

**Н.Л. КУРАЧЕНКО, доктор биологических наук, профессор,
В.Л. БОПП, кандидат биологических наук, доцент**

Красноярский государственный аграрный университет

660049, Россия, Красноярск, пр. Мира, 90

e-mail: kurachenko@mail.ru

ДИНАМИКА УГЛЕРОДА ВОДОРАСТВОРИМОГО ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ОБЫКНОВЕННОМ ПОД ЧИСТЫМИ И БИНАРНЫМИ ПОСЕВАМИ ДОННИКА

Исследовано гумусное состояние чернозема обыкновенного в чистых и бинарных посевах донника. Полевой опыт проходил в 2013–2015 гг. в Красноярской лесостепи. Оценку влияния чистых и бинарных посевов донника на гумусное состояние почвы изучали в севооборотах ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь; ячмень + донник – донник + озимая рожь – озимая рожь; донник – донник + озимая рожь – озимая рожь. Агроэкосистемы звеньев зернопарового и зернотравяных севооборотов, функционируя на почве с высоким уровнем гумусированности, обуславливают различное пополнение запасов гумуса. Бинарные посевы донника с ячменем определяют увеличение запасов общего углерода на 4 % (111 т/га) по сравнению с чистыми посевами донника. Разнонаправленный характер динамики углерода водорастворимого гумуса определяется структурой севооборота, количеством поступающих растительных остатков и гидротермическими условиями. Увеличение запасов влаги в черноземе обыкновенном способствует усилению минерализации $C_{\text{гумуса}}$ и снижению его количества в почве. Сезонная динамика водорастворимого гумуса в пахотном слое чернозема под чистыми и бинарными посевами донника на 52–46 % связана с динамикой влажности почвы. Прекращение жизненного цикла чистых и бинарных посевов донника определяет относительное увеличение углерода водорастворимого гумуса – на 17–31 %. Чистые посевы донника второго года жизни образуют пул C_{H_2O} , достигающий 0,51–0,59 т С/га в слое чернозема 0–40 см.

Ключевые слова: чернозем, бинарные посевы, донник, гумус, водорастворимый гумус.

Биологизация земледелия – наиболее перспективное направление, обеспечивающее сохранение плодородия почв и повышение рентабельности возделываемых культур. Важная роль при этом отводится насыщению севооборотов средоулучшающими культурами, которые обогащают почву органическим веществом и азотом, мобилизуют труднодоступные формы фосфора и калия и улучшают водно-физические свойства почвы [1]. Бобовые культуры, особенно в смеси со злаковыми, при правильной агротехнике, сроках и способах их использования могут быть источниками поступления в почву значительного количества азота и пополнения органическим веществом корнеобитаемого слоя [2].

Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур требуют новых научных решений, которые должны базироваться на более полном вовлечении в средо- и почвообразовательный процесс агроэкосистем доступных возобновляемых ресурсов. Полевые севообороты с бинарными посевами в современных условиях дают возможность решить проблемы производства зерна, создания устойчивой кормовой базы животноводства и стабилизировать плодородие почвы.

Цель исследования – дать количественную характеристику содержания, запасов и динамики углерода водорастворимого гумуса в чистых и бинарных посевах донника.

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И ХИМИЗАЦИЯ

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование проведено лабораторией кормопроизводства Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства. Полевой опыт проходил в 2013–2015 гг. в Красноярской лесостепи. Объект исследования – чернозем обыкновенный, маломощный, среднесуглинистый. Почва опытного участка в слое 0–20 см характеризовалась высоким содержанием гумуса (7,9–9,6 %), слабощелочной реакцией среды ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 7,1–7,8), высокой суммой обменных оснований (40,0–45,2 м-экв./100 г). В пахотном слое содержалось P_2O_5 179,7 мг/кг, K_2O 118,3 мг/кг.

Оценку влияния чистых и бинарных посевов донника на гумусное состояние почвы изучали в следующих севооборотах: ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь; ячмень + донник – донник (подпокровный) + озимая рожь – озимая рожь; донник – донник + озимая рожь – озимая рожь.

