

Лев Федорович Казюлин¹, Наталья Леонидовна Кураченко²✉

^{1,2}Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹levkrsk.99@mail.ru

²kurachenko@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЕ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ УДОБРЕНИЙ

Цель исследования – оценить гумусное состояние агрочернозема Красноярской лесостепи в условиях применения минерального и гуминовых удобрений. Исследование проведено в 2023–2024 гг. на базе учебного хозяйства «Миндерлинское» Красноярского государственного аграрного университета, расположенного в Красноярской лесостепи (56°43' с. ш., 92°91' в. д.). Объекты исследования – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный, агроценоз яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, гуминовые удобрения «Лигногумат АМ» и «Гумат Калия Суфлер», минеральное удобрение аммиачная селитра. Функционирование высокогумусированного агрочернозема в посевах яровой пшеницы сопровождалось незначительной и небольшой динамикой $C_{\text{гумуса}}$ ($C_v = 3\text{--}10\%$) и более широким сезонным размахом его подвижных соединений ($C_v = 6\text{--}30\%$). Характер динамики гумусовых веществ определяется погодными условиями вегетационных сезонов и применяемыми в опыте удобрениями. Оценка среднестатистического содержания гумусовых веществ показала, что гуминовое удобрение «Лигногумат АМ» в сочетании с аммиачной селитрой в дозе N_{30} и N_{60} оказывает максимальное влияние на содержание и запасы углерода гумусовых веществ. На этих вариантах опыта прирост углерода гумуса по сравнению с контрольным вариантом оценивается величиной 9–14 %; водорастворимого углерода – 13–21; щелочегидролизуемого углерода – 34–35 %. Применение «Гумата Калия Суфлер» является наиболее эффективным при обработке семян и опрыскивании посевов по неудобренному фону и повышает содержание $C_{\text{гумуса}}$ на 11 %, подвижных соединений углерода – на 15–29 %. Применение гуминовых удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы по паровому предшественнику позволяет закрепить в составе почвенного органического вещества от 7 до 20 т С/га в 0–40 см слое агрочернозема и улучшить качество гумуса за счет увеличения доли углерода гуминовых кислот в составе его подвижных соединений.

Ключевые слова: агрочернозем, углерод гумуса, щелочегидролизуемый углерод, водорастворимый углерод, запасы гумуса, аммиачная селитра, гуминовые удобрения

Для цитирования: Казюлин Л.Ф., Кураченко Н.Л. Изменение гумусного состояния агрочернозема под действием удобрений // Вестник КрасГАУ. 2025. № 4. С. 125–135. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-125-135.

Lev Fedorovich Kazyulin¹, Natalia Leonidovna Kurachenko²✉

^{1,2}Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹levkrsk.99@mail.ru

²kurachenko@mail.ru

CHANGES IN AGRO-CHERNOZEM HUMUS STATE UNDER FERTILIZERS INFLUENCE

The aim of the study is to assess the humus status of the agrochernozem of the Krasnoyarsk forest-steppe under the conditions of using mineral and humic fertilizers. The study were conducted in 2023–2024 at the Minderlinskoye educational farm of the Krasnoyarsk State Agrarian University, located in the

Krasnoyarsk forest-steppe (56°43' N, 92°91' E). The objects of the study are typical clay-illuvial agrochernozen, agrocenosis of spring wheat of the Novosibirskaya 31 variety, humic fertilizers Lignohumate AM and Gumat Potassium Souffleur, and mineral fertilizer ammonium nitrate. The functioning of highly humus agrochernozen in spring wheat crops was accompanied by insignificant and small dynamics of Chumus ($C_v = 3-10\%$) and a wider seasonal range of its mobile compounds ($C_v = 6-30\%$). The nature of the dynamics of humic substances is determined by the weather conditions of the growing seasons and the fertilizers used in the experiment. Evaluation of the average statistical content of humic substances showed that the humic fertilizer Lignohumate AM in combination with ammonium nitrate at a dose of N_{30} and N_{60} has the maximum effect on the content and reserves of carbon in humic substances. In these experimental variants, the increase in humus carbon compared to the control variant is estimated at 9–14 %; water-soluble carbon – 13–21; alkali-hydrolyzable carbon – 34–35 %. The use of Humate Potassium Souffleur is most effective when treating seeds and spraying crops on an unfertilized background and increases the content of Chumus by 11 %, mobile carbon compounds – by 15–29 %. The use of humic fertilizers in the technology of spring wheat cultivation after a fallow predecessor allows fixing in the composition of soil organic matter from 7 to 20 t C/ha in the 0–40 cm layer of agrochernozen and improving the quality of humus by increasing the proportion of humic acid carbon in the composition of its mobile compounds.

Keywords: agrochernozen, humus carbon, alkali-hydrolyzed carbon, water-soluble carbon, humus reserves, ammonium nitrate, humic fertilizers

For citation: Kazyulin LF, Kurachenko NL. Changes in agro-chernozen humus state under fertilizers influence. *Bulletin of KSAU*. 2025;(4):125-135. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-125-135.

