

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО

В статье приведены результаты сравнительной оценки ферментативной активности чернозема типичного при органическом и традиционном земледелии. Результаты дискриминантного анализа указывают на достоверную значимость различий экологического состояния почв при различных формах обработки земель. При этом оценка эколого-биологического состояния почв на основе интегрального показателя, рассчитанного по агрохимическим и биохимическим критериям, не выявила статистически значимых отличий между органическими и традиционными агроценозами. Установлено, что по общей ферментативной активности чернозема органических полей наиболее приближены к фоновому уровню. По степени чувствительности к агрогенному воздействию показатели ферментативной активности изменяются в ряду: активность уреазы > активность инвертазы > активность каталазы. По степени обогащенности ферментами чернозема относятся к среднеобогатенным по активности уреазы и инвертазы и бедным по активности каталазы.

Ключевые слова: органическое земледелие; уреазы; инвертаза; каталаза; черноземы.

DOI: <https://doi.org/10.24852/2411-7374.2021.4.46.54>

Введение

Ферментативная активность является одним из важнейших диагностических показателей при оценке влияния антропогенной нагрузки на почвенные экосистемы (Хазиев, 1976; Тульская, Звягинцев, 1981; Семиколенных, 2001; Даденко, 2004; Казеев, Колесников, 2012; Даденко и др., 2013; Даденко и др., 2014; Селявкин и др., 2015; Щур и др., 2016; Горянин, 2017; Зинченко и др., 2017; Абдуллаева, 2018; Марковская, Чугунова, 2019; Dick, 1983; Gupta et al., 1988; Saviozzi et al., 2001; Gianfreda et al., 2005; Dora et al., 2008; Shi et al., 2008; Niemeyer et al., 2012; Utobo, Tewari, 2015; Kumari et al., 2017; Lee et al., 2020). Этому способствует ее связь с функционированием почвенной биоты, низкая погрешность и простота определения, высокая чувствительность и быстрый отклик на внешние изменения (Даденко и др., 2013, 2014; Gianfreda et al., 2005; Dora et al., 2008). Показана ведущая роль показателей ферментативной активности при оценке влияния различных загрязнителей техногенного происхождения на экологическое состояние почв (Хазиев, 1976; Даденко, 2004; Казеев, Колесников, 2012; Даденко и др., 2013; Niemeyer et al., 2012; Lee et al., 2020), однако сведений об изменении ферментативной активности в результате сельскохозяйственной обработки разных типов почв недостаточно. Остаются актуальными вопросы

мониторинга, включающие разработку перечня информативных параметров эколого-биологического состояния почв, объективно отражающих изменения в почвенных процессах в зависимости от применяемых технологий и систем земледелия. Особо важными представляются сравнительные данные, полученные в условиях традиционного и органического сельского хозяйства. На сегодняшний день ни в одном из существующих нормативно-правовых актов не указаны конкретные требования к агрохимическим, агрофизическим и биологическим свойствам почв, используемых для ведения органического сельского хозяйства. Вместе с тем, согласно ГОСТ 33980–2016, органическое сельскохозяйственное производство должно способствовать повышению плодородия почв и сохранению биологического разнообразия.

Цель работы – изучение эколого-биологического состояния чернозема типичного при органическом и традиционном земледелии и оценка информативности почвенных биохимических параметров.

Материалы и методы исследования

Объект исследования – чернозем типичный среднесуглинистый. Отбор почвенных проб проводился в июне 2021 г. почвенным буром методом конверта на полях двух хозяйств, отличающихся разными системами ведения агропроизводства,

а также на фоновых участках, расположенных в Мензелинском районе Республики Татарстан.

Почвенные образцы отбирались на глубину 0–20 см. Усредненная проба составлялась из 20–40 точечных проб. С каждого поля отбиралось не менее 3 смешанных образцов.

В органическом хозяйстве более 10 лет не используются минеральные удобрения и более 25 лет пестициды, внедрен зернопаровой севооборот короткой ротации. В 2021 г. отбор проб проведен на 4 полях, занятых яровой пшеницей, гречихой, полбой и чистым паром. Обработка почвы – минимальная, преимущественно с использованием плоскореза, в 2021 г. впервые за 25 лет проведено дискование.

В хозяйстве с традиционной системой земледелия на протяжении 20 лет вносятся в почву средние дозы минеральных удобрений, применяются химические средства защиты растений, производится вспашка с оборотом почвенного пласта. Как и в органическом хозяйстве, используется зернопаровой севооборот короткой ротации. Культура севооборота на трех исследуемых полях в 2021 г. – озимая пшеница.

Фон представлен тремя залуженными участками березовой лесополосы. Участки расположены на расстоянии 50–150 м от производственных полей органического и традиционного хозяйств.