Повторность опыта четырехкратная, общая площадь опытных делянок 150 м², учетная – 60 м², размещение систематическое. Удобрения при возделывании сельскохозяйственных культур не применяли. Озимую рожь высевали 22 августа после скашивания второго укоса донника. В полевом опыте возделывали ячмень Соболек, донник желтый КАТЭК, озимую рожь Красноярскую универсальную.

Содержание общего и водорастворимого углерода изучали в слоях почвы 0–20 и 20–40 см. Анализировали смешанные образцы, составленные из 10 индивидуальных. В 2013 г. их отбирали в сентябре, в 2014, 2015 гг. – с мая по сентябрь. Образцы высушивали и пропускали через сито диаметром ячейки 1 мм. Содержание общего углерода определяли по Тюрину, водорастворимый углерод – методом бихроматной окисляемости по Тюрину, потенциальную интенсивность дыхания – в чашках Конвея в лабораторных условиях [3, 4]. Экстракцию водорастворимого углерода осуществляли водой при комнатной температуре при соотношении почвы и воды 1 : 5. Полученные результаты обрабатывали методами корреляционного анализа и описательной статистики [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенное органическое вещество – сложная гетерогенная система, состоящая из активной (легкоминерализуемой) и устойчивой (стабильной) части [6]. К легкоминерализуемой части органического вещества относят растительные остатки, микробную биомассу и подвижный гумус. Подвижный гумус – это комплекс веществ гумусовой природы, который легко переходит в растворимую форму. Водорастворимые соединения, выделяемые из растительных остатков в процессах разложения, представлены смесью органических кислот, аминокислот, углеводов. Данные соединения, составляющие периферическую часть гумуса, довольно быстро подвергаются минерализации и служат основным источником для синтеза гумусовых веществ. Поступление в почву корневых и пожнивных остатков многолетних трав повышает обеспеченность почвы легкоминерализуемыми соединениями, которые исключительно важны для формиро-

вания новой микробной биомассы и других быстротекущих процессов в почве [7].

Запасы углерода органического вещества в черноземах обыкновенных региона представлены преимущественно стабильной фракцией гумуса. Эти соединения составляют 83–84 % от запасов $C_{\text{гумуса}}$ [8]. В составе подвижного органического вещества доминируют молодые гумусовые кислоты, извлекаемые щелочным гидролизатом. Доля водорастворимых соединений невелика – 1–2 %.

Агроэкосистемы звеньев зернопарового и зернотравяных севооборотов, функционируя на почве с высоким уровнем гумусированности, определяют различное пополнение запасов гумуса. Так, средние запасы его в слое почвы 0–40 см в севообороте ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь и севообороте с возделыванием донника в чистом виде примерно одинаковы – 106–103 т/га (табл. 1). Бинарные посевы донника с ячменем определяли увеличение запасов общего углерода лишь на 4 % (111 т/га). Наличие в растительном материале бинарных посевов трудногидролизуемых соединений злакового компонента и широкое отношение $C : N$ в нем создают наилучшие предпосылки для образования гумусовых веществ или их фрагментов, чем в остатках чистых посевов донника. При этом содержание водорастворимых гумусовых веществ больше увеличивалось при трансформации донника. На такую возможность указывают ранее проведенные исследования [9]. Установлено, что удельная скорость гумификации мортмассы зернопарового севооборота с запашкой злакового сидерата составила 0,7 мг/г в сутки. В севооборотных звеньях с запашкой бобового растительного вещества удельная скорость гумификации 0,5 мг/г в сутки.

