

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ В ОЦЕНКЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ХИМИЧЕСКИХ МЕЛИОРАНТОВ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ТИПИЧНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Ольга Михайловна Кольцова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агроэкологии

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

Объектом исследования являются черноземы выщелоченные типичной лесостепи Воронежской области, характеризующиеся недонасыщенным кальцием почвенно-поглощающим комплексом (ППК). Цель – комплексное изучение показателей почвенного плодородия с выделением экологического аспекта, который связан с биологической составляющей (ферментативная активность и токсичность черноземов) на фоне изменения физико-химических показателей в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Методы исследований: полевой, лабораторно-аналитический, сравнительный и математический. Исследования проводятся в условиях многолетнего стационарного опыта отдела химизации УНТЦ «Агротехнология» Воронежского госагроуниверситета, заложенного в 1987 году в шестипольном севообороте с чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь – озимая рожь (с 2005 г. озимая пшеница) – ячмень. Варианты опыта: контроль абсолютный; контроль – орг. фон (40 т/га навоза в черный пар); орг. фон + NPK по 60 кг д.в./га; орг. фон + дефекат и орг. фон + CaCO₃ в сравнении с естественной экосистемой (некосимый луг). Почва – чернозем выщелоченный среднемогучий малогумусный тяжелосуглинистый с содержанием 4,2% гумуса. Приводятся экспериментальные данные изменения биохимических и биологических показателей плодородия и состояния почвенно-биотического комплекса (ПБК), позволяющие оценить состояние черноземов выщелоченных при различном уровне удобренности и использовании наиболее перспективных для ЦЧР химических мелиорантов – отходов производства (дефекат и карбонат кальция). Показана их тесная связь с изменением физико-химических свойств, содержанием гумуса и тяжелых металлов. Наиболее благоприятными были физико-химические свойства чернозема лугового сообщества (рН_{сол.} – 6,50; Нг – 2,7 мг-экв./100 г почвы; V – 92%; содержание гумуса – 4,75%; обогащенность по активности каталазы и уреазы – средняя и высокая), что указывает на сбалансированность круговоротов основных биофильных элементов и поступление достаточного количества органического вещества с опадом. Из опытных вариантов лучшими, наиболее близкими к естественной экосистеме были варианты с мелиорантами. Определяли активность ферментов, координирующих процессы азотного обмена (уреазы) и интенсивность окислительно-восстановительных процессов (каталаза). Показано, что наименьшей активностью каталазы была на варианте контроля (3,2 см³ O₂), а наибольшей – на мелиорированных вариантах (8,4 и 7,9 см³ O₂), в то время как в луговом сообществе этот показатель составил 7,0 см³ O₂, что указывает на высокую интенсивность окислительных процессов и жизнедеятельность почвенных организмов. Дополнительным диагностическим показателем состояния ПБК использовали определение токсичности по тест-объекту – семенам редиса. Таким образом, оценка состояния ПБК чернозема выщелоченного природных и аграрных экосистем показала значительную перестройку всех его составляющих в результате сельскохозяйственной деятельности и возможность использования в диагностике различных агроприемов биологических и биохимических показателей, достаточно точно характеризующих экологическое состояние почвы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: типичная лесостепь, чернозем выщелоченный, физико-химические свойства, ферментативная активность, токсичность, удобрения, мелиоранты, антропогенное воздействие.

The object of this study was leached chernozems of typical forest steppe of Voronezh Oblast characterized by soil absorption complex (SAC) undersaturated with calcium. The objective was to perform a comprehensive study of indicators of soil fertility focusing on the environmental aspect, which is associated with the biological component (enzymatic activity and toxicity of chernozems) secondary to changes in physical and chemical parameters under intensive anthropogenic influence. Research methods included the field, laboratory analytical, comparative and mathematical methods. All studies are conducted in the conditions of a long-term stationary experiment of the Department of Chemicalization on the territory of the «Agrotechnology» Educational Technical Research Centre of Voronezh State Agrarian University; this long-term experiment was found in 1987 in a six-course rotation of the following crops: autumn fallow – winter wheat – sugar beet – vetch-oat mixture – winter rye (winter wheat since 2005) – barley. The author analyzed such experimental variants as absolute control; organic background control (40 t/ha of manure in autumn

