

ДИНАМИКА УГЛЕРОДНОГО СТАТУСА ПОЧВЫ
НА РАННЕЙ СТАДИИ РОСТА РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ
ПОД ВЛИЯНИЕМ СРЕДСТВ БИОАКТИВАЦИИ ПОЧВЫА.Х. ЗАНИЛОВ^{1,2}, М.Р. АЗНАЕВА², Д.Г. ДУДАРОВА², А.М. ЛЕШКЕНОВ¹

(¹ Институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ Федеральный научный центр
«Кабардино-Балкарский научный центр Российской академии наук»;

² ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»)

В условиях модельного эксперимента продолжительностью 24 сут. на почвенных образцах чернозема обыкновенного ($C_{org} = 3,6\%$, $pH = 7,4$) была произведена оценка влияния биопрепаратов на биологическую активность почвы и на динамику содержания двух форм почвенного органического вещества: $S_{эв}$ и $C_{орг}$. Было установлено, что используемые в процессе эксперимента биопрепараты по результатам их влияния на интенсивность субстрат-индуцированного дыхания могут быть отнесены к средствам биологической активации почвы. Биологическая активность почвы от предпосевного внесения биопрепаратов в почву возрастает в ряду Ризоплан-Спорекс-Бисолби-Трихозан-Бактофит, меняясь в пределах 57–156,7 мкл $CO_2/ч/г$ почвы, при показателе в эталонном варианте 28,6 мкл $CO_2/ч/г$ почвы. Средства биоактивации демонстрируют ярко выраженную способность деструкции почвенного органического вещества, что в свою очередь выражается в снижении содержания валового углерода. Фракция органического углерода, экстрагируемого горячей водой, отрицательно коррелирует с биомассой растений ($r = -0,845$), что может являться свидетельством участия данной фракции в непосредственном формировании биомассы на ранней стадии развития растений ячменя. В то же время углерод микробной биомассы на исследуемом отрезке времени отличается слабой корреляционной связью с биомассой растений ($r = 0,298$).

Ключевые слова. Биоактивация почвы, биопрепараты, углеродный статус почвы, биомасса растений.

Введение

Глобальная роль почвенного покрова сводится к поддержанию относительного равновесия в биосфере, которое препятствует критическим непрогнозируемым изменениям климата.

При оптимальных условиях функционирования почва способна предотвращать избыточное накопление парниковых газов в атмосфере (в частности, CO_2) и обеспечивать его отрицательный баланс, то есть почва одновременно является и эмиттером, и поглотителем двуокиси углерода [1–3]. Общепризнанной причиной смещения баланса органического вещества почвы в сторону его активного распада признается вовлечение земель в сельскохозяйственный оборот. С момента масштабной интенсификации сельскохозяйственного производства потери органического углерода почвы составили более 35% [4].

Сегодня как никогда климатический фактор выступает в качестве ведущего катализатора масштабных технологических преобразований. Модернизация затронула в первую очередь углеродоемкие секторы экономики. При этом ущерб от выбросов парниковых газов предлагается компенсировать климатическими проектами¹. Наиболее распространенными среди них являются лесоклиматические и проекты на основе технологий геологического захоронения [5].

Практика утилизации парниковых газов в сельском хозяйстве России не является еще распространенной, тем не менее все чаще звучат предложения по вовлечению и сельскохозяйственных земель в климатические проекты. В частности, интенсивный сценарий реализации Стратегии социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года предусматривает использование поглощающей способности почв в качестве поглотителей углекислого газа.

На конференции ООН по изменению климата (Глазго, 2021) была представлена Декларация о продуктах питания и климата, в которой также было предложено использовать почву в качестве резервуара CO₂. В то же время механизм преобразования углекислого газа в углерод почвы представляет собой сложный процесс. Для управления им требуются достоверные параметры, которые позволят установить интенсивность деструкции и синтеза органического вещества почвы, но по причине высокой их динамики вопрос баланса углерода в агроэкосистеме остается открытым [6].

В преобразовании углерода в биосфере и его накоплении в почве важную роль играют почвенные микроорганизмы [7]. В течение сезона отмирающие клетки бактерий, грибов, актиномицетов и дрожжей подвергаются трансформации и вовлечению в процесс гумификации [8]. Микробное сообщество активно участвует также в регулировании газового состава атмосферы [9, 10].

Свойство почвенных микроорганизмов воспроизводить плодородие используется при создании агротехнологий, предусматривающих повышение биологической активности почвы [11]. Для этого используются биологические препараты на основе почвенных грибов и бактерий, которые позволяют создать высокую концентрацию полезных форм микроорганизмов в нужном месте и в нужное время, за счет чего внесенные формы могут занимать экологические ниши, предоставляемые им растениями [12, 13].

Для учета экологических функций почвы в общем, и определения интенсивности биотического закрепления углерода – в частности, требуется всестороннее их изучение. Особого внимания заслуживают функции, связанные с процессами депонирования, сорбции, десорбции и трансформации веществ. Благодаря такому расширенному подходу можно не только оценить их значение в рациональном использовании ресурсов и охране окружающей среды [14], но и разработать прикладные решения по адресному управлению соответствующими функциями.

Функционирование микробного сообщества почвы изучается чаще всего с использованием ряда интегральных параметров ее биологической активности, так как некоторым происходящим изменениям в почве, вызванным хозяйственной деятельностью человека, в большей степени подвержена почвенная микробиота как наиболее чувствительная часть биоценоза [15, 16]. Такие параметры включают в себя показатели дыхания почвы, целлюлозоразлагающей активности (ЦА), углерода микробной биомассы и др. Доля лабильного органического вещества почвы также может отражать направленность функционирования почвенной экосистемы.