Введение. Воспроизводство органического вещества в почвах в последние десятилетия рассматривается не только со стороны повышения плодородия почвы, вследствие улучшения агрофизических и агрохимических условий возделывания сельскохозяйственных культур, но и как возможность секвестрации углерода в почве, имеющей важность в климатических проектах. В органическом веществе почвы связано 1550 Гт углерода и, по разным оценкам, почва занимает долю от 20 до 40 % от общей эмиссии углекислого газа в атмосферу. Следовательно, почвенный покров является ключевым звеном углеродного цикла, выступая своеобразным депо углерода и регулятором газового состава атмосферы [1]. По мнению [2], возможности пахотных почв в секвестрации углерода сильно ограничены из-за произошедших потерь углерода почвы при ее сельскохозяйственном освоении. По данным автора, интенсификация возделывания сельскохозяйственных культур позволяет обеспечить прирост содержания органического вещества в 0,1 % в абсолютном значении. Интенсификация технологий возделывания сельскохозяйственных культур является основным путем депонирования углерода [3, 4], так как применение удобрений и средств защиты растений увеличивает урожайность культур и вместе с тем поступление растительных остатков в почву – основы для образования специфических мало подверженных мине-

рализации гумусовых веществ. При этом нерациональное использование средств интенсификации может приводить к обратному эффекту – усилению минерализационных процессов и разрушению уже имеющегося органического вещества почвы. Еще одним средством интенсификации являются гуминовые удобрения, применение которых одновременно считается приемом биологизации сельскохозяйственного производства [5, 6]. Влияние гуминовых удобрений на органическое вещество почвы может заключаться не только в увеличении продуктивности возделываемых культур и, следовательно, увеличении поступления растительных остатков в почву, но и в возможном усилении процессов новообразования гумуса [7]. Опрыскивание посевов и обработка семян гуминовыми удобрениями не требует проведения отдельных технологических операций, так как данные работы проводятся одновременно с использованием средств защиты растений. Соответственно, применение гуминовых удобрений является ресурсосберегающей технологией, так как позволяет получить прибавку урожая практически при тех же затратах материальных средств. Актуальность исследования обусловлена изучением возможности регулирования гумусного состояния и углеродного цикла почвы с помощью совместного применения гуминовых и минеральных удобрений.

Цель исследования – оценить гумусное состояние агрочернозема Красноярской лесостепи в условиях применения минерального и гуминовых удобрений.

Объекты и методы. Исследование проведено в 2023–2024 гг. в учебном хозяйстве «Миндерлинское» Красноярского государственного аграрного университета, расположенном в Красноярской лесостепи. Объекты исследования – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный, агроценоз яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, гуминовые удобрения «Лигногумат АМ» и «Гумат Калия Суфлер», минеральное удобрение аммиачная селитра.

Применение гуминовых удобрений «Лигногумат АМ» и «Гумат Калия Суфлер» заключалось в предпосевной обработке семян и фолиарной обработке посевов в фазу кущения и фазу цветения яровой пшеницы по трем фонам минерального питания: 1 – контроль (без удобрений); 2 – аммиачная селитра в дозе N_{30} ; 3 – аммиачная селитра в дозе N_{60} . Таким образом, схема опыта включала в себя 9 вариантов. В качестве средств химической защиты на фоне применялись следующие препараты: «Скарлет», МЭ; «Арго Прим», МЭ; «Фемида», МД; «Титул Трио», ККР; «Эсперо», КС. Дозы препаратов, применяемые в полевом опыте, соответствовали рекомендациям производителя.

Яровая пшеница возделывалась по чистому пару. Общая площадь опытных делянок – 200 м², учетная – 60 м², расположение систематическое. Определение содержания углерода водорастворимого гумуса и углерода общего гумуса проводили в почвенных образцах по И.В. Тюрину, определение щелочегидролизующего углерода по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой. Смешанные почвенные образцы из 10 индивидуальных проб были отобраны в июне, июле, августе и сентябре в слое 0–20 и 20–40 см и приурочены к фенологическим фазам развития яровой пшеницы. Полученные результаты обрабатывали методами описательной статистики, корреляционного и дисперсионного анализа при помощи программы MS Excel.

Погодные условия вегетационного сезона 2023 г. характеризовались как теплые и засушливые, с неравномерным выпадением осадков. Сумма активных температур определялась на уровне 2 143 °С, осадков за данный период выпало 223 мм и, таким образом, гидротермичес-

кий коэффициент Селянинова соответствовал значению 1,04. Здесь важно отметить, что ГТК, рассчитываемый для летних месяцев, составил 0,69, что характеризует очень засушливые условия летнего периода. Сентябрь 2023 г. характеризовался как избыточно увлажненный и аномально теплый. Вегетационный сезон 2024 г. был обеспечен теплом при значительной неравномерности выпадения осадков. Сумма активных температур составила 1999 °С, осадков выпало 226 мм за вегетационный период. Гидротермический коэффициент Селянинова определялся значением 1,12. В первой половине вегетации наблюдались относительно засушливые условия. В июне осадков выпало 59 мм, что в 1,23 раза выше среднемноголетних значений, при этом в третьей декаде месяца выпало менее 1 мм осадков. Стоит отметить аномальные погодные условия августа. Этот месяц характеризовался как избыточно увлажненный, с ГТК 1,66.

Результаты и их обсуждение. Процессы, совершающиеся в течение вегетационных сезонов, оказывают решающее влияние на направленность почвообразования и формирование признаков и свойств почв [8]. В агрочерноземах с высокой гумусированностью и контрастным типом режима увлажнения для гумусовых веществ характерна динамика, отличающаяся по годам исследований. Так, в вегетационный сезон 2023 г. при возделывании яровой пшеницы на вариантах опыта с применением гуминовых удобрений уже в период всходов отмечалось большее содержание углерода гумуса в почве по сравнению с контрольным вариантом и вариантами с применением только минерального удобрения. Содержание углерода гумуса в пахотном слое агрочернозема на вариантах с применением гуминовых удобрений в период кущения яровой пшеницы оценивалось величиной 4160–4454 мг С/100 г. Контрольный вариант и варианты с применением аммиачной селитры оценивались близкими значениями – в 3548–3739 мг С/100 г. К августу происходила смена направленности процессов новообразования и деструкции гумуса. Применение гуминовых удобрений в посевах пшеницы определило достоверное ($p < 0,01$) увеличение содержания Сгумуса до 4426–4542 мг С/100 г. Исследованием [9] подтверждается сезонная динамика содержания гумуса, характеризующаяся наибольшим возрастанием к уборочному периоду –

до 6 % относительных процентов. Динамика углерода гумуса в вегетационный сезон 2024 г. была менее выраженной ($C_v = 1-7\%$) с тенденцией возрастания показателя к периоду уборки яровой пшеницы по всем вариантам опыта.

