

Научная статья/Research Article

УДК 631.423:631.816.3

DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-38-48

Наталья Леонидовна Кураченко<sup>1✉</sup>, Наталья Викторовна Абакумова<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>kurachenko@mail.ru

<sup>2</sup>111snow@mail.ru

## СОДЕРЖАНИЕ И ЗАПАСЫ ПОДВИЖНЫХ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В АГРОЧЕРНОЗЕМЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ НА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕ

Цель исследования – оценить влияние микроводорослей *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* на содержание и запасы подвижных гумусовых веществ в агрочерноземе при возделывании яровой пшеницы. Исследования провели в полевом опыте в 2022–2023 гг. в учебно-опытном хозяйстве Красноярского государственного аграрного университета «Миндерлинское». Объект исследования – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный, яровая пшеница сорта Новосибирская 31, биопрепараты на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* и цианобактерии *Arthrospira platensis* в виде суспензии и гранул. Сезонная динамика процессов трансформации водорастворимых и щелочегидролизующих соединений гумуса в 0–40 см слое агрочернозема имела различный характер и протекала с переменной интенсивностью ( $C_v = 6–35\%$ ) в зависимости от формы биопрепаратов и гидротермических условий вегетационных сезонов. Максимальное пополнение пула подвижного водорастворимого углерода до 30–29 мг С/100 г выявлено в 0–20 см слое агрочернозема при фолиарной обработке вегетирующих посевов яровой пшеницы *Chlorella vulgaris* и внесении гранул *Arthrospira platensis* в почву. Опрыскивание растений суспензией *Chlorella vulgaris* определило близкий с контрольным вариантом уровень содержания щелочегидролизующего углерода в 0–20 см слое почвы (561–557 мг С/100 г). На вариантах опыта с применением суспензии и гранулы *Chlorella vulgaris* отмечалось более активное образование гидролизующих соединений углерода в 20–40 см слое агрочернозема (543–535 мг С/100 г). Максимальная доля запасов стабильного гумуса выявлена на вариантах опыта с применением гранул *Arthrospira platensis* (89–90 %), что обусловлено снижением запасов подвижных соединений гумуса. Показатель силы влияния изученных форм биопрепаратов с микроводорослями на содержание водорастворимого углерода в агрочерноземе при возделывании яровой пшеницы оценивался величиной 24–12 %, щелочегидролизующего углерода – 40–38 %.

**Ключевые слова:** *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, гумус, подвижные гумусовые вещества, запасы гумуса, агрочернозем

**Для цитирования:** Кураченко Н.Л., Абакумова Н.В. Содержание и запасы подвижных гумусовых веществ в агрочерноземе при применении микроводорослей на яровой пшенице // Вестник КрасГАУ. 2026. № 5. С. 38–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-38-48.

Natalia Leonidovna Kurachenko<sup>1✉</sup>, Natalia Viktorovna Abakumova<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>kurachenko@mail.ru

<sup>2</sup>111snow@mail.ru

---

**CONTENT AND RESERVES OF MOBILE HUMIC SUBSTANCES IN AGRO-CHERNOZEM WHEN USING MICROALGAE ON SPRING WHEAT**

---

The aim of this study was to evaluate the effect of the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Arthrospira platensis* on the content and reserves of mobile humic substances in agrochernozem during spring wheat cultivation. The research was conducted in a field trial in 2022–2023 at the Minderlinskoye Experimental Farm of Krasnoyarsk State Agrarian University. The subjects of the study were typical clay-illuvial agrochernozem, spring wheat variety Novosibirskaya 31, and biopreparations based on the microalgae *Chlorella vulgaris* and the cyanobacterium *Arthrospira platensis* in the form of suspensions and granules. It was shown that the seasonal dynamics of the transformation processes of water-soluble and alkali-hydrolyzable humus compounds in the 0–40 cm layer of agrochernozem had a different nature and proceeded with variable intensity ( $C_v = 6–35\%$ ) depending on the form of biopreparations and hydrothermal conditions of the growing seasons. The maximum replenishment of the pool of mobile water-soluble carbon up to 30–29 mg C/100 g was revealed in the 0–20 cm layer of agrochernozem during foliar treatment of vegetative crops of spring wheat with *Chlorella vulgaris* and the application of *Arthrospira platensis* granules to the soil. Spraying plants with a suspension of *Chlorella vulgaris* determined the level of alkali-hydrolyzable carbon in the 0–20 cm soil layer close to the control variant (561–557 mg C/100 g). In the experimental variants using *Chlorella vulgaris* suspension and granules, more active formation of hydrolyzable carbon compounds was observed in the 20–40 cm layer of agrochernozem (543–535 mg C/100 g). The maximum proportion of stable humus reserves was revealed in the experimental variants using *Arthrospira platensis* granules (89–90 %), which is due to a decrease in the reserves of mobile humus compounds. The strength of the influence of the studied forms of biopreparations with microalgae on the content of water-soluble carbon in agrochernozem during spring wheat cultivation was estimated at 24–12 %, and alkali-hydrolyzable carbon – 40–38 %.

