

РОЛЬ ОСТАТОЧНОЙ БИОМАССЫ КУЛЬТУР В РЕГУЛИРОВАНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВЫ В ЗВЕНЬЯХ СЕВООБОРОТОВ ЮГО-ВОСТОКА ЦЧР

**В.И. Турусов, акад. РАН, Е.Я. Коновалова,
ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева»
397463, пос. 2-го участка Института им. Докучаева, квартал 5, д.81,
Таловский р-н, Воронежская обл., Россия, E-mail: niish1c@mail.ru**

В условиях юго-востока Центрально-Чернозёмного региона в длительном стационарном опыте лаборатории эколого-ландшафтных севооборотов ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева» получены данные по накоплению остаточной биомассы в звеньях севооборотов с включением бобовых предшественников и озимой пшеницы, процессов её трансформации в почве целлюлозоразлагающими микроорганизмами без внесения минеральных удобрений и на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$. Показано влияние многолетних бобовых трав разного вида пользования и бинарного посева озимой пшеницы с озимой викой на интенсивность эмиссии диоксида углерода из почвы. В результате проведённых исследований в 2020-2022 г. установлено, что варианты с эспарцетом в звене с озимой пшеницей на 49,8-119,2 % больше горохового предшественника обеспечивали накопление растительных остатков в почве. Это способствовало поддержанию высокой целлюлозолитической активности, особенно в верхнем аэрируемом слое почвы 0-10 см на 18,0-23,0 %, показателей синтеза аминокислот до 0,207 опт. ед. и увеличению потоков CO_2 в процессе диффузии из почвы на 13,6 %. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ усиливало биологическую активность почвы, особенно во влажные годы.

Ключевые слова: севооборот, предшественник, биологическая активность почвы, остаточная биомасса, эмиссия CO_2 из почвы.

Для цитирования: Турусов В.И., Коновалова Е.Я. Роль остаточной биомассы культур в регулировании биологической активности почвы в звеньях севооборотов Юго-Востока ЦЧР// Плодородие. – 2024. – №6. – С. 5-9.
DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.01.

Одно из важнейших условий дальнейшего развития сельскохозяйственного производства – сохранение и повышение плодородия почвы. Для предотвращения негативных деградационных процессов в качестве ведущего фактора выступает экологизация систем земледелия, ключевым элементом которых являются севообороты с экологической направленностью. Последние призваны, наряду с рациональным использованием земли, обеспечивать воспроизводство плодородия почвы и защиту ее от эрозии, средоулучшающую, фитосанитарную функции в агроландшафтах и оптимизацию среды обитания человека, способствовать повышению биологической активности почвы и ее биоценотического потенциала [5-8].

Темпы перехода сложных соединений в более простые в процессе распада растительной биомассы и аккумуляирования элементов минерального питания в почве во многом зависят от участия населяющих её организмов. В свою очередь, свежее органическое вещество становится главным регулятором в цепи питания почвенной биоты. От его объёма и качества зависят направленность и активность биологических процессов в почве [1, 2, 11, 13].

Цель исследований – оценить биологическую активность почвы в различных севооборотах юго-востока ЦЧР с учётом остаточной биомассы сельскохозяйственных культур, интенсивности разложения клетчатки, эмиссии CO_2 из почвы в процессе дыхания на фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ и без применения минеральных удобрений.

Методика. Исследования проводили в длительном стационарном опыте лаборатории эколого-ландшафтных севооборотов ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева» в 2020-2022 г. на чернозёме

обыкновенном среднесиловом тяжелосуглинистом. Опыт заложен в трёхкратной повторности, расположение делянок систематическое с расщеплением их на две части: на фоне удобрений с дозой внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ и без их использования. Длина посевной делянки 15 м, ширина 5,6 м, площадь – 84 м².

Погодные условия в годы проведения исследований были характерны для юго-восточной части ЦЧЗ. С мая по июль 2020 г. ГТК составил 0,93, что оказалось ниже аналогичных вегетационных периодов 2021 и 2022 г., где показатели ГТК были в пределах 1,23, соответствуя уровню оптимального увлажнения и превысив среднее многолетнее значение ГТК = 0,97.