В подпахотном 20–40 см слое агрочернозема в 2023 г. динамика содержания углерода гумуса на вариантах с применением гуминовых удобрений характеризовалась относительной выравниваемостью ($C_v = 4-8\%$) по срокам определения с небольшим возрастанием к уборочному периоду. Контрольный вариант и варианты с припосевным внесением аммиачной селитры характеризовались более интенсивной динамикой ($C_v = 6-11\%$). Условия вегетационного сезона 2024 г. определили изменения в динамике общего углерода гумуса. Она также была менее выраженной, как и в вышележащем слое, но с противоположной тенденцией к уменьшению содержания $C_{\text{гумуса}}$ от периода кущения (3561–4060 мг С/100 г) к уборке яровой пшеницы (3500–3813 мг С/100 г).

Являясь первоисточником гумусовых веществ, водорастворимые соединения, как наиболее доступные, служат «затравочным» материалом для микроорганизмов в процессах разложения. Динамические изменения подвижного водорастворимого углерода в почве связаны с трансформацией неразложившихся растительных остатков предшествующих культур, ветоши и отмирающей корневой системы. Динамика содержания водорастворимого углерода в 0–40 см слое агрочернозема в вегетационный сезон 2023 г. оценивалась постепенным его увеличением по вариантам опыта от фазы всходов яровой пшеницы (19,1–32,3 мг С/100 г) до ее уборки (24,8–39,0 мг С/100 г). Постепенное увеличение содержания C_{H_2O} к уборочному периоду культуры определяется развитием корневой системы, а после – активным включением отмерших корней в процессы разложения в сентябрьский период при благоприятном гидротермическом режиме [10]. Условия вегетационного сезона 2024 г. определили существенные изменения в динамике водорастворимого углерода. От периода кущения к периоду цветения яровой пшеницы содержание водорастворимого углерода в 0–40 см слое не изменялось или несколько возрастало по вариантам опыта, кроме контрольного варианта, где отмечено его снижение. К этому сроку на всех вариантах полевого опыта содержание водорастворимого углерода было достоверно вы-

ше, чем на контроле. Далее, к периоду созревания яровой пшеницы, содержание водорастворимого углерода в агрочерноземе снижалось практически на всех вариантах. В послеуборочный период по вариантам полевого опыта наблюдался значительный разброс в содержании C_{H_2O} в 0–40 см слое агрочернозема. Основным источником водорастворимого углерода в почве выступают растительные остатки, вовлекаемые в процессы разложения, а также корневые экссудаты и метаболиты почвенных микроорганизмов. В связи с этим можно предположить, что наибольшая интенсивность образования водорастворимых соединений в условиях 2023 г., относимая к послеуборочному осеннему периоду, обусловлена максимальным накоплением растительных остатков и благоприятными для процессов разложения гидротермическими условиями сентябрьского периода. Это подтверждается сильной обратной зависимостью содержания водорастворимого углерода от температуры почвы ($r = -0,60$) и средней корреляционной связью с ее влажностью ($r = 0,46$).

Динамика щелочегидролизующего углерода в агрочерноземе в годы исследований имела больший отклик на применение гуминовых и минеральных удобрений по сравнению с динамикой общего углерода гумуса. Внесение аммиачной селитры определяло снижение содержания C_{NaOH} в слое 0–20 см агрочернозема в период от всходов до кущения. Дальнейшая динамика подвижного щелочегидролизующего углерода отличалась по годам. В вегетационном сезоне 2023 г. после второго опрыскивания посевов яровой пшеницы гуминовыми удобрениями в фазу цветения происходило возрастание содержания C_{NaOH} в корнеобитаемом слое с 554–695 до 694–846 мг С/100 г. Различия между вариантами в содержании щелочегидролизующего углерода в вегетационном сезоне 2024 г. были существенно меньше, чем в 2023 г. Динамика содержания углерода, экстрагируемого из почвы щелочью, в слое почвы 20–40 см в целом повторяет динамику вышележащего слоя. Согласно проанализированным данным, критически важным периодом в динамике содержания щелочерастворимого углерода в агрочерноземе, определяющим различия в вариантах полевого опыта, является временной промежуток между цветением и созреванием яровой пшеницы. В этот период происходит существенное возрастание либо же снижение концентрации ще-

лочегидролизируемого углерода по вариантам полевого опыта. По-видимому, это связано с тем, что в период созревания яровой пшеницы определяются максимальные запасы корней в почве за весь период вегетации [11] при одновременном вовлечении отмерших корней и запасов мортмассы в процессы разложения с образованием молодых гумусовых веществ, экстрагируемых щелочью. Здесь роль гуминовых удобрений заключается в стимулировании роста, прежде всего корневых систем яровой пше-

ницы [12, 13] – с одной стороны, с другой – применение гуминовых удобрений может стимулировать микробиоту почвы, принимающую непосредственное участие в процессах трансформации органического вещества.

По результатам проведенных исследований установлено, что среднестатистическое содержание углерода гумуса на контрольном варианте полевого опыта соответствовало значению 3704–3747 мг С/100 г в 0–40 см слое (табл. 1).