В образцах почв определяли следующие агрохимические показатели: содержание гумуса по

И.В. Тюрину в модификации В.Н. Симакова, подвижных форм фосфора и калия по Чирикову, общего азота по Мещерякову, щелочногидролизуемого азота по Корнфилду, реакция среды водной вытяжки. Ферментативную активность оценивали с использованием общепринятых методов: инвертазу – методом Т.А. Щербаковой, уреазу – методом А.Ш. Галстяна в модификации Ф.Х. Хазиева, каталазу – методом Джонсона и Темпле. Повторность определения – 3-кратная. Оценка нормальности распределения изучаемых выборок проводилась с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Результаты статистически обработаны в программах Excel 2007 и Statistica 8.0.

Результаты и их обсуждение

Черноземы органических и традиционных агроценозов преимущественно среднегумусированные со слабокислой реакцией почвенного раствора, средним содержанием щелочногидролизуемого и общего азота, очень высокими значениями обменного калия и подвижного фосфора (табл. 1). Фоновые участки являются среднегумусированным со средней обеспеченностью общим азотом, с нейтральными значениями рН, низким содержанием лабильного азота, очень высокими – обменного калия и подвижного фосфора. Согласно градации Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1978), все изученные почвы характеризуются

Таблица 1. Физико-химические и агрохимические свойства почв, $M \pm m$
Table 1. Physicochemical and agrochemical properties of the soils, $M \pm m$

Параметры почв The soil parameters	Органическое земледелие Organic farming	Традиционное земледелие Traditional farming	Фон (Лесополоса) Background (Forest belt)
Гумус, % Humus, %	7.7±0.1 V=3.0 %	7.6±0.0 V=1.3 %	7.5±0.1 V=2.0 %
рН	6.1±0.0 V=1.5 %	6.4±0.0 V=0.2 %	6.6±0.0 V=0.2 %
$N_{\text{вал}}$, % N_{tot} , %	0.30±0.0 V=6.7 %	0.28±0.0 V=0.2 %	0.28±0.0 V=0.2 %
$N_{\text{щ}}$, мг/кг $N_{\text{аб}}$, мг/кг	160.1±5.8 V=12.5 %	171.5±2.0 V=2.0 %	133.0±4.0 V=5.3 %
$P_{\text{подв}}$, мг/100 г P_{mob} , мг/100 г	26.1±1.1 V=15.6 %	23.2±0.5 V=3.4 %	22.5±0.1 V=0.4 %
$K_{\text{обм}}$, мг/100 г K_{ex} , мг/100 г	30.7±0.8 V=9.0 %	27.9±0.7 V=4.5 %	34.5±0.7 V=3.5 %
C/N	17.2±0.2 V= 3.8%	18.4±0.2 V= 1.9%	18.0±0.2 V= 2.1%

Примечания / Notes: $N_{\text{вал}}$ – азот общий / N_{tot} – total nitrogen; $N_{\text{щ}}$ – азот щелочногидролизуемый / $N_{\text{аб}}$ – alkaline hydrolysable nitrogen; $P_{\text{подв}}$ – фосфор подвижный / P_{mob} – mobile phosphorus; $K_{\text{обм}}$ – калий обменный / K_{ex} – exchangeable potassium

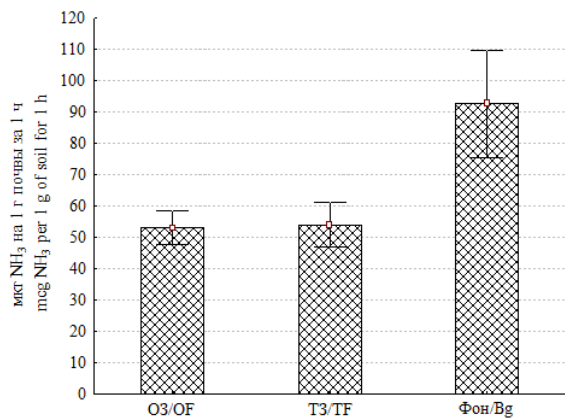


Рис. 1. Активность уреазы в почвах (среднее \pm 95% доверительный интервал):

O3 – органическое земледелие, T3 – традиционное земледелие, Фон – лесополоса

Fig. 1. Urease activity in soils (mean \pm 95% confidence interval): OF – organic farming, TF – traditional farming, Bg – background (forest belt)

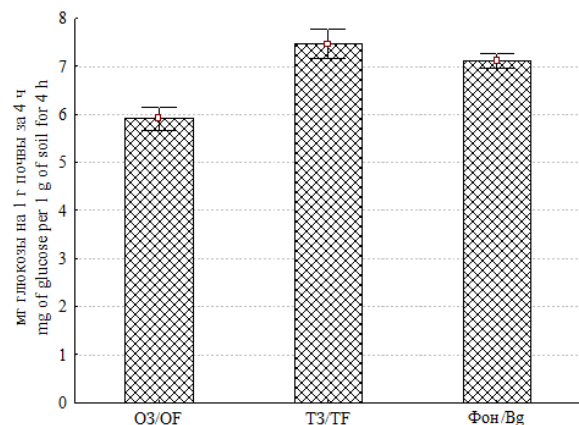


Рис. 2. Активность инвертазы в почвах (среднее \pm 95% доверительный интервал): O3 – органическое земледелие, T3 – традиционное земледелие, Фон – лесополоса