fallow); organic back-ground + NPK 60 kg a.i./ha; organic background + defecation lime and organic background + CaCO₃ compared to the natural ecosystem (non-mowed meadow). The soil was leached medium low-humic heavy loam chernozem with humus content of 4.2%. The author presents experimental data of changes in biochemical and biological indicators of fertility and condition of soil biotic complex (SBC) that allow assessing the condition of leached chernozems at different levels of fertilization and use of production wastes (defecation lime and calcium carbonate) as the most promising chemical ameliorants for the Central Chernozem Region. The author shows their close association with changes in physico-chemical properties, humus and heavy metals content. The most favorable physico-chemical properties were observed in chernozem of meadow community (pH salt extract = 6.50; Hydrolytic acidity = 2.7 meq/100 g of soil; V = 92%; humus content = 4.75%; enrichment measured by catalase and urease activity = medium to high), indicating the balance of circulation of basic biophilic elements and a sufficient amount of organic matter coming with leaf litter. Among the experimental variants the best and closest to the natural ecosystem were those with ameliorants. The author determined the activity of enzymes that coordinated the process of nitrogen metabolism (urease) and intensity of redox processes (catalase). It was shown that the activity of catalase was the lowest in the control variant (3.2 cm³ O₂) and the highest in ameliorated variants (8.4 and 7.9 cm³ O₂), while in the meadow community it was 7.0 cm³ O₂, which indicates a high level of intensity of oxidative processes and life activity of soil organisms. An additional diagnostic indicator of SBC condition was toxicity measured against the test object (radish seeds). Thus, the assessment of the condition of SBC of leached chernozem in natural and agricultural ecosystems revealed a significant rearrangement of all its components as a result of agricultural activities, and the possibility of diagnosing different agricultural techniques using biological and biochemical indicators, which are accurate enough in characterizing the ecological condition of soil.

KEY WORDS: typical forest steppe, leached chernozem, physicochemical properties, enzymatic activity, toxicity, fertilizers, ameliorants, anthropogenic influence.

В современных экологических условиях первостепенное значение приобретает оценка воздействия деятельности человека на окружающую среду. Так как основой жизни человека является сельскохозяйственное производство, удовлетворяющее его пищевые и сырьевые потребности, то огромное значение имеет оценка воздействия различных агроприемов на агроэкосистемы и прилегающие к ним территории. Оценка воздействия на окружающую среду является важнейшей составляющей проектирования хозяйственной деятельности.

Мощный антропогенный пресс XX столетия значительно ускорил негативные трансформации пахотных земель основных сельскохозяйственных регионов России. Серьезный удар по экологическому состоянию земель нанесли последние организационно-экономические преобразования сельского хозяйства пореформенного периода.

В этих условиях чрезвычайно сильное развитие получили деградационные процессы эрозии и выпашивания, дегумификации и подкисления, ощелачивания и засоления. Резко сократились объемы проведения почвозащитных и противоэрозионных мероприятий. Традиционные рекомендации по почвозащитным севооборотам и агротехнике в новых экономических условиях оказались практически недоступными для большинства фермерских и кооперативных хозяйств, необходимым условием выживания которых является быстрая окупаемость финансовых вложений [3].

На современный почвообразовательный процесс существенное влияние оказывает интенсификация земледелия, особенно химизация. Однако химизация может быть эффективной только при рациональном сочетании всех условий производства при учете особенностей почв, потребностей каждой культуры в элементах питания, правильном сочетании различных агротехнических мероприятий.

Актуальность исследований связана с тем, что длительное сельскохозяйственное использование черноземных почв зоны привело к прогрессирующим потерям гумуса и дефициту фосфора, что отрицательно сказалось на уровне плодородия черноземов. Наряду с этим в черноземных почвах ЦЧР повышается кислотность, что увеличивает число лимитирующих факторов плодородия [1, 7].

В Федеральном законе Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», в Федеральном законе Российской Федерации от 24 июня 1998 г.

№ 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», в задачах, сформулированных в Указе Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики», определена стратегия решения вопросов охраны окружающей среды на данном этапе развития научно-технического прогресса [13, 14, 15]. Реализация программы связана с организацией экологически безопасного и безотходного производства, расширением ресурсных возможностей за счет внедрения энергоресурсосберегающих технологий, позволяющих рационально использовать первичные сырьевые ресурсы, комплексно перерабатывать вторичные сырьевые ресурсы с превращением их в новые полезные продукты с максимальным сохранением в них баланса ценных компонентов сырья [2].

