

Ольга Анатольевна Власенко

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

ovlasenko07@mail.ru

ЗАПАСЫ УГЛЕРОДА И АЗОТА РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ В АГРОЦЕНОЗАХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Цель исследований – определить запасы углерода и азота растительного вещества, поступающие в агропочвы лесостепной зоны Красноярского края после уборки урожая культур, возделываемых по минимальной технологии. Исследования проведены в 2006–2024 гг. на территории Красноярской и Канской лесостепей. Объекты исследований – наиболее распространенные в этой зоне агроценозы зерновых культур, рапса, картофеля, сои и паровые поля, расположенные на черноземах выщелоченных в комплексе с черноземами обыкновенными и оподзоленными. Запасы надземного растительного вещества определяли методом учетных площадок, запасы подземного растительного вещества – в слое почвы 0–20 см методом монолитов. Определение углерода в растительном веществе выполняли оксидиметрическим методом, азота – по Кьельдалю на анализаторе UDK 159. При возделывании зерновых культур ежегодно формируется от 6,4 до 7,3 т/га растительных остатков; в агроценозах картофеля – 7,1; сои – 8,8; рапса – 8,9 т/га. Большая часть этих остатков (более 71 %) находится в подземной части агроценозов. Разные культуры имеют различное углеродно-азотное соотношение в растительных остатках, зерновые культуры характеризуются как слабо разлагаемые из-за широкого отношения C : N (79,2), в то время как соя имеет умеренно разлагаемые остатки с наименьшим углеродно-азотным соотношением (23). Переход растительных остатков из надземных в подземную мортмассу приводит к сужению углеродно-азотного соотношения от 78 до 61. Зерновые агроценозы в среднем поставляют в почвы до 2 963 кг/га углерода и до 37,5 кг/га азота растительных остатков, агроценозы картофеля – около 2878 кг/га углерода и 81 кг/га азота, после возделывания рапса в почву поступает 3 447 кг/га углерода и 80 кг/га азота, максимальное поступление в почву углерода и азота в агроценозе сои – 3 442 и 142 кг/га соответственно. За год парования агрочерноземов после возделывания зерновых культур 60 % углерода и 72 % азота растительных остатков разлагается. После 5–8 лет парования запасы углерода и азота в растительных остатках значительно уменьшаются – до 54 кг/га углерода и 0,6 кг/га азота.

Ключевые слова: запасы углерода в агропочвах, запасы азота в агропочвах, агропочвы, растительное вещество, растительные остатки, мортмасса, углерод, азот, углеродно-азотное соотношение

Для цитирования: Власенко О.А. Запасы углерода и азота растительных остатков в агроценозах лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4. С. 101–113. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-101-113.

Olga Anatolyevna Vlasenko

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

ovlasenko07@mail.ru

CARBON AND NITROGEN RESERVES OF PLANT RESIDUES IN AGROCENOSIS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF KRASNOYARSK REGION

The aim of research is to determine the reserves of carbon and nitrogen of plant matter entering the agro-soils of the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Region after harvesting crops cultivated using minimum technology. Research was conducted in 2006–2024 in the territory of the Krasnoyarsk and Kansk forest-steppes. The objects of the study are the most common agrocenoses of grain crops, rapeseed, potatoes, soybeans and fallow fields in this zone, located on leached chernozems in combination with ordinary and podzolized chernozems. The reserves of aboveground plant matter were determined using the method of accounting plots, the reserves of underground plant matter – in the soil layer of 0–20 cm using the monolith method. Carbon in plant matter was determined by the oxidimetric method, nitrogen – by Kjeldahl on the UDK 159 analyzer. When cultivating grain crops, 6.4 to 7.3 t/ha of plant residues are formed annually; in potato agrocenoses – 7.1; soybeans – 8.8; rapeseed – 8.9 t/ha. Most of these residues (more than 71 %) are in the underground part of agrocenoses. Different crops have different C : N ratios in plant residues, cereal crops are characterized as poorly degradable due to a wide C:N ratio (79.2), while soybeans have moderately degradable residues with the lowest C : N ratio (23). The transition of plant residues from aboveground to underground mortmass leads to a narrowing of the carbon-nitrogen ratio from 78 to 61. Grain agrocenoses on average supply up to 2,963 kg/ha of carbon and up to 37.5 kg/ha of nitrogen of plant residues to the soil, potato agrocenoses – about 2,878 kg/ha of carbon and 81 kg/ha of nitrogen, after the cultivation of rapeseed 3,447 kg/ha of carbon and 80 kg/ha of nitrogen enter the soil, the maximum supply of carbon and nitrogen to the soil in the soybean agrocenosis is 3,442 and 142 kg/ha, respectively. During the year of fallowing agrochernozems after the cultivation of grain crops, 60 % of the carbon and 72 % of the nitrogen of plant residues decompose. After 5–8 years of fallowing, the carbon and nitrogen reserves in plant residues are significantly reduced to 54 kg/ha of carbon and 0.6 kg/ha of nitrogen.

Keywords: carbon reserves in agricultural soils, nitrogen reserves in agricultural soils, agricultural soils, plant matter, plant residues, mortmass, carbon, nitrogen, carbon-nitrogen ratio

For citation: Vlasenko OA. Carbon and nitrogen reserves of plant residues in agrocenosis of the forest-steppe zone of Krasnoyarsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):101-113. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-101-113.

Введение. Растительные остатки сельскохозяйственных культур (пожнивные остатки, корни, стерня) – неотъемлемый компонент агроценозов, особенно в контексте современного ресурсосберегающего земледелия. Минимизация обработки почвы, применение технологий прямого сева и других почвозащитных практик активно стимулируют накопление органического вещества в почве. Традиционно сохранение растительного опада на полях рассматривалось как способ поддержания и повышения плодородия почвы, что подтверждается многочисленными исследованиями, начиная с работ И.А. Стебута и других ученых [1–3]. Это напрямую связано с улучшением гумусного и структурного состояния почвы, повышением ее поглотительной способности и обеспечением питательными элементами для растений, что приводит к повышению урожайности культур [4]. По сути, пожнивные и корневые остатки выступают в качестве естественной и экономически выгодной альтернативы дорогостоящим органическим удобрениям. В России

ежегодно образуется колоссальное количество растительных остатков – около 120 млн т/га соломы [5], представляющих собой огромный ресурс. Однако значение растительных остатков выходит далеко за рамки традиционного понимания их роли в обеспечении плодородия.