Отбор, анализ и учёт почвенных и растительных образцов проводили по общепринятым методикам в вариантах озимой пшеницы и её предшественников – гороха и эспарцета разного вида пользования. Данные звенья расположены в семипольных севооборотах: 1 – зернопаропропашной (ЗПП, контрольный): горох – озимая пшеница; 2 – зернопаропропашной (ЗПП, контрольный, $N_{60}P_{60}K_{60}$): горох – озимая пшеница; 3 – зернопропашной (ЗП): горох – озимая пшеница + озимая вика (бинарный посев); 4 – зернопропашной (ЗП, $N_{60}P_{60}K_{60}$): горох – озимая пшеница + озимая вика (бинарный посев); 5 – зернотравнопропашной (ЗТП): эспарцет на сидерат – озимая пшеница; 6 – зернотравнопропашной (ЗТП, $N_{60}P_{60}K_{60}$): эспарцет на сидерат – озимая пшеница; 7 – зернотравнопропашной (ЗТП): эспарцет на сено – озимая пшеница [4,10,12,14].

Полученные данные статистически обработаны дисперсионным анализом по Б.А. Доспехову (1987) и программой Microsoft Excel [3].

Результаты и их обсуждение. Проведённые исследования по учёту количества поступившей в почву остаточной биомассы культур в звеньях севооборотов свидетельствуют, что варианты с эспарцетом разного вида пользования значительно превосходили те, где в роли предшествующей культуры выступал горох. Многолетние бобовые травы сформировали мощную корневую и надземную массу в течение продолжительного вегетационного периода, реализуя в полной мере свой фитосинтетический потенциал. Это

способствовало накоплению большого объёма негумифицированного органического вещества, особенно по сидеральному эспарцетовому пару. Суммарные показатели по этому звену достигли 20,5 т/га сухого вещества, что оказалось в 2 раза выше аналогичных с горохом (рис. 1).

Распределение корневых систем в почвенных горизонтах севооборотов имело некоторое различие в зависимости от культур, входящих в состав звена, и использования минеральных удобрений (рис. 2).

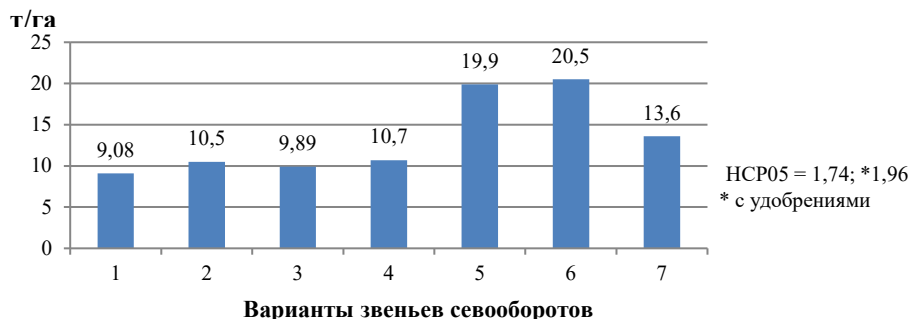


Рис. 1. Поступление в почву послеуборочной растительной биомассы сухого вещества (в среднем за 2020-2022 г.)

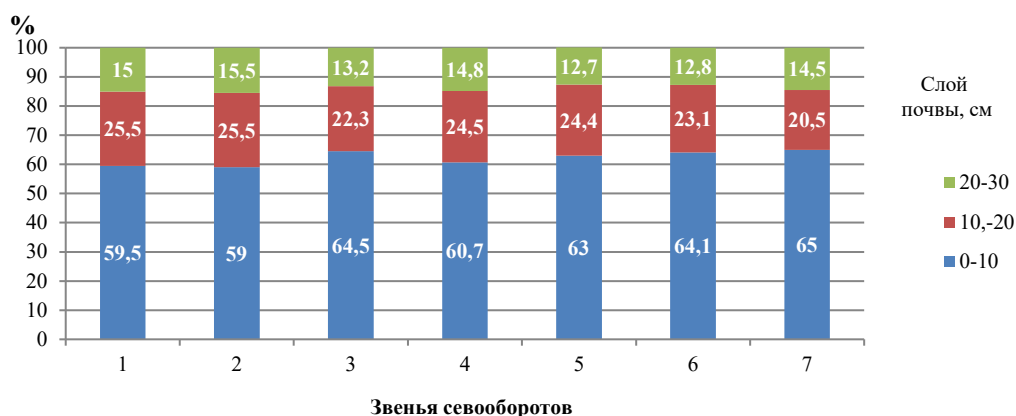


Рис. 2. Распределение корневой массы культур в звеньях севооборотов в почвенных горизонтах (в среднем за 2020-2022 г.)