¹ Климатический проект – комплекс мероприятий, обеспечивающих сокращение (предотвращение) выбросов парниковых газов или увеличение поглощения парниковых газов // Об ограничении выбросов парниковых газов: Федеральный закон от 2 июля 2021 г. № 296-ФЗ.

Цель исследований: определение влияния средств биоактивации почвы в виде коммерческих форм биопрепаратов на изменение ее углеродного статуса в динамике на ранних стадиях роста растений ячменя и на их биомассу.

Материал и методы исследований

Почвенные образцы для проведения модельного опыта были отобраны на участке длительных полевых исследований, входящих в Геосеть многолетних опытов № 82, принадлежащих Институту сельского хозяйства КБНЦ РАН (с.п. Опытное, КБР). Почва представлена черноземом обыкновенным. Содержание углерода по Тюрину составляло 3,6%, рН = 7,4. Эксперимент заложен в лаборатории центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ им. Х.М. Бербекова в сосудах объемом по 1 л, повторность трехкратная. Из средств повышения плодородия почв использован органоминеральный комплекс «АКМ», представляющий собой однородную измельченную смесь природного минерала серпентинита и бурого угля в соотношении 5:1 [17]. Норма внесения – из расчета 300 кг/га.

В качестве средств биоактивации почвы использованы коммерческие биопрепараты на основе живых клеток микроорганизмов и их спор (табл. 1). Способ внесения биопрепаратов – предпосевная обработка почвы за 10 дней до посева. Семена ячменя высеяны в количестве 24 шт. на сосуд, дата высева – 4 августа 2023 г. Спустя 21 сут. вегетации производится учет биомассы, по которой может быть проведена сравнительная оценка эффективности используемых средств биоактивации почвы, так как элементы продуктивности растений закладываются на начальных этапах развития растений [18, 19].

Биологические свойства почвы определялись по параметрам: содержание углерода микробной биомассы [20]; углерод, экстрагируемый горячей водой [21], как показатель разлагаемой части почвенного органического вещества [22]; валовое содержание почвенного органического вещества (ПОВ) на элементарном анализаторе серии Multi EA-200CS.

Факт почвенной биоактивации определялся по интенсивности субстрат-индуцированного дыхания почвы спустя 10 дней после их внесения, непосредственно перед высевом семян.

Таблица 1

Схема опыта

Варианты	Средства		Описание
Эталон	АКМ по 2 г/сосуд	Вода	H ₂ O _{дист}
Вариант 1		Бактофит (0,1 мл)	Bacillus subtilis шт. ИПМ-215
Вариант 2		Спорекс (0,1 мл)	Bacillus megaterium var phosphaticum
Вариант 3		Ризоплан (0,1 мл)	Pseudomonas fluorescens
Вариант 4		Трихозан (0,1 мл)	Trichoderma viride
Вариант 5		Бисолби (0,1 мл)	Bacillus subtilis, штамм Ч-13

Результаты и их обсуждение

Оценка приема биоактивации почвы спустя 10 сут. после их внесения продемонстрировала, что рост скорости субстрат-индуцированного дыхания отмечился во всех вариантах. При этом степень изменения зависела от вида средства биоактивации (рис. 1).

Из диаграммы следует, что максимальное влияние на скорость СИД оказали продукты Трихозан, Бактофит и Бисолби. Рост биологической активности почвы составил 398, 448 и 299% соответственно. В меньшей степени показатель биоактивации на этапе высева семян проявляется от внесения Ризоплана (98%) и Спорекса (149%). $НСР_{0,5} = 15,8$.

Для оценки влияния средств биоактивации почвы на рост растений был проведен ряд метрических наблюдений: количество всходов, высота растений и биомасса наземной части растений.

Из диаграммы (рис. 2) следует, что микробиологические препараты, используемые на фоне органоминерального комплекса АКМ, отличаются по своему влиянию на дружность всходов. В первый день всходов (3 сут. после высева семян) максимальная всхожесть была отмечена в вариантах с использованием таких биопрепаратов, как Трихозан (37,5%), Бисолби (41,7%) и Спорекс (41,7). В вариантах с препаратами Бактофит и Ризоплан всхожесть была минимальной (рис. 3).