Многолетние исследования В.В. Чупровой и ее последователей [6–9] показали, что несмотря на кажущиеся внушительными запасы послеуборочных остатков, замещение природных экосистем агроценозами с более низкой чистой первичной продукцией, удаление части продукции с урожаем и снижение входа растительных остатков в почву приводит к уменьшению запасов вновь образуемого гумуса, при этом возрастает минерализация органического вещества в пахотных почвах, которая превышает его образование, и эмиссия углекислого газа становится больше чистой первичной продукции. В результате концентрация CO₂ в атмосфере растет, а запасы биомассы, растительных остатков и почвенного органического вещества уменьшаются

по сравнению с целинными экосистемами. В почвах Красноярского края потери подвижных соединений гумуса составляют 0,23 т С/га в год [10]. Исследованиями А.А. Титляновой установлено, что за последние 60 лет потери органического углерода из пахотных почв лесостепи и степи Западной Сибири составили 1 010 млн т и весь этот углерод в виде CO_2 поступил в атмосферу [11].

В современных условиях, на фоне глобального изменения климата и усиления антропогенного воздействия на окружающую среду, сохранение растительных остатков рассматривается как ключевой элемент карбонового земледелия – стратегии, направленной на снижение выбросов парниковых газов и увеличение запасов углерода в почве (секвестрация углерода) [12]. Механизм секвестрации углерода основан на том, что микроорганизмы почвы постепенно разлагают растительные остатки, при этом часть углерода из атмосферы (поглощенного растениями в процессе фотосинтеза) фиксируется в стабильных органических соединениях почвы, где он может храниться десятилетиями, а то и столетиями, что способствует снижению концентрации углекислого газа в атмосфере, оказывая положительное воздействие на климат. Эффективность секвестрации углерода агроценозами зависит от многих факторов. Химический состав растительных остатков, в особенности отношение в них углерода к азоту существенно влияет на скорость и степень их разложения, а соответственно, на количество углерода, закрепленного в почве. Климатические условия (температура, влажность) также играют важную роль, определяя активность микроорганизмов. Кроме того, тип обработки почвы влияет на скорость минерализации растительных остатков. Например, в условиях интенсивной обработки скорость разложения органических остатков значительно возрастает, что уменьшает эффективность секвестрации углерода. Поэтому применение минимальной или нулевой обработки почвы является важным условием успешной реализации стратегии карбонового земледелия [13–15].

В целом интеграция принципов карбонового земледелия, включая сохранение и эффективное использование растительных остатков, является одним из наиболее перспективных направлений для достижения устойчивого развития сельского хозяйства и снижения антропогенного

воздействия на окружающую среду. Дальнейшие исследования в этой области направлены на оптимизацию технологий обработки почвы, управление видовым составом растительных остатков и разработку инновационных методов увеличения эффективности секвестрации углерода [16].

Цель исследований – определить запасы углерода и азота растительного вещества, поступающие в агропочвы лесостепной зоны Красноярского края после уборки урожая культур, возделываемых по минимальной технологии.

Объекты и методы. Растительные образцы отбирались в производственных посевах на территории Красноярской и Канской лесостепи Красноярского края с 2006 по 2024 г., а также в условиях стационара УНПК «Борский» Красноярского ГАУ, расположенного в северной оконечности Красноярской лесостепи в этот же период. Данная территория находится в условиях умеренного агроклиматического пояса, холодно-умеренного подпояса, характеризуется высокой амплитудой суточных и годовых температур. По теплообеспеченности территория исследований в Красноярской лесостепи относится к недостаточно теплому району с суммой температур 1800–2000 °С, среднегодовое количество осадков – около 360 мм, продолжительность безморозного периода – 106–113 дней, ГТК – 1,1–1,3. В Канской лесостепи теплообеспеченность района исследований изменяется от 1 660 до 1 818 °С, продолжительность безморозного периода – 84–115 дней, годовая сумма осадков – 359–452 мм, ГТК – 1,00–1,44. Распределение осадков на всей территории в течение вегетации крайне неравномерное, особо засушливые периоды бывают в мае и начале июня, вторая половина вегетации часто бывает очень влажной. Одной из особенностей климата лесостепной зоны является короткий безморозный период и раннеосенние заморозки [17].

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее распространенные в земледельческой части региона агроценозы яровых зерновых культур (пшеницы, овса и ячменя), ярового рапса и картофеля, а также паровые поля, кроме этого для сравнительной оценки показателей изучены агроценозы сои и бессеменного чистого пара 5–8-летнего использования. Подготовка пара состояла из зяблевой культивации и четырех культиваций в течение вегетации на глубину 8–10 см. Картофель воз-

делывали по пару по семенной технологии, весной проводили ранневесеннее боронование, перед посадкой почва рыхлилась на глубину 18–20 см. Средняя урожайность семенного картофеля по годам исследований составляла 25–29 т/га. В агроценозе сои основная обработка – плоскорезная, проводили рыхление на глубину 15–17 см после уборки предшественника, в год посева – ранневесеннее боронование. Урожайность семян сои в среднем – 1,8–2,4 т/га. В агроценозе ярового рапса по паровому предшественнику, яровой пшеницы, овса и ячменя по паровым и зерновым предшественникам с осени проводилась плоскорезная обработка на глубину 8–10 см, в год посева – ранневесеннее боронование и предпосевная культивация. Средняя урожайность маслосемян рапса – 1,8–2,0 т/га; пшеницы – 2,6–3,5; ячменя – 2,0–2,2; овса – 3,4–4,5 т/га. Все остатки культур оставались на поле, отчуждалась только их основная продукция. Средства защиты растений и минеральные удобрения применялись согласно зональной технологии возделывания данных культур [17].

