

Научная статья/Research Article

УДК 631.816:[631.82+631.86](571.513)

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-60-69

Виталий Владимирович Чагин^{1✉}, Елена Юрьевна Жукова²

^{1,2}Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова, Абакан, Республика Хакасия, Россия

¹chagin2008@gmail.com

²biosara@mail.ru

ИЗУЧЕНИЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ ХАКАСИЯ ЗА 1966–2022 гг.

Цель исследования – анализ внесения минеральных и органических удобрений для пашни в условиях Республики Хакасия за период 1966–2022 гг. Объектом исследования является многолетняя динамика минеральных и органических удобрений. Расчеты выполнены согласно методике, изложенной в Приказе Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» от 27.05.2022. Приводятся данные по внесению углерода в составе удобрений за период с 1966 по 2022 г. Площадь пашни сократилась с 732,0 тыс. га в 1966 г. до 559,6 тыс. га в 2022 г. Исторический минимум и максимум наблюдали соответственно для площади пашни в 2004 г. (407 тыс. га) и 1962–1988 гг. (732 тыс. га), для органических и минеральных удобрений в 2004 г. (644,1 т) и 1989 г. (37 830,6 т). В 2022 г. общее количество внесенных удобрений составило для органических удобрений 65,1 т, для минеральных – 3 620,6 т. Диапазон значений углерода в удобрениях составил 91,5–25 743,6 т. Наблюдалось снижение количества углерода, поступающего с удобрениями (с 9002,2 до 1133,1 т). В 2022 г. проведен анализ валовых значений поступления углерода с растительными остатками. В 2022 г. с растительными остатками внесено в пашню 1 501,8 т С · год⁻¹. Из них большая часть внесена с пшеницей. Составлены методические рекомендации для улучшения аналитической отчетности по углероду в агроценозах, включая поддержку хозяйств, осуществляющих мероприятия по накоплению углерода в почве. Предложено создать модуль углеродного баланса агроэкосистем в базе данных по секвестрации углерода. Предлагаемые решения позволят осуществлять мониторинг углеродного баланса агроэкосистем в Республике Хакасия.

Ключевые слова: минеральные удобрения, органические удобрения, пашня, секвестрация углерода, углерод, чернозем, углеродный баланс агроэкосистем

Для цитирования: Чагин В.В., Жукова Е.Ю. Изучение многолетней динамики внесения минеральных и органических удобрений в Республике Хакасия за 1966–2022 гг. // Вестник КрасГАУ. 2024. № 5. С. 60–69. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-60-69.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 94 от 13.12.2022 г.) в рамках программы деятельности научно-образовательного центра мирового уровня «Енисейская Сибирь».

Vitaly Vladimirovich Chagin^{1✉}, Elena Yurievna Zhukova²

^{1,2}Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, Republic of Khakassia, Russia

¹chagin2008@gmail.com

²biosara@mail.ru

STUDYING THE LONG-TERM DYNAMICS OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZERS APPLICATION IN THE REPUBLIC OF KHAKASSIA FOR 1966–2022

The purpose of the study is to analyze the application of mineral and organic fertilizers for arable land in the conditions of the Republic of Khakassia for the period 1966–2022. The object of the study is the long-term dynamics of mineral and organic fertilizers. Calculations were performed in accordance with the methodology set out in the Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation “On approval of methods for quantitative determination of greenhouse gas emissions and greenhouse gas removals” dated May 27, 2022. Data are provided on the introduction of carbon in fertilizers for the period from 1966 to 2022. The area of arable land decreased from 732.0 thousand hectares in 1966 to 559.6 thousand hectares in 2022. The historical minimum and maximum were observed, respectively, for the area of arable land in 2004 (407 thousand hectares) and 1962–1988. (732 thousand hectares), for organic and mineral fertilizers in 2004 (644.1 tons) and in 1989 (37,830.6 tons). In 2022, the total amount of fertilizers applied was 65.1 tons for organic fertilizers, 3,620.6 tons for mineral fertilizers. The range of carbon values in fertilizers was 91.5–25,743.6 tons. There was a decrease in the amount of carbon supplied with fertilizers (from 9002.2 to 1133.1 tons). In 2022, an analysis of the gross values of carbon input with plant residues was carried out. In 2022, 1,501.8 t C · year⁻¹ was added to the arable land with plant residues. Most of them were introduced with wheat. Methodological recommendations were compiled to improve analytical reporting on carbon in agroecosystems, including support for farms implementing measures to accumulate carbon in the soil. It is proposed to create a carbon balance module for agroecosystems in a carbon sequestration database. The proposed solutions will allow monitoring the carbon balance of agroecosystems in the Republic of Khakassia.

Keywords: mineral fertilizers, organic fertilizers, arable land, carbon sequestration, carbon, chernozem, carbon balance of agroecosystems

For citation: Chagin V.V., Zhukova E.Y. Studying the long-term dynamics of mineral and organic fertilizers application in the Republic of Khakassia for 1966–2022 // Bulliten KrasSAU. 2024;(5): 60–69 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-5-60-69.

