

УДК 631.81:631.51:631.46

ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА[§]

© 2024 г. А. Н. Федоренко¹, Г. В. Мокриков¹, К. Ш. Казеев^{1,*},
М. С. Нижельский¹, В. В. Вилкова¹, С. И. Колесников¹

¹Южный федеральный университет
344090 Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/1, Россия

*E-mail: kamil_kazeev@mail.ru

В полевых условиях изучили влияние жидких минеральных удобрений и карбамидаммачной селитры (ЖКУ и КАС) в агроценозах гороха, нута, кориандра и льна на биологическую активность черноземов, длительное время обрабатываемых с использованием нулевой технологии. Среди биологических параметров оценили активность ферментов, участвующих в цикле углерода (инвертазы, дегидрогеназы), интенсивность дыхания почв, численность микроорганизмов, содержание активного углерода. Отмечено различие в эффектах применения удобрений на урожай и разные параметры биологической активности. Биологическая активность исследованных почв различалась в зависимости от вида минерального удобрения, а также выращиваемой культуры.

Ключевые слова: биодиагностика, ферментативная активность почв, плодородие, нулевая технология, дыхание почв.

DOI: 10.31857/S0002188124030023, **EDN:** DNXHTV

ВВЕДЕНИЕ

Технология нулевой обработки (**No-Till** или прямого посева) является одним из приемов минимального воздействия техники на почву и широко распространена во многих странах мира [1, 2]. Преимущества технологии состоят не только в экономии ресурсов и повышении рентабельности сельского хозяйства, но и в улучшении экологического состояния почв: сохранении и восстановлении плодородия, снижении эрозии, увеличении влажности почв, снижении зависимости от погодных условий (в том числе засухи), улучшении плодородия почв [3–5]. Выращивание озимой пшеницы по технологии прямого посева на юге России обеспечивает наивысшую рентабельность производства [6].

Повышение плодородия почв для обеспечения роста урожайности и качества продукции является одной из важнейших задач сельского хозяйства. Применение жидких минеральных удобрений (**ЖМУ**) набирает все большую актуальность из-за своих преимуществ по сравнению с твердыми минеральными удобрениями по эффективности.

Преимущества применения ЖМУ связаны с доступностью форм действующих веществ для растений, высокой концентрацией действующего вещества, меньшей потребностью во влаге, высокой равномерностью внесения, универсальностью и высокой экологичностью [7–9]. Эффективность удобрений зависит от конкретных природных и агротехнических условий, оптимальности вносимых доз, а также от сроков и способов их внесения. В настоящее время использование удобрений обходится недешево, поэтому применять их нужно так, чтобы оправдать затраты и получать прибыль, не нанося при этом ущерба окружающей среде [10].

Содержание гумуса является интегральным показателем плодородия почвы [10]. Органический углерод занимает ведущую роль в глобальных изменениях природной среды, которые затрагивают процессы биогеохимического цикла углерода, основанного на постоянном взаимодействии противоположных процессов синтеза и биодеструкции. Изменения устойчивости цикла углерода являются актуальными в сфере исследований, посвященных круговороту биологических веществ [11, 12]. Интенсивность эмиссии CO₂ определяется биологической активностью, которая определяет депонирование и минерализацию органического вещества в почвах [13–15]. Эмиссию CO₂ из почвы

[§]Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ-449.2022.5) и гранта Министерства науки и высшего образования РФ на создание Лаборатории молодых ученых (№ ЛабНОЦ-21-01АБ).

объясняют рядом различных процессов: кратковременными эффектами — проявляющимися сразу после вспашки и более долгосрочными эффектами — в течение основного вегетационного периода [16]. Кратковременные эффекты обусловлены физическим нарушением почвы и растительных остатков. Долгосрочные выбросы CO₂ связаны со сложными взаимодействиями между различными факторами, определяющими выбросы (температурой, количеством осадков, содержанием воды, остатками культур) [17, 18]. Эмиссия углекислого газа резко увеличивается после вспашки почвы, при минимизации воздействия на почву при использовании технологии No-Till выделение углекислого газа уменьшается [19–21]. Таким образом, эмиссия углекислого газа почв зависит от широкого спектра факторов, находящихся в постоянной динамике.