Во всех агроценозах образцы надземного растительного вещества отбирали в период уборки с площадок размером 0,25 м² в 6 точках с расстоянием 30–40 м между ними. Для определения запасов надземной мортмассы снопы обмолачивали и определяли выход зерна и соломы, кроме того все пожнивные остатки культур срезали и собирали с поверхности почвы. Запасы подземной мортмассы и корней определяли на этих же площадках на глубину 0–20 см методом монолитов размером 0,003 м³, путем отмывки их от почвы в проточной воде и последующего фракционирования на корни, крупную (> 0,25 мм) и мелкую мортмассу (< 0,25 мм). Из каждого объединенного растительного образца отбирали пробу для определения влажности и химического состава. В отобранных образцах определяли содержание влаги и сухого вещества (ГОСТ 27548–97), органического углерода (ГОСТ 27980–88) и азота (ГОСТ 13496.4–93). Математическая обработка результатов исследования проведена с использованием методов описательной статистики и дисперсионного анализа [18].

Результаты и их обсуждение. Основными гумусообразователями в почвах пашни являются корневые, стерневые и пожнивные остатки сельскохозяйственных культур. Надземная мортмасса в изученных агроценозах представлена отмершими в течение вегетации и опавшими на поверхность почвы, а также оставшимися на корню после уборки частями сельскохозяйственных растений (стерня). В паровых полях – это части стеблей, листьев и других органов растений, которые не успели разложиться или перейти в состав почвенной мортмассы и остаются на поле в виде единичных остатков (пожнивные остатки). Эти остатки представляют собой неравномерно измельченную солому зерновых культур, стебли, листья рапса и сои, ботву картофеля, которые могут оставаться на почве в течение одного или нескольких вегетационных периодов, в зависимости от предшественника, основной обработки почвы, химического состава остатков и погодных условий вегетации. За длительный период наблюдений установлено, что в пахотных черноземах лесостепи запасы надземной мортмассы, постепенно поступающей в почву, изменяются в очень широком диапазоне от 0,1 т/га в паровых полях по зерновым предшественникам до 3,0–3,3 т/га после возделывания рапса и сои. В полях бесменного чистого пара в конце вегетации запасы растительных остатков надземной мортмассы и корней сорняков вовсе отсутствуют. В яровых зерновых агроценозах запасы соломы составляют 1,3–2,0 т/га, минимальные значения характерны для ячменя, а максимальные – для пшеницы, возделываемой по зерновому предшественнику. Такие особенности объясняются более низкой продуктивностью ячменя и выходом соломы по сравнению с пшеницей и овсом (табл. 1, 2).

Подземное растительное вещество в агроценозах представлено запасом ежегодно отмирающих корней, а также постоянно трансформируемым пулом крупной и мелкой мортмассы. Минимальные запасы корней (0,03 т/га) в слое 0–20 см формируются в паровых полях по зерновым предшественникам, это корни отмерших после нескольких обработок сорняков. В агроценозе картофеля запасы корней составляют 0,76 т/га, где они представлены довольно тонкими столонными и пристолонными корнями.

**Статистические показатели запасов растительных остатков
в агроценозах в период уборки урожая, т/га**
Statistical indicators of plant residue stocks in agroecosystems during the harvest period, t/ha

Агроценоз	Статистические показатели*	Надземная мортмасса	Корни	Крупная мортмасса	Мелкая мортмасса	Всего остатков
				0–20 см		
Бессменный черный пар (5–8 лет)	X (n = 60)	0	0	0,08	0,07	0,15
	min	0	0	0,05	0,04	0,09
	max	0	0	0,10	0,09	0,19
	Sx	0	0	0,03	0,03	0,05
Пар (зерновой предшественник)	X (n = 60)	0,10	0,03	1,60	1,10	2,83
	min	0,08	0,01	1,27	0,94	2,30
	max	0,12	0,04	1,93	1,27	3,36
	Sx	0,02	0,02	0,33	0,17	0,53
Пшеница яровая по пару	X (n = 120)	1,87	1,20	2,07	1,93	7,07
	min	1,79	0,85	1,92	1,81	6,37
	max	1,94	1,55	2,22	2,04	7,75
	Sx	0,08	0,35	0,15	0,12	0,69
Пшеница яровая по пшенице	X (n = 60)	2,00	1,29	2,75	1,32	7,36
	min	1,46	0,96	2,48	1,04	5,94
	max	2,53	1,61	3,01	1,59	8,74
	Sx	0,54	0,32	0,27	0,28	1,40
Овес (3-я зерновая)	X (n = 42)	1,75	1,38	2,33	1,61	7,07
	min	1,19	0,75	2,27	1,30	5,51
	max	2,31	2,01	2,39	1,91	8,62
	Sx	0,56	0,63	0,06	0,31	1,56
Ячмень (3-я зерновая)	X (n = 24)	1,29	1,02	2,45	1,68	6,44
	min	1,09	0,96	2,16	1,89	6,10
	max	1,48	1,07	2,73	1,47	6,75
	Sx	0,19	0,05	0,29	0,21	0,33
Рапс яровой	X (n = 48)	3,04	1,53	2,41	1,92	8,90
	min	1,73	1,34	2,18	1,32	6,57
	max	4,34	1,71	2,63	2,52	11,20
	Sx	1,31	0,19	0,22	0,60	2,32
Картофель на семена (по пару)	X (n = 24)	1,56	0,76	3,13	1,63	7,08
	min	1,07	0,24	2,74	1,35	5,40
	max	2,05	1,27	3,52	1,90	8,74
	Sx	0,49	0,52	0,39	0,28	1,67
Соя (по картофелю)	X (n = 24)	3,27	1,90	2,12	1,55	8,84
	min	2,79	1,72	1,93	1,27	7,71
	max	3,75	2,07	2,31	1,83	9,96
	Sx	0,98	0,17	0,19	0,28	1,62

Здесь и далее: n – количество образцов, X – средняя; min – минимальное значение; max – максимальное значение; Sx – стандартное отклонение от средней.

