

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)

**Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н. Масютенко,
А. В. Кузнецов, Г. М. Брескина**

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ,
ЗДОРОВЬЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕРНОЗЁМОВ**



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»
(ФГБНУ «Курский ФАНЦ»)



**Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н. Масютенко,
А. В. Кузнецов, Г. М. Брескина**

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ
ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ
НА ПЛОДОРОДИЕ, ЗДОРОВЬЕ И
УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ**

Курск – 2024

УДК 631.5:631.445.4
ББК 41.4
М 31

Масютенко Нина Петровна

Методика проведения комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов [Текст] : брошюра / Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н., Масютенко, А. В. Кузнецов, Г. М. Брескина. – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 37 с. – ISBN 978-5-6052912-3-7

Представленная методика включает методические подходы, нормативные и справочные материалы, алгоритм проведения дифференцированной и комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов, по их соответствию требованиям рационального использования почв и охраны окружающей среды с учетом погодных условий, а также пример её апробации на трех агротехнологиях.

Методика может быть использована широким кругом специалистов НИУ и ВУЗов сельскохозяйственного назначения, руководителями и специалистами сельскохозяйственных предприятий всех форм собственности.

Область применения – агропочвоведение, земледелие, экология.

Рецензенты:

Пигорев И.Я. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО «Курский государственный аграрный университет им. И.И. Иванова»

Гуреев И.И. – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией севооборотов и адаптивных агротехнологий ФГБНУ «Курский ФАНЦ»

Брошюра рассмотрена и одобрена Ученым советом ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (протокол № 12 от 7 ноября 2024 г.)

Работа выполнена в соответствии с темой государственного задания № FGUW-2022-0001 ФГБНУ «Курский ФАНЦ» на 2022-2025 гг.

© Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н. Масютенко,
А. В. Кузнецов, Г. М. Брескина, 2024

© Курский федеральный аграрный научный центр, 2024

ISBN 978-5-6052912-3-7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Методические подходы.....	6
2. Нормативные и справочные материалы для проведения оценки.....	9
3. Алгоритм проведения дифференцированной и комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов	15
4. Пример апробации методики.....	23
Заключение.....	36
Список литературы.....	37

ВВЕДЕНИЕ

Нерациональное сельскохозяйственное использование почв с недостаточным поступлением в них органических удобрений, интенсификацией технологий возделывания сельскохозяйственных культур, с частыми механическими обработками почвы, использованием пестицидов, расширением возделывания пропашных культур и снижением многолетних трав приводит к снижению их плодородия и качества, развитию эрозионных и других деградиционных процессов, снижению продуктивности [1]. Самыми распространенными основными видами деградации почв в Центрально-Чернозёмном районе являются подкисление, дегумификация, обесструктурирование и водная эрозия.

В связи с постоянным возрастанием антропогенного пресса на почвы, вызванного ведением сельскохозяйственных работ, остро стоит вопрос оценки их состояния. Проблема оценки земель из-за своей сложности отличается большим разнообразием подходов и методов. В. И. Кирюшин [2] указывает, что в современном природопользовании оценка земель приобретает все более дифференцированный характер. Как отмечают А. Г. Коновалов и др. [3], все большее распространение среди подходов к нормированию качества почв получает экосистемный подход, который основан на гипотезе, что нормальным может быть лишь такое состояние экосистем, при котором они сохраняют свою целостность и замкнутость круговорота веществ. В качестве показателей устойчивости экосистемы предложено использовать: баланс гумуса в почве, показатели сохранности вертикальной и горизонтальной структуры фитоценоза, показатели продуктивности и плодородия почв (замкнутость биогеохимических циклов основных элементов биогенов и др.) [4].

В настоящее время важное внимание в научной литературе уделяют комплексной оценке сельскохозяйственных земель, современным подходам к экологическому нормированию качества почв, включая экологический мониторинг состояния почв, значению химических, физических и

биологических показателей в оценке качества почвы [2-8]. Разрабатывая подходы к оценке экологического состояния почв, в последнее время, ученые всё больше ориентируются на методы, основанные на диагностировании изменений биотических и абиотических компонентов почв. Отмечено, что в России комплексные исследования с использованием биоиндикационных показателей, в частности, почвы в агроэкосистемах, пока не приобрели системный вид, а имеющиеся исследования носят фрагментарный характер.

В этих условиях очень важно контролировать воздействие применяемых агротехнологий на изменение плодородия, здоровья и устойчивости почвы.

В данной работе представлены методические подходы, методика комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов типичных и выщелоченных с учетом погодных условий и её апробация.

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Для разработки методики комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв нами предложены следующие принципы методического подхода:

1. В настоящее время в почвах сокращается содержание углерода гумуса, снижается качество почвенного органического вещества, ухудшаются структурно-агрегатное состояние, агрофизические, биологические и агрохимические свойства, здоровье и устойчивость почвы [1, 5-7]. В связи с продолжающейся деградацией почв в последние годы вопросы оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв к агрогенным воздействиям стали актуальны, особенно в условиях происходящих и ожидаемых изменений климата.

2. Для оценки плодородия пахотных почв предложены наиболее значимые их свойства, тесно связанные с урожайностью сельскохозяйственных культур, это: содержание органического углерода, подвижных гумусовых веществ, их качество (Спгк/Спфк), микробиологические показатели (количество МПА, КАА, микромицеты), скорость разложения растительных остатков, содержание щелочно-гидролизуемого азота, содержание подвижного фосфора, подвижного калия, обменного кальция, pH_{H_2O} , pH_{KCl} , количество агрономически ценных агрегатов, сумма водопрочных агрегатов.

3. В связи с деградацией снижается здоровье почв. Здоровье почвы (*soil health*) по Doran et al. (1996) – это ее способность неопределенно долго функционировать в качестве компонента наземной экосистемы, обеспечивая ее биопродуктивность и поддерживая качество воды и воздуха, а также здоровье растений, животных и человека [8]. Именно совокупность биологических, физических, физико-химических и агрохимических свойств почвы обуславливает супрессивность почв – способность почвы ограничивать выживаемость и паразитическую активность почвенных фитопатогенов и

других вредных организмов [9, 10].

Для оценки здоровья пахотных почв предложены наиболее значимые их свойства, определяющие плодородие и качество почвы, её супрессивность, тесно связанные с урожайностью сельскохозяйственных культур, влияющие на живых обитателей почвы (почвенный микробиоценоз и мезофауна), это: содержание и баланс гумуса; содержание микробной биомассы; углерода негумифицированного органического вещества почвы, в % от органического углерода почвы; токсичность почвы.

4. Для оценки устойчивости пахотных почв к агрогенным воздействиям предложены наиболее значимые свойства и показатели, её определяющие и тесно связанные с урожайностью сельскохозяйственных растений, это: изменение содержания органического углерода в почве во времени, показатель устойчивости органического вещества в почве, урожайность сельскохозяйственных культур.

5. Предлагается проведение комплексной и дифференцированной оценки.

При этом дифференцированная оценка будет проводиться отдельно по уровню изменения во времени показателей:

- плодородия почвы,
- здоровья почвы,
- устойчивости почвы устойчивость почвы к агрогенным воздействиям.

Комплексная оценка будет проводиться по уровню изменения во времени всех показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям.

6. При оценке воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв необходимо учитывать погодные условия года и их отличие от среднегодовых значений. Очень информативным показателем является гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову (ГТК). Предлагается учитывать погодные условия года и периода исследований по гидротермическому коэффициенту, его отличию от

среднемноголетних значений, а также степени варьирования по месяцам.