Acknowledgments: the research was carried out with a grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Khakassia (Agreement № 94 of December 13, 2022) within the framework of the program of activities of the world-class scientific and educational center “Yenisei Siberia”.

Введение. Обязательный регулярный мониторинг питательных веществ в значительной степени способствует сохранению плодородия почв. Подробный баланс свободных и связанных элементов питания растений (минеральные и органические состояния) позволяет иметь представление о количественных уровнях элементов в почве в зависимости от поступления и расходования. Снижение количества биогенных элементов, в т. ч. и углерода, способствует снижению устойчивости агроландшафтов и, как следствие, уменьшению урожайности сельскохозяйственных культур и ухудшению его качества.

Республика Хакасия расположена в юго-западной части Восточной Сибири в левобережной части бассейна реки Енисей, на территориях Саяно-Алтайского нагорья и Хакасско-Минусинской котловины. Площадь территории – 61 569 км².

Климат резко континентальный, с сухим жарким летом и холодной малоснежной зимой. Среднегодовое количество осадков около

300 мм/год в степной зоне, где расположены сельскохозяйственные угодья. В Хакасии преобладают юго-западные ветры. Сильные ветры характерны для весеннего периода, нередко они приводят к возникновению пыльных бурь. Территория республики относится к зоне рискованного земледелия.

В 2021 г. площадь земель сельскохозяйственного назначения составила 1871,9 тыс. га (30,4 % земельного фонда республики), включая 649,8 тыс. га пашни, 825,8 тыс. га пастбищ и 39,7 тыс. га залежей. Почвенный покров развит в соответствии с геоморфологическими и климатическими особенностями процессов почвообразования. В Хакасии площади пашни приходится: на черноземы – 80,11 % (из них 51,85 % обыкновенные черноземы, южных, выщелоченных и оподзоленных соответственно по 20,68; 7,34 и 0,24 %); на каштановые и темно-каштановые почвы – 13,05 %, а луговых черноземных – всего 2,56 % [1].

Согласно государственному докладу «О состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2021 году» среднегодовой суммарный баланс элементов питания в земледелии республики за время наблюдений (1966–2021 гг.) складывался отрицательно, причем величина дефицита его тесно связана с уровнем химизации и использования органических удобрений. Наименьшего значения (–15,9 кг/га) он достиг в годы максимальной интенсификации сельскохозяйственного производства в 1986–1990 гг. [1].

С другой стороны, органическое вещество почв является главным и экологически безопасным поглотителем углекислого газа из атмосферы. Баланс содержания углерода и азота является важнейшим критерием эффективности ведения земледелия с учетом переориентации сельского хозяйства на углероднейтральность [2]. При модельных расчетах поглощения и выделения парниковых газов важно учитывать, сколько и какое время запасается углерод в фитомассе растений. Расчетные данные необходимы для вычисления углероднейтральности региона [3].

Цель исследования – произвести обобщенный анализ многолетней динамики внесения минеральных и органических удобрений на пашне в Республике Хакасия за период 1966–2022 гг. с позиций накопления углерода в почве.

Задачи: охарактеризовать величину внесения минеральных и органических удобрений в пашню Хакасии в длительном временном лаге (1966–2022 гг.); проанализировать поступления углерода в почву с удобрениями и растительными остатками.

Объект и методы. Объектом исследования является многолетняя динамика минеральных и органических удобрений. В качестве исходных данных урожайности зерновых и других культур были собраны данные из отчетов Министерства сельского хозяйства Республики Хакасия (URL: <http://mcxpx.ru>).

Количество углерода определяли расчетным методом согласно Приказу Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов» от 27.05.2022 г. [3]:

$$C_{fert} = \sum_i (\text{Орг}_i * C_{\text{орг}_i}) + \sum_i (\text{Мин}_j * C_{\text{мин}_j}),$$

где C_{fert} – поступление С с органическими и минеральными удобрениями, т С · год⁻¹; Орг_i –

внесение органических удобрений в почвы в расчете на фактический вес по видам органических удобрений i , т органических удобрений по видам · год⁻¹; $C_{\text{орг}_i}$ – содержание углерода в сыром веществе разных видов органических удобрений, подготовленных к внесению в почвы, т С/т органического удобрения; Мин_j – внесение минеральных удобрений в почвы по видам минеральных удобрений j , т действующего вещества минеральных удобрений по видам · год⁻¹; $C_{\text{мин}_j}$ – содержание углерода в разных видах минеральных удобрений, т С/т действующего вещества минеральных удобрений.

Был сделан ряд допущений, в целом различия между количеством питательных элементов в стандартных удобрениях не превышают 10–15 %, в качестве основного органического удобрения в Хакасии применяется подстилочный навоз, основной тип почв – чернозем.