**Keywords:** *Chlorella vulgaris*, *Arthrospira platensis*, humus, mobile humic substances, humus reserves, agrochernozem

**For Citation:** Kurachenko NL, Abakumova NV. Content and reserves of mobile humic substances in agro-chernozem when using microalgae on spring wheat. *Bulletin of KSAU*. 2026. N 5. P. 38–48. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-5-38-48.

**Введение.** Органическое вещество почвы играет первостепенную роль в формировании потенциального и эффективного плодородия почв, получении высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур [1]. При этом в интенсивно используемых пахотных почвах изменения условий гумусообразования и снижение поступления в почву растительных остатков изменяют круговорот органического вещества и углерода, что приводит к дегумификации, которая проявляется в снижении содержания и ухудшении качества почвенного органического вещества [2, 3]. Использование биологических средств защиты растений, биостимуляторов и биологических удобрений рассматривается как экологизация сельскохозяйственного производства [4, 5]. Применение микроводорослей в качестве биологических удобрений в инновационных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур является перспективным направлением современного сельского хозяйства и нацелено на повышение устойчивости земле-

делия и сохранение плодородия почв. В последние десятилетия у сельскохозяйственных производителей резко снизились объемы агротехнических и биологических мероприятий, что привело к неудовлетворительному состоянию сельскохозяйственных угодий в стране. Экологизация сельского хозяйства и внедрение методов биологизации, направленных на восстановление органического вещества в почвах, становятся неотъемлемыми элементами решения этой проблемы. Один из перспективных методов – восстановление почвенных экосистем на сельскохозяйственных угодьях, повышение плодородия и продуктивности агроценозов за счет применения биопрепаратов [6]. В настоящий период появились инновационные возможности создания органических удобрений нового поколения на основе микроводорослей.

Самыми многочисленными представителями природных микробиомов являются зеленые водоросли и цианобактерии. Их отличает уникальная устойчивость в широком диапазоне эколо-

гических и климатических условий, быстрое восстановление жизнеспособности после неблагоприятных условий и высокая продуктивность [7]. Огромную популярность в биотехнологиях приобрели представители родов *Chlorella* и *Arthrospira* [8]. Исследованиями [9] подтверждено позитивное влияние альголизации на состояние почв. Прежде всего это проявляется в накоплении органического вещества благодаря выделяемым метаболитам и отмирающей биомассе клеток. Микроводоросли как источник органического вещества конкурируют с высшими растениями, поскольку скорость их фотосинтеза примерно в 10–50 раз выше [10]. Сложное строение клеточной стенки хлореллы делает органическое вещество погибших клеток медленно разлагающимся, тем самым консервируя углерод в почве [11]. Клетки *Chlorella* и *Arthrospira* состоят из органических соединений с высоким содержанием белка и витаминов 86 и 64,5 % соответственно [12]. Органические вещества в почвах – ресурс для развития гетеротрофных микроорганизмов, деятельность которых приводит к постепенной минерализации и высвобождению доступных высшим растениям форм азота и фосфора [13].

**Цель исследования** – установить действие биопрепаратов с микроводорослями *Chlorella vulgaris* и *Arthrospira platensis* на содержание и запасы подвижных гумусовых веществ в агроценозе при возделывании яровой пшеницы.

**Объекты и методы.** Исследования проведены в полевом опыте в 2022–2023 гг. в учебно-опытном хозяйстве Красноярского государственного аграрного университета «Миндерлинское» в Красноярской лесостепи на агроценозе глинисто-иллювиальном типичном. Почва опытного участка характеризовалась высоким содержанием гумуса (7,1–7,8 %), очень высокой суммой обменных оснований (48,2–57,5 ммоль/100 г) и нейтральной реакцией почвенного раствора (рНН<sub>2</sub>O – 6,6–6,9). В агроценозе яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, возделываемой по чистому пару, применялись биопрепараты на основе микроводоросли *Chlorella vulgaris* и цианобактерии *Arthrospira platensis* в виде суспензии и гранул.

Схема опыта: 1 – контроль; 2 – *Chlorella vulgaris* (1 % раствор); 3 – *Chlorella vulgaris* (гранулы); 4 – *Chlorella vulgaris* + *Arthrospira platensis* (гранулы); 5 – *Arthrospira platensis* (гранулы). Гранулы вносились в почву при посеве яровой