7. Комплексная оценка воздействия агробiotехнологий должна учитывать краткосрочные и долгосрочные последствия их применения.

8. Оценка агротехнологий должна проводиться не ранее, чем через три-четыре года после их воздействия или после окончания ротации севооборота.

2. НОРМАТИВНЫЕ И СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ

Для проведения дифференцированной и комплексной оценки агротехнологий по изменению плодородия почв представлены частные критерии оценки для 13 показателей (табл. 1). Выделены 4 уровня изменения показателей плодородия почвы по отношению к контролю или к начальному состоянию:

- первый – уменьшение,
- второй – сохранение на прежнем уровне,
- третий – значимое увеличение ($> НСР_{05}$),
- четвертый – высокое значимое увеличение ($\geq 1,3 \cdot НСР_{05}$).

Для рН водного и солевого выявлены специфические частные критерии оценки, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частные критерии оценки изменения показателей почвенного плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур

№ п/п	Показатель	Уровень изменения показателя (по отношению к контролю или к начальному состоянию)			
		1	2	3	4
1	Содержание органического углерода	Уменьшение	Сохранение на прежнем уровне	Значимое увеличение $>НСР_{05}$	Высокое значимое увеличение $\geq 1,3 \cdot НСР_{05}$
2	Содержание подвижных гумусовых веществ				
3	Качество подвижных гумусовых веществ (Спгк/Спфк)				
4	Микробиологические показатели (МПА, КАА, микромицеты)				
5	Скорость разложения растительных остатков				
6	Содержание щелочногидролизуемого азота				
7	Содержание подвижного фосфора				
8	Содержание подвижного калия				
9	Содержание обменного кальция				
10	Количество агрономически ценных агрегатов				
11	Сумма водопрочных агрегатов				
12	рН _{Н2О}	Уменьшение в сторону подкисления	Сохранение на прежнем уровне	Увеличение в сторону подщелачивания	Значимое увеличение $>НСР_{05}$ в сторону подщелачивания
13	рН _{КСl}				

НСР₀₅ – наименьшая существенная разница при $\lambda=0,05$ [11]

Для проведения дифференцированной и комплексной оценки агротехнологий по состоянию здоровья почвы представлены частные критерии оценки для 5 показателей: содержание гумуса; микробной биомассы; баланса гумуса; содержание углерода негумифицированного органического вещества почвы, в % от органического углерода почвы; токсичность почвы.

Оценку уровня здоровья почв по содержанию гумуса в пахотном слое (табл. 2) проводят на основе шкалы оценки пахотных почв Российской Федерации, предложенной Б. М. Когутом [12], выделены четыре уровня состояния здоровья почвы.

Таблица 2 – Оценка уровня здоровья почв по содержанию гумуса в пахотном слое почв ЦЧЗ

Почва	Гранулометрический состав*	Уровень состояния здоровья почвы			
		1	2	3	4
		Нездоровая почва	Ограниченно здоровая почва	Здоровая почва	
		Содержание гумуса в почве			
		меньше минимального содержания	слабогумусированные	среднегумусированные	сильногумусированные
Черноземы типичные и выщелоченные	А	< 3,5	3,5-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	В	< 4,3	4,0-4,5	4,5-5,5	> 5,5
	С	< 4,5	4,5-5,5	5,5-6,5	> 6,5
Черноземы оподзоленные	А	< 2,5	2,5-3,5	3,5-4,5	> 4,5
	В	< 3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	> 5,0
	С	< 4,0	4,0-5,0	4,0-6,0	> 6,0

Примечание – А – песчаные, супесчаные; В – легко- и среднесуглинистые; С – тяжелосуглинистые, глинистые; I – песчаные, супесчаные, легкосуглинистые; II – среднесуглинистые, тяжелосуглинистые, глинистые.

Шкала для оценки уровня здоровья почвы по балансу гумуса, по содержанию микробной и количеству негумифицированного органического вещества в пахотном слое почвы разработана нами на основе анализа большого массива экспериментальных данных и представлена в таблице 3.

Баланс гумуса (БГ) определяют расчетным методом по формуле 1 [1]:

$$\text{БГ (т/га)} = \Gamma_{\text{к}} \times d_{\text{к}} \times h - \Gamma_{\text{н}} \times d_{\text{н}} \times h, \quad (1)$$

где $\Gamma_{\text{н}}$ – начальное содержание гумуса в слое почвы h , %;

$\Gamma_{\text{к}}$ – конечное содержание гумуса в слое почвы h , %;

$d_{\text{н}}$ – начальная плотность слоя почвы h , т/м³;

$d_{\text{к}}$ – конечная плотность слоя почвы h , т/м³;

h – слой почвы, см.

Таблица 3 – Оценка уровня здоровья почв по балансу гумуса, содержанию микробной биомассы, количеству негумифицированного органического вещества, фитотоксичности почвы в пахотном слое

Показатели	Нездоровая почва	Ограниченно здоровая почва	Здоровая почва	
	1 уровень	2 уровень	3 уровень	4 уровень
Баланс гумуса (БГ), т/га	дефицитный, < - 0,5	слабодефицитный, -0,5-0	бездефицитный, 0	положительный, >0
Содержание микробной биомассы (по отношению к контролю или к начальному состоянию)	Уменьшение	Сохранение на прежнем уровне	Значимое увеличение >НСР ₀₅	Высокое значимое увеличение $\geq 1,3 \cdot \text{НСР}_{05}$
Содержание углерода НВ, в % от Сорг почвы	<1,0	1,0-5,0	>5,0-7,0	>7,0
Индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ)	<0,50	0,50-0,90	0,91-1,10	>1,10

Примечание – НВ – негумифицированное органическое вещество почвы.

По индексу токсичности оцениваемого фактора (ИТФ) используется имеющаяся шкала оценки (табл. 4).

Таблица 4 – Шкала токсичности почв [12]

Класс токсичности	Величина индекса токсичности оцениваемого фактора (ИТФ)
VI – стимуляция	> 1,10
V – норма	0,91-1,10
IV – низкая	0,71-0,90
III – средняя	0,50-0,70
II – высокая	< 0,50

Для проведения дифференцированной и комплексной оценки агротехнологий по устойчивости пахотных почв к агрогенным воздействиям представлены частные критерии оценки для 3 показателей: изменение содержания органического углерода в почве во времени, показатель устойчивости органического вещества в почве, урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 5).

Выделены 4 уровня изменения содержания органического углерода в почве во времени по отношению к начальному состоянию: 1 – уменьшение; 2 – сохранение на прежнем уровне; 3 – значимое увеличение ($> \text{НСР}_{05}$); 4 – высокое значимое увеличение ($\geq 1,3 \cdot \text{НСР}_{05}$).

Ранжирование показателя устойчивости органического вещества в почве проведено с использованием авторской оригинальной шкалы оценки [1, С. 36-51]. По урожайности сельскохозяйственных культур выделены *уровень 1* по её уменьшению по отношению к контролю; *уровень 2* – такая же как на контроле; *уровень 3* – значимо выше, чем в контроле ($> \text{НСР}_{05}$); *уровень 4* – высокое значимое увеличение по сравнению с контролем ($У \geq 1,2 \cdot У_{\text{к}}$).