По данным Минсельхоза России, в АПК ежегодно генерируется более 770 млн т отходов.

В результате уменьшения потока энергии, проходящего через детритную пищевую цепь (в пределах 10-30% от природных экосистем), редуценты вынуждены использовать законсервированные запасы энергии в агроэкосистеме – гумус. Длительное использование энергии гумуса приводит к истощению запасов и, следовательно, к ухудшению свойств почвы, среды обитания не только детритофагов и редуцентов, но и автотрофов, а через них и главных консументов в агроэкосистемах – человека и животных [10].

По данным В.А. Черникова и А.И. Черкеса (2000), основными источниками тяжелых металлов в почве являются удобрения, в которых эти металлы присутствуют как примеси, известь и сточные воды [2].

При современных технологиях производства фосфорных удобрений с каждой тонной вносимого в почву фосфора попадает 160 кг фтора; фосфогипс из апатитного сырья содержит 2% стронция, сапропели богаты кадмием. В суперфосфате, получаемом из кольских апатитов, содержится 0,2-0,7 мг/кг кадмия, а в фосфоритах Марокко – 11,1-11,7 мг/кг [8].

Проведенными исследованиями установлено, что для условий типичной лесостепи, и в частности Воронежской области, наиболее значимыми отходами производства в целях химической мелиорации черноземов с недонасыщенным кальцием ППК являются дефекат (отход свеклосахарного производства) и отходный мел, или карбонат кальция (отход производства азотных минеральных удобрений Россошанского химкомбината) [5].

В таблицах 1 и 2 приводится качественная характеристика дефеката и карбоната кальция, в том числе и содержание в них микроэлементов и тяжелых металлов.

Таблица 1. Качественные показатели дефеката Рамонского сахарного завода и карбоната кальция Россошанского химического комбината

Компоненты	Дефекат, %	Карбонат кальция, %
CaCO ₃	46,50	83,30
P ₂ O ₃	0,48	0,50
K ₂ O ₃	0,48	0,002
MgCO ₃	-	1,20
Зола	7,14	-
Фтор	-	0,02
Стронций (стабильный)	-	2,0
Общий азот	0,35	1,53
аммиачный	-	22,5
нитратный	-	77,5
pH	7,85	8,65

**Таблица 2. Содержание валовых форм тяжелых металлов в дефекате
Рамонского сахарного завода, мг/кг**

Элемент	Количество
Кадмий	2,54
Свинец	32,0
Цинк	41,0
Медь	14,9
Никель	15,6
Кобальт	8,1
Железо	6800
Марганец	325
Хром	6,7

Дефекат (ТУ 9112-005, 000080-95) является отходом свеклосахарного производства, получаемым выводом фильтрационного осадка технологическими водами, содержит в своем составе около 40-80% карбонатов кальция и магния, 0,2-0,7% азота, 0,5-0,7% фосфора, 0,2-0,7% калия и до 30% органического вещества. Дефекат является высокоэффективным известковым удобрением. В сухом дефекате содержится: извести – 60-80%, органического вещества – 10-15% (в навозе 21%), фосфора – 0,5-1,0% (в два раза больше, чем в навозе) [12].

Карбонат кальция, или отходный мел Россошанского химкомбината содержит до 83% CaCO₃. Опасение при внесении карбоната кальция может вызвать содержание в нем стронция, хотя этот элемент представлен валовой или стабильной формой. По данным исследований И.А. Шильникова (1987), содержание стронция считается неопасным, если соотношение его к кальцию составляет не менее 1 : 20, а лучше 1 : 40, что полностью выдерживается в отходе Россошанского химкомбината. Тем не менее, следует вести контроль за содержанием стронция в почвах пахотных угодий, особенно на полях с кислой реакцией среды или в условиях возможного резкого подкисления почвенного раствора [11].

Таким образом, экологический аспект применения вышеуказанных кальцийсодержащих веществ связан с необходимостью контроля за содержанием в почве тяжелых металлов и такого радионуклида, как стронций.

Обсуждаемые исследования проводятся в условиях стационарного полевого опыта отдела химизации УНТЦ «Агротехнология» Воронежского государственного аграрного университета в шестипольном севообороте с чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь – озимая рожь (с 2005 г. озимая пшеница) – ячмень, заложенном в 1987 году.