Таблица 1

**Статистические показатели содержания гумусовых веществ
в агрочерноземе под посевами пшеницы (2023–2024 гг.)
Statistical indicators of the content of humic substances
in agro-chnozem under wheat crops (2023–2024)**

Вариант	Показатель	С _{гумуса}		С _{NaOH}		С _{H2O}	
		0–20 см	20–40 см	0–20 см	20–40 см	0–20 см	20–40 см
Контроль	Хср, мг/100 г	3746,6	3704,1	460,1	391,4	24,3	24,3
	Сv, %	6	8	17	22	19	16
N ₃₀	Хср, мг/100 г	3784,5	3636,5	450,9	409,6	24,0	24,3
	Сv, %	3	6	8	13	12	11
N ₆₀	Хср, мг/100 г	3945,9	3644,6	475,8	403,6	25,2	25,2
	Сv, %	5	9	13	13	12	11
Лигногумат АМ	Хср, мг/100 г	4120,6	3886,5	545,1	481,0	28,5	25,7
	Сv, %	5	6	17	7	15	10
N ₃₀ + Лигногумат АМ	Хср, мг/100 г	4278,4	4181,7	613,5	572,3	27,3	27,3
	Сv, %	7	8	21	19	17	6
N ₆₀ + Лигногумат АМ	Хср, мг/100 г	4260,5	4194,7	622,3	585,7	28,6	25,9
	Сv, %	9	10	25	23	16	16
Гумат К	Хср, мг/100 г	4162,2	4066,4	592,2	559,2	28,0	26,8
	Сv, %	9	10	28	28	19	21
N ₃₀ + Гумат К	Хср, мг/100 г	4092,4	3931,1	586,0	518,3	26,4	24,6
	Сv, %	11	10	31	27	24	23
N ₆₀ + Гумат К	Хср, мг/100 г	4057,3	3897,6	558,2	503,9	26,2	25,2
	Сv, %	7	6	31	20	30	21
p ₀₅ А(вариант)		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
p ₀₅ В (год)		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,03
p ₀₅ АВ (взаимодействие)		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Внесение в почву минерального азотного удобрения определило дифференциацию содержания общего углерода гумуса по слоям агрочернозема. В слое 0–20 см внесение минерального удобрения определило увеличение содержания углерода гумуса на 38 мгС/100 г при дозе N₃₀ и 200 мгС/100 г при внесении дозы N₆₀. В слое 20–40 см происходило снижение концен-

трации углерода гумуса на 59–68 мгС/100 г при внесении аммиачной селитры. Обработка семян яровой пшеницы «Лигногуматом АМ» и опрыскивание посевов определило максимальное содержание углерода гумуса в агрочерноземе (4 121–4 278 мг С/100 г) и было больше при совместном применении с минеральным удобрением. Использование в технологии возделывания

яровой пшеницы «Гумата Калия» также определило увеличение содержания углерода гумуса и наибольшего эффекта достигало при его применении в чистом виде (4 066–4 162 мг С/100 г). Такая же закономерность при применении «Лигногумата АМ» и «Гумата Калия Суфлер» выявлена и в содержании углерода подвижных фракций гумуса. По результатам проведенного двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что вклад факторов «вариант», «год» и «взаимодействие» в формирование концентрации углерода гумуса в корнеобитаемом слое агрочернозема был практически одинаков и распределился следующим образом: 27; 22 и 22 % соответственно. В нижележащем слое влияние применяемых удобрений было несколько выше (29 %).

В относительных значениях применение гуминовых удобрений оказало наибольшее воздействие на содержание подвижного углерода, прежде всего его щелочеекстрагируемой части. Применение гуминовых удобрений определило прирост содержания щелочерастворимого углерода до 45 %. Максимальный прирост содержания щелочерастворимого углерода в 0–40 см слое агрочернозема установлен при совместном применении «Лигногумата АМ» и азотного удобрения (153–194 мг С/100 г). «Гумат Калия» оказался эффективнее при его применении без минерального удобрения. На этом варианте наблюдался прирост содержания C_{NaOH} на 132–168 мг С/100 г. В нижележащем слое агрочернозема содержание щелочерастворимого углерода было меньше на 33–72 мг С/100 г, по вариантам опыта и на контроле оценивалось величиной 391 мг С/100 г. Обработка семян яровой пшеницы и опрыскивание вегетирующих посевов «Лигногуматом АМ», а также «Гуматом Калия» по неудобренному фону, обусловили прирост водорастворимой фракции углерода до 27–29 мг С/100 г в 0–20 см слое почвы. В нижележащем слое применяемые удобрения оказали меньшее влияние на содержание C_{H_2O} . В исследовании [14] обнаружено значительное увеличение водорастворимой и щелочеекстрагируемой фракции углерода при внесении в почву «Лигногумата АМ» до 10 и 1,5 раз соответственно. Внесение в почву гуминового удобрения, полученного из лигнита, также увеличивало концентрацию подвижных соединений углерода, но на существенно меньшую величину: в 2,9 раз для водорастворимого углерода и 1,1 раз для щелочерастворимого углерода. Важно отме-

тить, что эти результаты получены при непосредственном внесении гуминовых удобрений в почву, но также подтверждают больший прирост подвижного углерода почвы при применении «Лигногумата АМ» в сравнении с препаратом, полученным из органического сырья, содержащего больше ароматических структур в своем составе.

По результатам корреляционного анализа установлено, что в среднем за два года исследований содержание всех компонентов гумусовых веществ в агрочерноземе имело прямую зависимость друг от друга ($r = 0,47–0,88$). Это позволяет судить о превалировании процессов гумусообразования над процессами минерализации. При этом на контрольном варианте содержание водорастворимого углерода имело среднюю обратную зависимость ($r = -0,58$) от содержания общего углерода гумуса, что свидетельствует об усилении процессов минерализации гумуса [15].