Таблица 5 – Частные критерии оценки изменения показателей устойчивости почвы к агрогенным воздействиям

Показатель	Уровни			
	1	2	3	4
1. Изменение содержания органического углерода в почве во времени	Уменьшение	Сохранение на прежнем уровне	Значимое увеличение $> \text{НСР}_{05}$	Высокое значимое увеличение $\geq 1,3 \cdot \text{НСР}_{05}$
2. Показатель устойчивости органического вещества в почве	$< 60\%$ слабая	61-90 % средняя	91-110 % оптимальная	$> 110\%$ высокая
3. Урожайность сельскохозяйственных культур (У) по годам	Уменьшение по отношению к контролю	Такая же как на контроле	Значимо выше, чем на контроле $> \text{НСР}_{05}$	Высокое значимое увеличение по сравнению с контролем $У \geq 1,2 \cdot У_{\text{к}}$

Примечание – $У_{\text{к}}$ – урожайность в контрольном варианте.

На большом массиве данных разработана шкала и выделены четыре уровня оценки (неудовлетворительная, удовлетворительная, хорошая, отличная) воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв на основе анализа всех частных показателей (табл. 6). Эту шкалу используют для проведения комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов.

Таблица 6 – Шкала оценки агротехнологий по комплексному показателю

Комплексный показатель, %	Оценка	Характеристика
< 9	Неудовлетворительная	Большинство показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы осталось на прежнем уровне, но было и ухудшение некоторых показателей.
9-14	Удовлетворительная	Большинство показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы осталось на прежнем уровне и не было ухудшения некоторых показателей.
14-19	Хорошая	Большинство показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы соответствовали третьему уровню, значимо увеличились ($> НСР_{05}$).
>19	Отличная	Больше 60 % показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы соответствовали третьему и четвертому уровню, значимое ($> НСР_{05}$) и высокое значимое увеличение ($> 1,3 НСР_{05}$), а по урожайности сельскохозяйственных культур (У), соответственно, значимое увеличение по сравнению с контролем ($> НСР_{05}$) или высокое значимое увеличение по сравнению с контролем ($У \geq 1,2 \cdot У_k$).

При оценке воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв предлагается учитывать погодные условия года по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Г. Т. Селянинова, его отклонению от среднеголетних, варьирование ГТК по месяцам.

Для этого разработаны шкала оценки отличия гидротермических условий года от среднеголетних (табл. 7) и шкала оценки неустойчивости гидротермических условий по месяцам (табл. 8).

Таблица 7 – Шкала оценки отклонения гидротермических условий года от среднеемноголетних

Отклонение (\pm) ГТК года от среднеемноголетнего ГТК, %	Оценка отклонения
< 10	низкое
10-20	среднее
20-30	выше среднего
30-40	высокое
>40	очень высокое

Таблица 8 – Шкала оценки неустойчивости гидротермических условий по месяцам

Коэффициент варьирования ГТК по месяцам, %	Оценка неустойчивости гидротермических условий
< 30	низкая
30-60	средняя
60-90	выше среднего
90-120	высокая
>120	очень высокая

Для оценки условий увлажнения предлагается общеизвестная шкала (табл. 9):

Таблица 9 – Шкала оценки степени увлажнения по гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова

Гидротермический коэффициент (ГТК)	Оценка увлажнения
>1,3	избыточное увлажнение
1,0-1,3	обеспеченное или оптимальное увлажнение
0,7-1,0	недостаточное увлажнение, слабая засуха
0,6-0,7	недостаточное увлажнение, средняя засуха
0,5-0,6	недостаточное увлажнение, сильная засуха
< 0,5	слабое увлажнение, сверхсильная засуха

3. АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ И КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ, ЗДОРОВЬЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ

1. На первом этапе необходимо выписать в ниже приведенные формы по каждой оцениваемой агротехнологии изменение показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям в пахотном слое за 20__-20__ гг., определить уровень (1, 2, 3 или 4) изменения показателя (по отношению к контролю или к начальному состоянию) по частным критериям и вписать в формы.

Оценка агробиотехнологий должна проводиться не ранее, чем через три-четыре года после их воздействия или после окончания ротации севооборота.

1.1. Значения показателей плодородия почвы записываем в форму 1: конечное значение, начальное значение или как на контроле – и определяем разницу.

Форма 1 – Уровни изменения показателей плодородия почвы за _____ годы

№ п/п	Показатель	Конечное значение	Начальное значение или как на контроле	Разница	Уровень изменения показателя
1	Содержание органического углерода, %				
2	Содержание подвижных гумусовых веществ, мг/кг почвы				
3	Качество подвижных гумусовых веществ				
4	Микробиологические показатели (количество МПА, КАА, микромицеты)				
5	Скорость разложения растительных остатков, сутки ⁻¹				
6	Содержание щелочногидролизуемого азота, мг/кг почвы				
37	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы				
8	Содержание подвижного калия, мг/кг почвы				
9	Содержание обменного кальция, мг·экв /100 г почвы				
10	pH _{H2O}				
11	pH _{KCl}				
12	Сумма агрономически ценных агрегатов, %				
13	Сумма водопрочных агрегатов, %				

По разнице значений на основании частных критериев с использованием таблицы 1 определяем уровень (1, 2, 3 или 4) изменения показателя (по отношению к контролю или к начальному состоянию) и вписываем в форму 1.

1.2. Значения показателей, связанных с состоянием здоровья почвы, записываем в форму 2.

В форме 2 указываем конечное и начальное значение содержания гумуса в пахотном слое почвы. Оценку уровня здоровья почв по содержанию гумуса в пахотном слое проводим по таблице 2 и вносим его в последнюю графу.

По содержанию микробной биомассы в форму 2 указываем её конечное значение, начальное значение или как на контроле, и определяем разницу, по которой на основании частных критериев с использованием таблицы 3 определяем уровень (1, 2, 3 или 4) изменения показателя (по отношению к контролю или к начальному состоянию) и заносим его в последнюю графу.

По величине баланса гумуса в почве, по содержанию углерода негумифицированного органического вещества в почве (в % от органического углерода почвы), индексу токсичности оцениваемого фактора (фитотоксичности почвы) с использованием таблицы 3 определяем уровень здоровья почвы (1, 2, 3 или 4) и вносим в соответствующую графу формы 2.

Форма 2 – Уровни состояния здоровья почвы

№ п/п	Показатель	Конечное значение	Начальное значение или как на контроле	Разница	Уровень здоровья почвы
1	Содержание гумуса, %	+	+		+
2	Содержание микробной биомассы, мг/кг почвы	+	+	+	+
3	Баланс гумуса, т/га			+	+
4	Содержание углерода негумифицированного органического вещества почвы (НВ), в % от органического углерода почвы	+			+
5	Индекс токсичности оцениваемого фактора (ИТФ)	+			+

Примечание – + те графы, которые заполняем

1.3. Значения показателей, связанных с устойчивостью почвы к агрогенным воздействиям, записываем в форму 3.

В форме 3 указываем конечное и начальное значение (или как на контроле) содержания органического углерода в пахотном слое почвы и определяем разницу. По разнице проводим оценку уровня устойчивости почв к агрогенным воздействиям почв по изменению содержания органического углерода в почве на основании частных критериев с использованием таблицы 5 и вносим его в последнюю графу формы 3.

Показатель устойчивости органического вещества в черноземных почвах ЦЧР определяем по формуле 2, записываем в форму 3, на основании частных критериев с использованием таблицы 5 определяем уровень (1, 2, 3 или 4) показателя и заносим его в последнюю графу.

$$\text{УОВ} = \frac{\text{НВ} \times 100}{5,5}, \quad (2)$$

где УОВ – показатель устойчивости органического вещества почвы, %.

НВ – содержание негумифицированного органического вещества в почве, в % от органического вещества почвы,

5,5 – требуемое содержание негумифицированного органического вещества в черноземных почвах ЦЧР, в % от органического вещества,

100 – коэффициент перевода в %.