Fig. 2. Invertase activity in soils (mean \pm 95% confidence interval): OF – organic farming, TF – traditional farming, Bg – background (forest belt)

очень низкой степенью обогащенности гумуса азотом (C/N>14). Анализ агрохимических данных показал достоверно высокое содержание обменного калия в почвах фоновых участков и их более низкую обеспеченность щелочногидролизуемым азотом по сравнению с органическими и традиционными полями ($p < 0.05$).

Значения коэффициентов вариации исследуемых параметров почв оцениваются как низкие (менее 10%) и средние (10–20%), свидетельствуя об относительной равномерности распределения агрохимических характеристик в пределах поля.

Согласно шкалам Д.Г. Звягинцева (1978), черноземы типичные исследуемых участков отнесены к «среднеобогаченным» по активности уреазы и инвертазы и «бедным» по активности каталазы.

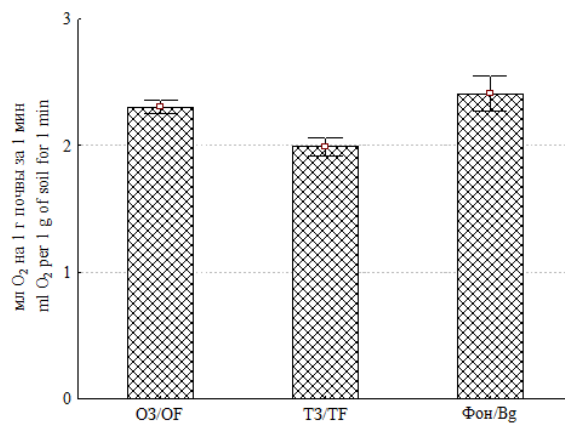


Рис. 3. Активность каталазы в почвах (среднее \pm 95% доверительный интервал): O3 – органическое земледелие, T3 – традиционное земледелие, Фон – лесополоса

Fig. 3. Catalase activity in soils (mean \pm 95% confidence interval): OF – organic farming, TF – traditional farming, Bg – background (forest belt)

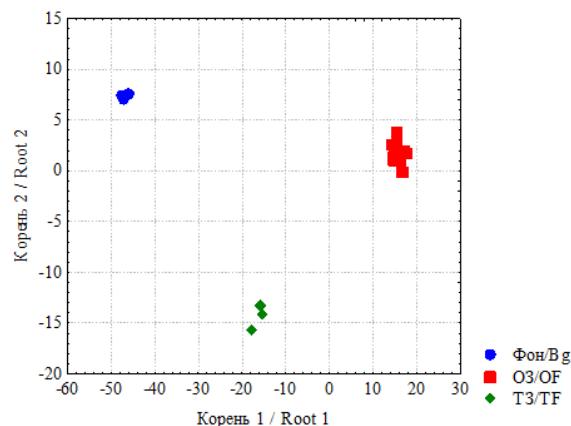


Рис. 4. Ординация полей при разных системах земледелия и фоновых участков в плоскости двух дискриминантных осей (по агрохимическим и биохимическим показателям): O3 – органическое земледелие, T3 – традиционное земледелие, Фон – лесополоса (Лямбда Уилкса: 0.00003; прилб. $F(18.1) = 152.1$; $p < 0.00001$)

Fig. 4. Ordination of fields in different farming systems and background plots in the plane of two discriminant axes (by agrochemical and biochemical parameters): OF – organic farming, TF – traditional farming, Bg – background (forest belt) (Wilks' Lambda: 0.00003; approx. $F(18.1) = 152.1$; $p < 0.00001$)

зы и инвертазы и «бедным» по активности каталазы.

Максимальная уреазная активность зафиксирована на фоновых участках, где она была достоверно выше, чем на органических ($t = 7.4$; $p < 0.00001$) и традиционных ($t = 8.9$; $p < 0.0008$) полях (рис. 1). Сельскохозяйственное использование почв привело к снижению их уреазной активности в органических и традиционных агроценозах

Таблица 2. Интегральный показатель эколого-биологического состояния чернозема типичного, $M \pm m$
 Table 2. Integral indicator of the ecological and biological state of typical chernozem, $M \pm m$

Интегральный показатель Integral indicator	Органическое земледелие Organic farming	Традиционное земледелие Traditional farming	Фон (Лесополоса) Background (Forest belt)
Суммарно по агрохимическим и биохимическим параметрам Total for agrochemical and biochemical parameters	94.2±0.9	93.2±0.9	100
По биохимическим параметрам By biochemical parameters	76.4±0.9	79.7±0.4	100

по сравнению с фоновыми участками на 42.7% и 41.6%, соответственно. При этом статистически достоверной разницы между органическими и традиционными полями по уровню уреазной активности не было выявлено.