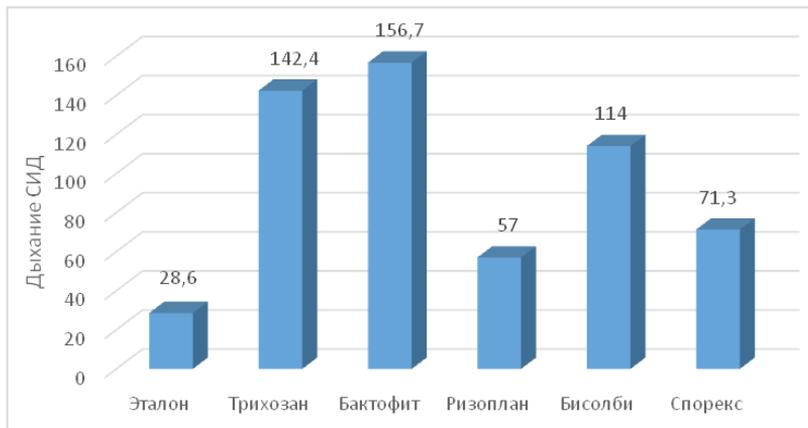


Рис. 1. Интенсивность СИД, мкл CO₂/ч/г почвы

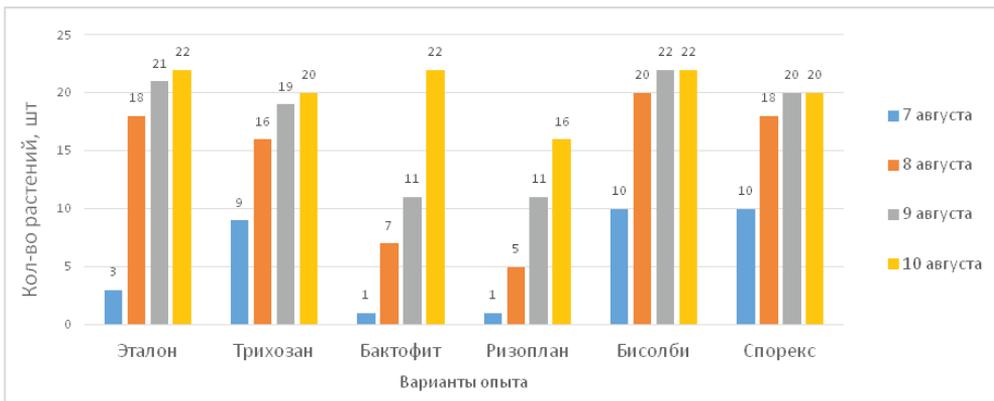


Рис. 2. Влияние средств биоактивации на всхожесть растений, шт.

На 7 сут. после высева семян процент всхожих семян по всем вариантам относительно выравнился и находился в пределах 83,3–91,7%. Исключением был вариант с биопрепаратом Ризоплан, в котором всхожесть составила 66,7%.

Учет средней биомассы наземной части растений на 21 сут. после появления всходов также выявил зависимость данного параметра от использованных биопрепаратов ($НСР_{0,5} = 0,14$). Рост биомассы отмечался в убывающем ряду: Бисолби-Ризоплан-Трихозан-Спорекс-бактофит-Эталон.

Анализируя данные рисунков 2 и 4, можно отметить, что причина задержки появления всходов и минимальное накопление биомассы растений в варианте с использованием Бактофита может быть связана с тем, что основным свойством препарата является его фунгицидная активность. На рисунке 1 отмечен максимальный рост биологической активности почвы. Занимая пространство вокруг корневой системы растения и угнетая окружающую микрофлору фунгицидными соединениями, штамм Бактофита может ограничивать концентрацию ростстимулирующих веществ, продуцируемых в почве аборигенной микрофлорой.

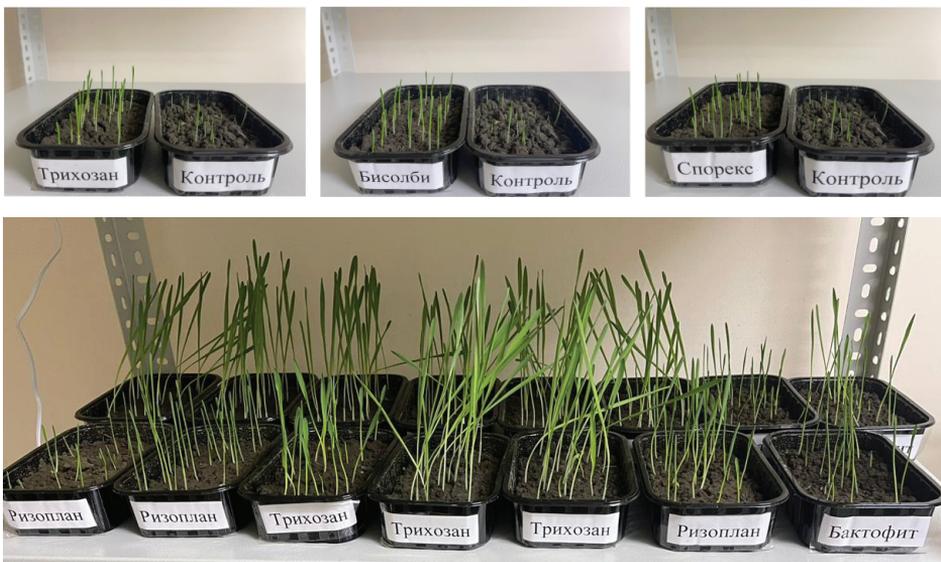


Рис. 3. Вид растений ячменя в лотках

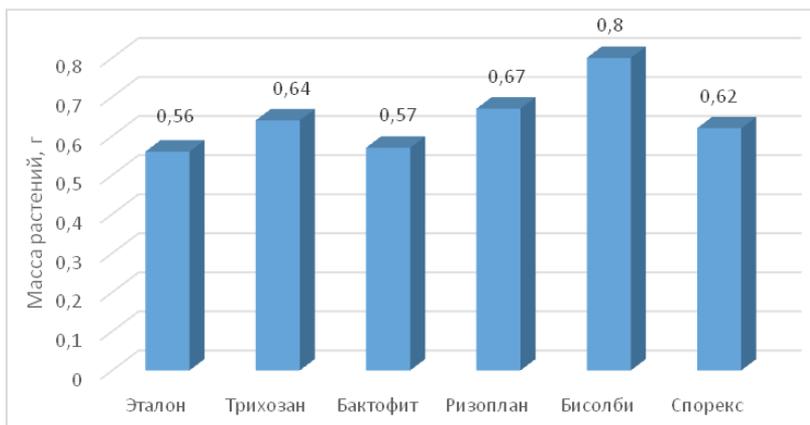


Рис. 4. Влияние биопрепаратов на биомассу растений, г

Наибольший набор биомассы (0,8 г) стимулировался биопрепаратом Бисолби, что выше, чем в эталонном варианте, на 42,9%. За ним следуют Ризоплан (19,6%), Трихозан (14,3%), Спорекс (10,7%). Биомасса растений в варианте с Бактофитом существенно не отличается от эталонного варианта (1,8%).