Массу углерода, поступающего в почвы с пожнивными остатками (C_{ab}) и корневыми остатками (C_{un}) растений, рассчитывали по формулам [3]

$$C_{plant} = C_{ab} + C_{un},$$

$$C_{ab} \text{ или } C_{un} = \sum_i ((a_i Y_i + b_i) \cdot C_i) \cdot S_i,$$

где C_{ab} – масса углерода, поступающего в почвы с пожнивными остатками и корневыми остатками (C_{un}) культурных растений определенного вида i , кг С · год⁻¹; C_{plant} – поступление С с органическими и минеральными удобрениями, т С · год⁻¹; Y_i – урожайность основной продукции данной культуры, ц сухого вещества · га⁻¹; a_i и b_i – соответствующие коэффициенты для расчета массы пожнивных (или корневых) остатков данной сельскохозяйственной культуры при определенном уровне урожайности; C_i – содержание углерода в биомассе данной культуры, кг С/кг сухой массы⁻¹; S_i – посевная площадь данного вида растений, га.

После расчетов значения переводились в тонны (т).

Статистическая обработка материалов включала расчет среднего арифметического и ошибки среднего арифметического.

Результаты и их обсуждение. По данным Министерства сельского хозяйства Республики Хакасия, в основном выращивают пшеницу, ячмень и овес, гречиху, овощи (картофель, морковь, свеклу), однолетние и многолетние травы (рис. 1).

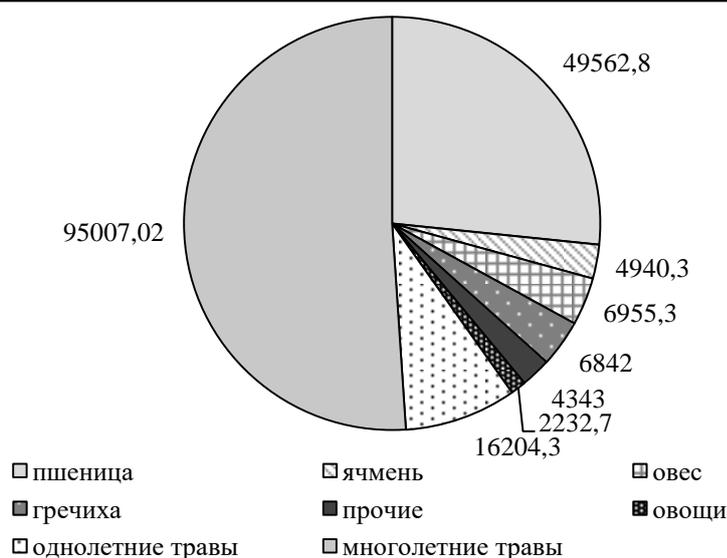


Рис. 1. Структура пашни в Республике Хакасия в 2022 г., тыс. га

Данные по внесению минеральных и органических удобрений в Республике Хакасия с 1966 по 2022 г. представлены в таблице. Площадь пашни сократилась с 732,0 тыс. га в 1966 г. до 559,6 тыс. га в 2022 г. Исторический минимум и максимум зафиксированы соответственно для площади пашни в 2004 г. (407 тыс. га) и в период с 1962 по 1988 г. включительно (732 тыс. га). В среднем площадь пашни в наблюдаемый период составила $629,4 \pm 13,7$ тыс. га.

Для минеральных удобрений минимумы и максимумы зафиксированы соответственно в 2004 (644,1 т) и 1989 гг. (37 830,6 т). В 2022 г. количество внесенных минеральных удобрений составило 3620,6 т, что сопоставимо с макси-

мумом в наблюдаемом периоде. С органическими удобрениями ситуация отличается: минимум наблюдали в 2014 г. (нет данных о внесении органических удобрений), максимум – также в 1989 г. (1905 т). В 2022 г. количество внесенных органических удобрений составило 65,1 т, что намного ниже вышеуказанного максимума.

Общая сумма внесенных за весь период наблюдений составила для азотных удобрений – 271 211,1 т, для фосфорных – 192 255,3 и для калийных – 57 143,0 т. Между различными годами отмечены значительные отличия.

Расчетные запасы углерода в удобрениях, внесенных в пашню, представлены на рисунке 2.