Положительная зависимость активности уреазы от содержания азота и гумуса в почвах достаточно хорошо известна (Зинченко и др., 2017), однако по результатам анализа полученных данных такого рода корреляции нам установить не удалось. При этом уреазная активность оказалась тесно связана с изменением почвенной кислотности ($r=0.81$, $p=0.0001$). рН среды относится к средообразующим факторам, от которых зависит интенсивность ферментативных процессов (Хазиев, 1976). Почвы агроценозов отличались более кислой реакцией почвенного раствора в сравнении с фоновыми участками, что могло стать причиной слабого проявления уреазной активности почв на органических и традиционных полях. Таким образом, как ранее было показано М.К. Зинченко

(Зинченко и др., 2017), окультуривание почв без внесения известковых материалов при использовании средних доз минеральных удобрений и плоскорезном рыхлении приводит к снижению их уреазной активности по сравнению с природными аналогами.

Азотный и углеродный обмен в почве тесно связаны. Считается, что органические соединения с соотношением C/N, равным 20–25 и менее, способствуют накоплению минеральных форм азота в почве, а вещества с более широким соотношением этих элементов вызывают иммобилизацию азотных запасов (Семенов, 2020). Весной азот, входящий в состав микробной клетки, частично минерализуется и превращается в аммиак и нитраты, которые затем используют растения. Величины отношения C/N (табл. 1) свидетельствуют о накоплении в исследуемых почвах минеральных форм азота, причем наиболее интенсивно данный процесс протекает в органических агроценозах.

Установлено, что активность инвертазы статистически достоверно изменяется в ряду: традиционное земледелие > фон > органическое земледелие (рис. 2). Сравнительно высокие значения инвертазной активности на традиционных полях, по-видимому, связаны с внесением в почву органических и минеральных удобрений. Аналогичные результаты получены рядом авторов, отмечавших увеличение инвертазной активности при внесении в почву органоминеральных комплексов удобрений, в том числе в сочетании с ассоциативными экологическими субстратами (Селявкин и др., 2015; Щур и др., 2016).

Инвертазная активность в почвах обычно также коррелирует с содержанием в них органического вещества

Таблица 3. Квадрат расстояния Махаланобиса между почвами при разных системах земледелия и фоновых участках (дискриминация по агрохимическим и биохимическим показателям)
 Table 3. Square of Mahalanobis distance between soils for different farming systems and background plots (discrimination based on agrochemical and biochemical indicators)

	Фон (Лесополоса) Background (Forest belt)	Органическое земледелие Organic farming
Органическое земледелие Organic farming	3940.6	–
Традиционное земледелие Traditional farming	1400.8	1292.5

Примечание / Note: значения достоверны при $p < 0.00001$ / values are significant at $p < 0.00001$

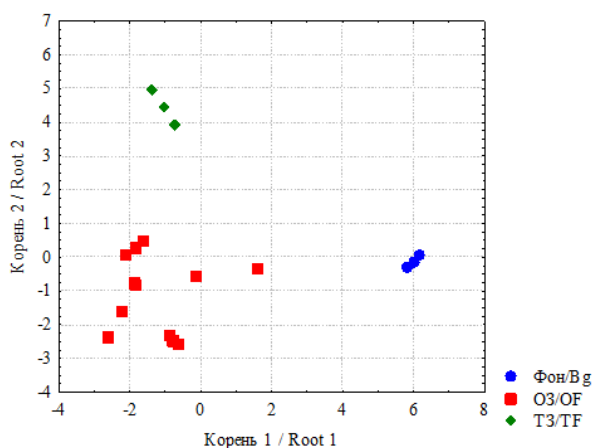


Рис. 5. Ординация полей при разных системах земледелия и фоновых участков по биохимическим показателям в плоскости двух дискриминантных осей: ОЗ – органическое земледелие, ТЗ – традиционное земледелие, Фон – лесополоса (Лямбда Уилкса: 0.018; $\text{прибл. } F(6.3)=28.4; p<0.00001$)

Fig. 5. Ordination of fields in different farming systems and background plots by biochemical parameters in the plane of two discriminant axes: OF – organic farming, TF – traditional farming, Bg – background (forest belt) (Wilks' Lambda: 0.018; $\text{approx. } F(6.3)=28.4; p<0.00001$)

(Казеев, Колесников, 2012; Наими, 2015), однако, как в случае с уреазой, в наших исследованиях не было выявлено подобной зависимости, а рост инвертазной активности был связан только с увеличением активной реакции среды почв ($r=0.66, p=0.003$).