Действие Ризоплана также заслуживает внимания, так как его влияние на биологическую активность почвы из всех исследуемых препаратов к началу эксперимента было минимальным (рис. 1). Возможно, действующими активными агентами в большей степени выступали продуцируемые клетками физиологически активные вещества, чем непосредственно сами живые клетки. Показатели всхожести также были минимальными, и механизм действия может быть схожим с механизмом действия биопрепарата Бактофит, то есть являться сильным фунгицидом. При этом к моменту учета биомассы растений проявляется значимый эффект (0,67 г), который уступал только варианту с Бисолби.

В качестве предварительного вывода можно заключить, что программируемого действия средств биоактивации можно добиться учетом их характеристик, регулированием сроков их внесения и, возможно, их сочетанием.

Влияние биопрепаратов на углеродный статус почвы. Наиболее востребованными, воспроизводимыми и экспрессными показателями функционирования, а значит, и экологического состояния почвы, наряду с другими биологическими показателями является ее микробная биомасса [23, 24]. Во многих странах микробиологические свойства служат информативным индикатором качества и здоровья почвы. Следовательно, в качестве одного из приемов повышения плодородия почвы может быть рассмотрена интродукция эффективных штаммов почвенных микроорганизмов (рис. 5).

При анализе диаграммы прослеживается закономерность в динамике изменения содержания углерода микробной биомассы. Во всех вариантах с биопрепаратами пиковые значения проявляются на 17 сут. после высева семян (21.08.2023 г.), которые в последующие 7 сут. снижаются. К концу эксперимента (28.08.2023 г.) максимальная микробная биомасса в почве биоактивированных вариантов накапливается при внесении Спорекса (252 г/м²) и Бисолби (185 м²). От стартовых значений $S_{\text{мик}}$ возрастает на 255 и 62,3% соответственно. Концентрация $S_{\text{мик}}$ далее убывает в ряду Ризоплан (106 г/м²), Бактофит (71 г/м²) и Трихозан (52 г/м²). В данных вариантах отмечается отрицательный баланс углерода микробной биомассы, который составляет, соответственно, -86%; -124%; -173%.

Процесс накопления $S_{\text{мик}}$ в эталонном варианте имеет противоположную остальным вариантам динамику. Так, при минимальных стартовых значениях 28,6 г/м² к концу наблюдений отмечается максимальная его концентрация (280 г/м²) среди всех вариантов. Прирост составляет 879%. Возможно, развитие аборигенной микрофлоры в естественных условиях представляет собой более плавный, менее динамичный процесс, чем в случае интродуцирования искусственно культивированных штаммов в почву.

Углерод, экстрагируемый горячей водой. Почвенная микробиота формирует пул органического вещества через накопление его лабильной фракции (ЛОВ) (рис. 6), представляя собой комплекс неспецифических органических соединений – таких, как негумифицированные углеводы, органические кислоты, спирты, аминокислоты, полисахариды и др. [25]. Эта часть ЛОВ активнее всего реагирует на антропогенные воздействия и является материальной и энергетической основой всей почвенной биоты и растений. По содержанию $S_{\text{эв}}$ оценивается степень обеспеченности почв органическим веществом [26].

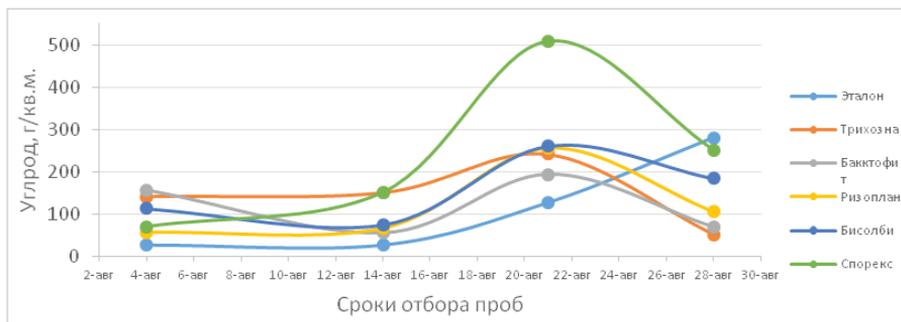
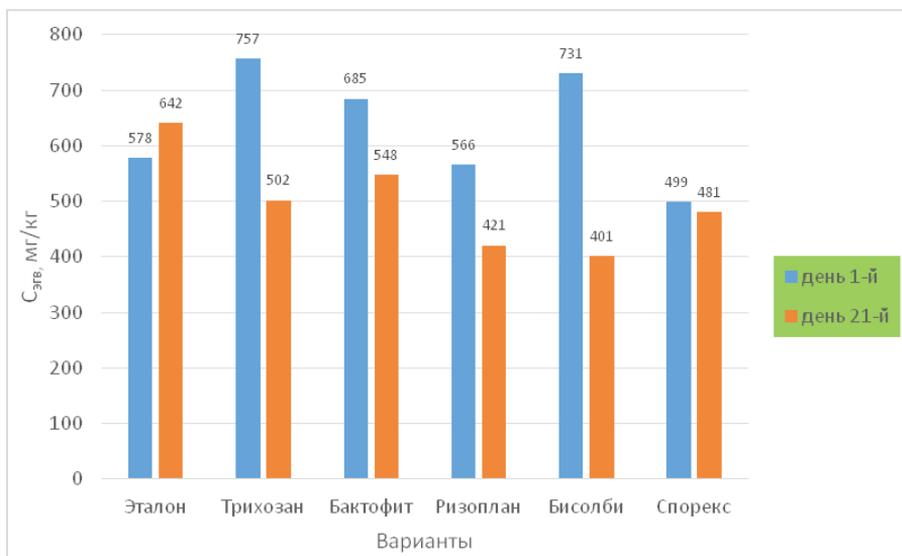


