

СОДЕРЖАНИЕ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГУМУСА КАШТАНОВОЙ ПОЧВЫ В ДИНАМИКЕ МНОГОЛЕТНИХ РЯДОВ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

А. К. Уланов, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Л. В. Будажапов, доктор биологических наук, профессор

Т. П. Лапухин, доктор сельскохозяйственных наук

А. С. Билтуев, кандидат биологических наук, доцент

Бурятский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства, Улан-Удэ, Россия

E-mail: burnish@inbox.ru

Ключевые слова: каштановая почва, длительный опыт, система удобрений, содержание и запасы гумуса, фракционно-групповой состав гумуса, экспоненциальные уравнения

Реферат. По результатам длительного агрохимического опыта установлены количественные и качественные изменения гумусного состояния каштановой почвы при систематическом применении органических и минеральных удобрений. В отсутствие удобрений исходное содержание гумуса в почве в контроле снижалось и в среднем на 48-й год исследований достигло своего минимального уровня – $0,94 \pm 0,03$ %. За весь период в неудобренном варианте почва утратила 28,3 % исходного количества гумуса, или 11,0 т/га, со среднегодовой величиной потерь 228 кг. В скоростном проявлении кинетические параметры снижения гумуса в почве контрольного варианта достигали $k = 0,008 \text{ год}^{-1}$. Содержание гумуса почвы при систематическом внесении полного минерального удобрения оказалось достоверно выше, чем в контрольном варианте, и достигло $1,17 \pm 0,05$ % к последнему сроку определения. Константа скорости снижения в варианте минерального удобрения составила $k = 0,003 \text{ год}^{-1}$. Среднегодовое поступление корневых и пожнивных остатков в варианте с полным минеральным удобрением после 30 лет исследований компенсировало потери гумуса и стабилизировало его содержание. Снижение запасов гумуса в почве проявилось в соответствующем уменьшении ежегодных потерь, которые в первые 16 лет достигали 131 кг/га, с дальнейшей за 14 лет величиной убыли 107 кг/га, при последующем 12-летнем их отсутствии и незначительном снижении в последние 7 лет – 41 кг/га. Бездефицитный и положительный баланс гумуса обеспечивал только вариант с внесением навоза. Содержание гумуса в почве за 48 лет внесения достигло $1,50 \pm 0,04$ % и значительно превышало исходное содержание. В среднем за период исследований почва при внесении навоза пополнила свои запасы на 5,6 т/га со среднегодовым ежегодным приростом по 117 кг/га. Кинетика увеличения содержания гумуса в почве в варианте с навозом имела константу скорости роста $k = 0,002$ в год. Ранжирование положительных количественных ($C_{\text{общ}}$, %) и качественных (ГК : ФК) изменений гумуса в почве по вариантам оценки в динамике многолетних рядов происходит в ряду: без удобрений (0,56 % и 0,75) → полное удобрение NPK (0,69 % и 0,79) → навоз (0,86 % и 0,92).

QUALITATIVE CONCENTRATION OF HUMUS OF CHESTNUT SOILS CONSIDERING MANY-YEAR FERTILIZING

Ulanov A.K., Candidate of Agriculture, Associate professor

Budazhapov L.V., Doctor of Biological Sc., Professor

Lapukhin T.P., Doctor of Agricultural Sc.

Biltuev A.S., Candidate of Biology, Associate Professor

Buryat Research Agricultural Institute, Ulan-Ude, Russia

Key words: chestnut soil, long-term experiment, fertilization system, concentration and reserves of humus, fraction and group composition of humus, exponent equation.

