

## ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ НА АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ

К.Е. Эм<sup>1</sup>, О.В. Черникова, к.б.н.<sup>2</sup>, Ю.А. Мажайский<sup>1</sup>, д.с.-х.н.,

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» 390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, д.1

<sup>2</sup>ФКОУ ВО «Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний» 390000, Россия, Рязань, ул. Сенная, 1

E.mail: chernikova\_olga@inbox.ru

В 2022-2024 г. в вегетационном опыте на серой лесной почве изучали влияние различных доз компоста многоцелевого назначения (КМН, 5, 10, 15, 20 т/га) совместно с минеральными удобрениями (N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>) и без них на агрохимические и экологические показатели почвы. Установлено, что внесение компоста в дозах 10–15 т/га на минеральном фоне способствует увеличению содержания гумуса, общего азота, подвижного фосфора и калия при умеренном подкислении почвы. Содержание тяжёлых металлов (Cu, Zn, Pb, Ni, Cd) значительно ниже предельно допустимых уровней, что свидетельствует о безопасности применения органических удобрений. Наиболее эффективными оказались варианты с сочетанием минеральных и органических удобрений, обеспечивающие устойчивое плодородие и минимизацию экологических рисков. Самым эффективным агроприемом в исследовании было внесение КМН в дозе 15 т/га совместно с минеральными удобрениями N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. Полученные данные подтверждают целесообразность использования компоста многоцелевого назначения в условиях серых лесных почв.

Ключевые слова: серая лесная почва, компост многоцелевого назначения, минеральные удобрения, агрохимические показатели, тяжёлые металлы.

Для цитирования: Эм К.Е., Черникова О.В., Мажайский Ю.А. Влияние удобрений на агроэкологические показатели серой лесной почвы// Плодородие. – 2026. – №1. – С. 21-25. DOI: 10.25680/S19948603.2026.148.04.

По оценкам Международной организации ФАО, около 70% площади суши земного шара представлено малопродуктивными угодьями, производительность которых ограничена почвенно-климатическими, рельефными или хозяйственными условиями. Решение продовольственной проблемы невозможно без вовлечения в сельскохозяйственное производство малопродуктивных и деградированных почв [1].

Для увеличения объема сельскохозяйственной продукции, производимой в Российской Федерации, и обеспечения продовольственной безопасности необходимо не только расширять использование земельных ресурсов, но и восстанавливать не эффективно используемые малопродуктивные и деградированные земли.

В последние десятилетия в мировом аграрном секторе все больше применяют технологии, основанные на рациональном использовании приемов и средств биологической мелиорации, близких к природным условиям, позволяющих предупредить деградацию почв, обеспечить возможную необходимую детоксикацию почвенного покрова, водных источников и улучшение качества продукции растениеводства [3, 4].

Концепция современного земледелия предполагает экологический подход к сельскохозяйственному производству с широким использованием биологических принципов. Процесс восстановления плодородия почв происходит медленно и растягивается на несколько лет. Этот процесс с использованием биологических методов стратегически перспективен, экологичен, нацелен на оздоровление почвы и всего живущего на ней, на опережающее обеспечение всего живого питанием, а также более выгоден экономически [2, 5, 6].

Современное земледелие развивается в условиях нарастающего противоречия между необходимостью интенсификации производства и требованием обеспечения экологической устойчивости агроландшафтов. Одним из ключевых инструментов повышения плодородия почв и

оптимизации их агрохимических свойств является применение органических удобрений. Их роль в восполнении запасов органического вещества, улучшении структуры и водно-физических свойств почвы, активизации микробиологических процессов и повышении биологической продуктивности агроценозов отмечена в многочисленных исследованиях отечественных и зарубежных учёных. Однако наряду с положительными эффектами органические удобрения могут быть источником поступления в почву тяжёлых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni и др.), концентрация которых во многом определяется качеством сырья и технологией переработки [9,10].

Проблема накопления тяжёлых металлов в почвенно-растительной системе в последние десятилетия стала одной из центральных в агроэкологии, что обусловлено их стойкостью в биосфере, отсутствием механизмов биодеградации и способностью изменять форму нахождения в зависимости от кислотности, содержания органического вещества и окислительно-восстановительных условий. В отличие от макро- и микроэлементов питания, тяжёлые металлы при превышении допустимых концентраций утрачивают физиологическую полезность и становятся потенциально токсичными как для растений, так и для животных, и человека [7].

