

СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВЕННО-БИОТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АГРОЭКОСИСТЕМ

И.С. Корчагин, О.М. Кольцова

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Россия, e-mail: olga.koltsova.52@mail.ru

***Аннотация.** В работе приводятся результаты изучения изменения гумусного состояния чернозема выщелоченного в результате многолетнего использования органических, минеральных удобрений и мелиоранта. Установлено снижение его содержания при систематическом использовании физиологически кислых минеральных удобрений с 4,15 до 3,92%. Стабилизировать эту ситуацию удастся при внесении кальциевого мелиоранта, где его содержание увеличивается с 4,04 до 4,49%.*

***Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, органические удобрения, минеральные удобрения, дефекат, содержание гумуса.*

Введение. В современных условиях высоких антропогенных нагрузок на окружающую среду важное значение приобретает сохранение системой устойчивости к этим нагрузкам. В общем смысле устойчивость системы, в том числе и экологической системы, это способность не изменяться под внешними нагрузками и быстро восстанавливаться после их снятия [1]. Особое значение это качество приобретает в агроэкосистемах, испытывающих постоянные нагрузки в ходе сельскохозяйственного производства. Отказаться от такого воздействия человек не может, так как это основной источник пищевых и сырьевых ресурсов. Поэтому оценка любой деятельности, в том числе и сельскохозяйственной, на устойчивость экосистем абсолютно необходима [2].

Почва в любой экосистеме выполняет огромное количество функций, в том числе и экологических, которые направлены на сохранение и воспроизведение биологических ресурсов. Такие ресурсы представлены как почвенными организмами, так и напочвенными. Важнейшим из биоресурсов считается органическое вещество или проще – гумус. Воспроизводство почвенного плодородия без поступления органической напочвенной массы невозможно. В природных экосистемах это поступление носит постоянный характер, тогда как в сельскохозяйственных, зависит от агроприема и остаточной массы растений после уборки возделываемой культуры. Все это оказывает влияние на формирование физико-химического фона агроэкосистемы и, в конечном счете, воспроизводительной способности агроэкосистемы. Наблюдающееся в последнее время устойчивое подкисление почвенного раствора пахотных земель привело к изменению их биоресурсного потенциала, его способности утилизировать органические остатки, переводя их в доступные для растений минеральные элементы питания. Это же свойство наоборот увеличило подвижность и доступность радионуклидов и тяжелых металлов, что отрицательно сказывается на качестве продукции. Как один из ведущих агроприемов здесь рекомендуется химическая мелиорация кальцийсодержащими веществами различной природы [3].

Материалы и методы. Наши исследования проводятся в условиях стационарного опыта УНТЦ «Агротехнология» в пятнадцати вариантах опыта с применением различных агрохимикатов. Нами выбраны 4 варианта; контроль, контроль органический фон – 40 т/га навоза в черный пар, орг. фон + NPK по 60 кг д.в. на га пашни, орг. фон + дефекат по полуторной гидролитической кислотности. Почва – чернозем выщелоченный среднемошный малогумусный тяжелосуглинистый. Севооборот со следующим чередованием культур: черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла – вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень.

Территория, на которой располагается стационарный опыт по изучению влияния удобрений и мелиорантов на плодородие чернозема выщелоченного и урожайность возделываемых культур использовалась и ранее для этих целей, с момента образования Воронежского СХИ в 1912 г., как основа опытных агрономических исследований.

Результаты и их обсуждение. Интенсификация сельскохозяйственного производства привела к тому, что большинство почв пахотных угодий теряют гумус, причем этот процесс носит прогрессирующий характер. Причем такие потери могут достигать в пахотном горизонте до 25%. Установлено, что с течением времени в ходе интенсивного сельскохозяйственного использования чернозема выщелоченного, содержание гумуса неуклонно снижается. Так по данным К.Д. Глинки в 1921 г. содержание гумуса в слое 0-15 см составляло 7,23-8,79% (т.е. в среднем 8,01%), а в 1954 г. по результатам исследований М.С. Цыганова оно уже составляло только 5,52-6,38% (в среднем 5,92%). При закладке опыта в 1987 г. эта величина снизилась до 3,80-4,22% (в среднем 4,01%) [4]. Как видно из этих данных изучаемый чернозем выщелоченный перешел из группы среднегумусных в группу малогумусных и его потери составили около 4%. Напротив, был установлен значительный рост кислотности, $pH_{\text{сол.}}$ снижается с 6,2 (почвы близкие к нейтральным) до 5,0-4,8 (почвы среднекислые), увеличивается и плотность пахотного слоя 1,14 до 1,26 г/см³.