пшеницы. Обработка вегетирующих посевов 1 % раствором суспензии *Chlorella vulgaris* проводилась в период кущения и цветения пшеницы в баковых смесях со средствами химической защиты растений. Норма расхода рабочей жидкости составляла 300 л/га. Химическая защита культуры включала протравливание семян препаратом «Алькасар, КС» (0,75 л/т); обработку посевов гербицидами «Элант-Премиум» (0,5 л/га), «Сталкер» (12 г/га) и «Тайпан» (0,35 л/га); фунгицидом «Зенон Аэро» (1,2 л/га) и инсектицидом «Цунами» (0,2 л/га). Общая площадь опытных делянок – 200 м<sup>2</sup>, учетная – 100 м<sup>2</sup>. Повторность опыта 4-кратная, расположение делянок – систематическое. Отбор почвенных образцов проводился в слоях 0–20 см и 20–40 см в период июнь – сентябрь и был приурочен к основным фазам развития яровой пшеницы. В образцах почвы определяли: влажность термовесовым методом, общий углерод гумуса по Тюрину; водорастворимые соединения гумуса (СН<sub>2</sub>O) методом бихроматной окисляемости по Тюрину; щелочегидролизуемые соединения гумуса (СNaOH) по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой. Статистический анализ результатов проводили с использованием стандартного программного пакета Ms Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Сезонная и многолетняя динамика содержания гумуса и его подвижных компонентов определяет цикличность процессов гумусообразования и является одним из самых очевидных показателей жизнедеятельности экосистемы. Многообразие экологических условий функционирования почв, характера их использования, особенностей культур и применяемых технологий является фактором сезонной динамики углерода гумуса и его подвижных компонентов [14].

Погодные условия 2022 г. характеризовались как теплые и влагообеспеченные, с неравномерным выпадением осадков. Вегетационный сезон 2023 г. был теплым и засушливым, с ГТК 0,6–0,9, что отразилось на сезонной динамике гумусовых веществ. Динамика процессов трансформации водорастворимых соединений гумуса имела различный характер и протекала с переменной интенсивностью в зависимости от формы применения биопрепаратов и гидротермических условий вегетационных сезонов. Водорастворимые соединения углерода варьировали в 0–40 см слое почвы от фазы всходов яровой пшеницы до ее уборки с интенсивностью от 7 до

35 % (табл. 1). Общей закономерностью динамики содержания  $Cn_2o$  в 0–20 см слое агрочернозема во влажный и теплый вегетационный сезон 2022 г. являлось увеличение его концентрации в почвенном растворе к периоду цветения яровой пшеницы и постепенное снижение к августу. Увеличение содержания углерода водорастворимого гумуса в июле связано с увеличением интенсивности пополнения блока почвенной мортмассы в этот период за счет частичного отмирания корней и надземных частей растений. В подпахотном 20–40 см слое агрочернозема ход сезонной динамики углерода водорастворимого органического вещества был несколько иным. Пополнение почвенного раствора водорастворимой фракцией углерода в июльский период не было выявлено. В засушливые летние месяцы 2023 г., особенно в начале роста и развития яровой пшеницы, не отмечалось существенного обновления пула водорастворимого углерода в почве. Значительное увеличение концентрации  $Cn_2o$  (до 37–40 мг С/100 г почвы) отмечалось в пахотном и

подпахотном слое только в период созревания яровой пшеницы. Пополнение запасов влаги в агрочерноземе способствовало усилению минерализации водорастворимого углерода и снижению его количества в почве ( $r = -0,47... -0,48$ ), что согласуется с исследованиями [15]. Авторами установлено, что ход сезонной динамики водорастворимого углерода гумуса в агрочерноземе под одновидовыми и бинарными посевами эспарцета был на 53–66 % сопряжен с влажностью почвы. О.А. Власенко [16] различия в запасах водорастворимого органического вещества в агроценозах кукурузы и подсолнечника связывает с влажностью почвы и предполагает, что часть водорастворимых гумусовых веществ может вымываться из почвы и участвовать в процессах дальнейшей трансформации органического вещества при активном участии микроорганизмов. В конце вегетации запасы углерода водорастворимого гумуса, как правило, снижаются в агроэкосистемах из-за увеличения количества осадков и снижения активности микрофлоры.

Таблица 1

Статистические параметры содержания  $Cn_2o$  в агрочерноземе, мг С/100 г  
Statistical parameters of  $Cn_2o$  content in agricultural soil, mg C/100 g

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)			
	2022		2023	
	Хср	Сv, %	Хср	Сv, %
0–20 см				
Контроль	23,8	32	31,3	35
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	32,1	20	29,7	17
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	26,3	17	27,9	26
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	25,1	32	28,9	19
<i>A. platensis</i> (гранулы)	26,4	7	30,9	24
$p A = 0,0030^*$ ; $p B = 0,0000^*$ ; $p AB = 0,0035^*$				
20–40 см				
Контроль	29,0	17	28,8	11
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	25,5	28	29,6	27
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	24,5	17	31,6	11
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	26,4	33	26,7	27
<i>A. platensis</i> (гранулы)	27,0	17	27,3	10
$p A = 0,0744$ ; $p B = 0,0002^*$ ; $p AB = 0,0005^*$				

Содержание водорастворимого углерода в агрочерноземе контрольного варианта оценивалось величиной 24–31 мг С/100 г в 0–40 см слое. Применение биопрепаратов с микроводорослями в виде фолитарной обработки посевов и

гранул при посеве в технологии возделывания яровой пшеницы определило достоверное повышение по сравнению с контролем концентрации  $Cn_2o$  до 25–32 мг С/100 г в 0–20 см слое почвы ( $p = 0,0030$ ). Дефицит осадков в вегета-

ционный сезон 2023 г. не способствовал пополнению фракции водорастворимого углерода в почве ( $p = 0,0744$ ).