Применяемые в опыте удобрения определили увеличение запасов $C_{гумуса}$ (табл. 2). Максимальные запасы общего углерода гумуса в 0–40 см слое сформировались на вариантах совместного применения «Лигногумата АМ» и аммиачной селитры и составили 160,6 т С/га, что на 16,7–19,8 т С/га больше, чем на вариантах только с применением азотного удобрения. Запасы углерода гумуса в 0–40 см слое агрочернозема на вариантах опыта с применением «Лигногумата АМ» по неудобренному фону и «Гумата Калия» совместно с минеральным удобрением оценивались близкими значениями в 151,0–152,3 т С/га. Подобная закономерность обнаружена и для запасов углерода подвижного гумуса. На вариантах с применением «Лигногумата АМ» совместно с минеральным удобрением, а также «Гумата Калия Суфлер» в чистом виде, установлены близкие значения в запасах $S_{пов}$ (22,9–24,0 т/га), что на 5,9–7,0 тС/га больше, чем на контроле. Предпосевная обработка семян и опрыскивание посевов пшеницы «Лигногуматом АМ» по неудобренному фону, а также «Гуматом Калия» по удобренному фону обусловили прирост углерода подвижного гумуса на 3,5–4,9 т С/га в 0–40 см слое относительно контрольного варианта. Припосевное внесение аммиачной селитры также увеличивало содержание $C_{пов}$ на 0,2–0,6 т С/га, что значительно меньше, чем на вариантах с гуминовыми удобрениями.

Запасы гумусовых веществ в агрочерноземе 2023–2024 гг., т С/га
Reserves of humic substances in agrochernozem 2023–2024, t C/ha

Вариант	Слой, см	С _{гумуса}	С _{пов}	С _{Н₂О}	С _{NaOH}			С _{гк} /С _{фк}	С _{стаб. гумуса}
					С _{общ}	С _{гк}	С _{фк}		
Контроль	0–20	67,44	8,72	0,44	8,28	4,95	3,33	1,49	58,72
	20–40	74,08	8,31	0,49	7,83	4,42	3,40	1,30	65,77
N ₃₀	0–20	68,12	8,55	0,43	8,12	4,80	3,61	1,33	59,57
	20–40	72,73	8,68	0,49	8,19	4,81	3,38	1,42	64,05
N ₆₀	0–20	71,03	9,02	0,45	8,56	4,77	3,80	1,25	62,01
	20–40	72,89	8,58	0,50	8,07	4,55	3,58	1,27	64,32
Лигногумат АМ	0–20	74,17	10,33	0,51	9,81	6,07	3,75	1,62	63,84
	20–40	77,73	10,13	0,51	9,62	5,99	3,63	1,65	67,60
N ₃₀ + Лигногумат АМ	0–20	77,01	11,53	0,49	11,04	7,26	3,81	1,91	65,48
	20–40	83,63	11,99	0,55	11,45	7,31	4,13	1,77	71,64
N ₆₀ + Лигногумат АМ	0–20	76,69	11,72	0,52	11,20	7,02	4,19	1,68	64,97
	20–40	83,89	12,23	0,52	11,71	7,82	3,89	2,01	71,66
Гумат К	0–20	74,92	11,16	0,50	10,66	6,62	4,03	1,64	63,76
	20–40	81,33	11,72	0,54	11,18	7,20	3,99	1,81	69,61
N ₃₀ + Гумат К	0–20	73,66	11,02	0,48	10,55	6,40	4,09	1,57	62,64
	20–40	78,62	10,86	0,49	10,37	6,36	4,01	1,59	67,76
N ₆₀ + Гумат К	0–20	73,03	10,52	0,47	10,05	6,05	4,00	1,51	62,51
	20–40	77,95	10,58	0,50	10,08	6,01	4,07	1,48	67,37

Соотношение запасов фракции гуминовых и фульвовых кислот говорит о степени подвижности гумусового вещества. Гуминовые кислоты, как вещества, относительно малодоступные для ассимиляции микроорганизмами, образуют при взаимодействии с основаниями, прежде всего кальцием, прочные пленки гуматов. Они в свою очередь формируют водопрочные зернистые агрегаты, определяющие наиболее благоприятные водно-воздушный, тепловой и пищевой режимы для произрастания растений. Фульвокислоты подвижнее гуминовых и образуются первыми в процессе гумификации органических остатков, то есть являются более молодыми гумусовыми веществами и относительно быстро минерализуются при благоприятных для этого условиях. Таким образом, по соотношению концентрации углерода гуминовых и фульвокислот можно судить о среднем возрасте гумусового вещества почвы и об его устойчивости к различным воздействиям.

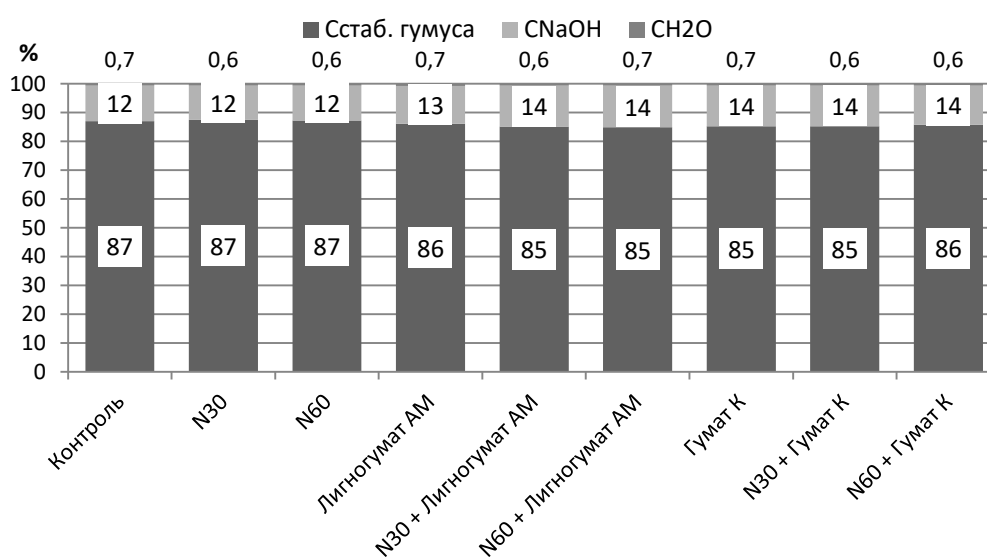
Внесение в почву минерального азотного удобрения обуславливало небольшое снижение качества гумуса с сохранением типа подвижного гумуса как фульватно-гуматного. На контрольном варианте соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ для корнеобитае-