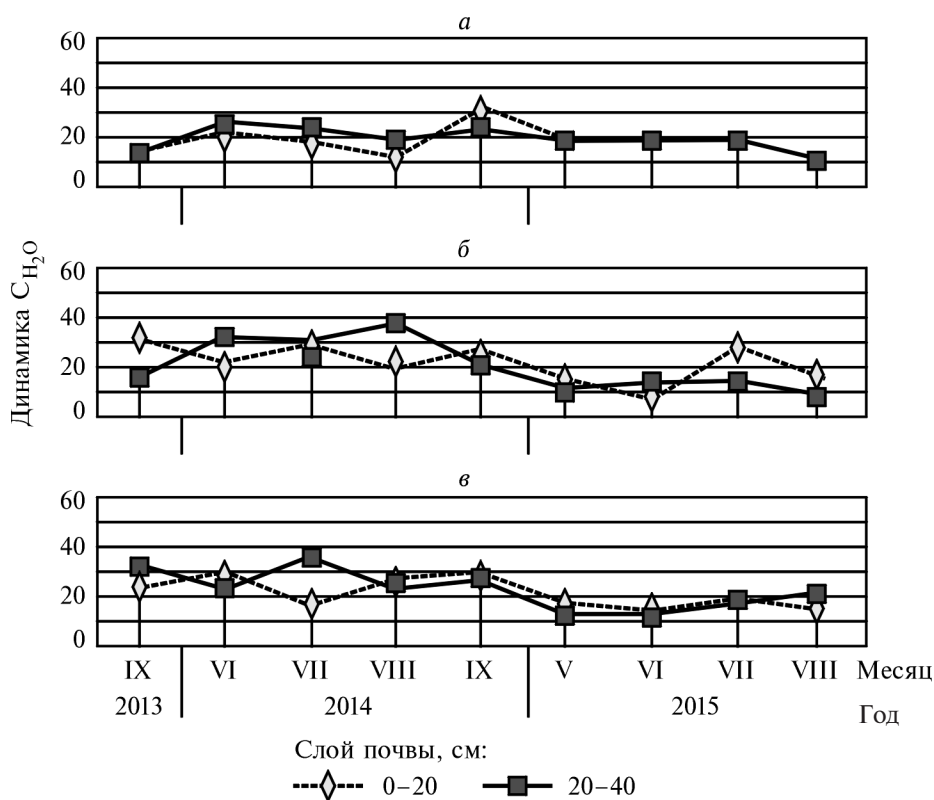
Характерная особенность почвообразовательного процесса – его цикличность. Понять природу почвообразования любой почвы невозможно без изучения сезонных процессов, их динамики и конкретного проявления. В наибольшей степени это относится к почвам черноземного типа с характерным для них контрастным режимом увлажнения. Цикличность процессов гумусообразования проявляется в сезонной и

Таблица 1
Запасы углерода общего гумуса в черноземе обыкновенном агроценозов
($n = 9$, 2013–2015 гг.), т С/га

Севооборот	Слой, см	$\bar{X}$	C_v , %
Ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь	0–20	$103,8 \pm 4,2$	12
	20–40	$108,9 \pm 5,3$	15
Ячмень + донник – донник (п/п) + озимая рожь – озимая рожь	0–20	$108,2 \pm 3,9$	11
	20–40	$113,8 \pm 4,0$	10
Донник – донник + озимая рожь – озимая рожь	0–20	$101,1 \pm 3,3$	10
	20–40	$104,9 \pm 4,1$	12

Примечание. $\bar{X}$ – среднее арифметическое, C_v – коэффициент вариации.

многолетней динамике содержания гумуса и его подвижных компонентов. Динамика водорастворимого гумуса связана с процессами прироста и деструкции растительного вещества, интенсивностью его разложения. Она имеет разнонаправленный характер и протекает с переменной интенсивностью ($C_v = 10-46\%$). Установлено, что после возделывания ячменя содержание водорастворимого углерода в слое чернозема обыкновенного 0–40 см не превышало 15 мг С/100 г (см. рисунок). В паровом поле и последующем агроценозе озимой ржи концентрация C_{H_2O} достигала 21 мг С/100 г и имела тенденцию постепенного снижения к августу. Возделывание донника, обладающего хорошо развитой и глубоко проникающей в почву корневой системой, способствовало обогащению почвы органическим веществом. В бинарных посевах донника пик повышения содержания водорастворимого гумуса в почве отмечен в августе (36 мг С/100 г), в чистых посевах донника – в июле (35 мг С/100 г). В посевах озимой ржи динамика углерода водорастворимого гумуса со-