Особую актуальность данная проблема приобретает в условиях серой лесной почвы, которая является одним из ведущих почвенных типов Нечернозёмной зоны России. Данная почва характеризуется невысоким содержанием гумуса (как правило, 2-4 %), слабой буферной способностью и повышенной подверженностью процессам подкисления. Эти особенности способствуют повышению подвижности и биодоступности тяжёлых металлов, что в итоге усиливает экологические риски при неконтролируемом применении органических удобрений. При этом серые лесные почвы широко используются для возделывания многолетних трав, зерновых и кормовых культур, и их состояние во многом определяет кормовую и продовольственную безопасность регионов.

В мировой научной литературе всё больше внимания уделяется вопросам трансформации форм нахождения тяжёлых металлов в почве под влиянием органических удобрений и компостов. Отмечается, что органическое вещество способно сорбировать катионы металлов, тем самым снижая их миграционную способность, а также образовывать растворимые органические комплексы, повышающие подвижность металлов. В условиях России вопросы экологической безопасности органических удобрений приобретают особое значение в свете реализации государственной политики по развитию устойчивого земледелия и переходу к замкнутым биотехнологическим циклам [8].

Таким образом, исследование влияния органических удобрений на содержание тяжёлых металлов и изменение агрохимических показателей серой лесной почвы научно и практически значимо. Оно позволяет не только выявить закономерности поведения элементов в системе удобрение – почва – растение, но и сформулировать экологически обоснованные подходы к управлению плодородием.

**Цель нашего исследования** – оценить влияние органических и минеральных удобрений на агрохимические и экологические показатели серой лесной почвы.

**Методика.** Исследования проведены на серой лесной почве, характерной для лесостепной зоны Центральной России. В исходном состоянии почва характеризовалась слабокислой реакцией (рН 5,61), содержание органического вещества 3,45 %, общего азота 0,12 %, подвижного фосфора 138 мг/кг и подвижного калия 156 мг/кг. Концентрации тяжёлых металлов – свинца (6,57 мг/кг), кадмия (0,17 мг/кг), никеля (10,78 мг/кг), меди (10,51 мг/кг) и цинка (21,64 мг/кг) – не превышали гигиенические нормативы.

Вегетационный опыт проводили в 2022 – 2024 г. на территории Рязанской области. В качестве опытной культуры высевали бобово-злаковую смесь, состоящую из клевера и тимофеевки луговой. Климат региона умеренно континентальный, количество осадков за первый

год опыта 720 мм (на 180 мм выше среднегодовой нормы). Почва вегетационных сосудов была подготовлена путём смешивания верхнего слоя (0 – 20 см) с внесёнными удобрениями и перекапывания.

Испытание включало 10 вариантов, каждый в четырёхкратной повторности. Варианты: 1 – контроль; 2 – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>; 3 – КМН, 5 т/га; 4 – КМН, 10 т/га; 5 – КМН, 15 т/га; 6 – КМН, 20 т/га; 7 – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + КМН, 5 т/га; 8 – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + КМН, 10 т/га; 9 – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + КМН, 15 т/га; 10 – N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> + КМН, 20 т/га.

Дозы NPK вносили в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия. Компост многоцелевого назначения содержал органическую фракцию и макроэлементы. После внесения удобрений почву увлажняли и оставляли на 2 нед для выравнивания. Затем высевали смесь клевера и тимофеевки. В течение сезона выполняли стандартные агротехнические операции, в том числе полив и прополку [11].

Реакцию среды устанавливали потенциометрически согласно ГОСТу 26423-85 и ГОСТу 26483-85. Содержание органического вещества определяли по ГОСТу 26213 91. Общий азот измеряли методом Кьельдаля, подвижные формы фосфора и калия с помощью ГОСТа Р 54650-2011 по методу Кирсанова. Концентрации тяжёлых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) определяли, используя М-МВИ-80-2008 на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-2М.

**Результаты и их обсуждение.** К завершению первого года опытов отмечено снижение рН по сравнению с исходной почвой. На контроле рН водной вытяжки уменьшился с 6,48 до 6,39, в варианте с минеральным фоном – до 6,47, а в вариантах с использованием КМН – 6,3 – 6,47. Ко второму году тенденция к подкислению усилилась: рН водной вытяжки на контроле снизился до 6,29, в варианте N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> – до 6,18, при сочетании фона с КМН, 20 т/га – до 6,06 (рис. 1 А). Такое снижение согласуется с общими данными о том, что нитрификация аммонийных удобрений выделяет ионы Н<sup>+</sup>, подкисляя почву.