Варианты опыта:

- контроль абсолютный;
- контроль – органический фон (40 т/га навоза в черный пар);
- органический фон + НРК по 60 кг д.в./га;
- органический фон + дефекат;
- органический фон + CaCO₃ (дозы дефеката и карбоната кальция рассчитаны по гидролитической кислотности, составляют ее полуторную величину и вносятся в черный пар один раз в ротацию севооборота совместно с навозом).

Естественная экосистема представлена некосимым лугом.

Почва – чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый, имеющий следующие характеристики:

- pH_{сол.} – 4,84;
- Н_г – 7 мг-экв/100 г почвы;
- V – 85%;
- содержание гумуса – 4,2%;
- обогащенность чернозема выщелоченного по активности каталазы и уреазы – бедная.

Как видно из представленной характеристики чернозема выщелоченного, его ППК недонасыщен кальцием и, следовательно, имеет высокую кислотность, что указывает на необходимость мелиорации его кальцийсодержащими веществами. В таблице 3 приводится характеристика физико-химических показателей изучаемой почвы до закладки опыта.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика чернозема выщелоченного до закладки опыта (1987 г., слой 0-20 см)

Режимы использования	рН _{KCl}	Nг	S	V, %	Гумус, %
		мг-экв/100 г почвы			
Луг	6,5	2,7	30,0	92	4,75
Пашня: контроль	5,48	5,20	30,3	85	3,83
Орг. фон	5,35	5,96	28,1	82	4,03
Орг. фон + NPK	5,45	6,00	27,2	81	4,10
Орг. фон + дефекат	5,14	7,03	29,5	81	4,04
Орг. фон + CaCO ₃	5,25	6,07	30,0	81	4,05

Изучение почвенных показателей в различных режимах использования чернозема выщелоченного в ходе многолетнего опыта показало резкое их изменение при переходе от естественных (луг) к аграрным экосистемам. Прежде всего это отразилось на балансе ионов водорода, кальция и магния. Анализ данных таблицы 4 показывает, что наиболее благоприятными были физико-химические свойства чернозема лугового сообщества, что указывает на сбалансированность круговоротов основных биофильных элементов и поступление достаточного количества органического вещества с опадом.

Таблица 4. Физико-химические свойства чернозема выщелоченного (слой 0-20 см, 2014 г.)

Виды экосистем и варианты опыта	рН _{KCl}	Nг	S	V, %
		мг-экв/100 г почвы		
Луг	6,4	2,9	30	92
Пашня: контроль	5,2	5,0	27	85
Орг. фон	5,4	4,5	29	86
Орг. фон + NPK	5,0	6,4	26	80
Орг. фон + дефекат	6,5	2,7	32	92
Орг. фон + CaCO ₃	6,1	3,0	31	90

На пашне к окончанию шестой ротации севооборота показатели физико-химических свойств по вариантам опыта выравнивались, отличались только варианты с последствием дефеката и карбоната кальция, внесенных на фоне навоза. На варианте с дефекатом рН_{KCl} находилась на уровне, близком к нейтральному, и составляла 6,2, тогда как в исходном состоянии – 5,1 (для слоя 0-20 см), гидролитическая кислотность равнялась 2,7, а сумма поглощенных оснований – 32 мг-экв/100 г почвы. На варианте с карбонатом кальция получены аналогичные результаты: рН_{KCl} равнялась 6,1 (в исходном состоянии – 5,25 для слоя 0-20 см), гидролитическая кислотность – 3,0, а сумма поглощенных оснований – 31 мг-экв/100 г почвы. Только на мелиорированных вариантах степень насыщенности основаниями была близка к норме (90-92%).

Изучение сезонной динамики изменения основных показателей плодородия чернозема выщелоченного выявило, что в луговом сообществе она сглажена, тогда как на пашне эта динамика ярко выражена. Кроме того, сезонные изменения в естественных и аграрной экосистемах носят противоположный характер. Так, на пашне гидролитическая кислотность к осени снижается, так как снижается вынос кальция после уборки озимой пше-

ницы, и происходит обратный ток этого элемента из нижних в верхние горизонты. Обратная зависимость наблюдается в естественных экосистемах. Повышение влажности и снижение температуры осенью привело к активной вегетации растений и, следовательно, активному использованию кальция, повышению гидролитической кислотности.