Активность еще одного фермента – каталазы снижалась в ряду: фон – органическое земледелие – традиционное земледелие (рис. 3). Однако выявленные различия между органическими полями и почвами лесополосы были статистически недостоверны, указывая на то, что применяемая при органическом земледелии агротехника практически не оказывает негативного влияния на процессы биогеоценоза гумусовых веществ. Последние с одинаковой интенсивностью протекают в почвах как органических агроэкосистем, так и лесолуговых экосистем. Более высокие значения каталазной активности почв органических агроценозов по сравнению с традиционными мы склонны связывать с использованием дискования на органических полях. Данный способ обработки почв формирует более эффективный газообмен между почвой и атмосферой по сравнению с тра-

диционной вспашкой (Шур и др., 2016), оптимизирует «дыхание почвы», доступ сапротрофных организмов к органическим остаткам, а также способствует более активному катализу минеральной части.

В отличие от двух других ферментов, на органических полях выявлена корреляционная зависимость активности каталазы от содержания в почвах гумуса ($r=0.89, p=0.0001$) и общего азота ($r=0.74, p=0.006$).

С целью оценки степени агрогенного влияния на активность ферментов и общую ферментативную активность почв в различных системах земледелия был выполнен расчет интегрального показателя эколого-биологического состояния (ИПЭБС) почв (табл. 2).

Сравнение ИПЭБС почв по совокупности параметров не выявило статистически значимой разницы между органическими и традиционными агроценозами: многолетнее сельскохозяйственное использование почв приводит к незначительному уменьшению их ИПЭБС, рассчитанного по агрохимическим и биохимическим параметрам: на 5.8% в органических агроценозах и на 6.8% – в традиционных. В соответствии со шкалой нормирования, предложенной К.Ш. Казеевым и С.И. Колесниковым (2012), сокращение ИПЭБС на 5–10% свидетельствует о нарушении ряда выполняемых почвой экологических функций, в том числе функционирования почвенного биоценоза.

При расчете ИПЭБС только по биохимическим параметрам (табл. 2) снижение показателя было более значительным по сравнению с фоновым уровнем: на 20.3% на традиционных и на 23.6% на органических полях. Это указывает на

Таблица 4. Квадрат расстояния Махаланобиса между почвами при разных системах земледелия и фоновых участков (дискриминация по биохимическим показателям)

Table 4. Square of Mahalanobis distance between soils for different farming systems and background plots (discrimination based on biochemical indicators)

	Фон (Лесополоса) Background (Forest belt)	Органическое земледелие Organic farming
Органическое земледелие Organic farming	53.4	–
Традиционное земледелие Traditional farming	70.5	30.6

Примечание / Note: значения достоверны при $p<0.00001$ / values are significant at $p<0.00001$

определенные нарушения биохимических и иных функций почв, возникающих в результате их сельскохозяйственного использования.

Результаты дискриминантного анализа, проведенного по агрохимическим и биохимическим показателям, указывают на достоверную значимость различий экологического состояния почв при органическом и традиционном земледелии (рис. 4, табл. 3). Расстояние Махаланобиса возрастает в ряду: фон – традиционное земледелие – органическое земледелие. Согласно значениям статистики Уилкса лямбда, а также частной лямбда Уилкса ($p < 0.05$), главными переменными, определяющими различия в экологическом состоянии типичного чернозема при разных системах земледелия, являются: рН среды > активность инвертазы > содержание щелочногидролизующего азота > содержание обменного калия. Как показывают значения расстояний Махаланобиса, процессы восполнения почвой питательных элементов и гумусовых веществ, протекающие в органических агроценозах, сильно отличаются от таковых в почвах традиционных агроценозов и фоновых участков. Тем не менее, почвы органических и традиционных агроценозов, фоновых участков характеризуются оптимальными значениями содержания гумуса и элементов питания.

С целью определения информативности изучаемых ферментов в оценке агрогенного воздействия на черноземные почвы был проведен второй многомерный дискриминантный анализ. Дискриминация по биохимическим показателям также указывает на статистически значимую разницу в экологическом состоянии типичного чернозема при различном уровне сельскохозяйственного воздействия (рис. 5, табл. 4). Расстояние Махаланобиса достоверно увеличивается в ряду: фон – органическое земледелие – традиционное земледелие. По общей ферментативной активности типичный чернозем органических агроценозов приближен к фоновому уровню.

По степени чувствительности к агрогенному воздействию почвенные ферменты статистически образуют следующий убывающий ряд: активность уреазы – активность инвертазы – активность каталазы.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что пахотный горизонт чернозема типичного на участках с органическим и традиционным земледелием характеризуется оптимальными значениями содержания гумуса и основных элементов питания, необходимыми для возделывания сельскохозяйственных культур. Оценка эколо-

го-биологического состояния почв на основе интегрального показателя, рассчитанного по агрохимическим и биохимическим показателям, не выявила статистически значимых отличий между органическими и традиционными агроценозами. При этом результаты дискриминантного анализа, проведенного по ферментативной активности и в комплексе с агрохимическими показателями, указывают на достоверную значимость различий экологического состояния почв при органической и традиционной системах земледелия. По общей ферментативной активности черноземы органических агроценозов наиболее приближены к фоновому уровню, что свидетельствует о положительном влиянии органического земледелия на экологическое состояние почв в природно-климатических условиях Восточного Закамья Республики Татарстан.