Актуальность исследования заключалась в изучении эффективности и экологичности использования жидких минеральных удобрений. Цель работы — оценка влияния жидких минеральных удобрений на биологическую активность почв агроценозов юга России при использовании технологии прямого посева. Для оценки качества и здоровья почв определяли разные показатели биологической активности: интенсивность эмиссии углекислого газа — дыхание почв, численность микроорганизмов и активность почвенных ферментов, участвующих в основных циклах питания растений.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования площадью 5500 га располагался на территории хозяйства ИП “Мокриков В.И.” в центральной части Ростовской обл. в Октябрьском р-не. Поля хозяйства обрабатывают в течение 15 лет по технологии прямого посева. Исследованные почвы отнесены к чернозему обыкновенному (миграционно-сегрегационному, *Na₁lic Chernozem*), исследования плодородия и экологического состояния которого представлены в литературе [22–24]. Некоторые аспекты изменения биологической активности почв при

переходе на прямой посев на исследованной территории представлены в работе [25].

Полевые исследования были проведены в весенне-летний период 2022 г. Опытные поля были заняты различными сельскохозяйственными культурами, возделываемыми по технологии прямого посева. Исследованные варианты с внесением минеральных удобрений располагались на полях с культурами гороха, нута, льна и кориандра. Почвенные образцы отобраны в соответствие с вегетационными периодами: всходы, бутонизация, полная спелость культуры (3 срока наблюдений). Опытные варианты под разными культурами обрабатывали либо одним видом минерального удобрения, либо их комбинацией. В качестве удобрений использовали жидкие комплексные удобрения (ЖКУ) и карбамидо-аммиачную смесь (КАС). Дозы внесения удобрений, а также содержание элементов питания в почве представлены в табл. 1.

В каждом варианте отбирали по 3 индивидуальных образца почв в 3–5-ти м друг от друга с глубины 0–10 см. Географические координаты определяли GPS-навигатором Garmin. Температуру воздуха и почв определяли электронным термометром HANNA CHEMTEMP, влажность почвы — в полевых условиях влагомером Fieldscout TDR100 компании Spectrum Technologies inc. в 10-кратной повторности на каждом участке. Скорость эмиссии углекислого газа — дыхание почв — определяли камерным методом с помощью газоанализатора EGM-5 (PP SYSTEM). Камерные методы определения эмиссии углекислого газа с применением газоанализаторов широко распространены в почвоведении и экологии [26–30]. Повторность опыта (количество изолирующих камер) — десятикратная.

Лабораторно-аналитические исследования были выполнены на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета с использованием методов, распространенных в экологии, биологии и почвоведении [24]. О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз

Таблица 1. Схема внесения минеральных удобрений на опытных участках с применением технологии прямого посева

Вариант	Плотность удобрений, кг/л	Доза внесения, л/га (кг/га)	Содержание элементов питания в удобрениях, %			Внесено элементов питания, кг д.в./га		
			N	P	K	N	P	K
Контроль	—	—	—	—	—	—	—	—
ЖКУ	1.4	100 (140)	11	37	—	15.4	51.8	—
КАС	1.32	100 (132)	32	—	—	42.2	—	—
ЖКУ +	1.4	100 (140) +	11	37	—	15.4	51.8	—
+ КАС	1.32	+ 100 (132)	32	—	—	42.2	—	—

(дегидрогеназ) и гидролаз – (инвертазы). Активность дегидрогеназ определялась по методике Галстяна, инвертазы – колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Контролем для определения активности ферментов служили субстраты без почвы. Опыты выполняли в девятикратной повторности. Определение активного углерода проводили окислением перманганатом калия модифицированным методом Блейра. Общую численность бактерий определяли методом люминесцентной микроскопии с окрашиванием проб акридиновым оранжевым на инвертированном микроскопе AXIO Vert A1 “ZEISS”.

Были определены показатели вариации, а также для достоверно значимых результатов проведен корреляционный анализ с использованием коэффициента Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия в период проведения опыта были типичными для исследованного региона. Гидротермические условия в значительной степени определяют уровень биологической активности почв. Результаты измерения влажности почвы показали незначительные различия между исследованными участками полей. Более существенные изменения гидротермических условий были выявлены в разные месяцы исследованного периода (табл. 2).

В мае почва участка, на котором выращивали горох с применением минеральных удобрений, была менее влажной, чем почва контрольного участка. Почва, на которой выращивали нут с применением

удобрения ЖКУ, была менее влажной (на 15% меньше контроля), чем с применением ЖКУ + КАС (на 6% больше контроля). В июне почва, на которой возделывали горох с применением ЖКУ + КАС, была менее влажной, чем почва контрольного участка той же культуры (на 7% меньше контроля). На участках с возделыванием нута и льна применение минеральных удобрений не способствовало сохранению влажности почв (на 14–26% меньше контроля). В июле на участках с внесением минеральных удобрений была отмечена высокая влажность по сравнению с контролем (на 7–43% больше контроля).