Abstract. The results of long-term agrochemical experiments highlight quantitative and qualitative changes in the humus status of chestnut soil when applying organic and mineral fertilizers. When fertilizers were not applied, the initial humus concentration in the soil was reduced and on average reached its minimum level of $0.94 \pm 0.03\%$ in the 48th year of research. During the whole period in the unfertilized variant, the soil lost 28.3% of the initial amount of humus, or 11.0 t/ha, with an average annual loss of 228 kg. Kinetic parameters of humus reducing in the soil of the control variant reached $k = 0.008 \text{ year}^{-1}$ in rapid manifestation. When mineral fertilizers were applied, the humus concentration was higher than in the control variant and reached $1.17 \pm 0.05\%$ by the last date of determination. The reduction rate in the variant of applying mineral fertilizer was $k = 0.003 \text{ year}^{-1}$. The average annual inflow of root and stubble residues when applying mineral fertilizers compensated humus losses and stabilized its concentration after 30 years of research. Reducing of humus reserves in the soil revealed in a corresponding reduction of annual losses, which reached 131 kg/ha in the first 16 years, with further decrease of 107 kg/ha in 14 years, followed by their absence and slight decrease in the last 7 years - 41 kg/ha. Deficient and positive balance of humus was provided by the variant with manure application. The humus concentration in the soil for 48 years of applying fertilizers reached $1.50 \pm 0.04\%$ and significantly exceeded the initial concentration. On average, during the research period the soil multiplied its reserves on 5.6 t/ha with an average annual growth rate of 117 kg/ha. Kinetics of humus concentration increase in soil in the variant with manure application had a growth rate constant $k = 0.002$ per year. Ranking of positive quantitative (S gen, %) and qualitative (HC: FC) changes of humus in soil according to estimation variants in dynamics of perennial series occurs in a row: no fertilizers (0.56 % and 0.75) → complete fertilization NPK (0.69 % and 0.79) → manure (0.86 % and 0.92).

Гумус почвы, сформированный из органических веществ и соединений растительно-го, животного и микробного происхождения, прошедших гумификационные и негумификационные стадии стабилизации, формирует и поддерживает основные функции почвы и придает ей уникальное свойство – создание и сохранение плодородия почвы [1]. В пахотных агроландшафтах главная роль в сохранении и воспроизводстве гумуса, трансформации гумусовых веществ принадлежит основным агротехническим приемам земледелия, где применению органических и минеральных удобрений, наряду с системами и способами использования пашни, придается особое значение [2, 3].

Положительное действие минеральных и особенно органических удобрений на гумусное состояние почв европейской части России и Западной Сибири доказано в серии классических длительных исследова-

ний и обобщено в современной литературе [4–8]. Подобное накопление аналитических результатов, их объединение в базы данных позволило глубже проанализировать изменение органического вещества почвы, выявить темпы минерализации и накопления гумуса, разработать модели и предложить концепцию воспроизводства содержания гумуса в агроландшафтах.

В этом плане реакция гумуса почв Бурятии не является исключением [9–12]. Однако доказательная база последних диктует необходимость более детальных подходов и оценок влияния длительного применения минеральных и органических удобрений на гумусное состояние каштановой почвы с выявлением направленности и интенсивности этих изменений. При этом перед нами ставились следующие задачи: на основании анализа почти полувековых исследований установить минимальный уровень содержания гумуса без при-

менения удобрений; определить возможности стабилизации его содержания при внесении минеральных удобрений и расширенного воспроизводства при использовании навоза; выявить темпы и скорости количественных изменений содержания гумуса и на их основе разработать математические модели с трендом многолетней динамики; дать оценку изменения фракционно-группового состава гумуса под влиянием систематического применения удобрений.

Цель исследований – обосновать количественные и качественные изменения гумусного состояния каштановой почвы в динамике многолетних рядов в результате систематического применения минеральных и органических удобрений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Длительный опыт с систематическим внесением удобрений заложен в Бурятии в 1967 г. по инициативе Г.П. Колмакова при методическом руководстве ВИУА.

Климат зоны резко-континентальный. В период проведения опыта (1967–2015 гг.) среднегодовая сумма осадков составляла $234,2 \pm 9,8$ мм при отрицательных среднегодовых температурах воздуха ($-0,67 \pm 0,14$ °С). Большая часть осадков ($198,6 \pm 9,1$ мм) выпадала в период вегетации культур с мая по сентябрь. Дефицит атмосферного увлажнения был характерен для мая и начала июня. При резком росте среднесуточных температур и интенсивных сухих ветрах для этого периода характерна типичная весенне-раннелетняя засуха. Начиная с третьей декады июня условия вегетации становились более благоприятными, уве-

личению количества осадков соответствовал и рост температур. ГТК по Селянинову с мая по август возрастал соответственно от 0,7 в мае до 0,8 июне и 1,2 в июле и августе. Территория характеризовалась укороченным периодом биологической активности почв, при этом наибольшая интенсивность минерализационных процессов наблюдалась в июле и августе. Среднегумусная динамика влажности почвы под вегетирующими культурами характеризовалась относительно постоянными неудовлетворительными их запасами в пахотном горизонте (менее 20 мм) с мая по август. В целом за весь период активного водопоглощения запасы влаги в почве оценивались как плохие или неудовлетворительные.