мого слоя агрочернозема соответствовало значению 1,5. На вариантах с внесением аммиачной селитры – 1,3, что обусловлено снижением концентрации углерода гуминовых кислот при одновременном увеличении содержания углерода фульвокислот. Для этих вариантов установлена обратная средняя зависимость между содержанием $C_{гк}$ и $C_{фк}$ ($r = -0,52$). Полученные результаты свидетельствуют об усилении процессов минерализации органического вещества агрочернозема под действием минерального азотного удобрения. Исследованиями [16, 17] установлено снижение содержания гуминовых кислот в составе почвенного органического вещества при применении минеральных удобрений, прежде всего за счет уменьшения фракции свободных и связанных с полуторными окислами гуминовых кислот. Применение «Лигногумата АМ» определило улучшение качества гумуса, соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ для слоя 0–20 см здесь оценивалось на уровне 1,6–1,9. На вариантах с применением «Гумата Калия Суфлер» темпы прироста содержания гуминовых кислот были несколько меньше, в связи с чем качество гумуса практически не изменилось, в 0–20 см слое соотношение $C_{гк}/C_{фк}$ оценивалось значением 1,5/1,6.

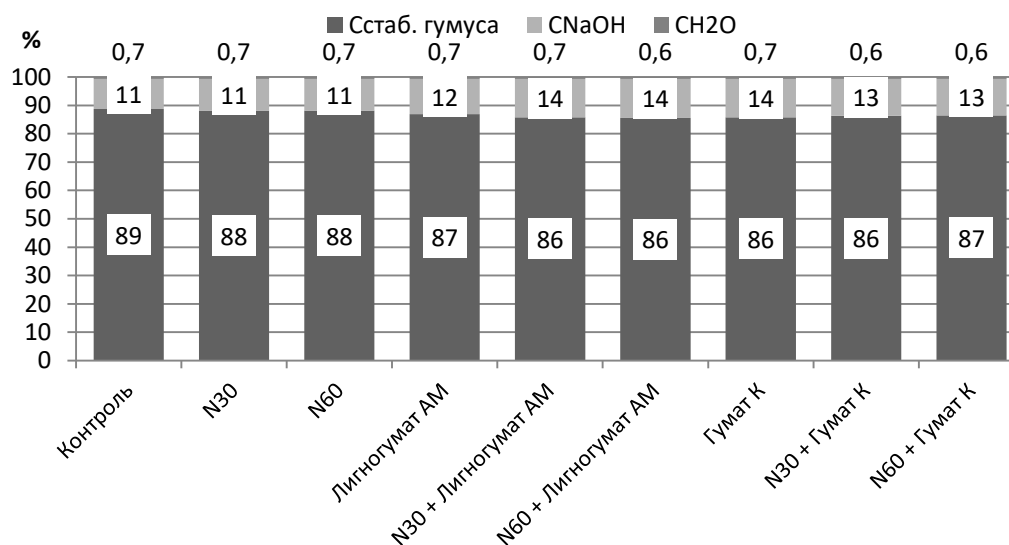
Применение гуминовых удобрений также увеличивало запасы углерода стабильного гумуса. Максимальные запасы $C_{\text{стаб. гумуса}}$ (136,6–137,1 т С/га) сформировались на вариантах совместного применения «Лигногумата АМ» и аммиачной селитры, что на 12,1–12,6 т С/га больше, чем на контроле. Исследованиями [18] доказано, что длительное применение минеральных удобрений при возделывании риса увеличивает запасы углерода органического вещества почвы до 2,0 т С/га относительно контроля, в основном за счет прироста стабильной малоподвижной фракции органического углерода почвы. Внесение минеральных удобрений уве-

личивало поступление органического вещества в почву, прежде всего корневых остатков возделываемой культуры.

Преобладающим компонентом в составе гумусовых веществ являлся углерод стабильного гумуса, он составлял 85–89 % в 0–40 см слое (рис.). Применяемые гуминовые удобрения определили увеличение доли щелочерастворимого углерода в структуре гумусовых веществ до 13–14 % при доле 11–12 % на контрольном варианте, кроме варианта с применением «Лигногумата АМ» в чистом виде, где наблюдалось незначительное увеличение относительно контроля на 1 %.



А



Б

Структура запасов гумусовых веществ в агрочерноземе 2023–2024 гг.: А – 0–20 см; Б – 20–40 см

The structure of humus reserves in agrochernozem in 2023–2024: А – 0–20 cm; Б – 20–40 cm

Азотное минеральное удобрение не повлияло на структуру гумусовых веществ агрочернозема. Доля водорастворимых соединений углерода была невелика и варьировала в пределах 0,6–0,7 % по вариантам опыта. Таким образом, применение гуминовых удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы определяет повышение содержания углерода гумуса в почве за счет увеличения как подвижной фракции гумусовых веществ, так и стабильной фракции гумуса.