В период наблюдения эмиссия углекислого газа была максимальной в июне, т.к. данный срок являлся наиболее благоприятным для биологической активности почв на юге России [22, 23].

Внесение ЖКУ на участках с горохом и кориандром положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (рис. 1).

В этих вариантах показатели были больше контрольных на 16 и 37%, в то время как на участке с нутом оно способствовало снижению эмиссии на 43% меньше контроля. На участке со льном достоверных отличий от контроля не было найдено. Внесение КАС на участках со льном и кориандром способствовало максимальной эмиссии углекислого газа (на 96 и 114% больше контроля). Достоверных отличий от контроля при внесении КАС на участках с горохом и нутом не было найдено. Внесение ЖКУ + КАС способствовало наиболее выраженной эмиссии углекислого газа на участках со льном и кориандром (на 39 и 68% больше контроля). Совместное действие ЖКУ + КАС

Таблица 2. Экологические параметры почв участков с бобовыми культурами

Показатель	Горох			Нут		
	май	июнь	июль	май	июнь	июль
Температура поверхности, °С	16.1	40.5	28.0	14.4	31.4	–
Влажность почвы, %	35.8	17.9	7.5	33.2	28.4	5.4

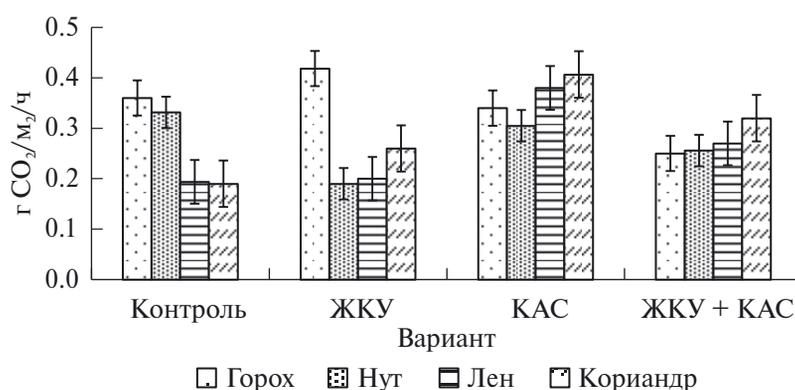


Рис. 1. Эмиссия CO₂ при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

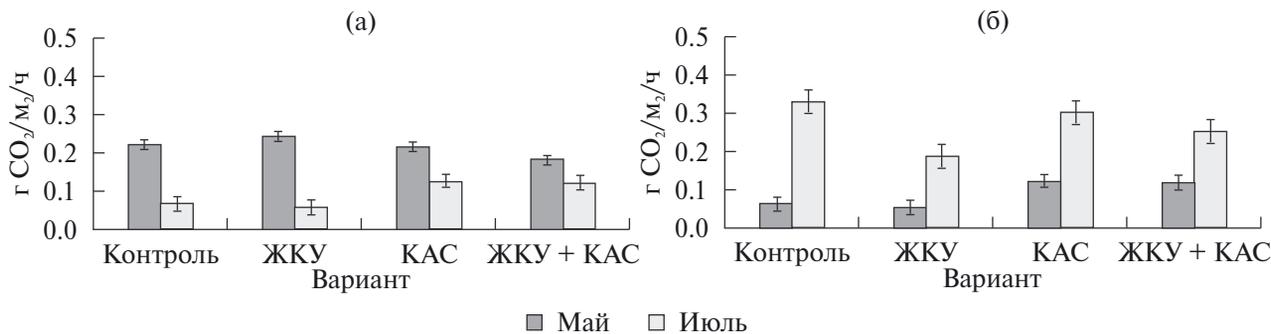


Рис. 2. Эмиссия CO₂ при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

проводило к снижению эмиссии углекислого газа на участках с нутом и горохом (на 23 и 31% меньше контроля). Было отмечено, что чернозем под горохом продуцировал значительно больше углекислого газа по сравнению с почвой под нутом в течение всего периода наблюдения.

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия величины эмиссии углекислого газа (рис. 2).