В зерновых агроценозах в слое почвы 0–20 см наибольшие запасы корней формируются у овса и составляют 1,38 т/га, в агроценозах пшеницы по паровому и зерновому предшественнику запасы корней к уборке равны 1,20–1,29 т/га, в агроценозе ячменя – 1,02 т/га.

Это закономерно, поскольку овес по сравнению с пшеницей и ячменем имеет более развитую корневую систему и раньше образует вторичные корни. На корнях овса присутствует огромное количество корневых волосков, это позволяет корням обладать повышенной активностью

в отношении труднорастворимых соединений и высокой поглотительной способностью. В конечном итоге, данные физиологические особенности приводят к более растянутому периоду потребления элементов питания и влаги у овса [19]. В результате запасы корней овса в период уборки превышают запасы корней пшеницы и ячменя в 1,2–1,4 раза. Как известно, у сои и рапса в отличие от зерновых культур стержневая корневая система, уходящая вглубь до 1,5–2,0 м, однако имеются многочисленные боковые корни и корешки разных порядков, которые распространены преимущественно в верхнем слое, что и приводит к формированию максимальных запасов корней в почвах при возделывании сои и рапса – 1,90 и 1,53 т/га соответственно. В течение вегетации и после уборки корни всех культур отмирают и переходят в состав крупной и мелкой мортмассы, часть корней разлагается.

Крупная мортмасса в агропочвах представлена растительными остатками диаметром более 0,25 мм, состоящими преимущественно из стеблей, листьев, отмерших корней и прочих трудно идентифицируемых органов растений возделываемых культур как этого, так и предшествующих периодов вегетации. Данный блок растительного вещества постоянно пополняется свежими порциями растительных остатков, особенно в период обработки почвы и уборки урожая и тут же расходуется на пополнение блока мелкой мортмассы.

В свою очередь мелкая мортмасса – это остатки диаметром менее 0,25 мм, которые представлены частично гумифицированными и минерализованными очень мелкими частями растений и других организмов (детритом). Данный блок растительного вещества одновременно является лабильной частью почвенного органического вещества, формируя своеобразную переходную систему между мортмассой и гумусом, а также является ближайшим пулом для минерализационных процессов.

Так, в агрочерноземах при возделывании зерновых культур по разным предшественникам к уборке урожая формируется от 2,07 до 2,75 т/га крупной мортмассы и от 1,32 до 1,93 т/га мелкой мортмассы. В период уборки урожая картофеля запасы крупной мортмассы в слое почвы 0–20 см составляют 3,13 т/га, мелкой мортмассы – 1,63 т/га. В агроценозе рапса в конце вегетации запасы крупной мортмассы 2,41 т/га, мелкой – 1,92 т/га. При возделывании

сочи к уборке формируется 2,12 т/га крупной и 1,55 т/га мелкой мортмассы. В паровых полях по зерновым предшественникам запасы крупной и мелкой мортмассы составляют 1,6 и 1,1 т/га соответственно. Таким образом, блоки крупной и мелкой подземной мортмассы постоянно пополняются и сразу же подвергаются разложению, в связи с этим их запасы довольно стабильны во всех изученных агроценозах, включая паровые поля (кроме бессменного чистого пара) и составляют около 4,1 т/га.

Итак, к уборке урожая в агроценозах сои и рапса формируется максимальный запас растительных остатков – 8,8–8,9 т/га, из них 30 % приходится на надземную мортмассу. Это объясняется высокой продуктивностью зеленой фитомассы данных культур. В агроценозе картофеля общий запас растительных остатков составляет 7,1 т/га, и в их составе преобладает крупная мортмасса (44,3 %). Такая особенность связана с технологией возделывания картофеля на семена, в августе проводится механическая десикация и разбрасывание ботвы, далее во время уборки вся надземная фитомасса картофеля переходит в состав подземной мортмассы. В агроценозе зерновых культур общий запас растительных остатков – от 6,4 до 7,3 т/га, причем более 73 % из них приходится на подземную мортмассу и корни. В течение 5–8-летнего бессменного парования агрочернозема практически весь запас подземного растительного вещества предшествующих культур истощается, в почву спорадически попадают остатки единичных сорняков, и общие запасы мортмассы не превышают 0,14 т/га.

Если рассматривать отношение основной продукции культур к побочной, к которой относятся остатки текущего года (надземная мортмасса и корни), и сопоставить его с валовым сбором урожая различных культур на территории Красноярского края, то в среднем потенциальное количество ежегодно поступающих в почвы растительных остатков за период с 2007 по 2023 г. составляет 34,16 млн т, что соответствует 18 т/га пахотных земель и сенокосов (табл. 2), вместе с относительно постоянным запасом крупной и мелкой мортмассы в почвах агроценозов, депонированный пул растительных остатков составит в среднем 22 т/га. Однако реальное поступление растительных остатков гораздо меньше потенциального, поскольку часть побочной продукции используется в жи-

вотноводстве или, в редких случаях, сжигается на полях.

Химический анализ показал, что надземные растительные остатки сельскохозяйственных культур (в пересчете на сухое вещество) на 42,3–47,3 % состоят из углерода (табл. 3). В составе

подземного растительного вещества максимальное содержание углерода обнаружено в корнях (37,9–41,5 %), в крупной мортмассе концентрация углерода ниже (от 33,2 до 39,2 %), а в мелкой мортмассе обнаружено минимальное содержание углерода, которое варьирует от 27,2 до 37,5 %.

Таблица 2

Валовой сбор основной и побочной продукции в хозяйствах всех категорий по Красноярскому краю (в среднем 2007–2023 гг.)
Gross yield of main and by-products in farms of all categories in the Krasnoyarsk Region (average 2007–2023)

Культура	Валовой сбор, млн т/год* (в/с вещество)	Отношение растительных остатков к основной продукции	Количество растительных остатков, млн т/год (в/с вещество)
Пшеница	12,55	1,3	16,31
Рожь	0,22	1,5**	0,33
Ячмень	3,18	1,2	3,82
Овес	3,09	1,3	4,01
Кукуруза	0,08	1,6**	0,13
Гречиха	0,05	2,3**	0,12
Тритикале	0,01	1,5**	0,02
Зернобобовые культуры	0,21	2,5	0,53
Семена рапса	0,96	2,4	2,29
Семена и плоды прочих масличных культур	0,99	2,4**	2,38
Картофель	1,88	0,11	0,21
Овощи открытого и закрытого грунта	0,19	0,12**	0,02
Корма из однолетних трав: сено	0,07	1,0**	0,07
То же: зеленый корм	3,38	0,28**	0,95
Корма из многолетних трав: сено	1,54	1,7**	2,62
То же: зеленый корм	1,24	0,28**	0,35
Всего по Красноярскому краю			34,16

* Валовые сборы урожая основной продукции по Красноярскому краю в пересчете на воздушно-сухое (в/с) вещество (данные Росстат [20]).