В форму 5 записываем также значения урожайности сельскохозяйственных культур и значение его на контроле, определяем разницу. По разнице значений на основании частных критериев с использованием таблицы 5 определяем уровень (1, 2, 3 или 4) изменения показателя (по отношению к контролю) и вписываем в последнюю графу формы 3.

Форма 3 – Уровни устойчивости почвы к агрогенным воздействиям

№ п/п	Показатель	Конечное значение	Начальное значение или как на контроле	Разница	Уровень здоровья почвы
1	Изменение содержания органического углерода в почве во времени	+	+	+	+
2	Показатель устойчивости органического вещества в почве	+			+
3	Урожайность сельскохозяйственных культур по сравнению с контролем по годам в среднем	+	+	+	+

Примечание – + те графы, которые заполняем

2. На втором этапе необходимо выписать в нижеприведенную форму 4 по каждой оцениваемой агротехнологии уровни изменения показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям в пахотном слое за 20__-20__ гг. из форм 1, 2, 3.

Форма 4 – Уровни изменения показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям в пахотном слое для оценки агротехнологий по частным критериям за 20__-20__ гг.

№ п/п	Показатель	Агротехнология 1	Агротехнология 2	Агротехнология 3
1	2	3	4	5
По показателям плодородия почвы				
1	Содержание органического углерода			
2	Содержание подвижных гумусовых веществ			
3	Качество подвижных гумусовых веществ			
4	Микробиологические показатели (количество МПА, КАА, микромицеты)			
5	Скорость разложения растительных остатков			
6	Содержание щелочногидролизуемого азота			
7	Содержание подвижного фосфора			
8	Содержание подвижного калия			
9	Содержание обменного кальция			
10	pH _{H2O}			
11	pH _{KCl}			
12	Сумма агрономически ценных агрегатов			
13	Сумма водопрочных агрегатов			
По состоянию здоровья почвы				
1	Содержание гумуса			
2	Содержание микробной биомассы			
3	Баланс гумуса, т/га			

1	2	3	4	5
4	Содержание углерода негумифицированного органического вещества почвы, в % от органического углерода почвы			
5	Токсичность почвы			
По устойчивости почвы к агрогенным воздействиям				
1	Изменение содержания органического углерода в почве во времени			
2	Показатель устойчивости органического вещества в почве			
3	Урожайность сельскохозяйственных культур по годам, в среднем			

3. На третьем этапе необходимо рассчитать комплексные показатели для дифференцированной и комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв

Комплексный показатель оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв предлагается определять по формуле 3:

$$K_{\text{комп}} = 0 \cdot P_1 + 0,1 \cdot P_2 + 0,2 \cdot P_3 + 0,3 \cdot P_4, \quad (3)$$

где

$K_{\text{комп}}$ – комплексный показатель оценки агротехнологий, %;

P_1, P_2, P_3, P_4 – встречаемость уровней изменения показателей, %;

0; 0,1; 0,2; 0,3 – весовые коэффициенты уровней изменения показателей, соответственно, первого, второго, третьего, четвертого.

Встречаемость показателей каждого уровня определяют по формулам:

$$P_1 = (a_1 \cdot 100)/n; \quad (4)$$

$$P_2 = (a_2 \cdot 100)/n; \quad (5)$$

$$P_3 = (a_3 \cdot 100)/n; \quad (6)$$

$$P_4 = (a_4 \cdot 100)/n; \quad (7)$$

где

a_1, a_2, a_3, a_4 – количество показателей, встречающихся в каждом уровне;

n – общее количество показателей;

100 – коэффициент для перевода в %.

Перед проведением расчетов необходимо заполнить форму 5 на основе подсчета данных из формы 4.

Форма 5 – Количество показателей (P_1, P_2, P_3, P_4), встречающихся в каждом уровне изменения показателей плодородия, здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям

Агробиотехнология	Уровни			
	1	2	3	4
По показателям плодородия почвы				
Агротехнология 1				
Агротехнология 2				
Агротехнология 3				
По состоянию здоровья почвы				
Агротехнология 1				
Агротехнология 2				
Агротехнология 3				
По устойчивости почвы к агрогенным воздействиям				
Агротехнология 1				
Агротехнология 2				
Агротехнология 3				
По показателям плодородия, здоровья и устойчивости почвы				
Агротехнология 1				
Агротехнология 2				
Агротехнология 3				

Определяя комплексный показатель, можно проводить дифференцированную оценку агротехнологий по изменению показателей или плодородия почвы ($K_{\text{комп1}}$), или состояния здоровья почвы ($K_{\text{комп2}}$), или по устойчивости почвы ($K_{\text{комп3}}$), а также комплексную оценку агротехнологий по изменению всех изучаемых показателей ($K_{\text{комп}}$). Результаты расчетов представляют в форме 6.

Форма 6 – Дифференцированная и комплексная оценка агротехнологий по комплексному показателю ($K_{\text{комп}}$)

Агротехнологии	Расчет составляющих комплексного показателя				Комплексный показатель, %	Оценка
	1	2	3	4		
Дифференцированная – по показателям плодородия почвы ($K_{\text{комп1}}$)						
Агротехнология 1						
Агротехнология 2						
Агротехнология 3						
Дифференцированная – по состоянию здоровья почвы ($K_{\text{комп2}}$)						
Агротехнология 1						
Агротехнология 2						
Агротехнология 3						
Дифференцированная – по устойчивости почвы к агрогенному воздействию ($K_{\text{комп3}}$)						
Агротехнология 1						
Агротехнология 2						
Агротехнология 3						
Комплексная оценка по всем показателям ($K_{\text{комп}}$)						
Агротехнология 1						
Агротехнология 2						
Агротехнология 3						

Дифференцированную и комплексную оценку агротехнологий по комплексному показателю проводят по разработанной нами Шкале (табл. 6) с выделением четырех уровней оценки (неудовлетворительная, удовлетворительная, хорошая, отличная).

4. На четверном этапе при оценке воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв следует охарактеризовать погодные условия года и периода исследований по гидротермическому коэффициенту Г. Т. Селянинова по годам и его отличие от среднемноголетних значений.

Гидротермический коэффициент (К) по Г. Т. Селянинову рассчитывается по формуле:

$$K=R \times 10 / \sum t, \quad (8)$$

где

R – сумма осадков в миллиметрах за период с температурами выше +10°C,

$\sum t$ – сумма температур в градусах Цельсия (°C) за то же время.

Следует рассчитать гидротермический коэффициент по всем изучаемым годам, в среднем по годам, найти отклонение от среднемноголетнего, рассчитанного на основании среднемноголетних значений по температуре и осадкам (принятым нормам), для оценки неустойчивости гидротермических условий необходимо определить ГТК по месяцам, коэффициент его варьирования. Оценка отличия гидротермических условий года (ГТК) от среднемноголетнего ГТКс и неустойчивости гидротермических условий по месяцам проводится по шкалам, представленной в таблицах 7 и 8. Оценка условий увлажнения проводится по ГТК по таблице 9. Полученные данные вносят в форму 7.