В мае на участке с горохом внесение ЖКУ положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (на 11% больше контроля), в то время как на участке с нутом способствовало снижению эмиссии (на 15% меньше контроля). Внесение КАС и ЖКУ + КАС на участке с горохом не способствовало увеличению эмиссии углекислого газа (на 3–17% меньше контроля). Однако на участке с нутом данные удобрения положительно повлияли на эмиссию (на 91 и 85% больше контроля). В июле внесение ЖКУ и ЖКУ + КАС на участке с горохом не способствовало эмиссии углекислого газа (на 25 и 20% меньше контроля). На участке с нутом данные удобрения оказали такое же влияние (на 60 и 41% меньше контроля). На участке с горохом внесение КАС положительно повлияло на эмиссию углекислого газа (на 48%

больше контроля), в то время как на участке с нутом способствовало снижению эмиссии (на 17% меньше контроля). Различия показателей эмиссии углекислого газа между культурами объясняются сезонными изменениями температуры и влажности почвы (табл. 2).

По шкале обогащенности почв активным углеродом балльная оценка чернозема находилась в пределах от 60 до 80 баллов [31]. Высокие показатели содержания активного углерода указывали на тенденцию к накоплению большего количества органического вещества в почве в результате сокращения механического воздействия на почву при нулевой технологии обработки (рис. 3).

На участках с горохом и нутом при внесении ЖКУ наблюдали увеличение содержания активного углерода (на 24–29% больше контроля). Достоверных отличий на участках со льном и кориандром не было выявлено. Внесение КАС на участках с горохом и кориандром привело к снижению содержания активного углерода (на 14% меньше контроля). Достоверных отличий на участках с нутом и льном не было выявлено. Наибольшее содержание активного углерода было на участках с горохом, льном и кориандром при внесении ЖКУ + КАС (на 26%

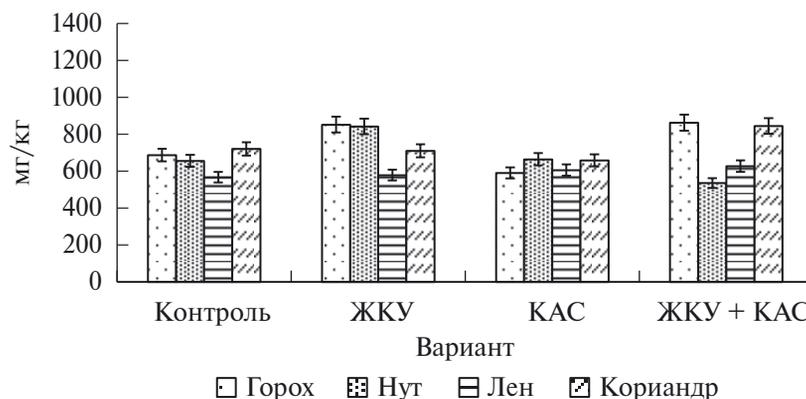


Рис. 3. Содержание активного углерода при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

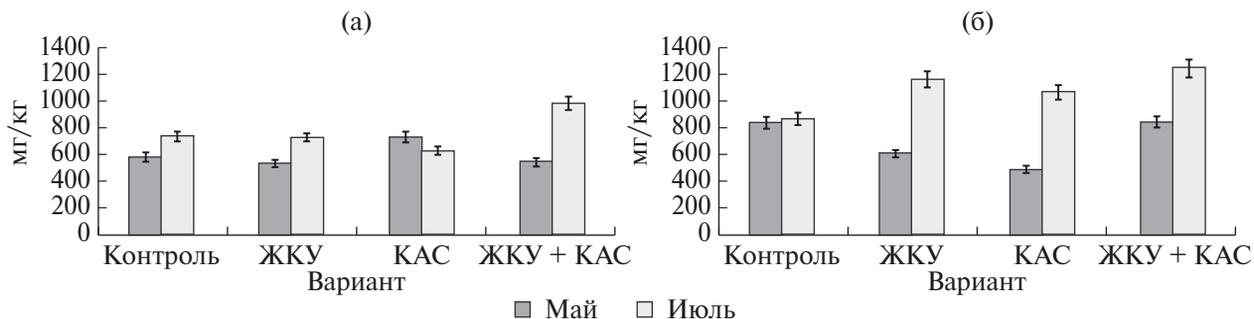


Рис. 4. Содержание активного углерода при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

больше контроля), тогда как на участке с нутом эффект был обратным (на 18% меньше контроля).

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия содержания активного углерода (рис. 4).

В мае на участке с горохом при внесении удобрения КАС содержание активного углерода было больше (на 26% больше контроля), чем в вариантах с ЖКУ и ЖКУ + КАС. Применение ЖКУ и КАС на участке с нутом отрицательно повлияло на содержание активного углерода (на 27–42% меньше контроля). Достоверных отличий совместного действия ЖКУ + КАС на данный показатель не было обнаружено.