Динамика C_{H_2O} в черноземе обыкновенном, мг С/100 г:

севооборот: а – ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь; б – ячмень + донник – донник (п/п) + озимая рожь – озимая рожь, в – донник – донник + озимая рожь – озимая рожь

проводилась понижением его содержания к уборке культуры. Снижение концентрации C_{H_2O} обусловлено его минерализацией. Наблюдения за дыханием почвы показали, что осенью 2013 г. потенциальная интенсивность дыхания в слое чернозема 0–20 см составила 2,9–5,0 мг $CO_2/10$ г. Возделывание озимой ржи по чистым и бинарным посевам способствовало усилению биологической активности данного слоя. В вегетационный сезон 2015 г. максимальная эмиссия приходилась на вариант с бинарными посевами донника, достигающая 8,1 мг $CO_2/10$ г. Установлено, что увеличение запасов влаги в черноземе обыкновенном способствует усилению минерализации Сгумуса и снижению его в почве ($r = -0,50 - (-0,73)$). Сезонная динамика водорастворимого гумуса в пахотном слое чернозема под чистыми и бинарными посевами донника на 52–46 % сопряжена с динамикой влажности почвы.

По мнению исследователей [10], важным звеном регулирования органического вещества почв служит оптимизация севооборотов. Подбор и оценку их осуществляли не только по продуктивности и производственно-экономическим критериям, но и количеству лабильного органического вещества, оставляемого каждым предшественником. Особенно велико значение севооборотов с полями люцерны, эспарцета, донника, где потери компенсируются за счет гумификации растительных остатков многолетних трав.

Количество углерода в компонентах подвижных гумусовых веществ определяется характером использования почвы. Высокие темпы разложения растительных остатков предшествующей культуры в условиях чистого пара обусловили минимальные запасы водорастворимого углерода (0,41 т С/га). Растительные остатки донника в чистых и бинарных посевах при разложении образуют в почве пул водорастворимых гумусовых веществ (табл. 2). Запасы C_{H_2O} в почве бинарных и чистых посевов донника второго года жизни превышали паровое поле на 0,07–0,13 т/га соответственно. Относительное увеличение углерода водорастворимого гумуса составило 17–31 %.

Таблица 2
Запасы углерода водорастворимого гумуса в черноземе обыкновенном агроценозов, т С/га

Севооборот	Слой, см	2013, 2014 гг. (n = 5)		2015 г. (n = 4)	
		X	Cv, %	X	Cv, %
Ячмень – пар + озимая рожь – озимая рожь	0–20	0,41 ± 0,07	24	0,33 ± 0,03	24
	20–40	0,43 ± 0,04	27	0,37 ± 0,04	24
Ячмень + донник – донник (п/п) + озимая рожь – озимая рожь	0–20	0,47 ± 0,04	21	0,32 ± 0,07	47
	20–40	0,50 ± 0,07	33	0,25 ± 0,03	24
Донник – донник + озимая рожь – озимая рожь	0–20	0,51 ± 0,04	19	0,34 ± 0,02	10
	20–40	0,59 ± 0,05	20	0,34 ± 0,04	22

Таким образом, чистые посевы донника второго года жизни определяли максимальные запасы водорастворимых соединений гумуса в слое 0–40 см – 0,55 т С/га. В агроценозе озимой ржи водорастворимые гумусовые вещества быстро минерализовались, что подтверждается уменьшением их запасов до 0,32–0,34 т С/га. Исследованиями [11] показано, что увеличение поступления растительных остатков в почву сопровождалось соответствующим ростом минерализационных потерь углерода.

ВЫВОДЫ

1. Агроэкосистемы звеньев зернопарового и зернотравяных севооборотов определяли различное пополнение запасов гумуса в черноземе обыкновенном. Бинарные посевы донника с ячменем способствовали относительному увеличению общего углерода в почве (на 4 %) и его запасов (на 4,6 т/га) по сравнению с чистыми посевами донника.