В ходе проведения стационарного опыта на различных его вариантах были выявлены значительные изменения качества изучаемого чернозема. Это относится к изменениям кислотности (таблица 1) и содержанию гумуса (таблица 2), в которых мы приводим усредненные данные за весь период исследований.

Таблица 1. Изменение физико-химических свойств чернозема выщелоченного (слой 0-20 см)

Варианты опыта	$pH_{\text{сол.}}$	H_{Γ}	S	V, %
		мг-экв/100 г почвы		
Контроль	5,2	5,0	27	85
Контроль – органический фон	5,6	4,3	30	87
Фон + NPK	4,9	6,8	25	80
Фон + дефекат	6,3	2,5	33	93

Как видно из данных таблицы 1 при внесении только 40 т/га навоза $pH_{\text{сол.}}$ увеличивается с 5,2 до 5,6, а при совместном внесении органо-минеральных удобрений наблюдается дальнейшее подкисление среды – до 4,9. Применение дефеката позволило повысить эту величину до 6,3 (такой показатель удается удерживать за все время опыта, хотя, как говорилось выше, от внесения один раз в ротацию перешли к внесению один раз в две ротации), на этом варианте процесс декарбонизации сменяется процессом насыщения почвенно-поглощающего комплекса кальцием.

Таблица 2. Изменение содержания гумуса в черноземе выщелоченном (слой 0-20 см)

Варианты опыта	Содержание гумуса, %	
	1987 г.	среднее за время исследований
Контроль	3,83	3,74
Контроль – органический фон	4,03	4,15
Фон + NPK	4,10	3,92
Фон + дефекат	4,04	4,49
HCP, %	0,28	0,22

Представленные в таблице 2 данные показывают, что варианты опыта неоднозначно повлияли на содержание гумуса в ходе продолжительных исследований. Так, внесение только навоза несколько повысило содержание гумуса – на 0,12%, что не превышает ошибку опыта. Напротив, совместное применение органо-минеральных удобрений снизило эту величину на 0,18%. Только дефекатированный вариант показал значимое увеличение

содержания гумуса – на 0,45%. Сравнивая эти данные с изменением кислотности по вариантам опыта, мы четко можем проследить связь этих двух показателей. То есть снижение кислотности при внесении мелиоранта позволило увеличить содержание гумуса и наоборот, дальнейшее подкисление почвенного раствора, снижает его содержание. Это можно объяснить, образованием на мелиорированном варианте большего количества мало лабильных гуминовых кислот связанных с кальцием, тогда как в кислой среде доминируют высоко лабильные фульвокислоты. Установлено, что процесс мелиорации позволяет усилиться процессу гумификации органического вещества в противовес его активной минерализации. По содержанию гумуса варианты опыта образуют следующий ряд: орг. фон + дефекат > орг. фон. > орг. фон + NPK > контроль.

Показатели состояния почвенно-поглощающего комплекса (кислотность, сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями), приведенные в таблице 1 четко показывают, что он значительно недонасыщен кальцием. Поэтому прием химической мелиорации кальцийсодержащими веществами является необходимым и первостепенным. В нашем опыте используется хорошо известный мелиорант – дефекат, который является отходом свеклосахарного производства. Его значение, прежде всего, связано с содержанием до 50% кальция и магния, около 30% органического вещества (свекловичный бой и земляная масса, смываемая с корней перед переработкой, а это отчужденный с полей гумус) и элементы минерального питания в доступной для растений форме: общего азота 0,7%, столько же фосфора и калия в пределах 0,2-0,7.