Наибольшее содержание активного углерода отмечено в июле. На участке с горохом при внесении КАС содержание активного углерода было меньше (на 15% меньше контроля). Достоверных отличий действия ЖКУ на данный показатель не было обнаружено. Высокое содержание активного углерода наблюдали при внесении ЖКУ + КАС (на 32% больше контроля). На участке с нутом во всех вариантах с внесением минеральных удобрений отмечено высокое содержание активного углерода по сравнению с контролем.

В данном исследовании численность бактерий в почве оказалась значительно менее зависимой от выращиваемых культур и применения удобрений. При этом ранее был установлен факт повышения численности микроорганизмов при использовании прямого посева по сравнению с вспашкой [20]. Различия в обилии микроорганизмов между почвами с разной технологией основной обработки усиливаются при использовании метода посева на селективные питательные среды. При этом использование метода посева часто осложнено значительными флуктуациями численности микроорганизмов [24]. Результаты определения численности бактерий показали, что в почве контрольных вариантов в июне было в среднем 2.9 млрд/г почвы. К июлю численность незначительно возросла до 3.1 млрд/г. По шкале оценки степени обогатненности почв микроорганизмами почвы имели “среднюю обогатненность” бактериями по Звягинцеву).

Внесение ЖКУ на участке с горохом положительно повлияло на активность дегидрогеназ (на 22% больше контроля), в то время как на участке с кориандром данное удобрение способствовало снижению активности фермента (на 41% меньше контроля) (рис. 5).

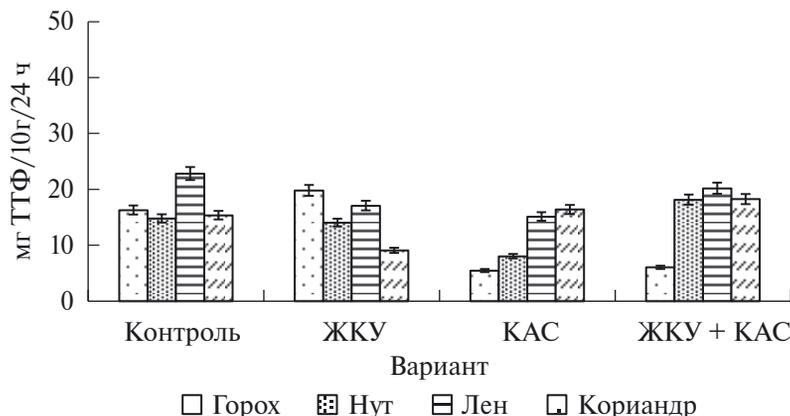


Рис. 5. Активность дегидрогеназ при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

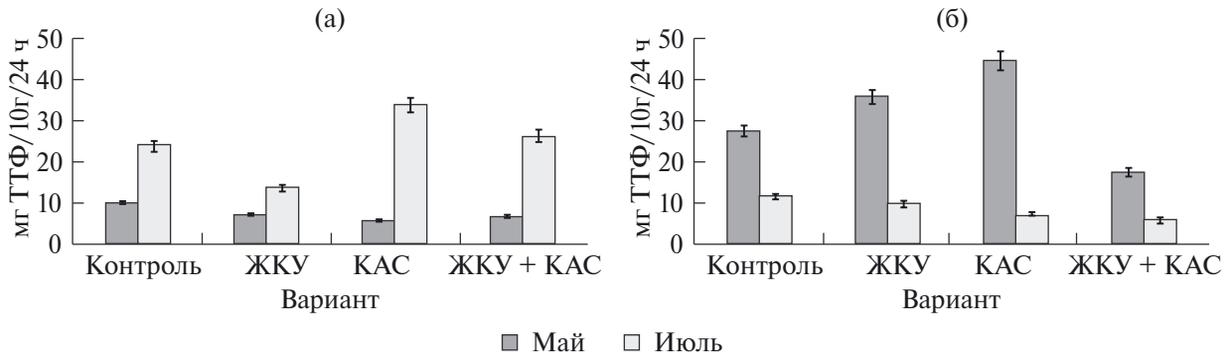


Рис. 6. Активность дегидрогеназ при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

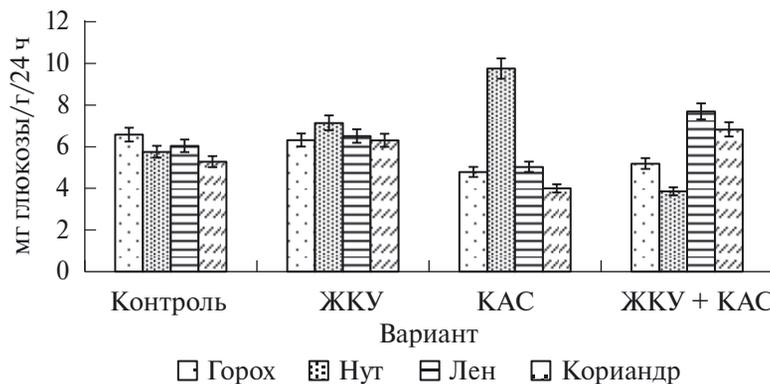


Рис. 7. Активность инвертазы при внесении удобрений под разные культуры (июнь 2022 г.).