Основная доля корней располагалась в верхних слоях почвы 0-10 см – 59-65% и 10-20 см – 20,5-25,5%. В слое почвы 20-30 см наблюдалось заметное снижение её массы до 12,7-15,5%.

Распространённым и достаточно информативным методом изучения биологической активности почвы является аппликационный метод разложения льняных полотен, дающий представление о жизнедеятельности целлюлолитических бактерий.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что в звеньях севооборотов с элементами биологизации были выявлены существенные различия между вариантами в почвенных горизонтах. Так потеря льняного полотна в слое почвы 0-10 см была заметно выше в звеньях зернотравнопропашных севооборотов, где создавались благоприятные условия для развития микробиологической деятельности (рис. 3).

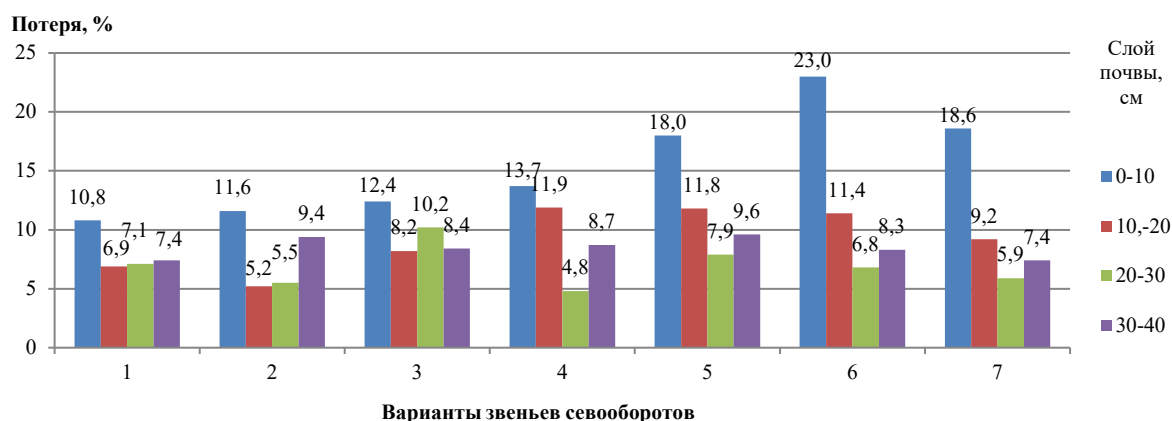


Рис. 3. Интенсивность разложения льняного полотна в звеньях севооборотов за 30 дней (в среднем за 2020-2022 г.)

На фоне $N_{60}P_{60}K_{60}$ она достигла 23 % по эспарцету на сидерат, что выше контроля на 11,4 % при $HCP_{05}=8,0$. В вариантах без внесения минеральных удобрений этот показатель равен 18,0-18,6 % по эспарцету разного вида пользования и превысил данные по гороху на 7,2-7,8% при $HCP_{05}=6,7$.

В слое почвы 10-20 см деятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в безудобренных вариантах зернотравянопропашных севооборотов обусловила увеличение показателей на 33,3-71,0 % относительно контроля. На удобренном фоне распад льняного полотна в звеньях с эспарцетом на сидерат и с включением озимой вики оказался выше контроля в 2,2-2,3 раза. В нижних горизонтах различия между вариантами практически нивелировались. Только на глубине 20-30 см в

зернопропашном севообороте с бинарным посевом отмечалось превышение контрольных значений на 43,7%.

Разложение льняного полотна целлюлозоразлагающими микроорганизмами способствует развитию микрофлоры, которая в качестве энергии использует продукты его распада. Благодаря такой жизнедеятельности образуются свободные аминокислоты, по количеству которых можно судить о темпах утилизации клетчатки и уровне микробиологической активности в целом.