Заключение. Динамика углерода гумусовых веществ в значительной степени контролировалась условиями вегетационного сезона и применяемыми удобрениями в технологии возделывания яровой пшеницы. Критически важным периодом в динамике щелочегидролизующего и общего углерода почвы является интервал между цветением и созреванием яровой пшеницы. В этот период на вариантах с применением гуминовых удобрений содержание $C_{\text{гумуса}}$ и C_{NaOH} увеличивалось до 28 относительных процентов. «Лигногумат АМ», применяемый совместно с аммиачной селитрой в технологии возделывания яровой пшеницы, определил максимальное среднестатистическое содержание общего уг-

лерода гумуса (4121–4278 мг С/100 г), щелочерастворимого углерода (614–622 мг С/100 г) и углерода водорастворимых соединений (27–29 мг С/100 г) в 0–20 см слое агрочернозема. На контрольном варианте содержание компонентов гумуса было 3 747; 460 и 24 мг С/100 г соответственно. Максимальные запасы углерода гумуса 0–40 см слоя агрочернозема сформировались на варианте с применением «Лигногумата АМ» по удобренному фону (161 т С/га), превышая контрольный вариант и варианты с применением минерального удобрения на 17–20 т С/га. На этих же вариантах определялись максимальные запасы углерода подвижных гумусовых веществ (24 т С/га), сопровождавшиеся улучшением качества гумуса за счет увеличения доли гуминовых кислот. Минеральные удобрения не повлияли на структуру гумусовых веществ агрочернозема. Доля подвижных гумусовых соединений на вариантах, обрабатываемых гуминовыми удобрениями, увеличивалась до 13–14 %. Таким образом, применение гуминовых удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы по паровому предшественнику является эффективным приемом регулирования и сохранения гумусного состояния почв региона.

Список источников

1. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А., и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с. EDN: PZQYLX.
2. Шарков И.Н., Антипина П.В. Некоторые аспекты углерод-секвестрирующей способности пахотных почв // Почвы и окружающая среда. 2022. Т. 5, № 2. е175. DOI: 10.31251/pos.v5i2.175. EDN: LMWYAN.
3. Шарков И.Н. Воспроизводство гумуса в сибирских черноземах при интенсификации технологии выращивания пшеницы. В сб.: Всероссийская научная конференция с международным участием, посвященная 55-летию ИПА СО РАН «Почвы и окружающая среда», Новосибирск, 2–6 октября 2023 г. Новосибирск, 2023. С. 397–401. EDN: LMFQXA.
4. Слюсарев В.Н., Тешева С.А., Осипов А.В., и др. Влияние длительного возделывания сельскохозяйственных культур различными технологиями на свойства чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Рисоводство. 2022. № 2 (55). С. 68–75. DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-68-75. EDN: VCXVHH.
5. Наими О.И., Дубинина М.Н., Полиенко Е.А., и др. Эффективность совместного применения гуминовых препаратов со средствами защиты на зерновых // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 5 (79). С. 47–51. EDN: EZIPWW.
6. Кураченко Н.Л., Шаропатова А.В. Эффективность применения биологического стимулятора «Гипергрин» при возделывании яровой пшеницы в условиях Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2019. № 12 (153). С. 49–56. DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-49-56. EDN: CYEVMU.
7. Наими О.И. Влияние гуминовых препаратов на процессы гумусообразования при разложении соломы в почве // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 8. С. 58–61. EDN: XZPACD.
8. Кураченко Н.Л. Гумусовые вещества в формировании агрофизических свойств почв Красноярской лесостепи. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. 143 с. EDN: NQFNQJ.

9. Халецкая Г.Ю. Содержание гумуса при обработке гуминовыми препаратами подсолнечника в Ростовской области. В сб.: VI Всероссийская конференция молодых ученых АПК «Актуальные вопросы развития отраслей сельского хозяйства: теория и практика», п. Рассвет, 23–24 мая 2024 г. п. Рассвет, 2023. С. 89–93. DOI: 10.69535/FRARC.2024.21.82.019. EDN: YTWEKR.
10. Кураченко Н.Л., Бопп В.Л. Динамика углерода водорастворимого гумуса в черноземе обыкновенном под чистыми и бинарными посевами донника // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2016. № 5 (252). С. 14–20. EDN: WRPZNH.
11. Медведев И.Ф., Сиренко Ф.В., Ефимова В.И., и др. Динамика развития корневой системы яровой пшеницы в условиях активного проявления засух и различной обеспеченности элементами питания растений // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 8. С. 6–10. EDN: RAVXTJ.
12. Мензянова Н.Г., Пятина С.А., Шабанов А.В. Дозозависимые эффекты наноразмерных форм гуминовых кислот в гидропонной культуре *Triticum aestivum*: индукция окислительного стресса и увеличение численности пограничных клеток // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2023. Т. 16, № 1. С. 64–86. EDN: PDKKRC.
13. Наими О.И. Влияние гуминового препарата BIO-Дон на рост и развитие сельскохозяйственных культур // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2018. № 1-1 (27). С. 62–66. EDN: YOOHLA.
14. Yakimenko O., Pozdnyakov L., Kadulin M., et al. Effects of binary polymer-humic soil amendments on soil carbon cycle and detoxication ability of heavy metal pollution // Chem. Biol. Technol. Agric. 2024. Vol. 11, № 174. DOI: 10.1186/s40538-024-00679-6.
15. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9 (132). С. 149–157. EDN: ZITVPL.
16. Галеева Л.П. Влияние минеральных удобрений на гумусовое состояние черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья в агроценозах // Инновации и продовольственная безопасность. 2020. № 3 (29). С. 95–105. DOI: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-95-105. EDN: LOTCCR.
17. Balík J., Kulháněk M., Černý J., et al. The impact of the long-term application of mineral nitrogen and sewage sludge fertilizers on the quality of soil organic matter // Chem. Biol. Technol. Agric. 2022. Vol. 9, № 86. DOI: 10.1186/s40538-022-00353-9.
18. Xu H., Mustafa A., Saeed Q., et al. Combined application of chemical and organic fertilizers enhances soil organic carbon sequestration and crop productivity by improving carbon stability and management index in a rice–rice cropping system // Chem. Biol. Technol. Agric. 2025. Vol. 12, № 1. DOI: 10.1186/s40538-024-00721-7.

