапаров А.С.

В.В. Лапа выступил с докладом «Научное обоснование технологий повышения плодородия почв и эффективности удобрений в Республике Беларусь», а А.С. Сапаров – «Плодородие почв Казахстана. Состояние, проблемы и пути их решения».

Были обсуждены важнейшие вопросы сохранения и воспроизводства плодородия почв России и стран СНГ, новые технологии возделывания с.-х. культур, агрохимические и агроэкологические проблемы использования сельскохозяйственных угодий и др.