Для диагностики и мониторинга состояния черноземов при агрогенном воздействии наиболее информативными биохимическими показателями являются активность уреазы и инвертазы, в меньшей степени – каталазы.

Список литературы

1. Абдуллаева Р.З. Ферментативная активность как один из факторов биологического потенциала почвы // Вестник Донского государственного аграрного университета. 2018. Вып. 2. Ч. 1. С. 65–70.
2. Горянин О.И. Ферментативная активность черноземов при разных технологических системах обработки почвы и посева в степном Заволжье // Известия Оренбургского ГАУ. 2017. №4. С. 196–199.
3. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 42–47.
4. Даденко Е.В. Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв: Дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2004. 158 с.
5. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. №4. С. 385–393.
6. 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. doi: 10.7868/S0032180X14060021.
7. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. №6. С. 48–54.
8. Зинченко М.К., Зинченко С.И., Борин А.А., Камнева О.П. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья // Современные проблемы науки и образования. 2017. №3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26458> (дата обращения: 08.11.2021).
9. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2012. 260 с.
10. Марковская Г.К., Чугунова О.А. Влияние различных

способов основной обработки почвы на ферментативную активность при возделывании ярового ячменя в условиях лесостепи Среднего Заволжья // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. Т. 4, №1. С. 16–21.

11. Наими О.И. Гумусное состояние и биологическая активность черноземов обыкновенных (североприазовских) при длительном сельскохозяйственном использовании // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. №3. С. 161–164.

12. Селявкин С.Н., Мараева О.Б., Лукин А.Л. Оценка биологического состояния почвы по микробиологической и ферментативной активности // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2015. №2. С. 36–39.

13. Семенов В.М. Функции углерода в минерализационно-иммобилизационном обороте азота в почве // Агрохимия. 2020. №6. С. 78–96. doi:10.31857/S0002188120060101

14. Семиколенных А.А. Каталазная активность почв северной тайги (Архангельская область) // Почвоведение. 2001. №1. С. 90–96.

15. Тульская Е.М., Звягинцев Д.Г. Иммобилизация каталазы почвами // Почвоведение. 1981. №12. С. 91–96.

16. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 179 с.

17. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11, №4. С. 139–148. doi: 10.18470/1992-1098-2016-4-139-148

18. Dick W.A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity // Soil science society of America journal. 1983. V. 47. P. 102–107.

19. Dora A.S., Domuta C., Ciobanu C., Sandor M. Field management effects on soil enzyme activities // Romanian agricultural research. 2008. №25. P. 61–68.

20. Gianfreda L., Rao M.A., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution // The Science of the total environment. 2005. V. 341. P. 265–279. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.005

21. Gupta V.V.S.R., Lawrence J.R., Germida J.J. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities // Canadian journal of soil science. 1988. V. 68, №3. P. 463–473. doi: 10.4141/cjss88-045

22. Kumari A.J., Rao P.C., Padmaja G., Madhavi M. Effect of physico-chemical properties on soil enzyme urease activity in some soils of Ranga Reddy district of Telangana State // International journal of current microbiology and applied sciences. 2017. V. 6, №11. P. 1708–1714. doi: 10.20546/ijcmas.2017.611.206.

23. Lee S.-H., Kim M.-S., Kim J.-G., Kim S.-O. Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management // Sustainability. 2020. V. 12, iss. 19. 8209. doi: 10.3390/su12198209

24. Niemeyer J.C., Lolata G.B., Carvalho G.M., Da Silva E.M., Sousa J.P., Nogueira M.A. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil // Applied soil ecology. 2012. V. 59. P. 96–105. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.03.019

25. Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R., Riffaldi R. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils // Plant and soil. 2001. V. 233, №2. P. 251–259.

26. Shi Z.J., Lu Y., Xu Z.G., Fu S.L. Enzyme activities of urban soils under different land use in the Shenzhen city, China // Plant, soil and environment. 2008. V. 54, №8. P. 341–346. doi:

10.17221/415-PSE.

27. Utobo E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil of soil ecosystem // Applied ecology and environmental research. 2015. V. 13, №1. P. 147–169. doi: 10.15666/aeer/1301_147169.

References

1. Abdullaeva R.Z. Fermentativnaya aktivnost' kak odin iz faktorov biologicheskogo potenciala pochvy [Enzymatic activity as one of the factors of soil biological potential] // Vestnik Don'skogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Don state agrarian university]. 2018. Iss. 2, p.1. P. 65–70.