На пашне ярко выражены сезонные колебания изучаемых физико-химических показателей плодородия. Изучение сезонной динамики кислотности показало неоднозначность этого процесса на различных вариантах опыта. На примере гидролитической кислотности нами установлено, что на контроле этот показатель растет от весны к уборке озимой пшеницы: с 4,0 мг-экв/100 г почвы до 6,0, что, по-видимому, связано с некомпенсируемыми потерями его из ППК (вымывание, вынос культурой). Выявлено, что динамика данного показателя на вариантах с комплексным применением удобрений и мелиорированном зависит от этапа органогенеза культуры: рост в середине периода вегетации - от 4,5 до 6,5 мг-экв/100 г почвы на варианте органоминеральных удобрений и с 2,5 до 3,5 на мелиорированном, а затем снижение к осени до 4,9 и 2,3, соответственно варианту опыта. Это конечно связано с выносом элемента с урожаем и последующим его возвратом благодаря пульсирующему характеру увлажнения, подъемом в пахотный горизонт из ниже лежащих. Это позволяет компенсировать его содержание в пахотном горизонте. Хотя этот процесс менее резок на дефекатированном варианте.

Таким образом, изменение физико-химических показателей ППК чернозема выщелоченного показало, что нарушение кислотного режима связано именно с сельскохозяйственной деятельностью. Это приводит к нарушению баланса одно- и двухвалентных катионов ППК и ухудшению остальных показателей плодородия. Именно изменение кислотности приводит к снижению и содержания гумуса. Если на целине оно растет от 3,96% до 4,76, то при длительном, постоянном внесении минеральных удобрений этот показатель снижается до 4,0 %. Применение органических удобрений как в чистом виде (органический контроль), так и совместно с дефекатом позволило не только стабилизировать эту ситуацию, но и привело к повышению содержания гумуса. Для последствия характерно изменение кислотности в сторону подкисления почвенного раствора на варианте с навозом, что сблизило его с контролем. На варианте с дефекатом это значение сохраняется в благоприятном режиме, что показывает хорошее последствие мелиорации на органическом фоне.

С точки зрения устойчивости ППК почвы гумус выполняет огромное количество функций для ее сохранения. Связи между функциями сложны и многообразны, они взаимодополняют друг друга, давая очень сложную систему.

Работы таких ученых как Мязин Н.Г., Лукин Л.Ю., Стекольников К.Е. и Кольцова О.М. проводящих исследования с момента закладки стационарного опыта подтверждают

важную роль кислотности и содержания гумуса для поддержания устойчивости ПБК агроэкосистемы чернозема выщелоченного [5].

Анализ полученных в ходе исследований данных дает основание говорить о том, что длительное использование кислых минеральных удобрений, незначительное использование органических привело к резкому повышению кислотности пахотного чернозема выщелоченного. Для таких почв и так характерен вынос, выщелачивание кальция за пределы пахотного слоя, а подкисление почвенного раствора усилило этот процесс. Фактически, по выражению Орлова, данный подтип черноземных почв характеризуется тем минимумом органического вещества, который еще позволяет отнести его именно к черноземным почвам. Поэтому необходима стабилизация изменения этого показателя в сторону улучшения, иначе процесс деградации может принять необратимый характер [6].

Внесение физиологически кислых минеральных удобрений приводит к трансформации его организационного состава. Это выражается в снижении содержания фракций, связанных с кальцием - это результат снижения рН и уменьшение степени насыщенности основаниями. В наших исследованиях установлено, что единственным вариантом, на котором содержание гумуса увеличивается по сравнению с исходным – это вариант внесения дефеката на органическом фоне в 1987 году его содержание было 4,04%, в 2006 – 4,49 и в 2019 году составило 4,52%, что превышает ошибку опыта на 0,30 %. Под озимой пшеницей на четвертый год последствия эти величины снижаются до 4,38 и 4,32 % по годам исследований соответственно, но остаются выше ошибки опыта. Такое снижение можно связать и со «сработанностью» дефеката и навоза к четвертому году последствия, и более высокими урожаями культур на этом варианте.

Кальций мелиоранта позволяет закрепиться свежим органическим веществам в виде гуматов, которые труднорастворимы в воде и не выносятся за пределы корнеобитаемого слоя, повышая уровень плодородия, 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 сформирована наибольшая биомасса возделываемых культур. То есть растения, активно потребляют свежее органическое вещество, переработанное микробоценозом, используя эти элементы для построения собственной биомассы. В сентябре, напротив, 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 озимой пшеницы, 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.