Длительный агрохимический опыт проводился на каштановой почве, обладающей низким потенциальным плодородием: содержание гумуса – $1,31 \pm 0,38\%$, общего азота – $0,11 \pm 0,04\%$; близкой к нейтральной реакцией среды ($pH_{\text{водн.}} 6,5 \pm 0,1$); высоким содержанием подвижного P_2O_5 (231 ± 22 мг/кг) и обменного K_2O (101 ± 14 мг/кг) по Чирикову.

Гранулометрический состав почвы опытного участка формировался при доминировании мелкого песка, который не имел развитой активной поверхности (табл. 1).

Схема опыта включает 13 вариантов. Изучение гумусного состояния почвы проводили в трех вариантах опыта: 1) контроль – без удобрений; 2) $N_{40}P_{40}K_{40}$; 3) навоз 20 т/га. Действие удобрений в период 1967–1981 гг. изучали в шестипольном севообороте: пар – пшеница – пшеница – кукуруза – пшеница – овес, а с 1982 г. и по настоящее время в четырехпольном зернопаровом севообороте: пар – пшеница – овес – овес на

Таблица 1

Гранулометрический состав каштановой почвы опытного стационара
Grain texture of chestnut soil at the experimental plot

Глубина, см	Содержание (%) фракций диаметром, мм						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	< 0,01
0–10	21,9	42,5	19,1	5,0	3,4	8,1	16,5
10–20	22,8	39,9	20,6	4,6	2,5	9,8	16,7
20–30	23,6	43,6	18,0	2,3	3,1	9,4	14,8

зерносенаж. Севооборот развернут во времени и пространстве. Площадь делянки – 112 м², учетная площадь – 100 м², повторность четырехкратная. Минеральные удобрения (аммиачную селитру, двойной гранулированный суперфосфат и хлористый калий) вносили вручную. Подстилочный твердый полуперепревший навоз вносили навозоразбрасывателем (РОУ-6) летом под основную обработку в пар. Основная обработка почвы в севообороте отвальная на глубину 20–22 см.

Анализ почвы на основные показатели гумусного состояния проводили общепринятыми методами: содержание гумуса определяли по И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова [13], фракционно-групповой состав – по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой, Т.А. Плотниковой [14]. Результаты почвенных анализов подвергнуты математической обработке [15]. Скоростные параметры изменения содержания гумуса представлены кинетическими константами (*k*) скорости по регрессии экспоненты с использованием пакета стандартных программ (Microsoft Office Excel 2012). Кинетические константы (*k*) выведены из уравнения экспоненциальной регрессии: $y = a e^{kt}$, где *a* – константа; *e* – основание натурального логарифма; *k* – константа скорости изменения содержания гумуса, *t* – порядковый номер года. Полученные кинетические параметры изменения содержания гумуса характеризуют скоростные величины для сухой степи Забайкалья и сопредельных территорий Сибири и Монголии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты влияния практически полувекового систематического внесения минеральных и органических удобрений на гумусное состояние позволили раскрыть более развернутую панораму изменений этого важнейшего сегмента почвенного плодородия при повсеместной аридности почвенных процессов, скудном поступлении органического материала и низкой микробиологической активности почвы.

В отсутствие удобрений в течение почти 50 лет исходное содержание в контроле значительно снижалось и в среднем к 2015 г. не превышало $0,94 \pm 0,03\%$ (табл. 2). Причина столь масштабного снижения гумуса в этой индикации общепризнанна, и отклик изучаемой почвы не стал исключением. Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание гумуса в каштановой почве в неудобренном варианте практически достигло своего минимального уровня. По мнению исследователей [1, 8, 16–18], такое количество гумуса можно отнести к категории «базисного минимума» и рассматривать как точку отсчета при решении проблемы оптимизации факторов плодородия.