На участке с нутом достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение КАС на участках с горохом, нутом и льном отрицательно повлияло на активность дегидрогеназ (на 66, 46 и 34% меньше контроля соответственно). На участке с кориандром достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение ЖКУ + КАС на участке с горохом и льном оказало угнетающее воздействие на активность дегидрогеназ (на 63 и 11% меньше контроля). Однако на участках с нутом и кориандром совместное применение ЖКУ + КАС положительно повлияло на активность фермента (на 23 и 19% больше контроля).

На участках с бобовыми культурами в мае и июле наблюдали существенные различия активности дегидрогеназ (рис. 6).

В мае низкие показатели отмечены на участке с горохом при внесении КАС (на 48% меньше контроля) и на участке с нутом при внесении ЖКУ + КАС (на 49% меньше контроля). В июле активность дегидрогеназ была высокой на участках с горохом и нутом при внесении КАС (на 42 и 62% больше контроля). Отрицательное воздействие на участок с горохом оказало действие ЖКУ (на 44% меньше контроля), на участке с нутом – ЖКУ + КАС (на 37% меньше

контроля). Отмечена достоверная зависимость между активностью дегидрогеназ и гидротермическими условиями: для температуры – умеренная положительная ($r = 0.52$), для влажности – умеренная отрицательная ($r = -0.69$). Степень обогащенности почвы ферментом характеризовалась как “бедная” в течение всего периода наблюдений.

На участках с нутом и кориандром внесение ЖКУ положительно повлияло на активность инвертазы (на 24 и 19% больше контроля) (рис. 7).

На участке со льном достоверных отличий от контрольного варианта не было найдено. Внесение КАС на участках с горохом, льном и кориандром отрицательно повлияло на активность инвертазы (на 27, 17 и 24% меньше контроля). На участке с нутом внесение КАС способствовало повышению активности фермента (на 69% больше контроля). Внесение ЖКУ + КАС на участке с горохом и нутом оказало угнетающее воздействие на активность инвертазы (на 21 и 33% меньше контроля). Однако на участках со льном и кориандром совместное применение ЖКУ + КАС положительно повлияло на активность фермента (на 27 и 29% больше контроля).

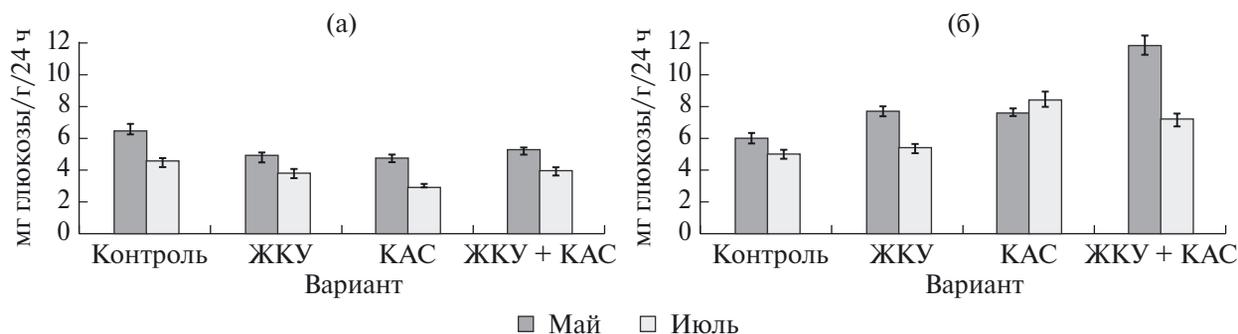


Рис. 8. Активность инвертазы при внесении удобрений под бобовые культуры: (а) – горох, (б) – нут.

Таблица 3. Урожайность культур, ц/га

Культура	Вариант			
	Контроль	ЖКУ	КАС	ЖКУ + КАС
Горох	16.4	14.6	14.1	14.0
Нут	9.8	9.1	12.2	11.4
Лен	9.7	10.9	10.8	11.3
Кориандр	12.9	14.6	14.1	15.2

На участках с бобовыми культурами в мае и июле отмечены существенные различия активности инвертазы (рис. 8).