Для характеристики почвенно-биотического комплекса, его экологического состояния важным является определение биологической составляющей, так как живые организмы весьма чувствительны к изменениям окружающей среды. На их состояние могут повлиять тяжелые металлы, которые входят в состав мелиорантов и удобрений. Кроме того, в кислых почвах они очень подвижны и легко переходят в растения и, следовательно, загрязняют продукцию возделываемых культур. Поэтому нами использовался метод определения токсичности на основе биотестирования, где тест-объектом служили семена редиса. Токсичность определялась по всхожести семян и величине отросшего корня. Токсичными считаются варианты, где эти показатели снижаются на 20% и более [9].

Таблица 5. Определение токсичности чернозема выщелоченного на различных вариантах опыта (слой 0-20 см)

Варианты опыта	Длина корня, мм			Всхожесть	
	общая	средняя на 1 семя	% к контролю	кол-во, шт.	% к общему кол-ву
Пашня: контроль	369	16	100	25	100
Орг. фон	429	18	112	25	100
Орг. фон + NPK	419	17	106	25	100
Орг. фон + дефекат	584	23	144	25	100
Орг. фон + CaCO ₃	523	21	131	25	100

Как видно из таблицы 5, ни один из вариантов опыта не оказал токсичного воздействия на всхожесть, тогда как отрастание корня было различным, и первостепенное значение здесь отводится величине кислотности. Максимальная длина корня (144%) отмечена на варианте внесения дефеката по органическому фону, где кислотность была наименьшей, близким к этому варианту был вариант с внесением карбоната кальция – 131%. Самое низкое отрастание корня – 106% по отношению к контролю наблюдалось на варианте внесения минеральных удобрений по органическому фону, где отмечена и наибольшая кислотность.

Внешнее проявление почвенного «утомления» выражается в резком снижении урожайности сельскохозяйственных культур. Основные причины почвенного «утомления» – накопление в почве токсичных веществ, выделяемых растениями и микроорганизмами, разложение специфических вредителей, возбудителей болезней и сорняков. Для почвы основное значение имеют токсины сапротрофных грибов. В настоящее время становится очевидным, что именно почва может быть резервуаром микроскопических грибов, являющихся продуцентами микотоксинов, опасных для человека. Роль ингибиторов биохимических процессов выполняют и различные фитогормоны – физиологически активные вещества, проявляющие свою регуляторную функцию в очень низких концентрациях; к ним относятся абсцизовая кислота и этилен [4].

Таким образом, индикация состояния почвенно-биотического комплекса на различных вариантах возможна на основе тест-объекта. Данная методика позволяет без затрат и в короткие сроки определить токсичность почвы с различным прогнозом урожайности возделываемых культур. Кроме того, в наших исследованиях они полностью коррелируют и подтверждаются содержанием в черноземе выщелоченном тяжелых металлов, подвижные формы которых определялись в ацетатно-аммонийном буфере с pH 4,8 на атомно-адсорбционном анализаторе.

Полученные данные показывают, что применение минеральных, органических удобрений и мелиорантов незначительно повышает содержание подвижной формы свинца, меди и кадмия. Наблюдается повышение содержания цинка на 3-м и 4-м вариантах, однако пре-

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

вышней ПДК ни на одном из вариантов не выявлено. Содержание цинка и меди в почвенных образцах считается низким и свидетельствует о необходимости его повышения, что частично достигается внесением дефеката и минеральных удобрений. Несмотря на то что мелиоранты содержат в своем составе тяжелые металлы, их минимальное количество (кроме цинка) наблюдается именно на этих вариантах (табл. 6).

Таблица 6. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов по вариантам опыта (слой 0-20 см)

Варианты	Элементы, мг/кг почвы			
	Cu	Zn	Pb	Cd
Пашня: контроль	0,10	0,37	1,47	0,20
Орг. фон	0,10	0,20	1,73	0,21
Орг. фон + NPK	0,18	0,38	1,17	0,22
Орг. фон + дефекат	0,13	0,69	1,12	0,20
Орг. фон + CaCO ₃	0,14	0,65	1,10	0,21
ПДК	3,0	23,0	6,0	0,5-0,7

Как известно, определенную протекторную функцию для тяжелых металлов оказывают гумусовые вещества, поэтому динамика органического вещества в стационарном опыте изучалась в двух аспектах:

- во-первых, как изменения по годам исследований;
- во-вторых, как сезонные изменения содержания органического вещества в пахотном горизонте по фазам вегетации растительности.