Форма 7 – Оценка отклонения гидротермических условий года от среднемноголетних и неустойчивости их по месяцам

Показатели	Годы				Среднее
	20__	20__	20__	20__	
ГТК					
Отклонение (\pm) ГТК года от среднемноголетнего ГТКс, % (ГТКс=1,1)					
Оценка условий					
Оценка отклонения					
Коэффициент варьирования ГТК по месяцам, %					
Оценка неустойчивости гидротермических условий по месяцам					

4. ПРИМЕР АПРОБАЦИИ МЕТОДИКИ

Задача – провести оценку воздействия агротехнологий в зерновом севообороте на качество, здоровье и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного, дать анализ погодных условий периода исследований. Апробацию методики проводили на трех агротехнологиях:

1. агротехнология – общепринятая для региона с внесением измельченной побочной продукции;
2. агробiotехнология-1, включающая обработку биопрепаратами семян, почвы перед посевом, посевов 2 раза, измельченной побочной продукции после уборки урожая и заделку её в почву;
3. агробiotехнология-2 включает агробiotехнологию-1 + 10 кг д.в. N на 1 т измельченной побочной продукции.

Изменение свойств почвы и урожайности сельскохозяйственных культур под воздействием агротехнологий изучали в 2018-2021 гг. на опытном поле ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Курская область, Курский район, с. Панино) на опыте с биопрепаратами в зерновом севообороте со следующим чередованием культур: ячмень яровой (*Hordeum vulgare L.*) сорта Суздалец – гречиха (*Fagopyrum esculentum L.*) сорта Деметра – кормовые бобы (*Vicia Faba L.*) сорта Стрелецкие – озимая пшеница (*Triticum aestivum L.*) сорта Леонида.

В качестве биопрепаратов использовали микробиологический препарат Грибофит (Г), содержащий споры и мицелий гриба *Trichoderma viride*, а также продуцируемые грибом в процессе производственного культивирования биологически активные вещества (антибиотики, ферменты, витамины, фитогормоны), экологически безопасный, обладающий биофунгицидными, ростостимулирующими и фосфатмобилизирующими свойствами. Вторым был микробиологический препарат Имуназот (И), содержащий ризосферные бактерии *Pseudomonas aureofaciens*, биофунгицид, ростостимулятор, фосфатмобилизатор контактного и системного действия [14]. Семена сельскохозяйственных культур обрабатывали 2 л/т Г + 3 л/т И, почву перед

посевом 3 л/га Г + 2 л/га И, посевы 3 л/га Г + 2 л/га И два раза в течение вегетации, измельченную побочную продукцию после уборки урожая 5 л/га Г + 3 л/га И перед заделкой в почву.

В почвенных образцах, отобранных в слое 0-20 см из 5 точек в 2018 и 2021 гг. осенью через 1,5 месяца после заделки в почву измельченной побочной продукции, определяли: содержание гумуса по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), содержание и состав подвижных гумусовых веществ – в 0,1н вытяжке NaOH из почвы без декальцирования в модификации Почвенного института им. В. В. Докучаева (*Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании и интенсивном окультуривании почв. Составитель – к.с.-х.н. К.В. Дьяконова. М.: ВАСХНИЛ. Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1984. 96 с.*) с предварительным компостированием, содержание углерода микробной биомассы в свежих почвенных образцах – регидратационным методом (Благодатский С. А., Благодатская Е. В., Горбенко А. Ю. и др. *Регидратационный метод определения биомассы микроорганизмов в почве / Почвоведение. 1987. № 4. С. 64-71*), щелочногидролизуемый азот (N_{щг}) – по Корнфилду; рН_{водн.} – потенциометрически, рН_{KCl} – в 1.0 н KCl вытяжке (ГОСТ 26483-85); обменные кальций и магний – по ГОСТ 26487-85, подвижные фосфор и калий – по методу Чирикова (ГОСТ 26204-91); структурно-агрегатный состав – по методу Н. И. Саввинова – сухое и мокрое просеивание (Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. *Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.*); численность микроорганизмов, участвующих в круговороте углерода и азота, методом посева почвенной суспензии на соответствующие питательные среды: аммонифицирующих, использующих органический азот, на мясо-пептонном агаре (МПА), амилолитических, использующих минеральный азот, на крахмало-аммиачном агаре (КАА), микроскопических грибов (микромикетов) – на среде Чапека (Емцев В. Т., Мишустин Е. Н. *Микробиология. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.*); скорость разложения растительных остатков в почве –

по авторскому методу [11]; показатель устойчивости органического вещества в почве по авторскому методу [1]; фитотоксичность почвы – по международному стандарту ISO 11269-2:2012, абсолютным контролем являлись результаты, полученные при использовании дистиллированной воды. В качестве тест-культуры использовали семена редиса посевного (*Raphanus sativus L.*).

Так как первый этап по заполнению форм данными по показателям плодородия, здоровья и устойчивости почвы и выявления их уровня изменения или состояния не сложен, начнем со второго этапа. Для этого выпишем в форму 4а уровни изменения показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы к агрогенным воздействиям в пахотном слое за 2018-2021 гг. из форм 1, 2, 3 по каждой из трёх оцениваемых агротехнологиях.

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий в зерновом севообороте на плодородие черноземных почв были определены уровни изменения за 2018-2021 гг. для 13 наиболее значимых показателей почвенного плодородия.

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий в зерновом севообороте на состояние здоровья почвы были определены уровни состояния показателей для пяти наиболее значимых их свойств, определяющих плодородие и качество почвы, тесно связанных с урожайностью сельскохозяйственных почв, влияющих на живых обитателей почвы (почвенный микробиоценоз и мезофауна).

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий в зерновом севообороте на устойчивость почвы к агрогенным воздействиям были определены уровни состояния для трёх наиболее значимых её свойств и показателей.

Форма 4а – Уровни изменения показателей плодородия, здоровья и устойчивости чернозема типичного слабоэродированного за 2018-2021 гг. в зависимости от агрогенного воздействия в пахотном слое (после оценки агротехнологий по частным критериям)

№ п/п	Показатель	Агро-технология	Агробиотехнология-1	Агробиотехнология-2
По показателям плодородия почвы				
1	Содержание органического углерода	3	4	4
2	Содержание подвижных гумусовых веществ	1	2	2
3	Качество подвижных гумусовых веществ	1	2	4
4	Микробиологические показатели (МПА, КАА, микромицеты)	2	3	3
5	Скорость разложения растительных остатков	1	4	4
6	Содержание щелочногидролизуемого азота	2	3	3
7	Содержание подвижного фосфора	2	3	3
8	Содержание подвижного калия	2	3	3
9	Содержание обменного кальция	2	2	2
10	pH _{H2O}	2	2	2
11	pH _{KCl}	2	2	2
12	Сумма агрономически ценных агрегатов	3	4	4
13	Сумма водопрочных агрегатов	2	3	3
По состоянию здоровья почвы				
1	Содержание гумуса	2	3	3
2	Содержание микробной биомассы	2	3	3
3	Баланс гумуса, т/га	2	3	4
4	Содержание углерода негумифицированного органического вещества почвы, в % от органического углерода почвы	3	4	4
5	Токсичность почвы	2	3-4	3-4
По устойчивости почвы к агрогенным воздействиям				
1	Изменение содержания органического углерода в почве во времени	2	3	4
2	Показатель устойчивости органического вещества в почве	2	2	2
3	Урожайность сельскохозяйственных культур,	по годам	3	4
		2018г.	2	4
		2019г.	2	4
		2020г.	2	4
		2021г.	2	4
в среднем	2	3	4	

Перед проведением дальнейших расчетов необходимо заполнить форму 5а на основе подсчета данных из формы 4а.