Количество критического, или инертного гумуса определяется главным образом гранулометрическим составом почвы и содержанием в ней физической глины, что закономерно соответствовало изучаемой почве (табл. 1). При этом провинциальные особенности гумусообразования каштановых почв Забайкалья: наличие длительной сезонной мерзлоты, общая низкая биологическая активность по-

Таблица 2

Динамика изменения содержания гумуса в слое почвы 0–20 см при систематическом применении удобрений, % (МО-1)

Dynamics in the changes of humus concentration in the soil layer 0-20 cm when applying fertilizers on a regular basis, % (MO-1)

Вариант	1967 г.	1981 г.	1996 г.	2008 г.	2015 г.
Без удобрений	$1,31 \pm 0,05$	$1,17 \pm 0,05$	$1,09 \pm 0,04$	$0,96 \pm 0,02$	$0,94 \pm 0,03$
N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀	$1,31 \pm 0,05$	$1,24 \pm 0,05$	$1,19 \pm 0,04$	$1,19 \pm 0,04$	$1,18 \pm 0,05$
Навоз 20 т/га	$1,31 \pm 0,05$	$1,37 \pm 0,04$	$1,41 \pm 0,03$	$1,48 \pm 0,03$	$1,50 \pm 0,04$
НСП ₀₅ , %		0,06	0,08	0,10	0,09

чвы, неравномерный характер распределения осадков при сильном иссушении поверхностных горизонтов в весенний и раннелетний периоды, по мнению ученых [11], определяют наличие постоянного количества консервативных форм гумуса. Кроме того, современными исследованиями [19] установлено, что кумулятивный эффект циклов высушивания, увлажнения, замораживания, оттаивания проявляется не столько в убыли валового содержания $C_{орг}$ из почвы, сколько в уменьшении минерализационного потенциала почвенного органического вещества.

Среднестатистическое содержание гумуса почвы в случае систематического внесения полного минерального удобрения оказалось достоверно выше контрольного варианта и достигло $1,18 \pm 0,05\%$ к последнему сроку определения. При всей позитивности этих оценок длительное внесение минеральных удобрений не обеспечивало достижение исходного содержания гумуса в почве. Тем не менее почвенная система в отношении гумусного состояния, несомненно, проявила положительный отклик на поступление минеральных туков, обеспечивая значительно меньшие количественные и скоростные темпы снижения исходного содержания гумуса в изучаемой почве. Подобное, по нашему мнению, обусловлено компенсацией потерь гумуса почвы поступлением корневых и пожнивных остатков, обеспечивающим устойчивое его содержание на уровне $1,18-1,19\%$, т.е. среднегодовое поступление корневых и пожнивных остатков в варианте с полным минеральным удобрением после 30 лет исследований компенсирует потери гумуса и стабилизирует его содержание. Однако, согласно шкале

градации пахотных почв РФ, по степени содержания гумуса в пахотном слое [1] данное количество в варианте с внесением минеральных удобрений соответствует первому классу гумусированности каштановых почв региона – меньше минимального уровня – и требует привнесения свежих порций органического вещества – навоза.

Бездефицитный и положительный баланс гумуса обеспечивал только вариант с внесением навоза. Содержание гумуса в почве за 48 лет внесения достигло $1,50 \pm 0,04\%$ и значительно превышало исходное содержание. В концептуальном понимании такой характер отклика связан с привнесением в почву как готовых форм гумусовых веществ, так и полуразложившихся органических остатков [20], а равно с особенностями внутрпочвенной трансформации органической массы и более ускоренным и насыщенным включением в группы и фракции органического вещества и гумуса почв [1–3]. По всей видимости, последнее для изучаемой почвы сухой степи не стало исключением.

Тренд изменения содержания гумуса в вариантах длительного агрохимического опыта описывался экспоненциальными уравнениями с низкими средними ошибками (табл. 3). В масштабе скоростных изменений кинетические параметры снижения гумуса в почве контрольного варианта оказались высокими и достигали $k = 0,008 \text{ год}^{-1}$. В варианте полного минерального удобрения константа скорости снижения составила $k = 0,003 \text{ год}^{-1}$ и оказалась втрое ниже, чем в варианте без внесения удобрений. Позитивный отклик гумусного состояния почвы косвенно подтвердился и масштабами скоростных изменений