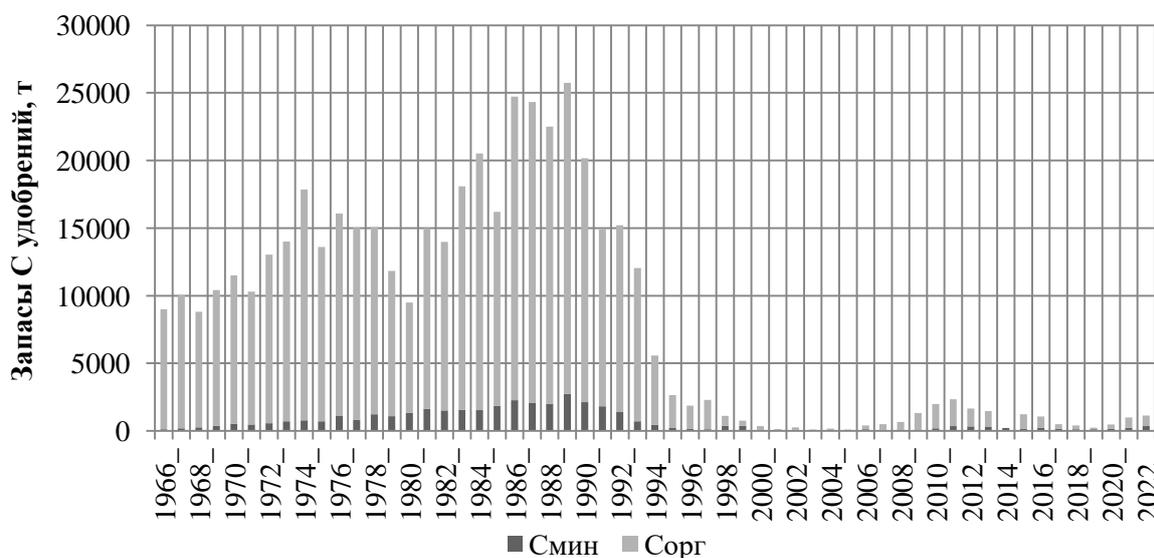


Рис. 2. Запасы углерода в удобрениях (Республика Хакасия, 1966–2022 гг.)

Внесение минеральных и органических удобрений в Республике Хакасия (1966–2022 гг.)

Год	Минеральные удобрения, т д. в.						Органические удобрения			Площадь пашни, тыс. га
	Удобренная площадь		Всего	N	P	K	кг/га пашни	тыс. т	т/га пашни	
	тыс. га	кг/га								
1966–1970	98,0	32,0	3201,8	2177,4	914,0	110,4	4,4	799,8	1,1	732,0
1971–1975	226,0	45,2	8190,0	4606,6	2482,2	1101,2	11,2	1085,8	1,5	732,0
1976–1980	226,8	67,8	15429,8	7700,2	5778,6	1951,0	21,1	1025,4	1,4	732,0
1981–1985	335,4	64,2	21555,6	11246,6	7777,6	2531,4	29,5	1254,2	1,7	732,0
1986–1990	717,4	43,4	31460,4	15354,4	12914,0	3192,0	43,6	1760,4	2,4	722,4
1991–1995	313,2	41,2	13472,8	6182,0	5892,6	1398,2	19,9	759,4	1,1	649,4
1996–2000	63,8	41,8	2540,4	1643,2	861,8	35,4	4,2	87,2	0,3	598,4
2001–2005	23,3	39,7	905,4	478,8	351,5	75,1	1,8	6,7	0,0	482,2
2006–2010	40,1	38,3	1533,3	808,5	490,0	234,8	3,1	70,9	0,3	516,6
2011–2015	67,5	40,6	2805,3	2024,3	406,9	374,2	8,0	91,8	0,3	495,1
2016–2020	51,3	35	1785,8	1158,6	382,5	244,7	7,5	31,0	0,1	559,2
2021	58,8	44,0	2586,1	1769,4	455,3	361,4	4,6	61,4	0,11	559,6
2022	63,2	57,2	3620,6	2538,5	542,3	539,7	6,5	65,1	0,12	559,6

Как видно из рисунка 2, запасы углерода в органических удобрениях (92 %) преобладали над минеральными удобрениями (7 %). Всего за наблюдаемый период внесено 395 871,9 т, из них органических – 33 623,0 и 362 248,8 т.

В целом с 1966 по 1990 г. внесение углерода с удобрениями имело выраженный положительный тренд с 10 000 до 25 000 т, большинство удобрений являлись органическими (в основном подстилочный навоз). С 1990 г. наблюдалось снижение внесения углерода с удобрениями до 1999 г. Пониженные значения запасов углерода наблюдали до 2005 г., а после начался рост внесения удобрений и соответственно углерода, но он не достиг уровня 1993 г. или начала наблюдаемого периода 1966 г.

В период с 1966 по 1993 г. в перерасчете на площадь пашни преобладали органические удобрения (0,548 т/га), что в 5 раза больше, чем количество внесенных минеральных удобрений (0,107 т/га) за этот же период. С 1994 по 2022 г. проявлялась обратная закономерность. Количество внесенного углерода в пашни с минеральными удобрениями составило 0,102 т/га, тогда как органического удобрения было внесено в среднем 0,046 т/га. Если доля минерального удобрения в период с 1966 по 1993 г. составля-

ла 17,1 %, то с 1994 по 2022 г. – 73,8 %. Причины этого очевидны – экономические (стоимость удобрений) и организационные (необходимость развития логистики для целей внесения органических удобрений) факторы.

Размах данных по углероду в минеральных удобрениях составил 40,5–2 750,2 т, для органических 0–22 993,4 т. В 2022 г. общее количество внесенных удобрений было равно 3 685,7 т, в них содержалось 1133,1 т углерода, из них 347,3 т в минеральных и 785,8 т в органических удобрениях.

Таким образом, отмечено снижение количества углерода, поступающего с удобрениями, в особенности с органическими. Оценки могут быть уточнены за счет учета точного состава удобрений, используемых в хозяйствах Хакасии, так как для расчетов использовались усредненные значения показателей.

Удобрения оказывают положительное влияние на рост растений и увеличивают количество растительных остатков после уборки урожая. При этом изменяется и углеродный баланс экосистем. В связи с этим был проведен анализ валовых значений поступления углерода с растительными остатками в 2022 г. (рис. 3–5).