Оценка содержания водорастворимого углерода в агрочерноземе под посевами яровой

пшеницы показала, что поступление гранул *Chlorella vulgaris* в чистом виде и в смеси *Arthrospira platensis* в почву с семенами усиливало процессы минерализации этого компонента гумуса (27 мг С/100 г) (рис. 1).

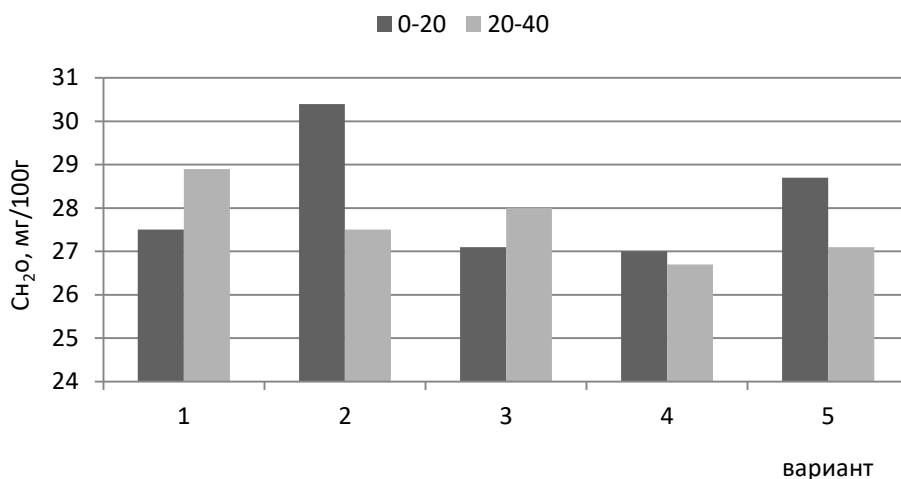


Рис.1. Содержание  $CH_2O$  (мг С/100 г) в агрочерноземе на вариантах опыта (2022–2023 гг.): 1 – контроль (химическая защита – фон); 2 – *C. vulgaris* (1 % раствор); 3 – *C. vulgaris* (гранулы); 4 – *C. vulgaris* + *A. platensis* (гранулы); 5 – *A. platensis* (гранулы)  
Content of  $CH_2O$  (mg C/100 g) in agrochernozem in experimental variants (2022–2023): 1 – control (chemical protection – background); 2 – *C. vulgaris* (1% solution); 3 – *C. vulgaris* (granules); 4 – *C. vulgaris* + *A. platensis* (granules); 5 – *A. platensis* (granules)

Увеличение содержания подвижного водорастворимого углерода в почве до 30–29 мг С/100 г выявлено при фолитарной обработке вегетирующих посевов яровой пшеницы и внесении гранул *Arthrospira platensis* в почву. В наибольшей степени это происходило в поверхностном 0–20 см слое агрочернозема. Максимальная доля  $CH_2O$  от  $S_{гумуса}$ , достигающая 0,63 и 0,68 %, отмечена при применении 1 % раствора *Chlorella vulgaris* и гранул *Arthrospira platensis* в технологии возделывания яровой пшеницы.

Гумусовые вещества, извлекаемые из почвы 0,1 н. раствором NaOH, наиболее подвержены трансформации при агрогенном использовании почв. Щелочегидролизуемые соединения углерода в почве представлены фенольными гидроксилами, амино- и амидогруппами, обогащенными водородом и азотом. Эти соединения, составляющие периферическую часть гумуса, быстро подвергаются минерализации и служат основным источником для образования гумусовых веществ [17].

Сезонная динамика щелочегидролизуемого углерода в агрочерноземе по годам исследова-

ний имела различную направленность, что обусловлено особенностями погодных условий и наличием в почве лабильного органического вещества предшествующих культур севооборота. В вегетационный сезон 2022 г. в поверхностном 0–20 см слое почвы отмечались два пика накопления  $S_{NaOH}$  (500–603 мг С/100 г) на всех вариантах опыта. Они приходились на июльский и сентябрьский периоды и обусловлены процессами прироста и деструкции растительного вещества. В подпахотном 20–40 см слое почвы значительный прирост щелочегидролизуемого углерода в почве отмечался в период молочной и полной спелости яровой пшеницы. Максимальных значений (523–560 мг С/100 г) он достигал при применении *Chlorella vulgaris* в качестве суспензии по вегетирующим растениям и при внесении этой микроводоросли в почву в виде гранул. Особенностью вегетационного сезона 2023 г. с превышением среднесезонной температуры воздуха на 2–3 °С и дефицитом осадков в летние месяцы являлось накопление щелочегидролизуемой фракции углерода в аг-

рочерноземе в период июль – август. Эта закономерность проявлялась в 0–40 см слое почвы на контрольном варианте и на вариантах с применением *Chlorella vulgaris* в виде суспензии и гранул. Известно, что интенсивное пополнение запасов периферической части гумусовых веществ в условиях Красноярской лесостепи протекает в начале и середине лета, когда высока активность почвенной микрофлоры. Факторами, определяющими процессы трансформации органического вещества, являются количество растительного опада, наличие доступной влаги и кислорода в почве. Исследованиями, выполненными на черноземах Красноярской лесостепи, установлено, что при значительном снижении осадков и возрастании температуры происходит увеличение концентрации щелочегидролизуемого углерода гумуса за счет увеличения концентрации гуминовых кислот [18].