References

1. Kudeyarov VN, Zavarzin GA, Blagodatskij SA., et al. *Puly i potoki ugleroda v nazemnykh ehkossistemakh Rossii*. Moscow: Nauka; 2007. 315 p. (In Russ.). EDN: PZQYLX.
2. Sharkov IN, Antipina PV. Some aspects of carbon sequestration capacity of arable soils. *The Journal of Soils and Environment*. 2022;5(2):e175. (In Russ.). DOI: 10.31251/pos.v5i2.175. EDN: LMWYAH.
3. Sharkov IN. Vospriizvodstvo gumusa v sibirskikh chernozemakh pri intensifikatsii tekhnologii vyrashchivaniya pshenicy. In: *Pochvy i okruzhayushchaya sreda: Vserossiyskaya nauchnaya konferenciya s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennaya 55-letiyu IPA SO RAN*. Novosibirsk, 02–06 Oct 2023. Novosibirsk; 2023. P. 397–401. (In Russ.). EDN: LMFQXA.
4. Slyusarev VN, Tesheva SA, Osipov AV, et al. Impact of long-term cultivation of agricultural crops with different technologies on 68 properties of leached chernozem in Western Ciscaucasia. *Rise Growing*. 2022;(2):68-75. (In Russ.). DOI: 10.33775/1684-2464-2022-55-2-68-75. EDN: VCXVHH.
5. Naimi OI, Dubinina MN, Polienko EA, et al. The effectiveness of combined use of humic preparations and the means of grain crops protection. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;(5):47-51. (In Russ.). EDN: EZIPWW.
6. Kurachenko NL, Sharopatova AV. The efficiency of application of biological stimulator "Hypergreen" in the cultivation of spring wheat in the conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2019;(12):49-56. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2019-12-49-56. EDN: CYEVMU.
7. Naimi OI. The humin preparations influence on humus formation processes at straw decomposition in the soil. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;8:58-61. EDN: XZPACD.

8. Kurachenko NL. *Gumusovye veshchestva v formirovanii agrofizicheskikh svoystv pochv Krasnoyarskoj lesostepi*. Krasnoyarsk: Krasnoyarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet; 2019. 143 p. (In Russ.). EDN: NQFNQJ.
9. Khaletskaya GYu. Humus content when treating sunflower with humic preparations in the Rostov Region. In: *VI Vserossijskaya konferenciya molodyh uchenyh APK "Aktual'nye voprosy razvitiya otraslej sel'skogo hozyajstva: teoriya i praktika"*. Rassvet, 23–24 May 2024. Rassvet; 2023. P. 89–93. (In Russ.). DOI: 10.69535/FRARC.2024.21.82.019. EDN: YTWEKR.
10. Kurachenko NL, Bopp VL. Water-soluble humus carbon dynamics in common chernozem of Krasnoyarsk forest steppe in the pure and binary melilot crops. *Sibirskij vestnik sel'skokhozyajstvennoj nauki*. 2016;5(252):14-20. (In Russ.). EDN: WRPZNH.
11. Medvedev IF, Sirenko FV, Efimova VI, et al. Dynamics of spring wheat root system in active manifestations of drought and various secured plant nutrients. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2013;(8):6-10. (In Russ.). EDN: RAVXTJ.
12. Menzhanova NG, Pyatina SA, Shabanov AV. Dose-dependent effects of nanoscale forms of humic acids in the hydroponic culture of *Triticum aestivum*: induction of oxidative stress and an increase in the number of border cells. *Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology*. 2023;16(1):64-86. (In Russ.). EDN: PDKKRC.
13. Naimi OI. Influence of humic preparation Bio-don on growth and development of agricultural crops. *Bulletin of Don State Agrarian University*. 2018;1-1(27):62-66. (In Russ.). EDN: YOOHLA.
14. Yakimenko O, Pozdnyakov L, Kadulin M, et al. Effects of binary polymer-humic soil amendments on soil carbon cycle and detoxication ability of heavy metal pollution. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2024;11(174). DOI: 10.1186/s40538-024-00679-6.
15. Kurachenko NL, Kolesnik AA. The structure and stocks of humus substances of agrochernozom in the conditions of the main processing of the soil. *Bulletin of KSAU*. 2017;9(132):149-157. (In Russ.). EDN: ZITVPL.
16. Galeeva LP. Influence of mineral fertilizers on the humic state of leached chernozems Novosibirsky Prob'ya in agrocenoz. *Innovations and Food Safety*. 2020;3(29):95-105. (In Russ.). DOI: 10.31677/2311-0651-2020-29-3-95-105. EDN: LOTCCR.
17. Balík J, Kulháněk M, Černý J, et al. The impact of the long-term application of mineral nitrogen and sewage sludge fertilizers on the quality of soil organic matter. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2022;9(86). DOI: 10.1186/s40538-022-00353-9.
18. Xu H, Mustafa A, Saeed Q, et al. Combined application of chemical and organic fertilizers enhances soil organic carbon sequestration and crop productivity by improving carbon stability and management index in a rice–rice cropping system. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2025;12(1). DOI: 10.1186/s40538-024-00721-7.

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

Информация об авторах:

Лев Федорович Казюлин¹, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии

Наталья Леонидовна Кураченко², профессор кафедры почвоведения и агрохимии, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Lev Fedorovich Kazyulin¹, Postgraduate student at the Department of Soil Science and Agrochemistry

Natalia Leonidovna Kurachenko², Professor at the Department of Soil Science and Agrochemistry, Doctor of Biological Sciences, Professor