Внесение минеральных удобрений на участке с горохом отрицательно повлияло на активность инвертазы. В мае внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 25 и 28% меньше контроля). На участке с нутом внесение минеральных удобрений способствовало повышенной активности фермента. Максимальная активность фермента отмечена при внесении ЖКУ + КАС (на 96% больше контроля). Внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 26 и 24% больше контроля). В июле внесение ЖКУ и ЖКУ + КАС одинаково влияло на активность фермента (на 15 и 13% меньше контроля). На участке с нутом внесение минеральных удобрений способствовало повышенной активности фермента. Высокая активность инвертазы отмечена при внесении КАС и ЖКУ + КАС (на 67 и 41% больше контроля). Внесение ЖКУ и КАС одинаково повлияло на активность фермента (на 26 и 24% больше контроля). Достоверной зависимости между активностью фермента группы гидролаз (инвертазы) и исследованными показателями не было найдено.

После уборки культур проведен подсчет урожайности на участках с возделыванием гороха, нута, льна и кориандра (табл. 3).

Показано, что на каждую из культур внесение минеральных удобрений повлияло по-разному. На полях с горохом ни одно из удобрений

не способствовало повышению его урожайности. На полях с нутом были эффективны КАС и ЖКУ + КАС. На полях со льном и кориандром положительно повлияло совместное действие ЖКУ + КАС. Отмечена слабая положительная зависимость между величинами почвенного дыхания и урожайности ($r = 0.39$). Кроме этого, отрицательная связь прослежена между величинами урожайности и содержания активного углерода ($r = -0.41$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, было отмечено, что биологическая активность исследованных почв с нулевой обработкой различалась в зависимости от вида минерального удобрения, а также выращиваемой культуры. Выявлено положительное влияние ЖКУ при выращивании гороха, на выращивание нута положительно повлияла КАС, на выращивание льна и кориандра – ЖКУ + КАС. Отрицательное влияние на биологическую активность почв в агроценозах бобовых культур оказывало совместное внесение ЖКУ и КАС, льна и кориандра – КАС. Среди изученных параметров наиболее информативными были эмиссия углекислого газа, активность дегидрогеназ и инвертазы. Отмечена динамика биологической активности в зависимости от гидротермических условий и фаз вегетации растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Soane B.D., Bal B.C.* Review of management and conduct of long-term tillage studies with special reference to a 25-year experiment on barley in Scotland // *Soil Till. Res.* 1998. V. 45. P. 17–37.
2. *Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J.* No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil Till. Res.* 2012. V. 118. P. 66–87.
3. *Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Река Ю.В.* Выращивание озимой пшеницы по технологии прямого посева в условиях Ростовской области // *Совр. пробл. науки и образ-я.* 2012. № 6. С. 670.
4. *Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // *Почвоведение.* 2014. № 6. С. 724–733.
5. *Struijk M., Whitmore A.P., Mortimer S.R., Sizmur T.* Obtaining more benefits from crop residues as soil amendments by application as chemically heterogeneous mixtures // *Soil.* 2020. V. 6. P. 467–481.
6. *Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Шуркин А.Ю.* Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // *Земледелие.* 2018. № 5. С. 4–7.
7. *Титова В.И., Малышева М.К.* Влияние жидкого комплексного удобрения “ЖКУ 11–37–0” на продуктивность гороха посевного в условиях вегетационного опыта // *Перм. аграрн. вестн.* 2017. № 1(17). С. 49–54.
8. *Милюткин В.А., Иванов В.А., Попов А.В.* Перспективные инновационные техника и технологии для внесения жидких азотных минеральных удобрений КАС // *Изв. Самар. ГСХА.* 2022. № 1. С. 38–47.
9. *Уфимцев А.Е., Уфимцева М.Г., Абрамов Н.В.* Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях недостаточного увлажнения // *Изв. Оренбург. ГАУ.* 2022. № 4(96). С. 18–23.
10. *Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В.* Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д.: Изд-во ЮФУ, 2008. 416 с.
11. *Куприянова Ю.В., Любимов И.С., Копчик Г.Н.* Биодеструкция органического вещества почв как важнейшее звено биогеохимического цикла углерода в лесных экосистемах Кольской Субарктики // *Тр. Ферсман. научн. сессии ГИ КНЦ РАН.* 2017. № 14. С. 429–432.
12. *Кудеяров В.Н.* Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналит. обзор) // *Почвоведение.* 2018. № 6. С. 643–658.
13. *Шевцова Л.К.* Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // *Агрохимия.* 2000. № 9. С. 5–10.
14. *Лыков А.М.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: РАСХН, ВНИИТИОУ, 2004. 630 с.
15. *Смагин А.В.* Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 301 с.
16. *Oorts K., Merckx R., Grehan E., Labreuche J., Nicolardot B.,* Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term no-tillage and conventional tillage systems in northern France // *Soil Till.* 2007. V. 95. P. 133–148.
17. *Mokrikov G., Minnikova T., Kazeev K., Kolesnikov S.* Influence of precipitation and moisture reserves on the yield of crops under different tillage // *Agron. Res.* 2019. V. 17(6). P. 2350–2358.
18. *Minnikova T., Mokrikov G., Kazeev K., Medvedeva A., Biryukova O., Keswani C., Minkina T., Sushkova S., Elgendy H., Kolesnikov S.* Soil Organic carbon dynamics in response to tillage practices in the steppe zone of southern Russia // *Processes.* 2022. V. 10. P. 244.
19. *Lopez-Garrido R., Diaz-Espejo A., Madejon E., Murillo J.M., Moreno F.* Carbon losses by tillage under semi-arid mediterraneanrainfed agriculture (SW Spain) // *Span. J. Agric. Res.* 2009. V. 7. P. 706–716.
20. *Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Мясникова М.А., Акименко Ю.В., Колесников С.И.* Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // *Агрохимический. вестн.* 2019. № 5. С. 31–36.
21. *Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // *Агрохимия.* 2020. № 10. С. 20–27.
22. *Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И.* Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // *Почвоведение.* 2020. № 11. С. 1412–1422.
23. *Казеев К.Ш., Трушков А.В., Одабашиян М.Ю., Колесников С.И.* Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // *Почвоведение.* 2020. № 7. С. 901–910.
24. *Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И.* Методы определения ферментативной активности почв. Ростов/нД.: Изд-во ЮФУ, 2021. 174 с.
25. *Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И.* Влияние приемов об-