Рис. 5. Динамика углерода микробной биомассы, г/м³



Примечание. $HCP_{0,5}$ (день 1) = 54,1. $HCP_{0,5}$ (день 21) = 89,2.

Рис. 6. Концентрация ЛОВ, $C_{эгв}$, мг/кг

Как следует из диаграммы (рис. 6), в отличие от значений углерода микробной биомассы в динамике значительный разброс концентрации углерода, экстрагируемого горячей водой, не отмечается. Если значение $C_{мик}$ на старте и при завершении исследований колеблется в пределах $-63,4-879\%$, то $C_{эгв}$ меняется в пределах $-45,1-11\%$. В то же время между концентрациями $C_{мик}$ и $C_{эгв}$ на старте эксперимента отмечается высокая положительная корреляционная связь ($r = 0,778$). К концу наблюдения данная связь существенно ослабляется до $r = 0,298$. На диаграмме также ярко выражен отрицательный баланс $C_{эгв}$ в вариантах с использованием средств биологической активации почвы. Единственный случай, при котором растет содержание углерода, экстрагируемого горячей водой, отмечается в эталонном варианте, что можно опосредованно связать со степенью участия углерода в формировании биомассы.

Известно, что лабильное органическое вещество почвы рекомендуется использовать в качестве показателя ее потенциального плодородия. Но для этого, с учетом полученных результатов проведенного эксперимента, следует учесть ряд условий.

Во-первых, если речь идет об искусственном повышении биологической активности почвы, важно владеть информацией о функциональных характеристиках средств. Во-вторых, более точные заключения можно сделать на основе наблюдений

за изменениями параметров в динамике, пусть и в краткосрочной. Об этом можно судить по коэффициенту корреляции между $C_{эгв}$ и $C_{мик}$ в начале наблюдений ($r = 0,778$) и к концу эксперимента ($r = 0,298$). В-третьих, каждый из параметров может отражать отдельную специфическую функцию почвы и не являться универсальным показателем плодородия почвы или повышения продуктивности растений. Так, анализ данных таблицы 2 свидетельствует о том, что $C_{эгв}$, экстрагируемый горячей водой, в большей степени, чем $C_{мик}$, отвечает за накопление биомассы растений. Наиболее тесная обратная связь отмечена на момент завершения наблюдений между биомассой растений и содержанием $C_{эгв}$ ($r = -0,845$), что может быть расценено как непосредственное участие лабильного органического вещества в построении биомассы растений. При этом можно было бы предположить, что его снижение связано с поглощением почвенной микробиотой, но в таком случае с $C_{мик}$ также прослеживалась бы обратная корреляционная связь, в то время как ее нет. Более того, она является положительной, хотя и слабой ($r = 0,298$).

Валовое содержание углерода в почве принято считать наиболее фундаментальным ее параметром, в связи с чем было осуществлено его определение.

По данным диаграммы (рис. 7) можно оценить сопутствующие свойства используемых биопрепаратов. В частности, видим, что все средства обладают ярко выраженной деструктурирующей способностью, но в различной степени. Максимальный распад органического вещества относительно эталонного варианта отмечается от внесения Спорекса, Ризоплана и Бактофита. Столь существенные изменения в содержании органического вещества почвы могут быть связаны с незначительностью объема почвы, органическое вещество которой подвержено деструкции растительно-микробной ассоциацией.

Результатом формирования стабильных органических соединений почвы является активное накопление его лабильных фракций, в частности, тех, которые определяются экстрагированием горячей водой. Корреляционная зависимость между валовым содержанием ПОВ и $C_{эгв}$ по шкале Чеддока характеризуется как заметная, $r = 0,689$.

Таблица 2

Корреляционная зависимость биомассы растений ячменя и уровня биологической активности почвы

Варианты	Биомасса растений, г	Смик, г/м ²			Сэгв, мг/кг		
		день 1-й	день 21-й	динамика, %	день 1-й	день 21-й	изменение, %
Эталон	0,56±0,02	28,6±1,5	280±14	879	578±18	642±23	11
Трихозан	0,64±0,03	142±8,6	52±3	-63,4	757±26	502±16	-33,7
Бактофит	0,57±0,02	157±9	71±4	-54,8	685±23	548±19	-20
Ризоплан	0,67±0,03	57±3,4	106±5	86	566±21	421±15	-25,6
Бисолби	0,80±0,04	114±6	185±9	62,3	731±25	401±13	-45,1
Спорекс	0,62±0,03	71±4	252±13	255	499±17	481±16	-3,6
R =	-	0,151	-0,066	-0,406	0,379	-0,845	-0,787