2. Goryanin O.I. Fermentativnaya aktivnost' chernozyomov pri raznykh tekhnologicheskikh sistemah obrabotki pochvy i poseva v stepnom Zavolzh'e [Enzymatic activity of chernozems in different technological systems of soil cultivation and sowing in the steppe Trans-Volga region] // Izvestiya Orenburgskogo GAU [Bulletin of the Orenburg state agrarian university]. 2017. No 4. P. 196–199.

3. Grishina L.A., Orlov D.S. Sistema pokazatelej gumusnogo sostoyaniya pochv [System of indicators of humus state of soils] // Problemy pochvovedeniya [Problems of soil science]. Moscow: Nauka, 1978. P. 42–47.

4. Dadenko E.V. Metodicheskie aspekty primeneniya pokazatelej fermentativnoj aktivnosti v biodiagnostike i biomonitoringe pochv [Methodological aspects of the use of indicators of enzymatic activity in biodiagnostics and biomonitoring of soils]: DSc (Ph.D. of Biol.) thesis. Rostov-na-Donu, 2004. 158 p.

5. Dadenko E.V., Denisova T.V., Kazeev K.SH., Kolesnikov S.I. Ocenka primenimosti pokazatelej fermentativnoj aktivnosti v biodiagnostike i monitoringe pochv [Evaluation of the applicability of indicators of enzymatic activity in biodiagnostics and soil monitoring] // Povolzhskij ekologicheskij zhurnal [Povolzhsky ecological journal]. 2013. No 4. P. 385–393.

6. Dadenko E.V., Myasnikova M.A., Kazeev K.SH., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. Biologicheskaya aktivnost' chernozema obyknovennogo pri dlitel'nom ispol'zovanii pod pashnyu [Biological activity of ordinary chernozem during long-term use for arable land] // Pochvovedenie [Soil science]. 2014. No 6. P. 724–733. doi: 10.7868/S0032180X14060021

7. Zvyaginцев D.G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya ocenki nekotoryh ee pokazatelej [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators] // Pochvovedenie [Soil science]. 1978. No 6. P. 48–54.

8. Zinchenko M.K., Zinchenko S.I., Borin A.A., Kamneva O.P. Fermentativnaya aktivnost' agrarnykh pochv Verhnevolzh'ya [Enzymatic activity of agricultural soils in the Upper Volga region] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education]. 2017. No 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26458> (accessed: 08.11.2021).

9. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochv: metodologiya i metody issledovaniy [Soil biodiagnostics: methodology and research methods]. Rostov-na-Donu: Yuzhnyi federal'nyi universitet, 2012. 260 p.

10. Markovskaya G.K., Chugunova O.A. Vliyanie razlichnykh sposobov osnovnoj obrabotki pochvy na fermentativnuyu aktivnost' pri vozdeleyanii yarovogo yachmenya v usloviyah lesostepi Srednego Zavolzh'ya [Influence of different methods of basic tillage on enzymatic activity during the cultivation of spring barley in the forest-steppe conditions of the Middle Trans-Volga region] // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skokozyajstvennoj akademii [Bulletin of the Samara state agricultural academy]. 2019. Vol. 4, No 1. P. 16–21.

11. Naimi O.I. Gumusnoe sostoyanie i biologicheskaya aktivnost' chernozemov obyknovennykh (severopriazovskikh) pri dli-

tel'nom sel'skohozyajstvennom ispol'zovanii [Humus condition and biological activity of ordinary chernozems (Severo-Azov) during long-term agricultural use] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University]. 2015. No 3. P. 161–164.

12. Selyavkin S.N., Maraeva O.B., Lukin A.L. Ocenka biologicheskogo sostoyaniya pochvy po mikrobiologicheskoy i fermentativnoj aktivnosti [Assessment of the biological state of the soil by microbiological and enzymatic activity] // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Voronezh state agrarian university bulletin]. 2015. No 2. P. 36–39.

13. Semenov V.M. Funkcii ugleroda v mineralizacionno-immobilizacionnom oborote azota v pochve [Functions of carbon in the mineralization-immobilization turnover of nitrogen in the soil] // *Agrohimiya* [Agrochemistry]. 2020. No 6. P. 78–96. doi:10.31857/S0002188120060101

14. Semikolennyh A.A. Katalaznaya aktivnost' pochv severnoj tajgi (Arhangel'skaya oblast') [Catalase activity of soils in northern taiga (Arkhangelsk region)] // *Pochvovedenie* [Soil science]. 2001. No 1. P. 90–96.

15. Tul'skaya E.M., Zvyaginets D.G. Immobilizatsiya katalazy pochvami [Immobilization of catalase by soils] // *Pochvovedenie* [Soil science]. 1981. No 12. P. 91–96.