- работки почв на динамику содержания элементов питания в черноземах обыкновенных Ростовской области // *Агротех. вестн.* 2019. Т. 1. № 1. С. 33–36.
26. *Ivanov A.V., Braun M., Tataurov V.* A Seasonal and daily dynamics of the CO₂ emission from soils of *Pinus koraiensis* forests in the south of the Sikhote-Alin Range // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51(3). P. 290–295.
27. *Lopes de Gerenyu V.O., Kurganova I.N., Khoro-shaev D.A.* The Effect of contrasting moistening regimes on CO₂ emission from the gray forest soil under a grass vegetation and bare fallow // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51(10). P. 1200–1213.
28. *Osipov A.F.* Effect of interannual difference in weather conditions of the growing season on the CO₂ emission from the soil surface in the middle-taiga cowberry-lichen pine forest (Komi Republic) // *Euras. Soil Sci.* 2018. V. 51. P. 1419–1426.
29. *Adkins J., Sanderman J., Miesel J.* Soil carbon pools and fluxes vary across a burn severity gradient three years after wildfire in Sierra Nevada mixed-conifer forest // *Geoderma.* 2019. V. 333. P. 10–22.
30. *Ступаков А.Г.* Влияние систем обработки почвы на дыхание почвенной биоты чернозема типичного // *Вестн. Курск. ГСХА.* 2014. № 7. С. 56–58.
31. *Moebius-Clune B.N.* Comprehensive assessment of soil health: The Cornell framework manual. Cornell University, 2016. 134 p.

Effect of Mineral Fertilizers on the Biological Activity of Soils using Direct Seeding Technology

A. N. Fedorenko^a, G. V. Mokrikov^a, K. S. Kazeev^{a, #},
M. S. Nizhelskiy^a, V. V. Vilko^a, S. I. Kolesnikov^a

^aSouth Federal University,
ul. Strikes 194/1, Rostov-on-Don 344090, Russia,

[#]E-mail: kamil_kazeev@mail.ru

In the field, the effect of liquid mineral fertilizers and carbamide ammonium nitrate (LMF and CAN) in the agrocenoses of peas, chickpeas, coriander and flax on the biological activity of chernozems treated for a long time using null technology was studied. Among the biological parameters, the activity of enzymes involved in the carbon cycle (invertases, dehydrogenases), the intensity of soil respiration, the number of microorganisms, and the content of active carbon were evaluated. There is a difference in the effects of fertilizers on crops and different parameters of biological activity. The biological activity of the studied soils varied depending on the type of mineral fertilizer, as well as the cultivated crop.

Keywords: biodiagnostics, enzymatic activity of soils, fertility, zero technology, soil respiration.