В случае применения гранул *Arthrospira platensis* в чистом виде и в смеси с *Chlorella vulgaris* в условиях полевого опыта отмечалось снижение концентрации  $C_{NaOH}$  в почвенном растворе до 408–504 мг С/100 г почвы при относительно стабильной динамике показателя в течение периода наблюдений ( $C_v = 6–12\%$ ). Подобная закономерность, на наш взгляд, обусловлена физиологическими особенностями сине-зеленых водорослей или цианобактерий. Цианобактерии представляют собой группу фотосинтезирующих, фиксирующих азот бактерий, которые живут и активно функционируют преимущественно во влажных местообитаниях. Таким образом, дефицит влаги в почве в вегета-

ционный сезон 2023 г. не способствовал усилению биологической активности почвы в присутствии микроводорослей *Arthrospira platensis* и пополнению почвенного раствора подвижными компонентами гумуса. В этих условиях возможен и другой механизм влияния цианобактерий *Arthrospira platensis* на гумусное состояние почвы. Он связан с углерод-концентрирующим механизмом, который позволяет им создавать большие концентрации углерода в клетке. Анализ корреляционной зависимости между содержанием гидролизуемых 0,1 н щелочью гумусовых соединений и влажностью 0–40 см слоя почвы показал, что между изучаемыми параметрами в их сезонной динамике обнаруживается прямая средняя зависимость ( $r = 0,42–0,47$ ). При влажности агрочернозема в интервале 30–32 % формировалась максимальная обогащенность почвы  $C_{NaOH}$ , достигающая 603–656 мг С/100 г.

Агроценозы яровой пшеницы функционировали на почве с содержанием щелочегидролизуемых соединений углерода, существенно отличающимся по вариантам опыта и годам исследований ( $p = 0,0000$ ) (табл. 2). Теплые и влажные условия вегетационного сезона 2022 г. способствовали пополнению пула щелочегидролизуемого углерода только при применении 1 % раствора суспензии *Chlorella vulgaris* по вегетирующим растениям. По сравнению с контрольным вариантом здесь отмечалось увеличение концентрации  $C_{NaOH}$  на 5–28 % в слое 0–40 см.

Таблица 2

Статистические параметры содержания  $C_{NaOH}$  в агрочерноземе, мг С/100 г  
Statistical parameters of  $C_{NaOH}$  content in agrochernozem, mg C/100 g

Вариант (фактор А)	Год (фактор В)			
	2022		2023	
	$X_{cp}$	$C_v, \%$	$X_{cp}$	$C_v, \%$
1	2	3	4	5
0–20 см				
Контроль	476,6	22	645,0	15
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	498,2	15	636,1	10
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	440,1	14	563,7	19
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	442,8	18	464,5	6
<i>A. platensis</i> (гранулы)	434,3	17	442,3	6
$p A = 0,0000^*$ ; $p B = 0,0000^*$ ; $p AB = 0,0058^*$				

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
20–40 см				
Контроль	392,1	7	614,7	18
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	501,2	16	606,7	11
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	472,0	11	598,1	15
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	410,5	17	450,1	10
<i>A. platensis</i> (гранулы)	393,5	17	424,4	12
$p A = 0,0000^*$ ; $p B = 0,0000^*$ ; $p AB = 0,0001^*$				

В наибольшей степени процесс минерализации охватывал щелочегидролизуемые соединения гумуса в вегетационный сезон 2023 г. при поступлении микроводорослей в агроценоз пшеницы. Полученные результаты отразились на значениях содержания  $C_{NaOH}$  в среднем за период наблюдений (рис. 2). Установлено, что опрыскивание растений суспензией *Chlorella vulgaris* определяло уровень содержания щелочегидролизуемого подвижного углерода в почве, близкий к контрольному варианту в слое 0–20 см (561–557 мг С/100 г). В слое 20–40 см на вариантах опыта с применением суспензии и гранулы *Chlorella vulgaris* отмечалось более активное образование гидролизуемых соединений

углерода, что определило увеличение концентрации показателя на 39–32 мг С/100 г почвы по сравнению с контролем. При внесении гранул в почву отмечалась убыль щелочегидролизуемого углерода по сравнению с контрольным вариантом в верхнем слое 0–20 см агрочернозема на 107–123 мг С/100 г. Зеленые водоросли и цианобактерии производят большое количество органических веществ, увеличивают содержание органического углерода в почве, выделяя экзополисахариды (EPS) во время разложения клеток водорослей, которые становятся легкодоступной формой углерода, необходимой для роста почвенной микробиоты [19, 20].