Таблица 7. Динамика органического вещества (слой 0-20 см)

Варианты	Гумус, %		
	1987 г.	2006 г.	2014 г.
Контроль абс.	3,83	3,74	3,71
Орг. фон	4,03	3,90	3,85
Орг. фон + NPK	4,10	3,72	3,70
Орг. фон + дефекат	4,04	4,49	4,39
Орг. фон + CaCO ₃	4,08	4,29	4,23
HCP ₀₉₅ , %	0,22		

Анализ данных таблицы 7 дает основание говорить о том, что черноземные почвы опытного участка находятся в стадии стабилизации и содержание гумуса имеет тот минимум, который позволяет сохранять признаки черноземных почв. Это связано с тем, что устойчивые формы гумуса являются носителями генотипа почвы и его разрушение нежелательно с экологических позиций. Внесение физиологически кислых минеральных удобрений приводит к трансформации организационного состава гумуса, что выражается в снижении содержания фракций, связанных с кальцием как результат снижения pH и уменьшения степени насыщенности основаниями. В наших исследованиях установлено, что на вариантах внесения дефеката и карбоната кальция на органическом фоне содержание гумуса увеличивается по сравнению с исходным. В 1987 году на этих вариантах содержание гумуса составляло соответственно 4,04 и 4,08%, а к 2014 году – 4,39 и 4,23%. На дефекатированном варианте установлено достоверное увеличение содержания гумуса, на втором мелиорированном варианте, где вносили карбонат кальция по органическому фону, отмечается тенденция роста содержания гумуса. Некоторое различие этих вариантов можно объяснить составом самих мелиорантов. Так, в дефекате содержится до 50% земной массы, обогащенной гумусом (которая поступает с промывными водами и возвращается на поля) и органическим веществом (остатки корнеплодов сахарной свеклы).

Кальций мелиорантов позволяет закрепиться свежим органическим веществам в виде гуматов, которые труднорастворимы в воде и не выносятся за пределы корнеобитае-

мого слоя, повышая уровень плодородия на этих вариантах, тогда как кислая среда, благоприятна для формирования водорастворимых, лабильных фракций гумуса и выноса их за пределы пахотного горизонта, кроме того, они более доступны для минерализации почвенным организмам и растениям.

Анализ сезонной динамики органического вещества по вариантам опыта показал снижение его содержания в июле, когда сформированы наибольшая биомасса в естественных экосистемах и урожай ячменя в опыте. В сентябре наблюдается рост содержания органического вещества за счет поступления свежей органики с остатками биомассы урожая. Летний минимум содержания органического вещества связан с интенсивной его минерализацией в процессе формирования урожая ячменя, а осенние значения, которые на всех вариантах опыта превышают весенний период, связаны с активной трансформацией органических остатков после уборки урожая и перевода их в гумусное вещество почвы. Так, на варианте органического фона содержание гумуса снизилось с 4,03 до 3,85, на варианте внесения минеральных удобрений по органическому фону – с 4,10 до 3,70, а на варианте внесения дефеката на органическом фоне увеличилось с 4,04 до 4,39, на варианте внесения карбоната кальция на органическом фоне – с 4,08 до 4,23.

Полученные данные подтвердили высокую протекторную функцию гумуса, органических удобрений и кальцийсодержащих веществ мелиорантов, что выразилось в инактивирующем влиянии гумусовых кислот по отношению к тяжелым металлам. При аккумуляции тяжелых металлов в почвах происходит уменьшение биодоступности гумусовых кислот, связанное с образованием нерастворимых гуматов.

Гумусовыми кислотами максимально поглощается свинец и медь, что свидетельствует об их высокой комплексообразующей способности и повышенном сродстве тяжелых металлов к реакционным центрам гумусовых кислот. Доля цинка и кадмия, инактивированная гумусовыми кислотами, значительно меньше, чем свинца и меди, что, очевидно, связано со слабым сродством этих металлов к гумусовым кислотам.