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий по показателям плодородия почвы. Для агротехнологии изменение содержания и качества подвижных гумусовых веществ, а также скорости разложения растительных остатков соответствовало первому уровню ($a_1=3$, где a – количество показателей, встречающихся в каждом уровне), т.е. уменьшению. Изменения количества микробиологических показателей (МПА, КАА, микромицеты), щелочногидролизуемого азота, подвижных фосфора и калия, обменного кальция, pH_{H_2O} , pH_{KCl} и сумма водопрочных агрегатов отнесены ко второму уровню ($a_2=8$), т.е. наблюдалось сохранение на прежнем уровне. Степень изменения содержания органического углерода и сумма агрономически ценных агрегатов соответствовала третьему уровню ($a_3=2$) и значимому увеличению показателей $>HCP_{05}$.

При агробιοтехнологии-1 снижение значений показателей ($a_1=0$) не отмечено, т.е. уменьшения не наблюдалось. Пять показателей ($a_2=5$) при сохранении их значений на прежнем уровне отнесены ко второму уровню, это: содержание и качество подвижных гумусовых веществ, содержание обменного кальция, pH_{H_2O} , pH_{KCl} . Степень изменения количества микробиологических показателей (МПА, КАА, микромицеты), содержание щелочногидролизуемого азота, подвижных фосфора и калия, обменного кальция, сумма водопрочных агрегатов соответствовала третьему уровню ($a_3=5$) и значимому увеличению $>HCP_{05}$; а для трёх показателей ($a_4=3$) отмечено высокое значимое увеличение $\geq 1,3 \cdot HCP_{05}$, это: для содержания органического углерода, скорости разложения растительных остатков и суммы агрономически ценных агрегатов.

Снижение (1 уровень) значений показателей плодородия почвы при агробιοтехнологии-2 не выявлено ($a_1=0$). Четыре показателя отнесены ко второму уровню ($a_2=4$) при сохранении значений на прежнем уровне, это: содержание подвижных гумусовых веществ, обменного кальция, pH_{H_2O} , pH_{KCl} . Соответствовали третьему уровню и значимому увеличению $>HCP_{05}$ по степени изменения пять показателей: количество микробиологических показателей (МПА, КАА, микромицеты), содержание щелочногидролизуемого

азота, подвижных фосфора и калия, суммы водопрочных агрегатов ($a_3=5$). А для четырёх показателей ($a_4=4$) установлено высокое значимое увеличение $\geq 1,3 \cdot \text{НСР}_{05}$, это: для содержания органического углерода, качества подвижных гумусовых веществ скорости разложения растительных остатков и суммы агрономически ценных агрегатов.

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий на состояние здоровья почвы. При агротехнологии почва по содержанию (слабогумусированная) и балансу гумуса (слабодефицитный), токсичности почвы (ИТФ = 0,5-0,9), сохранению значений микробной биомассы на прежнем уровне является ограниченно здоровой ($a_2=4$) (2 уровень), а по содержанию углерода негумифицированного органического вещества в почве (5-7 %) – здоровой ($a_3=1$) (3 уровень). Для агробиотехнологии-1 почва по содержанию гумуса (среднегумусированная), балансу гумуса (бездефицитный), по значимому увеличению $>\text{НСР}_{05}$ микробной биомассы, токсичности почвы (0,91-1,10) является здоровой ($a_3=4$) (3 уровень), а по содержанию углерода негумифицированного органического вещества в почве ($>7\%$) тоже является здоровой, но относится к 4 уровню. При агробиотехнологии-2 почва по содержанию гумуса (среднегумусированная), токсичности почвы (0,91-1,10), по значимому увеличению $>\text{НСР}_{05}$ микробной биомассы ($a_3=3$) является здоровой (3 уровень), по балансу гумуса (положительный) и содержанию углерода негумифицированного органического вещества в почве ($>7\%$) – тоже здоровой на 4 уровне ($a_4=2$).

Для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий на устойчивость почвы к агрогенным воздействиям. При агротехнологии с заделкой измельченной побочной продукции для всех трех показателей по устойчивости почвы к агрогенным воздействиям выявлен второй уровень изменения ($a_2=3$). При этом содержание органического углерода в почве сохранилось на прежнем уровне, показатель устойчивости органического вещества в почве был средним (61-90 %), урожайность сельскохозяйственных культур соответствовала контролю. Для агробиотехнологии-1 для одного

показателя по устойчивости почвы к агрогенным воздействиям, а именно показателя устойчивости органического вещества в почве (средний = 61-90 %) выявлен второй уровень изменения ($a_2=1$). При этом содержание органического углерода в почве значимо увеличилось $>HCP_{05}$, а урожайность сельскохозяйственных культур было значимо выше $> HCP_{05}$, чем на контроле, что соответствовало 3 уровню изменений ($a_3=2$). При *агробиотехнологии-2* почва показатель устойчивости органического вещества в почве был средним (61-90%) и соответствовал второму уровню ($a_2=1$). А увеличение содержания органического углерода в почве за оцениваемый период было высоким значимым $\geq 1,3 \cdot HCP_{05}$, урожайность сельскохозяйственных культур ($У$) было значимо больше $У \geq 1,2 \cdot У_k$ по сравнению с контролем ($У_k$), что соответствовало 4 уровню изменений ($a_4=2$).

Внесем все данные по a (количество показателей, встречающихся в каждом уровне) в форму **5а**.

Форма **5а** – Количество показателей (a), встречающихся в каждом уровне изменения показателей плодородия, здоровья и устойчивости к агрогенным воздействиям чернозема типичного слабоэродированного

Агробиотехнология	Уровни			
	1	2	3	4
По показателям плодородия почвы				
Агротехнология	3	8	2	0
Агробиотехнология-1	0	5	5	3
Агробиотехнология-2	0	4	5	4
По состоянию здоровья почвы				
Агротехнология	0	4	1	0
Агробиотехнология-1	0	0	4	1
Агробиотехнология-2	0	0	3	2
По устойчивости почвы к агрогенным воздействиям				
Агротехнология	0	3	0	0
Агробиотехнология-1	0	1	2	0
Агробиотехнология-2	0	1	0	2
По показателям плодородия, здоровья и устойчивости почвы				
Агротехнология	3	15	3	0
Агробиотехнология-1	0	6	11	4
Агробиотехнология-2	0	5	8	8

На третьем этапе необходимо рассчитать комплексные показатели для дифференцированной и комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв.

Определение комплексных показателей для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий ($K_{\text{комп1}}$, $K_{\text{комп2}}$, $K_{\text{комп3}}$)

Для определения комплексного показателя ($K_{\text{комп1}}$) для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий на плодородие почвы рассчитаем P_1, P_2, P_3, P_4 (встречаемость уровней изменения показателей, %) по показателям плодородия почвы ($n=13$) для агротехнологии с использованием данных из формы 5а по формулам 4, 5, 6, 7.

$$P_1 = (a_1 \cdot 100)/n = (3 \cdot 100)/13 = 23,08$$

$$P_2 = (a_2 \cdot 100)/n = (8 \cdot 100)/13 = 61,54$$

$$P_3 = (a_3 \cdot 100)/n = (2 \cdot 100)/13 = 15,38$$

$$P_4 = (a_4 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/13 = 0$$

где

a_1, a_2, a_3, a_4 – количество показателей, встречающихся в каждом уровне;

n – общее количество показателей;

100 – коэффициент пересчета в %.