В слое почвы 0-10 см накопление аминокислот было наиболее продуктивным в зернотравянопропашных севооборотах, особенно в удобренном варианте, где их количество достигло 0,207 опт. ед., что в 2,1 раза превысило контрольные значения и имело достоверно существенную разницу при $HCP_{05}=0,084$ опт. ед. (рис. 4).

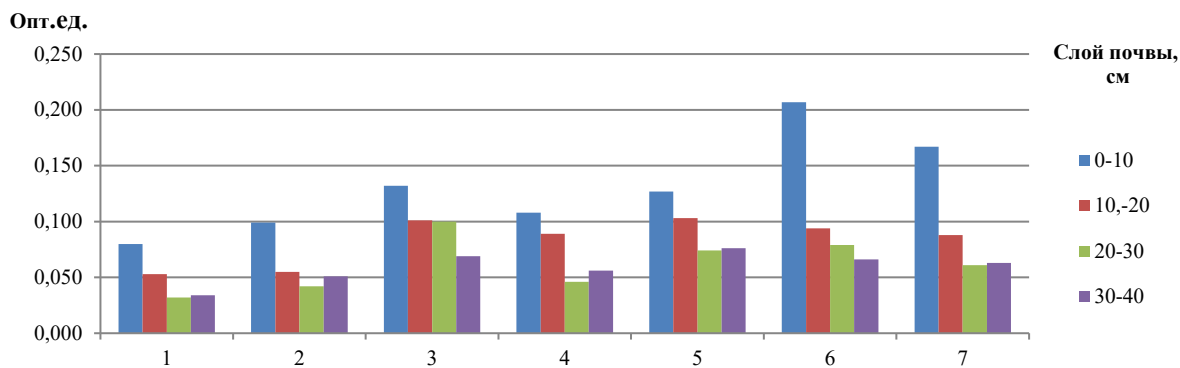


Рис. 4. Синтез аминокислот в звеньях севооборотов за 30 дней (в среднем за 2020-2022 г.)

На глубине 10-20 см влияние минеральных удобрений на синтез аминокислот постепенно снижалось, что приводило к выравниванию показателей между вариантами биологизированных севооборотов. Диапазон значений находился в пределах от 0,088 до 0,103 опт. ед., и имел при этом существенные преимущества по сравнению с контрольными показателями на 66,0-94,3%. В слое почвы 20-30 см высокая степень образования аминокислот наблюдалась в зернопропашном севообороте с бинарным посевом озимой пшеницы и озимой вики.

Жизнедеятельность почвенных микроорганизмов тесно связана с окислением органического углерода до

углекислоты. Чем энергичнее проходят микробиологические процессы в почве, тем выше уровень продуцирования CO_2 – важного показателя биологической активности почвы [9].

Исследования по интенсивности диффузии CO_2 из почвы в течение вегетационного периода показали, что в фазах всходов бобовых, отрастания зелёной массы эспарцета разного вида пользования и кушения озимой пшеницы существенно увеличивались показатели в звеньях севооборотов с многолетними бобовыми травами без применения минеральных удобрений до 2,9-3,8 %, что составило 136,2-137,4 $mg/(m^2 \cdot ch)$ при $HCP_{05}=3,4$ (рис. 5).