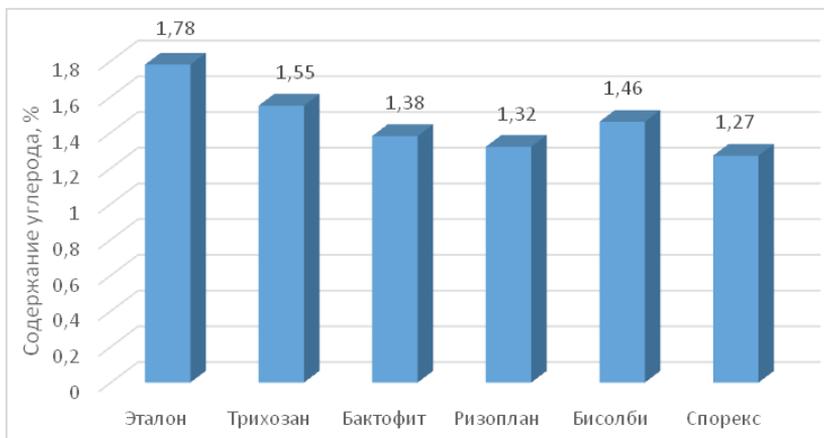


Рис. 7. Валовое содержание ПОВ, %. $HCp_{0,5} = 0,41$

Выводы

Предпосевное внесение биопрепаратов в почву может быть использовано в качестве приема ее биологической активации и повышения биопродуктивности культурных растений. При этом рассмотренные средства биоактивации почвы на ранних стадиях приводят к активной деструкции почвенного органического углерода. Интенсивность деструкции возрастает в ряду Спорекс-Ризоплан-Бактофит-Бисолби-Трихозан.

По показателям коэффициентов корреляции установлено, что фракция органического углерода, экстрагируемая горячей водой, принимает активное участие в формировании биомассы растений ячменя на ранних стадиях развития ($r = -0,845$). Вклад углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) не принимает участия в формировании биомассы растений на исследуемом отрезке времени, что подтверждается коэффициентом корреляции между $C_{\text{мик}}$ и биомассой, $r = 0,298$.

Для оценки поддержания бездефицитного, а возможно, и положительного баланса углерода в почве и вовлечения сельскохозяйственных угодий в климатические проекты рекомендуется продолжить исследования через призму оценки соотношения $C_{\text{мик}}/C_{\text{эгв}}$ в сезонной динамике, где $C_{\text{мик}}$ будет отражать углеродсеквестрирующий потенциал почвы, а $C_{\text{эгв}}$ – ее производственный потенциал. На основе полученных данных возможен подбор средств и агротехнических приемов для развития карбонового земледелия.

Библиографический список

1. Уилфред М. Пост, Кьюол Квон. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential // *Global Change Biology*. – 2000. – № 6. – Pp. 317–327. – DOI: 10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x.
2. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // *Вестник Российской академии наук*. – 2006. – Т. 76, № 1. – С. 14–24.
3. Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. – 2008. – № 81. – Pp. 169–178.
4. Dyson F.J. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? // *Energy*. – 1977. – № 2 (3). – Pp. 287–291. – DOI: 10.1016/0360-5442(77)90033-0.

5. *Переверзева С.А., Коносовский П.К., Тудвачев А.В., Хархордин И.Л.* Захоронение промышленных выбросов углекислого газа в геологические структуры // *Вестник Санкт-Петербургского университета.* – 2014. – Вып. 1. – Серия 7. – С. 5–21.
6. *Васенев И.И.* Почвенные сукцессии. – М.: ЛКИ, 2008. – 320 с.
7. *Abdullahi A.Ch., Siwar Ch., Shaharudin M.I., Anizan I.* Carbon Sequestration in Soil: The Opportunities and Challenges. – 2018. – P. 196. – DOI: 10/5772/intechopen.79347.
8. *Шильников И.А., Сычев В.Г., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И. и др.* Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации: Монография. – М.: ВНИИА, 2012. – 351 с.
9. *Anderson T. – H., Domsch K.H.* Soil microbial biomass: The eco-physiological approach // *Soil Biol. Biochem.* – 2010. – V. 42, Iss. 12. – Pp. 2039–2043.
10. *Гринец Л.В., Сенькова Л.А., Мингалев С.К.* Биологическая активность почвы // *Аграрное образование и наука.* – 2019. – № 2. – С. 14.
11. *Завалин А.А.* Применение биопрепаратов при возделывании полевых культур // *Достижения науки и техники АПК.* – 2011. – № 8. – С. 9–11.
12. *Никитин С.Н.* Совершенствование системы удобрения яровой пшеницы с использованием биопрепаратов и микроэлементов (ЖУСС-2) в условиях лесостепи Поволжья: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Ульяновск, 2002. – 136 с.
13. *Добровольский В.В.* География почв с основами почвоведения: Учебник. – М.: Высшая школа, 1989. – 320 с.
14. *Рукавицина И.В., Чуркина Г.Н., Кунанбаев К.К.* Оценка биологической активности черноземных почв в зависимости от технологии возделывания пшеницы и рапса в условиях Северного Казахстана // *Вестник Карагандинского университета.* – 2018. – № 3 (91). – С. 24–32.
15. *Ананьева Н.Д., Иващенко К.В., Сушко С.В.* Микробные показатели городских почв и их роль в оценке экосистемных сервисов (обзор) // *Почвоведение.* – 2021. – № 10. – С. 1231–1246.
16. *Селезнёва А.Е., Иващенко К.В., Сушко С.В., Журавлева А.И., Ананьева Н.Д., Благодатский С.А.* Дыхательная активность микробного сообщества почвы и его функциональное разнообразие при смещении верхней границы леса в горах Северо-Западного Кавказа // *Вестник Российского университета дружбы народов.* – Серия «Агрономия и животноводство». – 2021. – Т. 16, № 3. – С. 226–237. – DOI: 10.22363/2312-797X-2021-16-3-226-237.
17. Патент № RU2762361. Комплексное удобрение: № 2021114146: заявл. 19.05.2021; опубл. 20.12.2021 / Конов Магомед Абубекирович. – 11 с.
18. *Куперман Ф.М.* Рост конуса нарастания как морфофизиологический показатель зимостойкости сортов озимых культур // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки.* – 1980. – № 9. – С. 56–60.
19. *Яркова Н.Н., Федорова В.М.* Семеноведение сельскохозяйственных растений: Учебное пособие. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2016. – 116 с.
20. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы методом субстрат-индуцированного дыхания // *Почвоведение.* – 2011. – № 11. – С. 1327–1333.
21. *Шульц Е., Деллер Б., Хофман Г.* Метод определения углерода и азота, экстрагируемых горячей водой // *Методы исследований органического вещества почв.* – М.: РАСХН-ВНИПТИОУ, 2005. – С. 230–241.
22. *Русакова И.В.* Динамика общего и экстрагируемого горячей водой углерода в полевом опыте с длительным применением соломы // *Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего.* – СПб.: Агрофизический научно-исследовательский институт РАСХН, 2019. – С. 609–616.