Как показали результаты проведенных исследований, по содержанию металлов в гумусовых кислотах выстраивается следующий ряд поглощений: $Pb > Cu > Zn > Cd$. Возникновение конкуренции между тяжелыми металлами связано с химическими свойствами металлов и особенностями строения гумусовых кислот [6].

Наиболее характерным показателем биологической активности почвы является активность широко распространенных в природе ферментов, обеспечивающих процессы превращения углеводов, азот- и фосфорсодержащих и других органических соединений, поэтому в программу исследований входило изучение активности ферментов, координирующих процессы азотного обмена (уреаза) и интенсивность окислительно-восстановительных процессов (каталаза).

Анализ данных активности этих ферментов показал, что наибольшей была активность каталазы на мелиорированных вариантах, что указывает на высокую интенсивность окислительных процессов и жизнедеятельность почвенных организмов (табл. 8).

Таблица 8. Ферментативная активность чернозема выщелоченного в различных режимах использования (слой 0-20 см)

Варианты	Каталаза, см ³ O ₂ на 1 г почвы за 1 мин.
Луг	7,0
Пашня: контроль	3,2
Орг. фон	5,2
Орг. фон + NPK	6,1
Орг. фон + дефекат	8,4
Орг. фон + CaCO ₃	7,9
НСР _{0,95}	0,19

Так же как и в естественной экосистеме луга, на пашне активность каталазы растет на мелиорированных вариантах, что связано с большей активностью микробоценоза и с более благоприятными условиями почвенно-поглощающего комплекса.

Изучение сезонной динамики ферментативной активности в агроэкосистеме показало, что она наиболее высокая весной, когда потребность в элементах минерального питания у растений наибольшая, в июле, когда урожай уже сформирован, снижается, а осенью, с поступлением в почву свежего органического вещества, вновь возрастает, составляя соответственно 9,0; 4,7 и 6,5 см³ O₂ на 1 г почвы (каталаза). Иная сезонная динамика активности ферментов наблюдается в естественных экосистемах, где растительное сообщество активно вегетирует более длительное время и потребность в элементах питания иная. Так, отмечен постепенный рост активности каталазы на лугу, что можно связать с ростом образования перекиси водорода в почве, с увеличением биомассы организмов и нарастанием уровня окислительных процессов: на лугу активность увеличилась с 5,8 (май) до 8,5 (сентябрь) см³ O₂ на 1 г почвы.

Проведено определение активности уреазы по методу Аристовской-Чугуновой по скорости подщелачивания среды за счет разложения мочевины до аммиака. Установлено, что уровень активности фермента связан со степенью окультуренности почвы и кислотностью почвенного раствора (табл. 9).

Таблица 9. Активность уреазы чернозема выщелоченного разной степени окультуренности (исходная – рН 5,5, содержание мочевины – 0,25/50 г почвы, регистрация изменений рН через 45 мин.)

Увеличение щелочности до рН	Скорость увеличения щелочности, часы				
	Контроль абс.	Орг. фон	Орг. фон + NPK	Орг. фон + дефекаат	Орг. фон + CaCO ₃
6,0	6,6	4,0	2,5	2,0	0,5
6,5	8,0	5,5	4,0	2,8	1,5
7,0	12,0	10,0	7,7	5,2	4,5
7,5	18,0	15,0	9,5	6,0	6,5
8,0	25,0	20,0	15,0	7,5	8,0

Как видно из данных таблицы 9, наиболее активно разложение мочевины идет на варианте совместного внесения органических удобрений и мелиорантов, и максимальная величина рН достигается через 7,5-8 часов, тогда как на лугу – только через 30. По скорости разложения мочевины, т.е. по активности уреазы, изученные варианты образуют следующий ряд активности: луг < контроль < орг. фон < орг. фон + NPK < орг. фон + дефекаат < орг. фон + карбонат кальция, что можно объяснить различной потребностью в минеральном азоте в естественной и аграрной экосистемах. Так, в последней потребностью в этом элементе резко возрастает на первых этапах вегетации сельскохозяйственных культур в период формирования первичной вегетативной массы и репродуктивных органов, а с формированием урожая падает и наименьшей становится после уборки, тогда как в луговом сообществе растения активно вегетируют весь вегетационный период и активность микроорганизмов то же более длительная и стабильная.