** Величины отношения побочной продукции к основной по данным [21].

Таким образом, содержание углерода в растительных остатках зависит от стадии их разложения. Показатель силы влияния (ПСВ) фактора «блок растительных остатков» равен 49 %. Кроме этого, содержание углерода в остатках определяется и возделываемой культурой, ПСВ фактора «агроценоз» составил 30 %. Минимальное среднее содержание углерода в растительных остатках характерно для агроценозов сои и рапса (36,8–38,6 %), в агроценозе картофеля оно составляет 41,2 %, в зерновых агроценозах колеблется от 43,2 до 40,6 %.

В целом содержание углерода в растительных остатках характеризуется незначительной

вариабельностью ($C_v = 4–11\%$) по сравнению с азотом, у которого размах варьирования выше ($C_v = 55–70\%$). Содержание азота в растительных остатках варьировало в довольно широких пределах и определялось главным образом видовым составом агроценоза, ПСВ фактора «агроценоз» равен 83 %. Среднее содержание азота в надземных и подземных растительных остатках зерновых культур составляет 0,52 %; рапса – 0,88; картофеля – 1,20; сои – 1,66 %. Таким образом, аккумуляция азота в растительных остатках сои в 3,2 раза выше, чем в соломе зерновых культур, в 1,7 раза выше, чем у рапса, и в 2,3 раза выше, чем в остатках картофеля.

Химический состав растительных остатков в период уборки, % на сухое вещество
Chemical composition of plant residues during harvesting, % of dry matter

Агроценоз / статистические показатели	Надземная мортмасса			Корни			Крупная мортмасса			Мелкая мортмасса		
	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N	C	N	C/N
Бессменный черный пар							36,9	0,42	88	35,4	0,44	80
Пар (по зерновым)	43,3	0,37	117	40,7	0,44	93	39,7	0,41	97	38,5	0,43	90
Пшеница яровая по пару	47,3	0,53	89	43,3	0,61	71	41,3	0,47	88	41	0,56	73
Пшеница яровая по пшенице	47,3	0,45	105	43,4	0,57	76	41,4	0,53	78	40,7	0,52	78
Ячмень (3-я зерновая)	46,7	0,51	92	42,2	0,58	73	40,1	0,51	79	40,1	0,54	74
Овес (3-я зерновая)	46,1	0,56	82	42,3	0,62	68	40,1	0,56	72	39,3	0,57	69
Рапс яровой	42,3	0,59	72	40,9	0,43	95	33,2	1,41	24	37,9	1,10	34
Картофель на семена (по пару)	45,7	1,39	33	41,4	1,22	34	40,6	0,95	43	37,2	1,23	30
Соя (по картофелю)	42,5	1,24	34	37,9	2,1	18	39,7	1,8	22	27,2	1,50	18
X	45,2	0,7	78,0	41,5	0,8	66,0	39,2	0,8	65,5	37,5	0,8	60,8
min	42,3	0,4	32,9	37,9	0,4	18,0	33,2	0,4	22,1	27,2	0,4	18,1
max	47,3	1,4	117,0	43,4	2,1	95,1	41,4	1,8	96,8	41,0	1,5	89,5
Sx	2,1	0,4	30,6	1,8	0,6	26,9	2,6	0,5	28,5	4,2	0,4	25,9
Cv, %	5	55	39	4	70	41	7	64	44	11	52	43
Для содержания углерода	p – значение фактора «агроценоз» 0,005, ПСВ = 30 %											
	p – значение фактора «блок растительных остатков» $1,5 \cdot 10^{-5}$, ПСВ = 49 %											
Для содержания азота	p – значение фактора «агроценоз» $6,4 \cdot 10^{-7}$, ПСВ = 83 %											
	фактор «блок растительных остатков» не имеет существенного влияния (p – значение > 0,05; Fф < Fт)											

Примечание: Cv, % - коэффициент вариации данных; ПСВ – показатель силы влияния фактора.

Фактор «блок растительного вещества» не оказывает существенного влияния на концентрацию азота. Так, в надземной мортмассе зерновых культур среднее содержание азота – 0,51 %; в корнях – 0,59; в крупной и мелкой мортмассе – 0,55 %. В надземных остатках картофеля содержание азота – 1,39 %; в корнях – 1,22; в мортмассе – 1,09 %. В надземных остатках рапса содержание азота – 0,59 %; в корнях – 0,43; в крупной и мелкой мортмассе – 1,26 %. Надземные остатки сои содержат 1,24 %; корни – 2,10; подземная мортмасса – 1,65 % азота.

Отношение C : N в растительных остатках определяет их доступность для разложения. Растительные остатки в которых отношение C : N < 18 считаются быстроразлагаемыми (высокое качество), 18–27 – умеренноразлагаемыми (среднее качество), 28–60 – медленноразлагаемыми (низ-

кое качество), > 60 – слаборазлагаемыми (очень низкое качество) [22]. Сравнительный анализ данных показал, что к слаборазлагаемым остаткам можно отнести остатки зерновых культур, в них углеродно-азотное соотношение в среднем составляет 79,2. Растительные остатки картофеля и рапса можно отнести к медленноразлагаемым, в них среднее отношение C : N равно 35 и 56 соответственно. Умеренно разлагаемые остатки сои имеют самое узкое отношение углерода к азоту равное 23. В целом у всех культур по мере перехода растительных остатков из надземных в подземную мортмассу содержание углерода снижается гораздо заметнее, чем содержание азота. В большинстве случаев содержание азота в мелкой почвенной мортмассе даже выше, чем в надземных остатках. В связи с этим при продвижении растительного вещества от

надземных остатков в мелкую почвенную мортмассу отношение С : N сужается с 78 до 61. На подобную закономерность указывают и другие исследования [23], в которых установлено, что минерализация соломы различных культур на фоне снижения абсолютного снижения азота сопровождается увеличением относительного его содержания в растительных остатках за счет вторичного ресинтеза белковых соединений микроорганизмами, что приводит к существенному сужению углеродно-азотного соотношения и по-

вышению доступности растительных остатков для разложения. С практической точки зрения с помощью регулирования доли остатков разного качества можно управлять процессами их разложения в почве агроценозов, усиливать либо азотное питание растений, либо создавать условия для усиления гумификации [22].