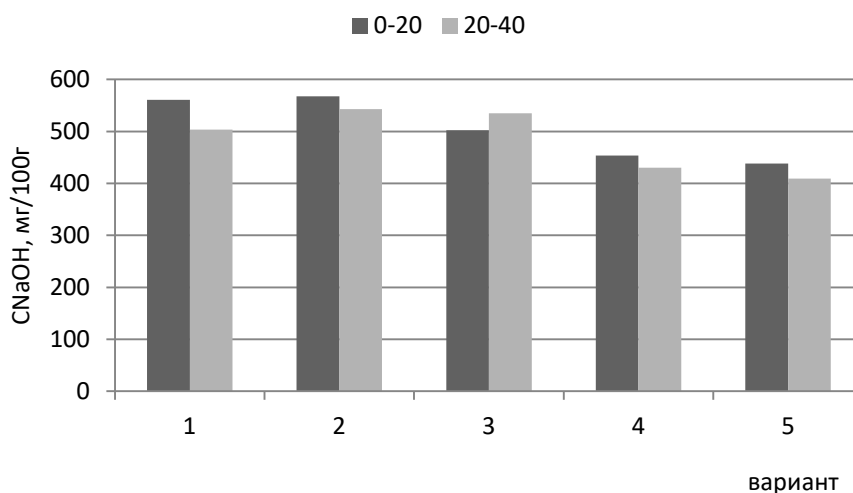


Рис. 2. Содержание  $C_{NaOH}$  (мг С/100 г) в агрочерноземе на вариантах опыта (2022–2023 гг): 1 – контроль (химическая защита – фон); 2 – *C. vulgaris* (1 % раствор); 3 – *C. vulgaris* (гранулы); 4 – *C. vulgaris* + *A. platensis* (гранулы); 5 – *A. platensis* (гранулы).

The content of  $C_{NaOH}$  (mg C/100 g) in agrochernoze in the experimental variants (2022–2023): 1 – control (chemical protection – background); 2 – *C. vulgaris* (1 % solution); 3 – *C. vulgaris* (granules); 4. *C. vulgaris* + *A. platensis* (granules); 5. *A. platensis* (granules)

Полученные закономерности отразились на запасах гумуса и его подвижных соединений (табл. 3). Запасы стабильного гумуса по вариан-

там опыта оценивались на уровне 78–61 т/га, или 88–90 % от всех запасов гумусовых веществ. Максимальная доля запасов стабильного

гумуса выявлена на вариантах опыта с применением гранул *Arthrospira platensis*. В слое почвы 0–40 см она составляла 89–90 % от  $C_{\text{гумуса}}$ , что обусловлено снижением подвижных соединений гумуса. На этих вариантах опыта запасы

Слов снижены до 8–9 т/га или 9–12 % от общих запасов гумусовых веществ. При внесении в почву гранул микроводоросли *Arthrospira platensis* доля  $C_{\text{NaOH}}$  снижалась до 9–10 % от  $C_{\text{гумуса}}$ .

Таблица 3

**Запасы гумусовых веществ в агрочерноземе (2022–2023 гг.), т С/га  
Reserves of humic substances in the agrochernozem region, t C/ha (2022–2023)**

Вариант	$C_{\text{гумуса}}$	Слов	$C_{\text{H}_2\text{O}}$	$C_{\text{NaOH}}$	$C_{\text{стаб. гумуса}}$
0–20 см					
Контроль	80,8	10,1	0,47	9,6	70,7
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	79,8	9,8	0,50	9,4	70,1
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	81,3	9,7	0,50	9,2	71,6
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	80,1	8,6	0,48	8,1	71,5
<i>A. platensis</i> (гранулы)	68,7	7,7	0,47	7,2	61,0
20–40 см					
Контроль	80,8	9,4	0,51	8,9	71,4
<i>C. vulgaris</i> (1 % раствор)	88,4	10,8	0,52	10,3	77,6
<i>C. vulgaris</i> (гранулы)	86,0	10,8	0,54	10,3	75,2
<i>C. vulgaris</i> + <i>A. platensis</i> (гранулы)	82,3	8,6	0,50	8,1	73,7
<i>A. platensis</i> (гранулы)	82,6	8,3	0,52	7,8	74,3

Доля водорастворимого углерода незначительна и существенно не менялась по вариантам опыта (0,6 %). Незначительный запас подвижных гумусовых веществ обусловлен постоянным его обновлением в почве и вовлечением в процессы минерализации и гумификации. Он обеспечивает отклик на внешние агротехнические и агроэкологические воздействия в виде применения микроводорослей в технологии возделывания яровой пшеницы и формирует эффективное плодородие агрочернозема. Это подтверждает положение о том, что большое число органических веществ, присутствующих в почве, и разнообразие почвенно-экологических условий обуславливают многовариантность путей стабилизации органических веществ.

Оценка вклада агроэкологических факторов в формирование подвижных гумусовых веществ показала, что наибольший вклад изученные формы биопрепаратов с микроводорослями внесли в содержание  $C_{\text{NaOH}}$  (40–38 %). В наименьшей степени их влияние отразилось на содержании водорастворимого углерода гумуса (24–12 %) в 0–40 см слое агрочернозема. Показатель силы влияния фактора «год» на содержание подвижных компонентов гумуса стабильно проявлялся для слоя 0–20 см агрочернозема (30–32 %). Для слоя 20–40 см погодные условия

вегетационных сезонов на 26–34 % влияли на содержание подвижных гумусовых веществ.