Более интенсивное выделение аммиака на варианте с внесением карбоната кальция, вероятно, связано с наличием в этом отходе производства минеральных азотных удобрений до 1,5% общего азота, из которых 23% приходится на аммиачный. Это количество аммиака ускоряет изменение рН почвенного раствора на первых этапах исследования. Затем скорость разложения мочевины уменьшается и через 7 часов становится аналогичной варианту с дефекаатом.

Таким образом, широкое внедрение интенсивных технологий в сельскохозяйственное производство вызвало перестройку экологической обстановки, что, в свою очередь,

отразилось и на биологической активности самой почвы, которая определяется содержанием в ней органического вещества, ходом ферментативных процессов и уровнем токсичности. В основе принципа биологической диагностики почв лежит представление о том, что почва как среда обитания составляет единую систему с населяющими ее популяциями различных организмов. В зависимости от сочетания природных факторов, определяющих почвообразовательный процесс, разные почвы различаются по составу биоты, направленности физиологических и биохимических превращений и содержанию тех химических веществ, которые являются продуктами превращения.

Проведенные исследования показали, что экологический аспект изучения состояния почвенно-биотического комплекса черноземных почв является наиболее важным, так как он позволяет в ходе сопряженного изучения абиотических и биотических факторов установить ход почвенных процессов и прогнозировать их влияние на урожайность возделываемых культур и качество продукции.

Мониторинг физико-химического и биологического состояния чернозема выщелоченного агроэкосистемы подтвердил ведущую роль антропогенного воздействия, которое нарушило естественный баланс поступления и выноса основных биофильных элементов и ухудшение условий жизнеобеспечения возделываемых культур. Из вариантов опыта наиболее близкие к естественным условия сложились при внесении дефеката и карбоната кальция по органическому фону, что показывает ведущую роль кальция в сохранении уровня плодородия этих почв.

Установлено, что показатели, характеризующие состояние почвенной биоты и биологическую активность чернозема выщелоченного, можно использовать для контроля за теми изменениями в почвах, которые происходят при включении в них различного рода посторонних веществ, чаще всего антропогенного происхождения, содержащихся в различных агрохимикатах, в том числе и в мелиорантах.

Список литературы

1. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО ; под ред. А.П. Щербакова, И.И. Васенева. – Курск, 1996. – 326 с.
2. Агроэкология ; под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. – Москва : Колос, 2000. – 536 с.
3. Васенев И.И. Методика агроэкологической типизации земель в агроландшафте / И.И. Васенев. – Москва : КолосС, 2004. – 76 с.
4. Звягинцев Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – Москва : Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
5. Кольцова О.М. Влияние кальциевых мелиорантов и удобрений на ферментативную активность, активность ионов кальция и водорода выщелоченного чернозема лесостепи Воронежской области / О.М. Кольцова : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / О.М. Кольцова. – Воронеж, 1996. – 25 с.
6. Кольцова О.М. Индикация гумусового состояния выщелоченных черноземов методом ферментативных реакций / О.М. Кольцова, А.В. Кочетков, К.Е. Стекольников // Русский Чернозем. – Воронеж, 2007. – С. 238-243.
7. Кольцова О.М. Экологическая оптимизация использования черноземов выщелоченных типичной лесостепи / О.М. Кольцова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2010. – Вып. 2 (25). – С. 7-11.
8. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / В.Г. Минеев. – Москва : Изд-во МГУ, 1997. – 285 с.
9. Минеев В.Г. Биотест для определения экологических последствий применения химических средств защиты растений / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремле, Л.П. Воронина // Доклады ВАСХНИЛ. – 1991. – № 7. – С. 16-20.
10. Стекольников К.Е. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на гумусное состояние чернозема выщелоченного / К.Е. Стекольников, И.С. Горб, О.М. Кольцова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – Вып. 1 (36). – С. 13-17.
11. Шильников И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедев. – Москва : Агропромиздат, 1987. – 171 с.
12. Шишкин А.Ф. Новые известковые удобрения: эффективность и безопасность применения / А.Ф. Шишкин. – Воронеж : ВГАУ, 2001. – 316 с.
13. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2008/06/07/ukaz-dok.html> (дата обращения: 16.09.2015).
14. Федеральный закон Российской Федерации от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12112084/> (дата обращения: 16.09.2015).
15. Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12125350/#help> (дата обращения: 16.09.2015).