При возделывании зерновых культур после уборки урожая в агропочвы в среднем поступает 811 кг/га органического углерода и 8,8 кг/га азота с надземными остатками (с соломой) (табл. 4).

Таблица 4

Запасы углерода и азота в надземных и подземных растительных остатках агроценозов после уборки, кг/га
Carbon and nitrogen reserves in aboveground and underground plant residues of agroecosystems after harvesting, kg/ha

Агроценоз / статистические показатели	Надземная мортмасса		Корни		Крупная мортмасса		Мелкая мортмасса		Всего	
	С	N	С	N	С	N	С	N	С	N
Бессменный черный пар (6 лет)	–	–	–	–	29,5	0,3	24,8	0,3	54,3	0,6
Пар (по зерновым)	43,3	0,4	13,0	0,1	635,2	6,6	423,5	4,7	1115,0	11,8
Пшеница яровая по пару	884,5	9,9	520,8	7,3	854,9	9,7	791,3	10,8	3051,5	37,8
Пшеница яровая по пшенице	946,0	9,0	544,4	7,4	1138,5	14,6	537,2	6,9	3166,1	37,8
Ячмень (3-я зерновая)	817,3	8,9	583,7	8,0	934,3	11,9	645,6	8,7	2980,9	37,5
Овес (3-я зерновая)	594,7	7,2	417,2	6,3	982,5	13,7	660,2	9,6	2654,6	36,8
Рапс яровой	1285,9	17,9	633,4	6,6	800,1	34,0	727,7	21,1	3447,1	79,6
Картофель на семена (по пару)	712,9	21,7	288,0	9,3	1270,8	29,7	606,4	20,0	2878,1	80,7
Соя (по картофелю)	1389,8	40,5	788,7	39,9	841,6	38,2	421,6	23,3	3441,7	141,9

За счет корней в почву поступает еще 516 кг/га углерода и 7,2 кг/га азота. Запасы углерода крупной мортмассы в зерновых агроценозах составляют 978 кг/га, мелкой – 659 кг/га; запасы азота в крупной мортмассе – 12,5 кг/га, мелкой – 9,0 кг/га.

Всего зерновые агроценозы поставляют в почвы в среднем 2 963 кг/га углерода и 37,5 кг/га азота ежегодно. Агроценозы картофеля поставляют в почву к осени порядка 2 878 кг/га углерода и 81 кг/га азота. Максимальное поступление в почву углерода и азота в агроценозе сои – 3 442 и 142 кг/га соответственно. После возделывания рапса в почву поступает 3447 кг/га углерода и 80 кг/га азота. В паровых полях к осени остается около 1 115 кг/га углерода и 11,8 кг/га азота растительных остатков. После 5–8 лет парования в агропочвах остается около 54 кг/га углерода и 0,6 кг/га азота растительных остатков.

Таким образом, за 1 год парования агроценозов после возделывания зерновых культур 60 % углерода и 72 % азота растительных остатков разлагается, частично пополняя почвенное органическое вещество в процессе гумификации, частично закрепляясь в микробной биомассе за счет процесса иммобилизации азота, но большая часть органических остатков формирует минерализационный поток углерода, что подтверждается исследованиями В.В. Чупровой в агроценозах лесостепной зоны края [10] и другими исследователями [24]. Отсутствие поступления растительных остатков в почву более 5 лет приводит к потерям углерода мортмассы на 98–99 %.

Заключение. При возделывании зерновых культур к уборке урожая ежегодно формируется от 6,4 до 7,3 т/га; в агроценозах картофеля – 7,1; в агроценозах сои – 8,8; в агроценозах рапса – 8,9 т/га растительных остатков. В их составе до-

ля надземной мортмассы в зерновых агроценозах и агроценозах картофеля составляет от 20 до 28 %, при возделывании рапса и сои – 34–37 % соответственно. В среднем более 71 % всех запасов растительных остатков находится в подземной части агроценозов и представлены в основном мортмассой, запасы которой, составляют от 3,7 в агроценозе сои до 4,8 т/га в агроценозе картофеля.

По химическому составу остатки зерновых культур характеризуются как слабо разлагаемые из-за высокого углеродно-азотного соотношения (79,2), что способствует закреплению полимерных высокомолекулярных соединений углерода (в том числе лигнина) в почве. Растительные остатки картофеля и рапса относятся к медленно разлагаемым с соотношениями C : N 35 и 56 соответственно. Соя имеет умеренно разлагаемые остатки с наименьшим углеродно-азотным соотношением (23), что способствует более быстрому их разложению и возврату питательных веществ в почву. По мере перехода растительных остатков из надземных в подземную мортмассу содержание углерода снижается более заметно, чем содержание азота. Это приводит к сужению углеродно-азотного соотношения с 78 в надземной мортмассе до 61 в подземной. В мелкой почвенной мортмассе содержание азота часто выше, чем в надземных остатках, что является отражением активизации микробиологических процессов и увеличения доступности для разложения мелких фракций подземного растительного вещества.

С практической точки зрения знание углеродно-азотного соотношения и доступности для разложения растительных остатков может помочь в планировании севооборотов и управлении органическими остатками. Культуры с более узким соотношением C : N, такие как соя, могут быть предпочтительны для активизации биологических процессов в почве улучшения минерального питания. Культуры с более широким соотношением C : N (зерновые и рапс) способны повысить концентрацию углерода в почве, усилить его гумификацию и секвестрацию.