**Заключение.** Таким образом, динамические изменения углерода подвижных компонентов гумуса определяются формой препаратов с микроводорослями и гидротермическими условиями вегетационных сезонов. Фолиарная обработка вегетирующих посевов яровой пшеницы 1 % раствором суспензии *Chlorella vulgaris* определяет увеличение по сравнению с контролем содержания щелочегидролизуемого углерода на 6–39 мг С/100 г в слое почвы 0–40 см, максимальное пополнение почвенного раствора слоя 0–20 см агрочернозема водорастворимым углеродом (30 мг/кг). Микроводоросли *Chlorella vulgaris* в виде суспензии и гранул способствуют увеличению запасов  $C_{\text{гумуса}}$  на 5–8 т/га,  $C_{\text{стаб. гумуса}}$  на 4–6 т/га,  $C_{\text{слов}}$  на 1 т/га в слое почвы 20–40 см. Наибольшее влияние изученные формы биопрепаратов с микроводорослями оказали на содержание щелочегидролизуемого углерода в почве (40–38 %). Полученные результаты позволяют сделать вывод о положительном влиянии микроводорослей на содержание и запасы подвижных фракций почвенного гумуса как ближайшего резерва для минерализации и пополнения стабильных гумусовых веществ.

Список источников

1. Мамеев В.В., Ториков В.Е., Нестеренко О.А. Изменение баланса гумуса в полевых севооборотах и мероприятия по его увеличению // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 6. С. 9–17. DOI: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17. EDN: NDPVGC.
2. Карабутов А.П., Ступаков А.Г. Мониторинг гумусного состояния чернозема типичного при различной интенсивности использования пашни // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 7. С. 28–33. EDN: YNVGBV.
3. Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С., и др. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15, № 4. С. 99–113. EDN: VRXXZZ.
4. Кураченко Н.Л., Коваленко О.В., Казюлин Л.Ф. Влияние микроводорослей на посевные качества семян гороха и яровой пшеницы // Экологический Вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 16, № 1. С. 35–39. EDN JRUNPU.
5. Кураченко Н.Л., Абкумова Н.В. Действие биопрепаратов на основе культуры микроводоросли *Chlorella vulgaris* на продуктивность томата // Плодородие. 2024. № 2 (137). С. 65–70. DOI: 10.25680/S19948603.2024.137.17. EDN: SNJASC.
6. Чурсин А.И., Незванова К.В. Методы борьбы с деградацией почв в РФ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 6-1. С. 88–91. EDN: VVVXCB.
7. Доценко К.А., Федулов Ю.П. Видовой состав альгофлоры агроценозов Кубани // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 134. С. 1177–1194. DOI: 10.21515/1990-4665-134-095. EDN: VVADKX.
8. Abreu A.P., Martins R., Nunes J. Emerging Applications of *C. sp.* and *Spirulina (Arthrospira) sp.* // Bioengineering (Basel). 2023. Vol. 10. P. 955. DOI: 10.3390/bioengineering10080955.
9. Лукьянов В.А., Стифеев А.И. Агрэкологические особенности одноклеточных фотосинтезирующих организмов в условиях Центрального черноземья // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 1. С. 60–68. EDN: YUMJLX.
10. Uysal O., Uysal F.O., Ekinici K. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer // European Journal of Sustainable Development. 2015. N 4. P. 77–82.
11. Nichols K. Microalgae as a beneficial soil amendment // Soil science from the university of Maryland in 2003. April 2020. P. 22.
12. Kumar J., Singh D., Tyagi M.B., et al. Chapter 16 – Cyanobacteria: Applications in biotechnology. In: Cyanobacteria: from Basic Science to Applications. 2019. P. 327–346.
13. Chatterjee A., Singh S., Agrawal C., et al. Role of algae as a biofertilizer. In: Algal Green Chemistry Recent Progress in Biotechnology. 2017. P. 189–200.
14. 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. EDN: НКUXUU.
15. Кураченко Н.Л., Бопп В.Л. Режим нитратного азота в черноземе при возделывании многолетних трав // Аграрный научный журнал. 2022. № 9. С. 29–33. DOI: 10.28983/asj.y2022i9pp29-33. EDN: SFVBFU.
16. Власенко О.А. Запасы легкоминерализуемого органического вещества при возделывании пропашных кормовых культур в Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 157–165. EDN: ZITVPV.
17. Кураченко Н.Л. Гумусовые вещества в формировании агрофизических свойств почв Красноярской лесостепи. Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2019. 143 с. EDN: NQFNQJ.
18. Власенко О.А. Динамика углерода подвижного гумуса в агрочерноземе при возделывании яровой пшеницы с помощью ресурсосберегающих технологий // Вестник КрасГАУ. 2015. № 9. С. 60–66. EDN: UJKGBD.