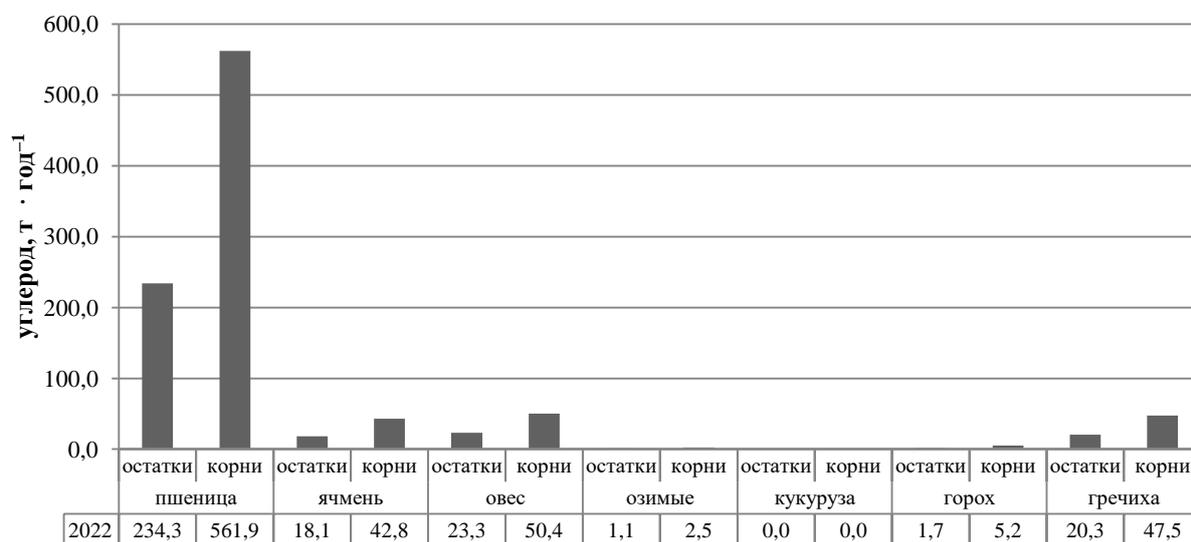


Рис. 3. Поступление углерода с остатками зерновых и зернобобовых растений (Республика Хакасия, 2022 г.)

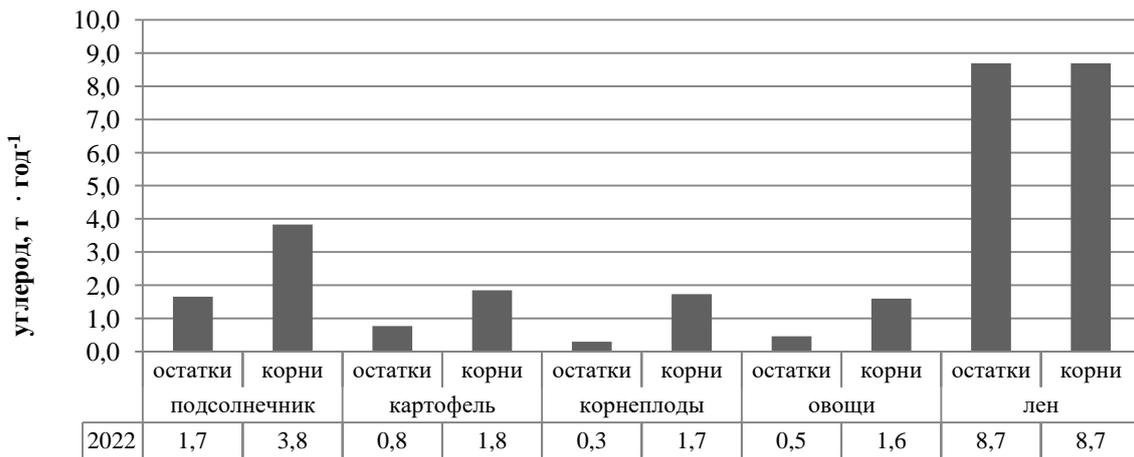


Рис. 4. Поступление углерода с остатками овощных и масличных культур (Республика Хакасия, 2022 г.)