В целом применение минимальной технологии обработки почвы и сохранение всех растительных остатков на полях потенциально позволяет депонировать до 34,16 млн т в год растительного вещества, в котором содержится от 36,8 до 43,3 % углерода и от 0,44 до 1,66 % азота в зависимости от возделываемой культуры. Зерновые агроценозы в среднем поставляют в почвы до 2963 кг/га углерода и до 37,5 кг/га азота растительных остатков, агроценозы картофеля поставляют около 2878 кг/га углерода и 81 кг/га азота, после возделывания рапса в почву поступает 3447 кг/га углерода и 80 кг/га азота, максимальное поступление в почву углерода и азота в агроценозе сои – 3 442 и 142 кг/га соответственно. За год парования агроценозов после возделывания зерновых культур 60 % углерода и 72 % азота растительных остатков разлагается. После 5–8 лет парования количество углерода и азота в растительных остатках значительно уменьшается до 54 кг/га углерода и 0,6 кг/га азота.

Список источников

1. Гончаров Н.П. Роль «отца всех агрономов России» И.А. Стебута в становлении отечественного сельскохозяйственного образования и науки // Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020. Т.6, № 3. С.126–150. DOI: 10.18699/Letters2020-6-16. EDN: SCUSHF.
2. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. М.: АН СССР, 1952. 789 с.
3. Мишустин Е.Н. Использование соломы в качестве удобрения // Агрохимия. 1971. № 8. С.49–54.
4. Сорокин И.Б., Николаева Н.Ю., Валетова Е.А., и др. Влияние многолетнего внесения соломы и зеленого удобрения на урожайность зерновых культур в зернопаровом севообороте // Вестник НГАУ. 2021. № 3 (60). С. 65–72. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-60-3-65-72. EDN: DNYWWH.
5. Русакова И.В. Биопрепараты – деструкторы послеуборочных остатков. Рига: LAP LAMBERT, 2018. 101 с.
6. Чупрова В.В., Люкшина И.В., Белоусов А.А., и др. Запасы и динамика легкоминерализуемой фракции органического вещества в почвах Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2003. № 3. С. 65–73. EDN: LYCOVR.
7. Vlasenko O.A., Kurachenko N.L., Ulyanova O.A., et al. Intensification methods effect on carbon stock of spring rape plant matter. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III Interna-*

- tional Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*; 18–20 Jun 2020, Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2020. P. 52050. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052050. EDN: IUZJOD.
8. Власенко О.А. Запасы и трансформация растительных остатков в агрочерноземах лесостепной зоны Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2021. № 10 (175). С. 101–107. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-10-101-107. EDN: EORLWX.
9. Власенко О.А. Эффективность применения микробиологического препарата в качестве деструктора соломы при возделывании пшеницы. В сб.: Международная научно-практическая конференция «Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития». Т. 1, ч. 2. Красноярск, 2023. С. 351–356. EDN: JOYCGP.
10. Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюллетень Почвенного института. 2017. № 90. С. 96–115. DOI: 10.19047/0136-1694-2017-90-96-115. EDN: ZTBWTN.
11. Титлянова А.А. Освоение лесостепной и степной зон Западной Сибири увеличило эмиссию углерода // Степной бюллетень. 2000. № 8. С. 35–37. EDN: URDEST.
12. Когут Б.М., Семенов В.М., Артемьева З.С., и др. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода // Агрохимия. 2021. № 5. С. 3–13. DOI: 10.31857/S0002188121050070. EDN: SQOUM.
13. Шарков И.Н., Антипина П.В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. № 2. С. 22–31. DOI: 10.31251/pos.v5i2.175. EDN: LMWYAH.
14. Кудеяров В.Н. Секвестрация углерода в почве: факты и проблемы (аналитический обзор) // Успехи современной биологии. 2022. Т. 142, № 6. С. 545–559. DOI: 10.31857/S0042132422060047. EDN: DKFCAJ.
15. Кудрявцев А.Е., Ваганов Е.С., Канунников С.В., и др. Факторы, определяющие секвестрацию, депонирование, эмиссию углекислого газа в агроценозах // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 1 (231). С. 37–44. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44. EDN: VYGPEW.
16. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. Ч. 1. М.: ИГКЭ, 2019. 471 с.
17. Алхименко Р.В., Берзин А.М., Бобровский А.В., и др. Система земледелия Красноярского края на ландшафтной основе: научно-практические рекомендации. Красноярск: Поликор, 2015. 224 с.
18. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: МГУ, 1995. 319 с.
19. Карпова Г.А. Активизация ранних ростовых и метаболических процессов зерновых культур при использовании регуляторов роста // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 4. С. 13–23. DOI: 10.21685/2307-9150-2020-4-2. EDN: BYHPQE.
20. Валовые сборы урожая основной продукции по Красноярскому краю // Федеральная служба государственной статистики (Росстат). URL: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/44270> (дата обращения: 04.03.2025).
21. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1984. 96 с.
22. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с. EDN: VQNCVL.
23. Богатырева Е.Н., Серая Т.М., Мезенцева Е.Г., и др. Изменение содержания элементов питания и углерода в соломе сельскохозяйственных культур в процессе ее трансформации в дерново-подзолистых почвах // Почвоведение и агрохимия. 2012. № 1 (48). С. 70–81. EDN: YATZIT.
24. Тулина А.С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота // Агрохимия. 2019. № 3. С. 3–18. DOI: 10.1134/S0002188119030141. EDN: SRFCQZ.