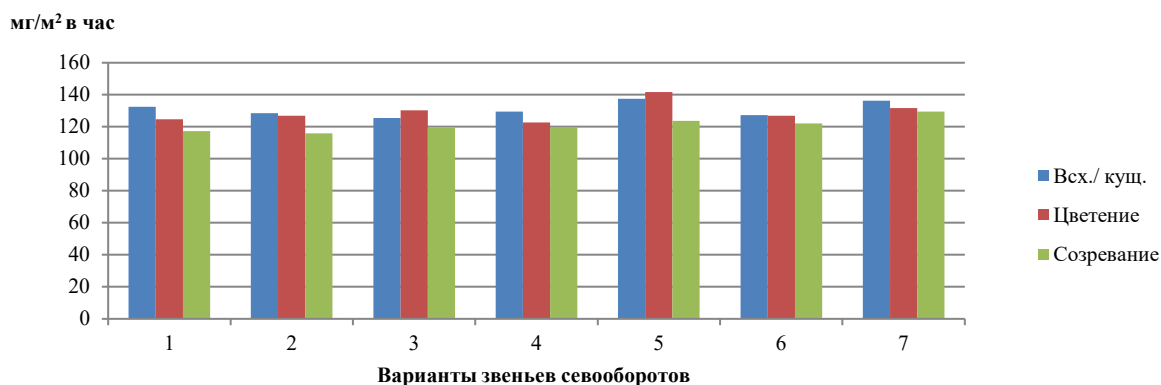


Рис. 5. Эмиссия CO_2 из почвы в звеньях севооборотов (в среднем за 2020-2022 г.)

В период цветения (колошения) эмиссия CO_2 в данных вариантах усиливалась на 5,6-13,6 %, что соответствовало 131,7-141,6 $mg/(m^2 \cdot ch)$. К моменту созревания культур наблюдалось постепенное ослабление продуцирования углекислоты почвой, что, по всей видимости, связано с угасанием деятельности почвенной микробиоты на фоне повышенных температур и недостаточной влагообеспеченности. Самым стабильным здесь

оказалось зернотравянопропашное звено с эспарцетом на сено – 129,5 $mg/(m^2 \cdot ch)$, превысив контрольные значения на 10,4 %.

Усреднённые трёхлетние данные по продуцированию CO_2 почвой не дают достаточного представления о сезонной динамике развития этого процесса в разные годы, поскольку погоднo-климатические условия складывались неодинаково, оказывая существенное влияние

на биологические процессы в почве. Во влажный период они способствовали лучшей растворимости минеральных удобрений, что в свою очередь приводило к активизации деятельности почвенной биоты, в более засушливые годы биологическая активность снижалась, соответственно уменьшалось количество выделившейся углекислоты.

Между эмиссией CO_2 и содержанием влаги в слое почвы 0-20 см в среднем за вегетацию установлена слабая положительная корреляционная связь $r = + 0,41$. Контрастными были 2020 г. ($r = - 0,89$) и 2021 г.



Рис. 6. Урожайность озимой пшеницы (в среднем за 2020-2022 г.)

Следует отметить, что урожайность озимой пшеницы в 2021 г. была низкой в связи с острым дефицитом влаги осенью 2020 г. и неудовлетворительной перезимовкой, что повлияло на усреднённый трёхлетний показатель. Корреляционная зависимость между диффузией углекислоты из почвы и урожайностью характеризовалась как средняя положительная с коэффициентом $r = + 0,63$.

Заключение. Проведённые исследования показали, что уровень биологической активности почвы повышался в вариантах звеньев с многолетними бобовыми травами, что обусловлено значительным объёмом здесь остаточной биомассы культур, особенно во влажные годы и на фоне внесения удобрений в дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$, где в сравнении с гороховым звеном биологическая активность почвы оказалась выше в 2 раза. По убыли льяного полотна, наглядно демонстрирующей деятельность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, превышение контрольных значений в слое 0-10 см достигло 11,4 %, накопление аминокислот – 2,1 раза, а продуцирование CO_2 почвой в период максимального роста культур – 13,6 %. Важная роль эспарцета как предшественника состоит в значительном накоплении биологического азота за счёт жизнедеятельности клубеньковых бактерий, который постепенно высвобождается в почве в процессе трансформации органических остатков, регулируя питательный режим последующих культур севооборота и жизненный цикл почвенных микроорганизмов. Введение бинарного посева озимой вики с озимой пшеницей также способствовало развитию данного процесса, но в меньшей степени. В целом, необходимо отметить положительную роль бобового компонента в чередованиях культур севооборота, имеющих низкоуглеродистый состав, способность к азотфиксации, повышающих плодородие почв и обладающих при этом высокими фитосанитарными свойствами.

($r = + 0,98$) с высокой отрицательной и очень высокой положительной связями.