Таблица 3

Эмпирические модели изменения содержания гумуса ($y, \%$) в слое 0–20 см почвы при систематическом применении удобрений
Empirical models of changes in humus concentrations ($y, \%$) in the soil layer 0-20 cm when applying fertilizers on a regular basis

Вариант	Модель прогноза	Константа скорости (k)	Средняя ошибка аппроксимации (\bar{A}),%
Без удобрений	$y = 1,323 e^{-0,008t}$	$0,008 \text{ год}^{-1}$	1,15
$N_{40}P_{40}K_{40}$	$y = 1,300 e^{-0,003t}$	$0,003 \text{ год}^{-1}$	1,16
Навоз 20 т/га	$y = 1,305 e^{0,002t}$	$0,002 \text{ в год}$	0,52

гумусности почвы в варианте с внесением 20 т/га, которые в отличие от вариантов без и с внесением минеральных удобрений отражали кинетику увеличения содержания гумуса в почве с константой скорости роста $k = 0,002$ в год. В целом многолетняя динамика в варианте без удобрений соотносилась с перманентно-минимальным трендом, в варианте с использованием минеральных удобрений – с равновесно-сбалансированным и в варианте с внесением навоза – с аккумуляционно-насыщающим.

Соответственно экспоненциальному характеру изменения содержания гумуса в почве отмечалась и трансформация его запасов в слое 0–20 см (табл. 4). Среднегодовые потери гумуса изучаемой почвы в отсутствие применения удобрений в течение первых 16 лет (1967–1982) составили 393 кг/га с последующей убылью за 14 лет (1983–1996) 192 кг/га, ежегодным уменьшением за следующие 12 лет (1997–2008) порядка 98 кг/га и в последние 7 лет (2008–2015) – 85 кг/га. Соответственно за весь период проведения исследований в неудобренном варианте почва утратила 28,3% исходного гумуса, или 11,0 т/га, со среднегодовой величиной потерь 228 кг/га.

Фактические потери исходного содержания гумуса каштановой почвы в динамике многолетних рядов при внесении полного минерального удобрения оказались втрое ниже контрольного варианта и составили 3,8 т/га со среднегодовой убылью 80 кг/га. Отклик снижения запасов гумуса в почве проявился в адекватном уменьшении ежегодных потерь, которые в первые 16 лет (1967–1982) достигали 131 кг/га, с дальней-

шей за 14 лет (1983–1996) величиной убыли 107 кг/га, при последующем 12-летнем (1997–2008) их отсутствии и незначительном снижении в последние 7 лет (2008–2015) – 41 кг/га.

В среднем за почти полувековой период исследований каштановая почва при внесении в паровое поле навоза в дозе 20 т/га пополнила свои запасы на 5,6 т/га со среднегодовым ежегодным приростом по 117 кг/га. При этом наибольшее увеличение запасов гумуса произошло в первые 16 лет (1967–1982) с ежегодным приращением по 194 кг/га. В последние 32 года (1983–2015) пополнение запасов гумуса было стабильным по годам с ежегодным увеличением от 71 до 84 кг/га.

Следовательно, полученные результаты по длительному воздействию различных систем удобрений (48 лет) на содержание и запасы гумуса каштановой почвы подтвердили результаты длительных опытов в других регионах России [8] о стремлении ее к квазиравновесному состоянию, когда активные изменения в начале опытов завершаются стабилизацией количества углерода на определенном уровне при постоянном использовании одних и тех же опытных программ и приемов их агротехнического обеспечения.

Установленные в ходе многолетних наблюдений количественные и скоростные изменения в содержании каштановой почвы по разным вариантам оценки отразились на качественном составе гумуса этой почвы. Ранее аналогичные характеристики в менее длительных ($n \leq 10-12$) и краткосрочных ($n = 3-5$) исследованиях под воздействием вносимых удобрений, в т.ч. органиче-

Таблица 4

Изменение запасов гумуса в слое 0–20 см почвы при систематическом применении удобрений по периодам определения, кг/га в год

Changes in humus reserves in the soil layer 0-20 cm when applying fertilizers in specific periods, kg/ha per year

Вариант	Года				
	1967–1982	1982–1996	1996–2008	2008–2015	1967–2015
Без удобрений	- 393	- 192	- 98	- 85	- 228
$N_{40}P_{40}K_{40}$	- 131	- 107	0	- 41	- 80
Навоз 20 т/га	+ 194	+ 71	+76	+84	+ 117

ских, представлены в единичных работах [11]. Соответственно, направленность качественного изменения в содержании углерода в группах и фракциях гумуса почвы под воздействием многолетней систематической нагрузки (42 года) минеральных и органических удобрений представляет устойчивую панораму разного отклика и служит индикатором предикции, разработки превентивных мер и прогноза персонализации ожидаемых превращений.