References

1. Goncharov NP. Rol' «otca vseh agronomov Rossii» I.A. Stebuta v stanovlenii otechestvennogo sel'skohozyajstvennogo obrazovaniya i nauki. *Pis'ma v Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2020;6(3):126-150. (In Russ). DOI: 10.18699/Letters2020-6-16. EDN: SCUSHF.
2. Vinogradskij SN. *Mikrobiologiya pochvy*. Moscow: AN SSSR, 1952. 789 p. (In Russ.).
3. Mishustin EN. Ispol'zovanie solomy v kachestve udobreniya. *Agrohimiya*. 1971;8:49-54. (In Russ.).
4. Sorokin IB, Nikolaeva NYu, Valetova EA, et al. Vliyanie mnogoletnego vneseniya solomy i zelenogo udobreniya na urozhajnost' zernovykh kul'tur v zernoparovom sevooborote. *Vestnik NGAU*. 2021;3(60):65-72. (In Russ). DOI: 10.31677/2072-6724-2021-60-3-65-72. EDN: DNYWWH.
5. Rusakova IV. *Biopreparaty – destruktory posleuborochnykh ostatkov*. Riga: LAP LAMBERT, 2018. 101 p. (In Russ.).
6. Chuprova VV, Lyukshina IV, Belousov AA, et al. Zapasy i dinamika legkomineralizuemoj frakcii iorganicheskogo veshchestva v pochvah Srednej Sibiri. *Bulletin of KSAU*. 2003;3:65-73. (In Russ). EDN: LYCOVER.
7. Vlasenko OA, Kurachenko NL, Ulyanova OA, et al. Intensification methods effect on carbon stock of spring rape plant matter. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies; 18–20 Jun 2020; Volgograd, Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited*. 2020. P. 52050. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052050. EDN: IUZJOD.
8. Vlasenko OA. Zapasy i transformaciya rastitel'nykh ostatkov v agrochernozemah lesostepnoj zony Krasnoyarskogo kraja. *Bulletin of KSAU*. 2021;10:101-107. (In Russ). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-10-101-107. EDN: EORLWX.
9. Vlasenko OA. Effektivnost' primeneniya mikrobiologicheskogo preparata v kachestve destruktora solomy pri vozdeleyvanii pshenicy. In: *Conference proceedings and proceedings of the international scientific and practical conference "Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitiya"*. Vol. 1, Part 2. Krasnoyarsk, 2023. P. 351–356. (Russ.). EDN: JOYCGP.
10. Chuprova VV. Zapasy, sostav i transformaciya organicheskogo veshchestva v pahotnykh pochvah Srednej Sibiri. *Byul. Pochv. in-ta*. 2017;90:96-115. (In Russ.). DOI: 10.19047/0136-1694-2017-90-96-115. EDN: ZTBWTN.
11. Titlyanova AA. Osvoenie lesostepnoj i stepnoj zon Zapadnoj Sibiri uvelichilo emissiyu ugleroda. *Stepnoj byulleten'*. 2000;8:35-37. (In Russ.). EDN: URDEST.
12. Kogut BM, Semenov VM, Artem'eva ZS, et al. Degumusirovanie i pochvennaya sekvestraciya ugleroda. *Agrohimiya*. 2021;5:3-13. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188121050070. EDN: SQOUYM.
13. Sharkov IN, Antipina PV. Nekotorye aspekty uglerod-sekvestiruyushchej sposobnosti pahotnykh pochv. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*. 2022;2:22-31. (In Russ.). DOI: 10.31251/pos.v5i2.175. EDN: LMWYAH.
14. Kudeyarov VN. Sekvestraciya ugleroda v pochve: fakty i problemy (analiticheskij obzor). *Uspekhi sovremennoj biologii*. 2022;142(6):545-559. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0042132422060047. EDN: DKFCAJ.
15. Kudryavcev AE, Vaganov ES, Kanunnikov SV, et al. Faktory, opredelyayushchie sekvestraciyu, depozirovanie, emissiyu uglekislogo gaza v agrocenozah. *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2024;1(231):37-44. (In Russ.). DOI: 10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44. EDN: VYGPEW.
16. *Nacional'nyj doklad o kadastrе antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyykh gazov ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom za 1990–2017 gg. Part 1*. Moscow: IGKE, 2019. 471 p. (In Russ.).
17. Alhimenko RV, Berzin AM, Bobrovskij AV, et al. *Sistema zemledeliya Krasnoyarskogo kraja na landshaftnoj osnove: nauchno-prakticheskie rekomendacii*. Krasnoyarsk: Polikor, 2015. 224 p. (In Russ.).
18. Dmitriev EA. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii*. Moscow: MGU, 1995. 319 p. (In Russ.).

19. Karpova GA. Aktivizaciya rannih rostovyh i metabolicheskikh processov zernovyh kul'tur pri ispol'zovanii regulyatorov rosta. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Estestvennye nauki*. 2020;4:13-23. (In Russ.). DOI: 10.21685/2307-9150-2020-4-2. EDN: BYHPQE.
20. Valovye sbory urozhaya osnovnoj produkcii po Krasnoyarskomu krayu. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). Available at: <https://24.rosstat.gov.ru/folder/44270>. Accessed: 04.03.2025.
21. *Rekomendacii dlya issledovaniya balansa i transformacii organicheskogo veshchestva pri sel'skohozyajstvennom ispol'zovanii i intensivnom okul'turivanii pochv*. Moscow: Pochv. in-t im. V.V. Dokuchaeva; 1984. 96 p. (In Russ.).
22. Semenov VM, Kogut BM. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo*. Moscow: GEOS; 2015. 233 p. (In Russ.). EDN: VQNCVL.
23. Bogatyreva EN, Seraya TM, Mezenceva EG, et al. Izmenenie soderzhaniya elementov pitaniya i ugleroda v solome sel'skohozyajstvennyh kul'tur v processe ee transformacii v dernovo-podzolistyh pochvah. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2012;1(48):70-81. (In Russ.). EDN: YATZIT.
24. Tulina AS. Vliyanie temperatury, vlazhnosti i vneseniya solomy na dinamiku mineralizacii organicheskogo veshchestva i pochvennye puly ugleroda i azota. *Agrokhimiya*. 2019;3:3-18. (In Russ.). DOI: 10.1134/S0002188119030141. EDN: SRFCQZ.

Статья принята к публикации 12.03.2025 / The article accepted for publication 12.03.2025.

Информация об авторах:

Власенко Ольга Анатольевна, доцент кафедры почвоведения и агрохимии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Vlasenko Olga Anatolyevna, Associate Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