23. Nielsen M.N., Winding A. Microorganisms as indicator of soil health // NERI Technical Report. – 2002. – № 388. – 84 p.

24. Иващенко К.В. Обилие и дыхательная активность микробного сообщества почвы при антропогенном преобразовании наземных экосистем: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Москва, 2017. – 22 с.

25. Шульц Э., Кершенс М. Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 890–894.

26. Кужел С., Коларж Л., Штиндл П., Байбеков Р.Ф., Ганжара Н.Ф. Метод определения кинетики минерализации разлагаемой части органического вещества почв // Известия ТСХА. – 2007. – Вып. 3. – С. 57–59.

DYNAMICS OF SOIL CARBON STATUS AT THE EARLY STAGE OF BARLEY PLANT GROWTH UNDER THE INFLUENCE OF SOIL BIOACTIVATION AGENTS

A.KH. ZANILOV^{1,2}, M.R. AZNAEVA², D.G. DUDAROVA², A.M. LESHKENOV¹

(¹Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences;

²Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov)

Under the conditions of a 24-day model experiment on soil samples of ordinary chernozem (C_{org}=3.6%, pH=7.4), the effect of biopreparations on the biological activity and on the dynamics of the content of two forms of soil organic matter (Chwl and C_{org}) was evaluated. Based on the results of the effect of the used biopreparations on the intensity of substrate-induced soil respiration, they can be classified as means of biological activation of soil. The biological activity of the soil increased in the Rizoplan-Sporex-Bisolbi-Trichosan-Baktofit series when the biopreparations were applied to the soil before sowing, varying in the range of 57–156.7 μl CO₂/h/g of soil, while the indicator in the reference variant was 28.6 μl CO₂/h /g soil. The bioactivation agents show a pronounced ability to destroy soil organic matter, which is expressed in a reduction of the gross carbon content. The fraction of organic carbon extracted by hot water is negatively correlated with plant biomass (r = -0.845), which may indicate the involvement of this fraction in the direct formation of biomass at the early stage of barley plant development. At the same time, the carbon of the microbial biomass is characterized by a weak correlation with the plant biomass (r=0.298) in the period studied.

Keywords: soil bioactivation, biopreparations, soil carbon status, plant biomass.

References

1. Post W.M., Kwon K.C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential. *Global Change Biology*. 2000;6:317–327. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2000.00308.x>

2. Zavarzin G.A., Kudyarov V.N. Soil as the key source of carbonic acid and reservoir of organic carbon on the territory of Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2006;76(1):12–26. (In Russ.)

3. Smith P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutrient Cycling Agroecosystems*. 2008;81:169–178.

4. Dyson F.J. Can we control the carbon dioxide in the atmosphere? *Energy*. 1977;2(3):287–291. [https://doi.org/10.1016/0360-5442\(77\)90033-0](https://doi.org/10.1016/0360-5442(77)90033-0)