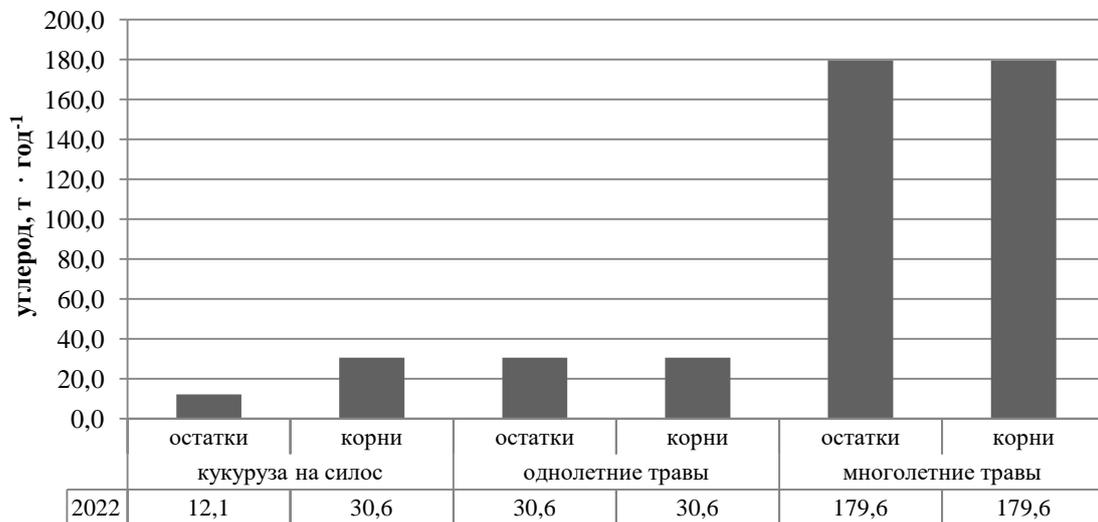


Рис. 5. Поступление углерода с остатками силосных растений и трав (Республика Хакасия, 2022 г.)

Из рисунков 3–5 видно, что наибольшее количество углерода в почву привносили пшеница, овес, лен-кудряш и подсолнечник, а также многолетние травы. В целом с пожнивными остатками по всем культурам в пашни республики внесено 533,0 т С · год⁻¹ (35 %), с корнями – 968,8 т С · год⁻¹ (65 %). Стоит отметить, что данные по однолетним и многолетним травам рассчитаны по минимальным значениям.

Оптимальным способом повышения углерода почвы с растительными остатками без увеличения посевных площадей является повышение урожайности культур (соблюдение агротехники, внесение достаточного количества удобрений, обеспечение растений водой). Повысить поток углерода в почву можно, используя рациональные севообороты (с включением зерно-

вых (ячменя, пшеницы) и овощных культур, таких как картофель, свекла, капуста и морковь, и других культур).

В литературе описываются разные точки зрения на внесение углерода с удобрениями на разных типах почв. В ряде работ утверждается, что фиксируется увеличение скорости разложения органического вещества в результате использования больших доз органических удобрений, так как происходит существенное ускорение процессов, связанных с биологической активностью почвы [2, 4]. Другие исследования выявили, что использование минеральных удобрений (в большей степени азотосодержащих) приводит к снижению количества гумуса в различных типах почв [5, 6].

При этом отмечается внесение минеральных удобрений, что способствует увеличению надземной и подземной массы растений, это влияет на положительный баланс гумуса [7]. По мнению ряда исследователей, ежегодное внесение в пахотный слой от 40 до 60 кг/га азота может обеспечить бездефицитный баланс гумуса [2, 8].

В основном авторы ориентируются на длительные исследования. Например в Поволжье проведены многолетние (42 года) полевые опыты по уменьшению количества углерода из пахотного горизонта на почвах, где не применялись органические и минеральные удобрения. Анализируемый слой составил от 0 до 40 см, где потери находились на уровне 0,17 %, что примерно составило 8,45 т/га. Использование комплексных минеральных удобрений в дозах действующего вещества $N_{34}P_{18}K_8$ и $N_{39}P_{16}K_8$ способствовало уменьшению потерь углерода до 20–22 % в сравнении с контрольным вариантом, где вообще не применялись минеральные удобрения. Однако использование повышенных доз азота в комплексных удобрениях ($N_{57}P_{15}K_8$) фиксировалось до 60 % потерь углерода в сравнении с контрольным вариантом. Этот процесс повышения потерь углерода можно объяснить тем, что повышение микробиологической активности почвы и, как следствие, усиление процесса минерализации гумуса напрямую связаны с количеством доступного минерального азота. Снижение интенсивности потерь углерода на контроле и при невысоких дозах азота в шестую-седьмую ротации связано с улучшением гидротермических условий гумусообразования осеннего периода и заменой зернопаропропашного севооборота на зернопаровой [9].

Особенности агрогенной трансформации и состав органического вещества в различных типах почв юга Средней Сибири (в пределах Красноярского края, Хакасии и Тывы) достаточно хорошо изучены. Уровень минерализуемого (трансформируемого) пула органического вещества на черноземах вышеперечисленных территорий находится на уровне 19–28 т С/га, основными составными частями которого являются подвижный гумус с растительными остатками и значительная величина микробной биомассы. Использование культур в зернопаропропашном севообороте позволяет обогащать почву – 3,32 т С/га в год, а для зернотравяного – 3,89 т С/га в год, за счет высокого количества растительных остатков. За счет высоко развитых корневых систем растений севооборота уровень годичных запасов растительных остатков может

составлять от 40 до 70 %. Повышение величины минерализуемого пула органического вещества и ускорение процессов его разложения возможны в результате дополнительного поступления сидеральных культур и соломенной резки, которую получают в процессе уборки зерновых культур. Наблюдалось существенное понижение величины содержания подвижных соединений гумуса в почвах Хакасии (0,23 т С/га в год), это примерно 7 % его затрат на формирование чистой первичной продукции, при этом компенсация только на 34 % за счет новообразованного гумуса. Таким образом, снижение накопления углерода в почвах Хакасии имеет подтверждение в литературе [1, 7].