Урожайность озимой пшеницы зависела от предшественников. Максимальной она была после эспарцета на сидерат, где превышала контроль на 0,56 т/га при $\text{HCP}_{05} = 0,28$. Внесение минеральных удобрений способствовало росту продуктивности озимой пшеницы, размещаемой как по однолетним, так и по многолетним бобовым культурам. Разница между ними была незначительной – в пределах 0,1 т/га при $\text{HCP}_{05} = 0,11$ (рис. 6).

Литература

1. Бабьева И.П. Биология почв: учебник под ред. Д.Г. Звягинцева / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – 2-е изд., пераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 336 с.
2. Берестецкий О.А. Биологические основы плодородия почвы / Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Л.М. и др. / Всесоюз. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 5-е, доп. и перераб. / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
4. Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 383 с.
5. Ерофеев С.А. Биологизация земледелия – основа эколого-ландшафтного земледелия / С.А. Ерофеев // Евразийский союз ученых. – 2018. – № 8-4 (53). – С. 8-11.
6. Замятин С.А., Максимова Р.Б. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 4(76). – С. 39-44. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-39-44
7. Лошаков В.Г. Севооборот и плодородие почвы. – М.: Изд-во ВНИИА, 2012. – 512 с.
8. Лукин С.М., Русакова И.В. Биологизация земледелия – научная и технологическая основа экологически устойчивого хозяйства // Экологически устойчивое земледелие: состояние, проблемы и пути их решения: Сб. научных трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – ВНИИОУ – филиал ФГБНУ «Всероссийский ФАНЦ», 22-24 июня 2018 г. – Иваново: ПресСто, 2018 – С. 3-10.
9. Макаров Б.Н. Газовый режим почвы. – М.: Агропромиздат, 1988. – 104 с.
10. Мишустин Е.Н., Петрова А.Н. Образование свободных аминокислот на разрушающейся в почве целлюлозе [Текст] / Микробиология. – 1963. – Т.35. – Вып. 3. – С. 491-495.
11. Мишустин Е.Н. Микробиология. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Е.Н. Мишустин, В.Т. Емцев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 368 с.
12. Рекомендации по методике проведения наблюдений и исследований в полевом опыте НИИСХ Юго-Востока / Под ред. Б.М. Смирнова. – Саратов, 1973. – 224 с.
13. Сидоров М.И., Зезюков Н.И. Научные и агротехнические основы севооборотов. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 104 с.
14. Tenner E.3. Практикум по микробиологии / Е.3. Теппер, В.К. Шильникова, Г.Н. Перверзев. – М.: Колос, 1979. – 215 с.

THE ROLE OF RESIDUAL BIOMASS OF CROPS IN THE REGULATION OF SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY IN CROPE ROTATIONS IN THE SOUTH-EAST OF CENTRAL BLACK EARTH REGION

V.I. Turusov, Doctor of Agricultural Sciences, acad. RAS, E.Ya.Konovalova, research assistant
State Budgetary Scientific Institution "Voronezh Federal Agrarian Research Center named after V.I.V.V. Dokuchaev, 397463, settlement 2 sites of the Institute named after V.V. Dokuchaev, quarter 5, house 81, Talovsky district, Voronezh Region, Russia,
E-mail: niish1c@mail.ru

In the conditions of the south-east of the Central Black Earth Region, in a long-term stationary experiment of the laboratory of ecological and landscape crop rotations of the Voronezh Federal Scientific Center named after V.V. Dokuchaev, experimental data were obtained on the accumulation of residual biomass in crop rotation links with the inclusion of legume predecessors and winter wheat, the processes of its transformation in the soil by cellulose microorganisms without the application of mineral fertilizers and against the background of $N_{60}P_{60}K_{60}$. The influence of perennial leguminous grasses of different types of use and binary sowing of winter wheat with winter vetch on the intensity of carbon dioxide emission from the soil is shown. As a result of the research carried out in 2020-2022 years it was established that the variants with sainfoin in the link with winter wheat provided 49.8-119.2% more accumulation of plant residues in the soil than the pea predecessor. This contributed to the maintenance of high cellulolytic activity, especially in the upper aerated soil layer 0-10 cm by 18.0-23.0%, amino acid synthesis indicators up to 0.207 opt. units and an increase in CO_2 flows during diffusion from the soil by 13.6%. The application of mineral fertilizers at a dose of $N_{60}P_{60}K_{60}$ enhanced the biological activity of the soil, especially in wet years.
Key words: crop rotation, predecessor, biological activity of the soil, residual biomass, CO_2 emission from soil.