5. Pereverzeva S.A., Konosavskiy P.K., Tudvachev A.V., Kharkhordin I.L. Disposal of carbon dioxide industrial emissions in geological structures. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2014;1(7):5–21. (In Russ.)
6. Vasenev I.I. Soil succession. M.: LKI, 2008:320. (In Russ.)
7. Abdullahi A.Ch., Siwar Ch., Shaharudin M.I., Anizan I. Carbon Sequestration in Soil: The Opportunities and Challenges. In book: *Carbon Capture, Utilization and Sequestration*. 2018:196. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79347>
8. Shil'nikov I.A., Sychev V.G., Sheudzhen A.Kh., Akanova N.I. et al. Losses of plant nutrition elements in the agrobiogeochemical cycle of substances and methods for their minimization: monograph. M.: VNIIA, 2012:351. (In Russ.)
9. Anderson T. – H., Domsch K.H. Soil microbial biomass: The eco-physiological approach. *Soil Biol. Biochem.* 2010;42(12):2039–2043.
10. Grinets L.V., Sen'kova L.A., Mingalev S.K. Soil biological activity. *Agrarnoe obrazovaniye i nauka*. 2019;2:14. (In Russ.)
11. Zavalin A.A. The use of biologics in the cultivation of field crops. *Achievements of Science and Technology in Agro-Industrial Complex*. 2011;8:9–11. (In Russ.)
12. Nikitin S.N. Improving the spring wheat fertilization system using biologics and microelements (ZHUSS-2) in the forest-steppe conditions of the Volga region. CSc (Ag) thesis: 01.06.04. Ulyanovsk, 2002:136. (In Russ.)
13. Dobrovolskiy V.V. Geography of soils with fundamentals of soil science. Textbook for a geographer. M.: Vysshaya Shkola, 1989:320. (In Russ.)
14. Rukavitsina I.V., Churkina G.N., Kunanbayev K.K. Assessment of the biological activity of chernozem soils, depending on the technologies of cultivation of wheat and rape in the conditions of Northern Kazakhstan. *Bulletin of the Karaganda University*. 2018;3(91):24–32. (In Russ.)
15. Ananyeva N.D., Ivashchenko K.V., Sushko S.V. Microbial indicators of urban soils and their role in assessment of ecosystem services (review). *Eurasian Soil Science*. 2021;10:1231–1246. (In Russ.)
16. Selezneva A.E., Ivashchenko K.V., Sushko S.V., Zhuravleva A.I., Ananyeva N.D., Blagodatsky S.A. Microbial respiration and functional diversity of soil microbial community under treeline shifts in the Northwestern Caucasus. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021;16(3):226–237. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2312-797X2021-16-3-226-237>
17. Konov M.A. Complex fertilizer: Patent RU2762361, 2021:11. (In Russ.)
18. Kuperman F.M., Turkova E.V. Increase of the growth cone as a morphophysiological indicator of winter hardiness of winter crop varieties. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 1980;9:56–60. (In Russ.)
19. Yarkova N.N., Fedorov V.M. Seed science of agricultural plants: textbook. Perm: IPTs “Prokrost”, 2016:116. (In Russ.)
20. Ananyeva N.D., Susyan E.A., Gavrilenko E.G. Determination of the soil microbial biomass carbon using the method of substrate-induced respiration. *Eurasian Soil Science*. 2011;11:1327–1333. (In Russ.)
21. Schultz E. Deller B., Hofman G. Method for determining carbon and nitrogen extracted with hot water. *Methods for studying soil organic matter*. M.: RASKhN-VNIP-TIOU, 2005:230–241. (In Russ.)
22. Rusakova I.V. Dynamics of total and hot water extractable organic carbon in long-term field experience with straw introduction. *Tendentsii razvitiya agrofiziki: ot aktual'nykh problem zemledeliya i rasteniyevodstva k tekhnologiyam budushchego*. Proceedings of the II International Scientific Conference in memory of Academician E.I. Ermakov. S.-P.: Agrofizicheskii nauchno-issledovatel'skiy institut RASKHN, 2019:609–616. (In Russ.)

23. *Nielsen M.N., Winding A.* Microorganisms as indicator of soil health. *NERI Technical Report*. 2002;388:84.

24. *Ivashchenko K.V.* Abundance and respiratory activity of the soil microbial community during anthropogenic transformation of terrestrial ecosystems. CSc (Bio) thesis: 03.02.03. Moscow, 2017:22. (In Russ.)

25. *Schultz E., Kershens M.* Characteristics of the decomposed part of soil organic matter and its transformation using hot water extraction. *Eurasian Soil Science*. 1998;7:890–894. (In Russ.)

26. *Kuzhel S., Kolarzh L., Shtindl P., Baybekov R.F., Ganzhara N.F.* Method for determining the kinetics of mineralization of the decomposed part of soil organic matter. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy (TAA)*. 2007;3:57–59. (In Russ.)

Занилов Амиран Хабилович, старший научный сотрудник, канд. с.-х. наук, руководитель центра декарбонизации АПК и региональной экономики КБГУ, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: amiran78@inbox.ru;

старший научный сотрудник, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360004, Российская Федерация, г. Нальчик, ул. Кирова, 224; e-mail: kbniish2007@yandex.ru; тел.: 8(662) 72–27–17

Азнаева Милана Аркадьевна, лаборант-исследователь центра декарбонизации АПК КБГУ, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: miazn@mail.ru

Дударова Динара Гумарбиевна, лаборант-исследователь центра декарбонизации АПК КБГУ ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»; 360004, КБР, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: dudarova.dinara00@mail.ru

Лешкенов Аслан Мухамедович, научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии и почвенных исследований, Институт сельского хозяйства – филиал Кабардино-Балкарского научного центра РАН; 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Кирова, 224; e-mail: aslan.leshckenov@yandex.ru

Amiran Kh. Zanirov, CSc (Ag), Senior Research Associate, Head of the Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: amiran78@inbox.ru)

Milana A. Aznaeva, Laboratory Assistant-Researcher, Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: miazn@mail.ru)

Dinara G. Dudarova, Laboratory Assistant-Researcher, Center for Decarbonization of the Agro-Industrial Complex and Regional Economy, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov (173, Chernyshevskogo Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: dudarova.dinara00@mail.ru)

Aslan M. Leshkenov, Research Associate, Head of the Laboratory of Agrochemistry and Soil Research, Institute of Agriculture – a branch of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (224, Kirova Str., Nalchik, 360004, KBR, Russian Federation; E-mail: aslan.leshckenov@yandex.ru)