Также было выяснено, что смешанная органо-минеральная система обеспечивает дополнительную секвестрацию CO_2 до 5,3–6,6 т $CO_2 \cdot га^{-1} \cdot год^{-1}$ [2]. В Республике Хакасия не требуется известкование в связи со слабощелочной реакцией распространенных в степной зоне черноземов.

Существенная роль на данной территории отводится использованию зернотравяных севооборотов при научно обоснованной системе внесения удобрений. Важным аспектом является внесение навоза с азотными удобрениями в дозе 30 кг/га (без учета поступления биологического азота) и 60 кг/га азотных удобрений (с учетом биологического азота), позволяющее получать урожайность на уровне 50 ц /га, что в 1,5–2,0 раза выше по сравнению с передовыми сельхозпредприятиями. В Хакасии в 2022 г. средние дозы азотных удобрений значительно меньше этого количества (6,5 кг/га пашни). Следует отметить, что внесение удобрений влияет и на эмиссию $N-N_2O$ из почвы – органические удобрения снижают эмиссионный фактор (до 0,07), полные дозы навоза КРС и NPK повышают до 2,14 %. Для достоверного расчета секвестрации углерода нужно учитывать ее за полную ротацию севооборота, а также дополнительный приход С в случае заправки соломы в поле [2].

Заключение. В научной литературе вопросы влияния различных удобрений на плодородие почв обсуждается уже достаточно долго. Очевидно, что для повышения секвестрации углерода в почве необходимо увеличить внесение удобрений в почву, как органических, так и минеральных, в особенности азотных. Хорошим решением будет использование помета, который содержит 19,11 % сырого вещества против 12,07 % в подстилочном навозе. Рядом с сель-

скохозяйственными угодьями Хакасии расположены 3 птицефабрики – Шушенская и Усть-Абаканская, также есть источники навоза КРС и лошадей. Экологически безопасно будет расширение посадок многолетних сидератов. В Хакасии хорошо повышают плодородие почвы посевами эспарцета песчаного, часто применялся донник лекарственный. Исследования в Республике Хакасия Государственной агрохимической службой «Хакасская» и Научно-исследовательским институтом аграрных проблем Хакасии использование донника желтого в качестве основной сидеральной культуры способствует накоплению органического вещества на уровне от 18 до 34 т/га, в зависимости от почвенно-климатической зоны возделывания, что может составлять 160–400 кг NPK [1].

Требуется стратегическое решение вопросов обеспечения Хакасии удобрениями собственного производства. Основные предложения описаны в Госдокладе по состоянию окружающей среды Республики Хакасия. Высокие цены на специализированную технику, запасные части, горючесмазочные материалы и введение с 1 марта 2023 г. Федерального закона от 14.07.2022 № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» значительно усложнит использование сидеральных паров и введение залежных земель, а также применение органических удобрений в сельскохозяйственном производстве. Необходимо создание единой системы интенсификации биологизации земледелия для Хакасии. Система должна включать оптимизацию структуры посевных площадей, освоение севооборотов, расширение посевов бобовых однолетних и многолетних трав и зернобобовых культур, использование на удобрение всех видов навоза и помета, компостов, соломы, сидератов [1].

Многолетняя динамика количества удобрений и углерода в них коррелируют. Запасы углерода в органических удобрениях (92 %) преобладали над минеральными удобрениями (7 %). Всего за период с 1966 по 2022 г. внесено 395 871,9 т удобрений, из них органических – 33 623,0 и 362 248,8 т.

В 2022 г. с растительными остатками внесено в пашню 1501,8 т С · год⁻¹, из них наибольшее количество углерода в почву привносили пшеница, овес, лен-кудряш и подсолнечник, а также многолетние травы.

Таким образом, внесение удобрений оказывает положительное влияние на продуктивность культур, сохранение плодородия почвы и на секвестрацию углерода в агроэкосистемах. Для уточнения оценок внесения углерода с удобрениями и в целом для перехода на систему учета углеродного баланса агроценозов в региональном масштабе рекомендуются следующие меры:

– разработать модуль для расчетов углеродного баланса агроэкосистем в базе данных по секвестрации углерода (совместная разработка ФГБОУ ВО «Хакасского государственного университета» и Института биофизики СО РАН);

– включить раздел об углеродном балансе агроэкосистем в аналитические отчеты Министерства сельского хозяйства Республики Хакасия;

– развивать систему стимулирования для хозяйств, ведущих деятельность по накоплению углерода в почве, через внесение удобрений и посев сидератов.

Предлагаемые решения позволят осуществлять мониторинг углеродного баланса экосистем, что необходимо для рационального использования эколого-ландшафтных ресурсов Хакасии.