Заносим результаты расчетов в форму ба. Затем рассчитаем комплексный показатель оценки воздействия агротехнологии на плодородие по формуле 2 или сложением граф 1, 2, 3, 4 и тоже вносим в форму ба.:

$$K_{\text{комп1}} = 0 \cdot P_1 + 0,1 \cdot P_2 + 0,2 \cdot P_3 + 0,3 \cdot P_4 = 0 \cdot 23,08 + 0,1 \cdot 61,54 + 0,2 \cdot 15,38 + 0,3 \cdot 0 = 0 + 6,154 + 3,076 + 0 = 9,23 \approx \underline{9,2\%}$$

$$1- 0 \cdot 23,08 = 0$$

$$2- 0,1 \cdot 61,54 = 6,154\%$$

$$3- 0,2 \cdot 15,38 = 3,076\%$$

$$4- 0,3 \cdot 0 = 0$$

Проводим аналогичные действия по оцениваемым агротехнологиям 1 и 2.

Для определения комплексного показателя ($K_{\text{комп}2}$) для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий на здоровье почвы рассчитаем P_1, P_2, P_3, P_4 (встречаемость уровней изменения показателей, %) по показателям здоровья почвы ($n=5$) для агротехнологии с использованием данных из формы 5а по формулам 4, 5, 6,7.

$$\begin{aligned} P_1 &= (a_1 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/5=0 & 1 - 0 \cdot 0 &= 0 \\ P_2 &= (a_2 \cdot 100)/n = (4 \cdot 100)/5=80 & 2 - 0,1 \cdot 80 &= 8 \% \\ P_3 &= (a_3 \cdot 100)/n = (1 \cdot 100)/5=20 & 3 - 0,2 \cdot 20 &= 4 \% \\ P_4 &= (a_4 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/5=0 & 4 - 0,3 \cdot 0 &= 0 \end{aligned}$$

Заносим результаты расчетов в форму 6а. Затем рассчитываем комплексный показатель оценки воздействия агротехнологии на здоровье почвы сложением граф 1, 2, 3, 4 ($K_{\text{комп}2} = 0+8+4+0 = 12 \%$) и тоже вносим в форму 6а. Проводим аналогичные действия по оцениваемым агротехнологиям 1 и 2.

Для определения комплексного показателя ($K_{\text{комп}1}$) для дифференцированной оценки воздействия агротехнологий на устойчивость почвы рассчитаем P_1, P_2, P_3, P_4 (встречаемость уровней изменения показателей, %) по показателям устойчивости почвы к агрогенным воздействиям ($n=3$) для агротехнологии с использованием данных из формы 5а по формулам 4, 5, 6,7.

$$\begin{aligned} P_1 &= (a_1 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/3=0 & 1 - 0 \cdot 0 &= 0 \\ P_2 &= (a_2 \cdot 100)/n = (3 \cdot 100)/3=100 & 2 - 0,1 \cdot 100 &= 10 \% \\ P_3 &= (a_3 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/3=0 & 3 - 0 \cdot 0 &= 0 \\ P_4 &= (a_4 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/3=0 & 4 - 0 \cdot 0 &= 0 \end{aligned}$$

Заносим результаты расчетов в форму 6а. Затем рассчитываем комплексный показатель оценки воздействия агротехнологии устойчивости почвы к агрогенным воздействиям сложением данных в графах 1, 2, 3, 4 ($K_{\text{комп}3}$

= 0+10+0+0= 10 %) и тоже вносим в форму ба. Проводим аналогичные действия по оцениваемым агротехнологиям 1 и 2.

Определение комплексного показателя для комплексной оценки агротехнологий (Ккомп) по всем показателям

Для определения комплексного показателя ($K_{\text{комп1}}$) для комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость почвы рассчитаем P_1, P_2, P_3, P_4 (встречаемость уровней изменения показателей, %) по всем показателям ($n=21$) для агротехнологии с использованием данных из формы 5а по формулам 4, 5, 6, 7.

$$P_1 = (a_1 \cdot 100)/n = (3 \cdot 100)/21 = 14,28 \quad 1 - 0 \cdot 14,28 = 0$$

$$P_2 = (a_2 \cdot 100)/n = (15 \cdot 100)/21 = 71,43 \quad 2 - 0,1 \cdot 71,43 = 7,143\%$$

$$P_3 = (a_3 \cdot 100)/n = (3 \cdot 100)/21 = 14,28 \quad 3 - 0,2 \cdot 14,28 = 2,856$$

$$P_4 = (a_4 \cdot 100)/n = (0 \cdot 100)/21 = 0 \quad 4 - 0,3 \cdot 0 = 0$$

Заносим результаты расчетов в форму ба. Затем рассчитываем комплексный показатель оценки воздействия агротехнологии устойчивости почвы к агрогенным воздействиям сложением данных в графах 1, 2, 3, 4 ($K_{\text{комп3}} = 0+7,143+2,856+0=9,999\%=10\%$) и тоже вносим в форму ба. Проводим аналогичные действия по оцениваемым агротехнологиям 1 и 2.

Следующий этап – проведение дифференцированной и комплексной оценки по комплексному показателю по Шкале в таблице ба.

Форма ба – Дифференцированная и комплексная оценка агротехнологий по комплексному показателю (Ккомп)

Агротехнологии	Расчет составляющих комплексного показателя				Комплексный показатель, %	Оценка
	1	2	3	4		
1	2	3	4	5	6	7
Дифференцированная - по показателям плодородия почвы (Ккомп1)						
Агротехнология	0	6,1	3,1	0	9,2	удовлетворительная
Агробиотехнология-1	0	3,8	7,7	6,9	18,4	хорошая

1	2	3	4	5	6	7
Агробиотехнология-2	0	3,1	7,7	9,2	20,0	отличная
Дифференцированная - по состоянию здоровья почвы (Ккомп2)						
Агротехнология	0	8,0	4,0	0	12,0	удовлетвори- тельная
Агробиотехнология-1	0	0	16,0	6,0	22,0	отличная
Агробиотехнология-2	0	0	12,0	18,0	30,0	отличная
Дифференцированная - по устойчивости почвы к агрогенным воздействиям (Ккомп3)						
Агротехнология	0	10,0	0	0	10,0	удовлетвори- тельная
Агробиотехнология-1	0	3,3	13,3	0	16,6	хорошая
Агробиотехнология-2	0	3,3	0	20,3	23,6	отличная
Комплексная оценка по всем показателям (Ккомп)						
Агротехнология	0	7,14	2,86	0	10,0	удовлетвори- тельная
Агробиотехнология-1	0	2,9	10,4	5,7	19,0	хорошая
Агробиотехнология-2	0	2,4	7,6	11,4	21,4	отличная

Пример анализа полученных результатов

По дифференцированной (Ккомп1 = 9,2 %; Ккомп2 = 12,0 %, Ккомп3 = 10,0 %) и комплексной (Ккомп = 10,0 %) оценкам установлено **удовлетворительное** воздействие ***агротехнологии*** за 2018-2021гг. на плодородие, здоровье и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного. Это свидетельствует о том, что большинство показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы осталось на прежнем уровне и не было ухудшения некоторых показателей.

Воздействие ***агробиотехнологии-1*** за 2018-2021гг. на показатели плодородия и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного по дифференцированной оценке (Ккомп1 = 18,4 %; Ккомп3 = 16,6 %) характеризуется как **хорошее**, а на здоровье почвы (Ккомп2 = 22,0 %) **отличное**. Результаты комплексной (Ккомп = 19,0 %) оценки по всем показателям свидетельствуют о **хорошем** воздействии ***агробиотехнологии-1*** на плодородие, здоровье и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного, при этом большинство показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы соответствовали третьему уровню, отмечалось значимое их увеличение (>НСР₀₅).