19. Tiwari O.N., Bhunia B., Mondal A., et al. System metabolic engineering of exopolysaccharide-producing cyanobacteria in soil rehabilitation by inducing the formation of biological soil crusts: A review // *J. Clean. Prod.* 2019. N 211. P. 70–82.
20. Redmile-Gordon M., Gregory A.S., White R.P., et al. Soil organic carbon, extracellular polymeric substances (EPS), and soil structural stability as affected by previous and current land-use // *Geoderma*. 2020. Vol. 363. Art. 114143.

### References

1. Mameev VV, Torikov VE, Nesterenko OA. Comparative analysis of humus balance in crop rotations longterm field experiments of an intensive type. *Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2023;6:9-17 (In Russ.). DOI: 10.52691/2500-2651-2023-100-6-9-17.
2. Karabutov AP, Stupakov AG, Solovichenko VD. Monitoring of the humus condition of typical chernozem with different intensity of arable land use. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2018;7:28-33. (In Russ.). EDN: YNVGBV.
3. Chernova OV, Alyabina IO, Bezuglova OS, et al. A. The current state of humus content of arable chernozems of true steppes (using the Rostov region as an example). *South of Russia: ecology, development*. 2020;4:99-13. (In Russ.). EDN: VRXXZZ.
4. Kurachenko NL, Kovalenko OV, Kazyulin LF. The Influence of microalgae on seeding quality of pea and spring wheat. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 2020;(1):35-39. (In Russ.). EDN: JRUNPU.
5. Kurachenko NL, Abkumova NV. Effect of biological based on the microalgae culture *Chlorella vulgaris* on tomato productivity. *Plodorodie*. 2024;2:65-70. (In Russ.). DOI: 10.25680/S19948603.2024.137.17. EDN: SNJASC.
6. Chursin AI, Nezvanova KV. Degradation of agricultural land in the Russian Federation and methods its elimination. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2016;6-1:88-91. (In Russ.). EDN: VVVXCB.
7. Dotsenko KA, Fedolov YuP. Species composition of algoflora of Kuban. *Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2017;134:1177-1194. (In Russ.). DOI: 10.21515/1990-4665-134-095. EDN: VVADKX.
8. Abreu AP, Martins R, Nunes J. Emerging Applications of *C. sp.* and *Spirulina (Arthrospira) sp.* *Bioengineering (Basel)*. 2023;10:955. DOI: 10.3390/bioengineering10080955.
9. Lukyanov VA, Stifeev AI. Agroecological features unicellular photosynthetic organisms in conditions of the Central Black Soil Region. *Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects*. 2016;1:60-68. (In Russ.). EDN: YUMJLX.
10. Uysal O, Uysal FO, Ekinci K. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. *European Journal of Sustainable Development*. 2015;4:77-82.
11. Nichols K. Microalgae as a beneficial soil amendment. *Soil science from the university of Maryland*. April 2020. P. 22.
12. Kumar J., Singh D., Tyagi M.B., et al. Chapter 16 – Cyanobacteria: Applications in biotechnology. In: *Cyanobacteria: from Basic Science to Applications*. 2019. P. 327–346.
13. Chatterjee A, Singh S, Agrawal C, et al. Role of algae as a biofertilizer. In: *Algal Green Chemistry Recent Progress in Biotechnology*. 2017. P. 189–200.
14. Kazyulin LF, Kurachenko NL. Changes in agro-chernozem humus state under fertilizers influence. *Bulletin of KSAU*. 2025;4:125-135. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-4-125-135.
15. Kurachenko NL., Bopp VL. Regime of nitrate nitrogen in chernozem during the cultivation of perennial grasses. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2022;9:29-33. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2022i9pp29-33.
16. Vlasenko OA. The stocks of easily mineralized organic substance in cultivation of row forage crops in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Bulletin of KSAU*. 2017;9:157-165. (In Russ.). EDN: ZITVPV.
17. Kurachenko NL. *Humic substances in the formation of agrophysical properties of soils of the Krasnoyarsk forest-steppe*. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk State Agrarian University; 2019. 143 p. (In Russ.). EDN: NQFNQJ.

18. Vlasenko OA. The dynamics of mobile humus carbon in agrochernozem in the spring wheat cultivation with the use of resource-saving technologies. *Bulletin of KSAU*. 2015;9:60-66. (In Russ.). EDN: UJKGBD.
19. Tiwari ON, Bhunia B, Mondal A, et al. System metabolic engineering of exopolysaccharide-producing cyanobacteria in soil rehabilitation by inducing the formation of biological soil crusts: A review *J. Clean. Prod.* 2019;211:70–82.
20. Redmile-Gordon M, Gregory AS, White RP, et al. Soil organic carbon, extracellular polymeric substances (EPS), and soil structural stability as affected by previous and current land-use. *Geoderma*. 2020;363:114143.

Статья принята к публикации 26.03.2026 / The article accepted for publication 26.03.2026.

Информация об авторах:

**Наталья Леонидовна Кураченко**, профессор кафедры почвоведения и агрохимии, доктор биологических наук, профессор

**Наталья Викторовна Абакумова**, аспирант кафедры почвоведения и агрохимии

Information about the authors:

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

**Natalia Viktorovna Abakumova**, Postgraduate Student at the Department of Soil Science and Agrochemistry