Исследования в данном стационарном опыте после 16 лет [9, 10] показали, что качественный состав гумуса изменялся при систематическом внесении органических удобрений, и эти изменения ограничивались пахотным слоем почвы. Увеличивалась доля гуминовых кислот (на 33%), содержание фульвокислот оставалось практически неизменным, возрастала доля нерастворимого остатка (на 38,2%). При внесении минеральных удобрений наблюдалось незначительное изменение группового состава гумуса, поэтому соотношение $C_{гк} : C_{фк}$ не менялось по сравнению с контролем.

Длительное ежегодное внесение удобрений (более 40 лет) непременно сопровождалось увеличением содержания углерода в составе гумуса почвы в ряду вносимых туков и комбинаций: без удобрений (0,56%) → полное минеральное удобрение (0,69%) → навоз (0,86%), отражая в этом адекватность отклика на дополнительное поступление извне вещества и энергии (табл. 5).

Ранее подобный эффект наблюдался при оценке энергомассообмена в длительном опыте с удобрениями в европейской части [21]. Аналогично изменялся один из ключе-

вых индикаторов гумусного состояния почвы – соотношение ГК: ФК, которое возрастало в ряду: без удобрений (0,75) → полное минеральное удобрение (0,79) и приближалось к 0,92 при внесении навоза. Последнее обеспечивалось ростом суммы ГК в ряду изучаемых удобрений – с 29,7 в контроле до 33,5 в варианте с навозом при соответственном снижении суммы ФК с 39,5 до 36,5. Именно в проявлении данных позиций кроется общая направленность изменений качественного состава углерода каштановой почвы в длительном рассмотрении, позволяя оценить предикцию гумуса к такой трансформации.

В детализации более частных изменений также выделим ряд устойчивых фактов, которые при всей пестроте цифрового массива в группах и фракциях гумуса почвы в совокупности дополняли общую направленность изменений и отражали разный отклик его составляющих.

Под воздействием удобрений возрастало присутствие углерода в наиболее подвижных фракциях ГК-1 и ФК-1а: соответственно с 4,2 в контроле до 7,0 при поступлении навоза по первой фракции ГК и с 2,7 до 3,5 в декальцинате ФК. Присутствие наименее подвижных фракций гумуса почвы (ГК-3 и ФК-3) под влиянием систематического применения удобрений независимо от известных различий химической природы и подвижности устойчиво снижалось с 11,6 до 8,1 и с 18,0 до 10,3 в контроле и варианте с навозом соответственно. Сравнительно менее подвижные и относительно устойчивые к минерализации фракции ГК-2 ФК-2, под влиянием ежегодного внесения туков не показывали столь зна-

Таблица 5

Изменение фракционно-группового состава гумуса в слое 0–20 см почвы под влиянием систематического применения удобрений, % от $C_{общ}$
Changes in the humus fraction and group composition in the soil layer 0–20 cm when applying fertilizers on a regular basis, % of $C_{общ}$

Вариант	$C_{общ}$, %	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					НО	ГК/ФК
		1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма		
Без удобрений	0,56	4,2	13,9	11,6	29,7	2,7	2,7	16,1	18,0	39,5	30,8	0,75
$N_{40}P_{40}K_{40}$	0,69	5,4	13,6	9,0	28,0	2,0	3,5	17,1	11,9	35,5	36,5	0,79
Навоз 20 т/га	0,86	6,2	19,0	8,3	33,5	2,6	4,1	18,7	10,1	36,5	30,0	0,92

чительных изменений, отражая консерватизм относительно других категорий гумусовых кислот.