16. Haziev F.H. Fermentativnaya aktivnost' pochv [Enzymatic activity of soils]. Moscow: Nauka, 1976. 179 p.

17. Shchur A.V., Vinogradov D.V., Val'ko V.P. Vliyanie razlichnyh urovnej agroekologicheskikh nagruzok na biokhimicheskie harakteristiki pochvy [Influence of different levels of agroecological loads on biochemical soil characteristics] // *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development]. 2016. Vol. 11, No 4. P. 139–148. doi: 10.18470/1992-1098-2016-4-139-148.

18. Dick W.A. Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity // *Soil science society of America journal*. 1983. Vol. 47. P. 102–107.

19. Dora A.S., Domuta C., Ciobanu C., Sandor M. Field management effects on soil enzyme activities // *Romanian agricultural research*. 2008. No 25. P. 61–68.

20. Gianfreda L., Rao M.A., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. // *The Science of the total environment*. 2005. Vol. 341. P. 265–279. doi: 10.1016/j.scitotenv.2004.10.005.

21. Gupta V.V.S.R., Lawrence J.R., Germida J.J. Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities // *Canadian Journal of Soil Science*. 1988. Vol. 68, No. 3. P. 463–473. doi: 10.4141/cjss88-045.

22. Kumari A.J., Rao P.C., Padmaja G., Madhavi M. Effect of physico-chemical properties on soil enzyme urease activity in some soils of Ranga Reddy district of Telangana State // *International Journal of current microbiology and applied sciences*. 2017. Vol. 6, No. 11. P. 1708–1714. doi: 10.20546/ijemas.2017.611.206

23. Lee S.-H., Kim M.-S., Kim J.-G., Kim S.-O. Use of soil enzymes as indicators for contaminated soil monitoring and sustainable management // *Sustainability*. 2020. Vol. 12, Iss. 19. 8209. doi: 10.3390/su12198209

24. Niemeyer J.C., Lolata G.B., Carvalho G.M., Da Silva E.M., Sousa J.P., Nogueira M.A. Microbial indicators of soil health as tools for ecological risk assessment of a metal contaminated site in Brazil // *Applied soil ecology*. 2012. Vol. 59. P. 96–105. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.03.019

25. Saviozzi A., Levi-Minzi R., Cardelli R., Riffaldi R. A comparison of soil quality in adjacent cultivated, forest and native grassland soils // *Plant and soil*. 2001. Vol. 233, No 2. P. 251–259.

26. Shi Z.J., Lu Y., Xu Z.G., Fu S.L. Enzyme activities of urban soils under different land use in the Shenzhen city, China // *Plant, soil and environment*. 2008. Vol. 54, No 8. P. 341–346. doi: 10.17221/415-PSE

27. Utobo E.B., Tewari L. Soil enzymes as bioindicators of soil ecosystem // *Applied ecology and environmental research*. 2015. Vol. 13, No 1. P. 147–169. doi: 10.15666/aecer/1301_147169

Koltsova T.G., Kulagina V.I., Sungatullina L.M. Influence of different agricultural systems on enzymatic activity of typical chernozem.

The article presents the results of a comparative assessment of the enzymatic activity of typical chernozem in organic and traditional farming. The results of the discriminant analysis indicate the reliable significance of the differences in the ecological state of soils in different forms of farming. At the same time, the assessment of the ecological and biological state of soils on the basis of an integral indicator calculated by agrochemical and biochemical indicators did not reveal statistically significant differences between organic and traditional agrocenoses. It was found that, in terms of the general enzymatic activity, chernozems of organic agrocenoses are the closest to the background level. According to the degree of sensitivity to agrogenic effects, the indices of enzymatic activity change in the following order: urease activity > invertase activity > catalase activity. According to the degree of enrichment in enzymes, chernozems are classified as moderately enriched in urease and invertase activity and poor in catalase activity.

Keywords: organic farming; urease; invertase; catalase; chernozems.

Раскрытие информации о конфликте интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / Disclosure of conflict of interest information: The author claims no conflict of interest

Информация о статье / Information about the article.

Поступила в редакцию / Entered the editorial office: 11.11.2021

Одобрено рецензентами / Approved by reviewers: 24.11.2021

Принята к публикации / Accepted for publication: 10.12.2021

Информация об авторах

Кольцова Татьяна Геннадьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: t@koltcov.com.

Кулагина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, зав. лабораторией, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: viksoil@mail.ru.

Сунгатуллина Люция Мансуровна, старший научный сотрудник, Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, 420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28, E-mail: sunlyc@yandex.ru.

Information about the authors

Tatiana G. Koltcova, Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Dauruskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: t@koltcov.com.

Valentina I. Kulagina, Ph.D. in Biology, Head of Laboratory, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Dauruskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: viksoil@mail.ru.

Lutsia M. Sungatullina, Senior Researcher, Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences, 28, Dauruskaya st., Kazan, 420087, Russia, E-mail: sunlyc@yandex.ru.