Таким образом, интенсивное ведение сельскохозяйственного производства на черноземе выщелоченном с недонасыщенным кальцием ППК привело к резкому ухудшению его состояния: подкисление почвенного раствора до среднекислой реакции, снижению содержания гумуса до малогумусного и повышению плотности пахотного горизонта. Все эти показатели повлияли на величину балла бонитета и показателя почвенного плодородия, т.е. экономической эффективности производства.

Так с 1921 г. в условиях опыта балл бонитетаснижается с 92 до 50-53 и только при стабилизации кислотности на варианте с дефекатом ситуация улучшается и балл возрастает до 61.

Стационарные исследования показывают, что правильное использование современных агротехнологий позволяет улучшить почвы, подвергшиеся значительному ухудшению и снижению плодородия. Одним из приемов должен стать метод химической мелиорации кальций содержащими веществами, что улучшает режим питания растений и повышает содержание гумуса за счет образования малоподвижных гуминовых кислот. Это

позволяет стабилизировать ухудшение состояния пахотных черноземов выщелоченных и увеличить их эффективное плодородие.

Конечно, результирующим показателем сельскохозяйственного производства является урожайность возделываемых культур. В таблице 3 мы приводим данные по озимой пшенице, возделываемой как по черному пару, так и по вико-овсяной смеси, т.е. последствие навоза и дефеката составляют 4 года. Минеральные удобрения под озимую пшеницу, возделываемую по вико-овсу не вносятся.

Полученные в 2020 и 2022 гг. урожайные данные по озимой пшенице показывают высокую эффективность применения дефеката как по органическому фону, так и совместно с минеральными удобрениями. Результаты вполне сравнимы с вариантом органический фон + НРК по 60 кг д.в., где разница лежит в интервале ошибки опыта. Четвертый год последствия показывает снижение урожайности, что можно объяснить использованием элементов минерального питания, как удобрений, так и дефеката.

Таблица 3. Урожайность озимой пшеницы по вариантам опыта (ц/га)

Варианты опыта	2020 г.		2022 г.	
	черный пар	вико-овес	черный пар	вико-овес
Контроль без удобрений	30,8	28,5	40,2	40,1
Контроль органический фон	32,3	31,8	50,8	45,0
Орг. фон + НРК по 60 кг д.в.	41,1	36,5	61,7	53,2
Орг. фон + дефекат	39,0	36,3	60,8	51,2
НРК по 60 кг д.в. + дефекат	38,5	30,7	63,4	50,3
НСР ₀₉₅ , ц/га	5,5		6,4	

Заключение. Таким образом, решение проблемы сохранения устойчивости ПБК агроэкосистемы лежит в комплексном использовании различных современных агроприемов, среди которых одно из первых мест должно быть отведено применению кальцийсодержащих веществ на почвах с различной степенью кислотности. Именно последнее будет влиять на дозу вносимого мелиоранта, сроки и очередность внесения. Решение проблемы сохранения устойчивости ПБК агроэкосистемы лежит в комплексном использовании различных современных агроприемов, среди которых одно из первых мест должно быть отведено применению кальцийсодержащих веществ на почвах с различной степенью кислотности. Именно последнее будет влиять на дозу вносимого мелиоранта, сроки и очередность внесения.

Библиографический список

1. Одум Ю. Экология: в 2-х т. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – Т.2. – 376 с. 48.
2. Дьяконов К.Н. Экологическое проектирование и экспертиза / К.Н. Дьяконов, А.В. Дончева. – М.: Аспект Пресс, 2005. 384 с.
3. Шильников И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедев. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171 с.65.
4. Кольцова О.М. Индикация гумусового состояния выщелоченных черноземов методом ферментативных реакций / О.М. Кольцова, В.В. Кочетков, Е.Г. Соколова // Русский Чернозем. – Воронеж: Изд-во ВГАУ, 2007. С. 238-243.
5. Мязин Н.Г. Агроэкологическое обоснование интенсивного применения агрохимических средств в севооборотах ЦЧЗ: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.04/ Н.Г. Мязин. Воронеж, 1994. 44 с.
6. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.