В целом, изученная почвенная система в качественном рассмотрении при систематическом поступлении извне вещества и энергии (удобрения) показывает присущие признаки эмерджентности, которые в общих и частных проявлениях отражают наличие мобильных индикаторов изменений, с одной стороны, и присутствие устойчивой индикации – с другой. В итоге это дает основание для разработки превентивных мер и прогноза персонализации вполне ожидаемых изменений в случае поступления удобрений либо отсутствия таковых.

ВЫВОДЫ

1. Тренд многолетней динамики содержания и запасов гумуса в каштановой почве определяется количеством поступающего органического вещества, обусловленным системой удобрений с разными скоростными характеристиками и общей направленностью. В результате длительности и постоянства

агротехнологического воздействия гумусное состояние почвы стремится к своему квазиравновесному состоянию.

2. Ранжирование положительных количественных ($C_{\text{общ}}, \%$) и качественных (ГК : ФК) изменений гумуса в почве по вариантам оценки в динамике многолетних рядов происходит в ряду: без удобрений (0,56 % и 0,75) → полное удобрение NPK (0,69 % и 0,79) → навоз (0,86 % и 0,92). В такой же последовательности изменяются кинетические параметры: без удобрений ($k = 0,008 \text{ год}^{-1}$) → полное удобрение NPK ($k = 0,003 \text{ год}^{-1}$) → навоз ($k = 0,002 \text{ в год}$).

3. Содержание гумуса почвы 0,94 % в контрольном варианте опыта без удобрений на 48-й год исследований следует считать минимальным для каштановых почв региона. Применение минеральных удобрений в дозе $(NPK)_{40}$ стабилизирует содержание гумуса на 30-й год внесения на уровне 1,19 %. Систематическое применение органических удобрений повышает содержание гумуса в почве относительно исходного на 14,5 % – до 1,50 %, которое можно принять за оптимальный уровень.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
2. Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Изменение содержания гумуса в почвах в результате сельскохозяйственного использования: обзор. информ. – М., 1992. – 48 с.
3. Концепция оптимизации режима органического вещества в агроландшафтах / В.И. Кирюшин, Н.Ф. Ганжара, И.С. Кауричев [и др.] – М.: Изд-во МСХА, 1993. – 93 с.
4. Шевцова Л.К., Володарская И.В., Горбунов Е.В. Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // *Агрохимия*. – 2000. – № 9. – С. 5–10.
5. Шарков И.Н., Данилова А.А. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах // *Агрохимия*. – 2010. – № 12. – С. 72–81.
6. Динамика содержания органического углерода в типичном черноземе в условиях длительного полевого опыта / Б.М. Когут, А.С. Фрид, Н.П. Масютенко [и др.] // *Агрохимия*. – 2011. – № 12. – С. 37–44.
7. Мерзлая Г.Е. Биологические факторы в системах земледелия // *Агрохимия*. – 2017. – № 10. – С. 24–36.
8. Сычев В.Г., Шевцова Л.К., Мерзлая Г.Е. Исследование динамики и баланса гумуса при длительном применении систем удобрения на основных типах почв // *Агрохимия*. – 2018. – № 2. – С. 3–21.
9. Гамзиков Г.П., Лапунин Т.П., Уланов А.К. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах на каштановых почвах Забайкалья // *Агрохимия*. – 2005. – № 9. – С. 24–30.

10. Лапухин Т.П., Батудаев А.П., Уланов А.К. Изменение гумусного состояния каштановой почвы в результате длительного систематического применения удобрений в условиях сухой степи Западного Забайкалья // Вестн. БГСХА им. В.Р. Филиппова. – 2014. – № 3 (36). – С. 46–53.
11. Чимитдоржиева Г.Д. Органическое вещество холодных почв. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2016. – 338 с.
12. Уланов А.К., Будажапов Л.В., Билтуев А.С. Динамика изменения содержания гумуса каштановой почвы Забайкалья в длительных опытах с основными приемами земледелия // Плодородие. – 2017. – № 2 (95). – С. 42–45.
13. Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. – Л.: Колос, 1986. – 280 с.
14. Определение группового и фракционного состава по схеме И.В. Тюрина, в модификации В.В. Пономоревой и Т.А. Плотниковой // Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
15. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Либроком, 2009. – 328 с.
16. Кёршенс М. Значение содержания гумуса для плодородия почв и круговорота азота // Почвоведение. – 1992. – № 10. – С. 122–130.
17. Завьялова Н.Е. Методические подходы к изучению гумусного состояния пахотных почв // Плодородие. – № 1. – 2006. – С. 11–15.
18. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 21–27.
19. Семенов В.М., Когут Б.М., Лукин С.М. Влияние повторяющихся циклов высушивания, увлажнения, замораживания, оттаивания на активный пул органического вещества почв // Почвоведение. – 2014. – № 4. – С. 443–454.
20. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука, 1980. – 288 с.
21. Энергомассообмен в звене полевого севооборота / И.С. Шатилов, А.Г. Замараев, В.И. Савич [и др.] – М.: Агроконсалт, 2004. – Ч. 1. – 366 с.