Установлено, что воздействие *агробиотехнологии-2* за 2018-2021гг. на плодородие, здоровье и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного по дифференцированной (Ккомп1 = 20,0 %; Ккомп2 = 30,0 %; Ккомп3 = 23,6 %) и комплексной (Ккомп = 21,4 %) оценкам было **отличным**. Это означает то, что больше 60% показателей плодородия, состояния здоровья и устойчивости почвы соответствовали третьему и четвертому уровню, отмечалось их значимое ($>HCP_{05}$) и высокое значимое увеличение ($>1,3 HCP_{05}$), а по урожайности сельскохозяйственных культур (У), соответственно, значимое увеличение по сравнению с контролем ($> HCP_{05}$) или высокое значимое увеличение по сравнению с контролем ($U \geq 1,2 \cdot U_k$).

На четвертом этапе необходимо проанализировать погодные условия года и периода исследований. Для этого необходимо рассчитать гидротермический коэффициент по годам, месяцам, определить условия увлажнения года, отклонение ГТК от среднеголетних значений, рассчитанным на основании среднеголетних значений по температуре и осадкам (принятым нормам), а также его варьированию по месяцам, используя формулу 8 и таблицы 7, 8, 9, и занести в форму 7а.

Форма 7а – Оценка отклонения гидротермических условий года от среднеголетних и неустойчивости их по месяцам

Показатели	Годы				Среднее
	2018	2019	2020	2021	
1	2	3	4	5	6
ГТК	0,99	0,70	1,14	0,94	0,94
Отклонение (\pm) ГТК года от среднеголетнего ГТКс, % (ГТКс=1,1)	- 10	- 36	+ 4	- 15	- 14
Оценка условий	Близкие к обеспеченному увлажнению	Засушливые	Обеспеченное увлажнение	Близкие к обеспеченному увлажнению	Близкие к обеспеченному увлажнению
Оценка отклонения	Среднее	Выше среднего	Низкое	Среднее	Среднее

1	2	3	4	5	6
Коэффициент варьирования ГТК по месяцам, %	107	56	82	64	77
Оценка неустойчивости гидротермических условий по месяцам	Высокая	Средняя	Выше среднего	Выше среднего	Выше среднего

На основе анализа и оценки погодных условий в годы исследований установлено, что наибольшее отклонение гидротермических условий от среднемноголетних ($ГТК_c=1,1$) – выше среднего – отмечено в 2019 году, отличающемся засушливостью ($ГТК=0,7$). Наиболее благоприятным был 2020 год с низким отклонением гидротермических условий от среднемноголетних, характеризующийся обеспеченным увлажнением $ГТК = 1,14$). Наибольшая высокая неустойчивость ГТК по месяцам установлена в 2018 году ($К_v = 107 \%$), наименьшая средняя – в 2019 году ($К_v = 56 \%$). В среднем за 2018-2021 годы гидротермические условия были близкие к обеспеченному увлажнению $ГТК = 0,94$, отклонение от среднемноголетних среднее, а неустойчивость гидротермических условий по месяцам выше среднего ($К_{вар} = 77 \%$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, разработаны методические подходы и методика, позволяющие провести оценку воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов типичных и выщелоченных.

Предложены показатели, характеризующих плодородие (13), здоровье (5) и устойчивость (3) почвы, выделены четыре уровня изменения показателей, общие и частные критерии оценки, формулы расчета.

Разработан метод расчета комплексного показателя с использованием информационного подхода и весовых коэффициентов. Представлена шкала его оценки. По комплексному показателю можно проводить как дифференцированную оценку агротехнологий по изменению показателей плодородия, состояния здоровья, устойчивости почвы, так и комплексную оценку агротехнологий по изменению всех изучаемых показателей.

Для учета погодных условий периода исследований при оценке воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземных почв предложен методический подход и разработаны шкала оценки отклонения гидротермических условий года от среднемноголетних и шкала оценки неустойчивости гидротермических условий по месяцам.

Методические основы методики направлены на защиту почв от деградации, оптимизацию уровня нагрузки агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость почв, сохранение почвенных ресурсов, повышение продуктивности почвенных ресурсов.

Апробация разработанной методики, проведенная на трех агротехнологиях, позволила количественно оценить степень их воздействия за 2018-2021 гг. на плодородие, здоровье и устойчивость чернозема типичного слабоэродированного в зерновом севообороте.

Список литературы

1. Масютенко, Н. П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах и системы его воспроизводства. – М. : Россельхозакадемия, 2012. – 150 с.
2. Кирюшин, В. И. Методология комплексной оценки сельскохозяйственных земель // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 871-879. – DOI : 10.31857/S0032180X20070060
3. Коновалов, А.Г. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв / А. Г. Коновалов, Д. В. Рисник, А. П. Левич, П. В. Фурсова // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2017. – Т. 9. – № 3. – С. 214-229. – DOI : 10.24855/BIOSFERA.V9I3.371
4. Мотузова, Г. В. Экологический мониторинг почв / Г. В. Мотузова, О. С. Безуглова. – М. : Академический Проект, 2007. – 237 с. – ISBN 978-5-8291-0913-4, 978-5-98426-061-9
5. Семёнов, В. М. Почвенное органическое вещество / В. М. Семёнов, Б. М. Когут. – М. : ГЕОС, 2015. – 233 с.
6. Кирюшин, В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1130-1139. – DOI : 10.1134/S0032180X19070062
7. Соколов, М. С. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (проблемно-аналитический обзор) / М. С. Соколов, Ю. Я. Спиридонов, Е. Ю. Торопова, А. П. Глинушкин, А. М. Семенов // Агрехимия. – 2018. – № 5. – С. 79-96.
8. Doran, J. W. Soil health and sustainability / J. W. Doran, M. Sarrantonio, M. A. Liebig // Advances in Agronomy. – 1996. – V. 56. – P. 1-54.

9. Соколов, М. С. Экологический мониторинг здоровья почвы в системе «ОВОС» (методология выбора критериев оценки) / М. С. Соколов, А. И. Марченко // Агрохимия. – 2013. – № 3. – С. 3-18.

10. Торопова, Е. Ю. Факторы индукции супрессивности почвы агроценозов / Е. Ю. Торопова, М. П. Селюк, О. А. Казакова, М. С. Соколов, А. П. Глинушкин // Агрохимия. – 2017. – № 4. – С. 58–71.

11. Когут, Б. М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России // Почвоведение. – 2012. – № 9. – С. 944-952.

12. Багдасарян, А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов : автореф. дис. ... канд. биол. Наук : 03.00.16. – Ставрополь, 2005. – 25 с.

Научное издание

Масютенко Нина Петровна

Методика проведения комплексной оценки воздействия агротехнологий на плодородие, здоровье и устойчивость черноземов [Текст] : брошюра / Н. П. Масютенко, Н. А. Чуян, М. Н., Масютенко, А. В. Кузнецов, Г. М. Брескина. – Курск : ФГБНУ «Курский ФАНЦ», 2024. – 38 с. – ISBN 978-5-6052912-3-7

Сдано в набор 10.12.24 г. Подписано в печать 12.12.24 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 2.15. Тираж 500 экз. Заказ № 460.

Отпечатано: «Деловая полиграфия»

ИП Бескровный Александр Васильевич

г. Курск, ул. К. Маркса, 61 Б.

E-mail: zakaz-zachetka@mail.ru



**КУРСКИЙ
ФАНЦ**



**ФГБНУ
«КУРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»**

305021, Россия, г. Курск, ул. Карла Маркса, д. 706

Телефон: (4712) 53-42-56, факс: 53-67-29

E-mail: kurskfarc@mail.ru

ISBN 978-5-6052912-3-7



9 785605 291237 >