2. Динамические изменения углерода водорастворимого гумуса имели разнонаправленный характер и протекали с переменной интенсивностью ($C_v = 10\text{--}46\%$). Они определялись структурой севооборота, количеством поступающих растительных остатков и гидротермическими условиями.

3. Прекращение жизненного цикла чистых и бинарных посевов донника второго года жизни способствовало относительному увеличению углерода водорастворимого гумуса – на 17–31 %. Максимальный уровень запасов C_{H_2O} выявлен в чистых посевах донника – 0,51–0,59 т С/га в слое чернозема 0–40 см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дедов А.В., Несмеянова М.А., Кузнецова Т.А. Бинарные посевы с бобовыми травами // Пермский аграр. вестн. – 2014. – № 2. – С. 10–16.
2. Саранин Е.К. Биологизация земледелия. Теория и практика. – М.: ИКАР, 1996. – 130 с.
3. Ариуншкينا Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
4. Агрохимические методы исследования почв / под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 487 с.
5. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 319 с.
6. Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Евдокимов И.В. и др. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве // Почвоведение. – 2011. – № 6. – С. 658–698.
7. Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А. Роль растительной массы в формировании органического вещества почвы // Почвоведение. – 2004. – № 11. – С. 1350–1359.
8. Кураченко Н.Л. Оценка и динамика агрофизического состояния черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Томск, 2010. – 35 с.
9. Чупрова В.В. Углерод и азот в агроэкосистемах Средней Сибири // Вестн. Красноярского ГАУ. – 1997. – 164 с.
10. Жидков В.М., Зеленов А.В. Динамика органического вещества и элементов питания почвы в севооборотах Нижнего Поволжья // Агрохим. вестн. – 2009. – № 2. – С. 30–31.
11. Власенко А.Н., Шарков И.Н., Шепелев А.Г., Самохвалова Л.М., Прозоров А.С. Баланс углерода в черноземе выщелоченном при использовании его в различных севооборотах лесостепи Приобья // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2009. – № 6. – С. 5–13.

Поступила в редакцию 19.09.2016

N.L. KURACHENKO, Doctor of Science in Biology, Professor,
V.L. BOPP, Candidate of Science in Biology, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agrarian University

90, Mira Ave, Krasnoyarsk, 660049, Russia

e-mail: kurachenko@mail.ru

**WATER-SOLUBLE HUMUS CARBON DYNAMICS
IN COMMON CHERNOZEM OF KRASNOYARSK FOREST STEPPE
IN THE PURE AND BINARY MELILOT CROPS**

The humus state of common chernozem in the pure and binary melilot crops was studied. The field experiment was carried out in 2013–2015 in the Krasnoyarsk forest steppe area. The effects of the pure and binary melilot crops on the humus state of soil were studied in the following crop rotations: barley – fallow + winter rye – winter rye; barley + melilot – melilot + winter rye – winter rye; melilot – melilot + winter rye – winter rye. The agroecosystems of crop-fallow and crop-grass rotation links functioning on the soil with high humus content determine varied replenishment of humus reserves. The binary crops of melilot and barley determine the increase in total carbon reserves by 4 per cent (111 t/ha) as compared with the pure melilot crops. The multidirectional character of water-soluble humus carbon dynamics is determined by the structure of a crop rotation, the amount of plant residues and hydrothermal conditions. Increased moisture reserves in common chernozem contribute to the enhancement of humus mineralization and decrease in its amount in soil. The seasonal dynamics of water-soluble humus in the arable layer of chernozem under the pure and binary melilot crops by 52–46 per cent is connected with the soil moisture dynamics. The melilot lifetime termination determines a relative increase in the water-soluble humus carbon content by 17–31 per cent. The pure melilot crops of the second year of lifetime form a pool of C_{H_2O} reaching 0.51–0.59 tonnes of carbon per ha in the 0–40 cm layer of chernozem.

Keywords: chernozem, binary crops, melilot, humus, water-soluble humus.