REFERENCES

1. Semenov V.M, Kogut B.M. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* (Soil organic matter), Moscow: GEOS, 2015, 233 p.
2. Gamzikov G.P., Kulagina M.N. *Izmenenie soderzhaniya gumusa v pochvah v rezul'tate sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya* (Changes in humus content in soils as a result of agricultural use), Moscow, 1992, 48 p.
3. Kiryushin V.I., Ganzhara N.F., Kaurichev I.S. *Koncepciya optimizacii rezhima organicheskogo veshchestva v agrolandshaftah* (The concept of optimizing the regime of organic matter in agricultural landscapes), Moscow: Izd-vo MSKHA, 1993, 93 p.
4. Shevcova L. K., Volodarskaya I. V., Gorbunov E. V. *Agrohimiya*, 2000, No. 9, pp. 5–10. (In Russ.)
5. Sharkov I. N., Danilova A. A. *Agrohimiya*, 2010, No. 12, pp. 72–81. (In Russ.)
6. Kogut B. M., Frid A. S., Masyutenko N. P. *Agrohimiya*, 2011, No. 12, pp. 37–44. (In Russ.)
7. Merzlaya G. E. *Agrohimiya*, 2017, No. 10, pp. 24–36. (In Russ.)
8. Sychev V. G., Shevcova L. K., Merzlaya G. E. *Agrohimiya*, 2018, No. 2, pp. 3–21. (In Russ.)
9. Gamzikov G. P. Lapuhin T. P., Ulanov A. K. *Agrohimiya*, 2005, No. 9, pp. 24–30. (In Russ.)
10. Lapuhin T. P., Batudaev A. P., Ulanov A. K. *Vestnik BGSKHA im. V.R. Filippova*, 2014, No. 3 (36), pp. 46–53. (In Russ.)
11. Chimitdorzhieva G. D. *Organicheskoe veshchestvo holodnyh pochv* (Organic matter of cold soil), Ulan-Udeh: Izd-vo BNC SO RAN, 2016, 338 p.
12. Ulanov A. K., Budazhapov L. V., Biltuev A. S. *Plodorodie*, 2017, No. 2 (95), pp. 42–45. (In Russ.)
13. Aleksandrova L. N., Najdenova O. A. *Laboratorno-prakticheskie zanyatiya po pochvovedeniyu* (Laboratory and practical classes in soil science), Leningrad: Kolos, 1986, 280 p.
14. *Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv* (Agrochemical soil research methods), Moscow: Nauka, 1975, 656 p.

15. Dmitriev E.A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* (Mathematical statistics in soil science), Moscow: Librokom, 2009, 328 p.
16. Kyorshens M. *Pochvovedenie*, 1992, No. 10, pp. 122–130. (In Russ.)
17. Zav'yalova N.E. *Plodorodie*, No 1, 2006, pp. 11–15. (In Russ.)
18. Sharkov I.N. *Agrohimiya*, 2011, No 12, pp. 21–27. (In Russ.)
19. Semenov V.M., Kogut B.M., Lukin S.M, *Pochvovedenie*, 2014, No. 4, pp. 443–454. (In Russ.)
20. Aleksandrova L.N. *Organicheskoe veshchestvo pochvy i processy ego trans-formacii* (Soil organic matter and its transformation processes), Leningrd: Nauka, 1980, 288 p.
21. Shatilov I.S., Zamaraev A.G., Savich V.I. *Ehnergomassoobmen v zvene polevogo sevooborota* (Energy and mass transfer in the link of field crop rotation), Ch. 1, Moscow: Agrokonsalt, 2004, 366 p.