Список источников

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Хакасия в 2021 году / редкол. В.Ю. Лебедев [и др.]. Абакан, 2022. 187 с.
2. Углерод-секвестрирующая оценка различных систем удобрения и определение эмиссии N₂O длительном полевом опыте / В.Г. Сычев [и др.] // Плодородие. 2022. № 6. С. 73–77.
3. Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 27.05.2022. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/32279> (дата обращения 19.08.2023 г.).
4. Васбиева М.Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1365–1372.
5. Назарюк В.М., Калимуллина Ф.Р. Продуктивность растений и баланс углерода в аг-

- роzkосистемах при использовании минеральных удобрений и растительных остатков // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 9–14.
6. Взаимодействие циклов углерода и азота в основных типах почв при длительном применении различных систем удобрения / В.Г. Сычев [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 4. С. 68–77.
 7. Чупрова В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2017. С. 96–115.
 8. Гамзиков Г.П., Кулагина М.Н. Влияние длительного систематического применения удобрений на органическое вещество почв // Почвоведение. 1990. № 4. С. 57–67.
 9. Изменение содержания общего углерода и азота в черноземе южном при длительном применении удобрений в Поволжье / Л.Б. Сайфуллина [и др.] // Плодородие. 2016. № 4. С. 19–21.
 3. Ob utverzhdenii metodik kolichestvennogo opredeleniya ob`emov vybrosov parnikovyh gazov i pogloschenij parnikovyh gazov: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i `ekologii Rossijskoj Federacii ot 27.05.2022. URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/32279> (data obrascheniya 19.08.2023 g.).
 4. Vasbieva M.T. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya organicheskikh i mineral'nyh udobrenij na dinamiku sodержaniya organicheskogo ugleroda i azotnyj rezhim dernovo-podzolistoj pochvy // Pochvovedenie. 2019. № 11. С. 1365–1372.
 5. Nazaryuk V.M., Kalimullina F.R. Produktivnost' rastenij i balans ugleroda v agro`ekosistemah pri ispol'zovanii mineral'nyh udobrenij i rastitel'nyh ostatkov // Problemy agrohimii i `ekologii. 2018. № 4. С. 9–14.
 6. Vzaimodejstvie ciklov ugleroda i azota v osnovnyh tipah pochv pri dlitel'nom primenenii razlichnyh sistem udobreniya / V.G. Sychev [i dr.] // Problemy agrohimii i `ekologii. 2018. № 4. С. 68–77.
 7. Chuprova V.V. Zapasy, sostav i transformaciya organicheskogo veschestva v pahotnyh pochvah Srednej Sibiri // Byulleten' pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2017. С. 96-115.
 8. Gamzikov G.P., Kulagina M.N. Vliyanie dlitel'nogo sistematicheskogo primeneniya udobrenij na organicheskoe veschestvo pochv // Pochvovedenie. 1990. № 4. С. 57–67.
 9. Izmenenie sodержaniya obschego ugleroda i azota v chernozeme yuzhnom pri dlitel'nom primenenii udobrenij v Povolzh'e / L.B. Sajfulina [i dr.] // Plodorodie. 2016. № 4. С. 19–21.

References

1. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayuschej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 godu / redkol. V.Yu. Lebedev [i dr.]. Abakan, 2022. 187 s.
2. Uglерod-sekvestriruyuschaya ocenka razlichnyh sistem udobreniya i opredelenie `emissii N₂O dlitel'nom polevom opyte / V.G. Sychev [i dr.] // Plodorodie. 2022. № 6. С. 73–77.
3. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayuschej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 godu / redkol. V.Yu. Lebedev [i dr.]. Abakan, 2022. 187 s.
4. Uglерod-sekvestriruyuschaya ocenka razlichnyh sistem udobreniya i opredelenie `emissii N₂O dlitel'nom polevom opyte / V.G. Sychev [i dr.] // Plodorodie. 2022. № 6. С. 73–77.
5. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayuschej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 godu / redkol. V.Yu. Lebedev [i dr.]. Abakan, 2022. 187 s.
6. Uglерod-sekvestriruyuschaya ocenka razlichnyh sistem udobreniya i opredelenie `emissii N₂O dlitel'nom polevom opyte / V.G. Sychev [i dr.] // Plodorodie. 2022. № 6. С. 73–77.
7. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayuschej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 godu / redkol. V.Yu. Lebedev [i dr.]. Abakan, 2022. 187 s.
8. Uglерod-sekvestriruyuschaya ocenka razlichnyh sistem udobreniya i opredelenie `emissii N₂O dlitel'nom polevom opyte / V.G. Sychev [i dr.] // Plodorodie. 2022. № 6. С. 73–77.
9. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii okruzhayuschej sredy Respubliki Hakasiya v 2021 godu / redkol. V.Yu. Lebedev [i dr.]. Abakan, 2022. 187 s.
10. Uglерod-sekvestriruyuschaya ocenka razlichnyh sistem udobreniya i opredelenie `emissii N₂O dlitel'nom polevom opyte / V.G. Sychev [i dr.] // Plodorodie. 2022. № 6. С. 73–77.

Статья принята к публикации 18.04.2024 / The article accepted for publication 18.04.2024.

Информация об авторах:

Виталий Владимирович Чагин¹, доцент кафедры агротехнологий и ветеринарной медицины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Елена Юрьевна Жукова², доцент кафедры биологии, кандидат биологических наук, доцент

Information about the authors:

Vitaly Vladimirovich Chagin¹, Associate Professor at the Department of Agricultural Technologies and Veterinary Medicine, Candidate of Agricultural Sciences, Docent

Elena Yurievna Zhukova², Associate Professor at the Department of Biology, Candidate of Biological Sciences, Docent