УДК 631.417.1

DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.02

ОЦЕНКА ГУМУСИРОВАННОСТИ СЕРЫХ И СВЕТЛО-СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ РАЗНЫХ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В АГРОЛАНДШАФТАХ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Прохоров*, О.Е. Ефимов, Б.А. Борисов, П.С. Горячев,
Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева
Россия, 127434, Москва, Тимирязевская ул., 49
***artem.prokhorov.2016@inbox.ru**
*** <https://orcid.org/0000-0002-2988-5055>**

Работа выполнена в рамках тематического плана-задания на выполнение НИР по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2024 г.

На примере серых лесных почв Калужской области проведена оценка гумусового состояния агроландшафтов. При типизации почв на агроэкологические группы проанализирован вклад экзогенных факторов в формирование углерода гумуса и лабильной фракции РОХС. Установлено, что избыточное количество влаги в поверхностно – глееватых и грунтово – глеевых серых лесных почвах приводит к повышению содержания углерода гумуса в среднем на 15-20%, а содержание $C_{орг}$ на переувлажнённых землях статистически достоверно отличается от содержания $C_{орг}$ на почвах плакорных и эрозийных агроэкологических групп. Пространственная неоднородность фракции РОХС не позволяет выявить существенных различий средних значений в рамках агроэкологических групп земель. Установлено, что фракция $LF < 1,6 \text{ г/см}^3$ наиболее чувствительна к процессу сокращения почвенного углерода. При этом показатели pH_{KCl} , содержание подвижных форм фосфора и калия являются устойчивыми параметрами, а тренд сокращения РОХС нелинейный и для серых лесных почв Калужской области отмечалось наличие тенденции к более быстрому сокращению РОХС в промежутке от максимума до 3-го квартиля по $C_{орг}$, в то время как при сокращении $C_{орг}$ до 50% от фоновых значений отмечается наличие сглаживания и выхода тренда среднего содержания фракции РОХС на плато. В фоновых участках содержание РОХС на 40% выше, чем на пашне, при этом для содержания $C_{орг}$ характерна вариация в 10-15%. Фракции $LF < 1,6 \text{ г/см}^3$ и РОХС намного более чувствительны к землепользованию, чем содержание $C_{орг}$. Однако при этом РОХС характеризуется широкой вариабельностью и пространственная неоднородность содержания фракции РОХС не объясняется принадлежностью почв к агроэкологическим группам, тогда как по величине $C_{орг}$ отмечаются значимые различия средних за счет проявления избыточного гидроморфизма.

Ключевые слова: органическое вещество почв, агроэкологическая оценка, качество почв, устойчивость к деградации.

Для цитирования: Прохоров А.А., Ефимов О.Е., Борисов Б.А., Горячев П.С. Оценка гумусированности серых и светло-серых лесных почв разных агроэкологических групп в агроландшафтах Калужской области// Плодородие. – 2024. – №6. – С. 9-13. DOI: 10.25680/S19948603.2024.141.02.

По современным оценкам почва является крупнейшим на планете резервуаром углерода [11]. При этом сложность, гетерогенность и динамичность системы почвенных органических соединений не позволяют изучать ее напрямую, в связи с чем появляются новые косвенные методы измерения и оценки состояния почвенного органического вещества в наземных экосистемах и агроландшафтах [3,7,8,10].

Важность органического вещества (ОВ) для ключевых функций почвы изучается на протяжении длительного времени как отечественными, так и зарубежными авторами [3-6, 9, 10].

Традиционно, в рамках отечественного почвоведения и методики изучения ПОВ, разрабатываемой в СССР, широко используется химический анализ. Оксидиметрический метод Тюрина в различных его модификациях, в основе которого лежит применение хромовой смеси в качестве окислителя, остается единственным используемым показателем при проведении агрохимического обследования почв [7].

В рамках изучения зональных особенностей накопления ПОВ в нашей стране следует обратить внимание на труды Б.М. Когута. В работе «Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России» [3] приведена