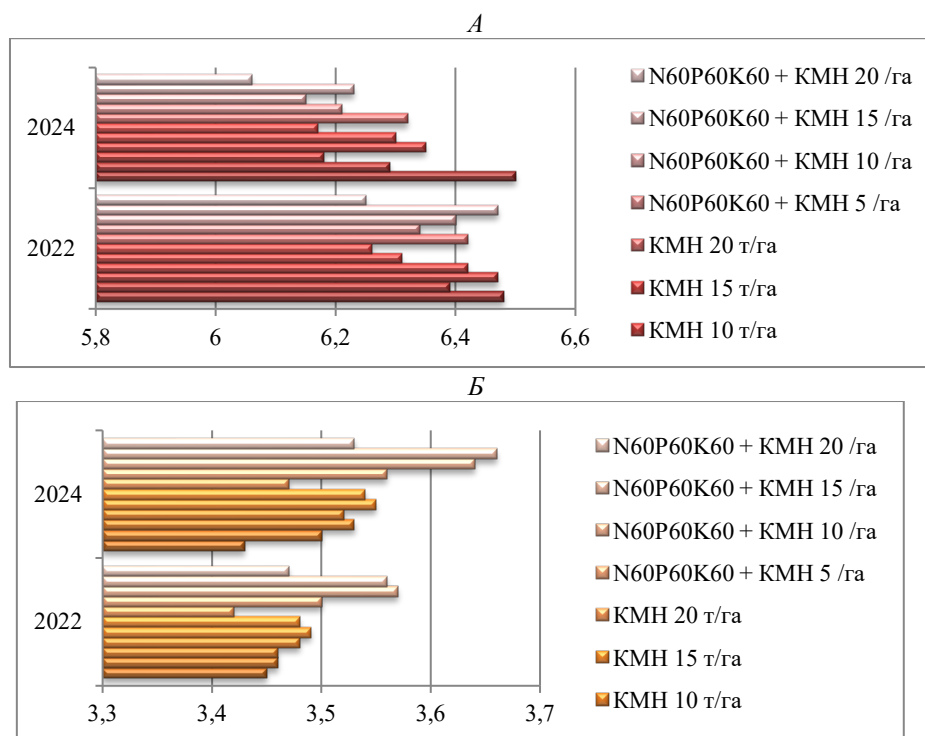


Рис. 1. Динамика кислотности (А) и содержания органического вещества (Б), % в серой лесной почве при применении удобрений

При этом калийные удобрения практически не влияют на рН, а органические материалы способны нейтрализовать кислотность. В проводимом опыте КМН несколько смягчил подкисление, но при высоких дозах (20 т/га) этого оказалось недостаточно. Применением минеральных удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> (вар. 2) обусловило умеренное снижение рН относительно содержания в почве до проведения опытов уже к концу 1-го года; в вариантах с использованием органических удобрений падение рН компенсировалось буферным действием КМН. На 3-й год тенденции сохранились: при фоновых вариантах подкисление оставалось умеренным; при КМН 10 – 15 т/га на фоне – реакция стабилизировалась в интервале от слабокислой до близкой к нейтральной. Практически значимо то, что органическое вещество смягчает кислотный эффект азотной части NPK, снижая риск деградации структуры и вымывания катионов-оснований.

Содержание органического вещества после первого года практически не изменилось на контроле (3,46 %) и на фоне (3,46 %), но возросло в вариантах с КМН до

3,48-3,57 %. Ко второму году гумус увеличился до 3,50 % (вар. 1) и до 3,66 % (вар. 9). Накопление органического вещества связано с поступлением компоста, а также с корневыми и пожнивными остатками бобовых культур. Увеличение гумуса положительно влияет на структуру почвы и её влагоёмкость, что отмечают и другие авторы (рис. 1 Б).

По итогам 1-го года варианты с органическими удобрениями показали максимальный прирост: общий N вырос сильнее всего в вариантах 8 и 9, органическое вещество – при дозах КМН 10-15 т/га. Результат подтвердил среднечисленные эффекты для общего азота и заметные – для гумуса в варианте 8. На 2-й год накопление гумуса продолжилось, что указывает на формирование устойчивого гумусового пула.

Общий азот возрос во всех вариантах с КМН: после первого года – до 0,13-0,18 %, а ко второму году – до 0,17-0,20 % (рис. 2 А).

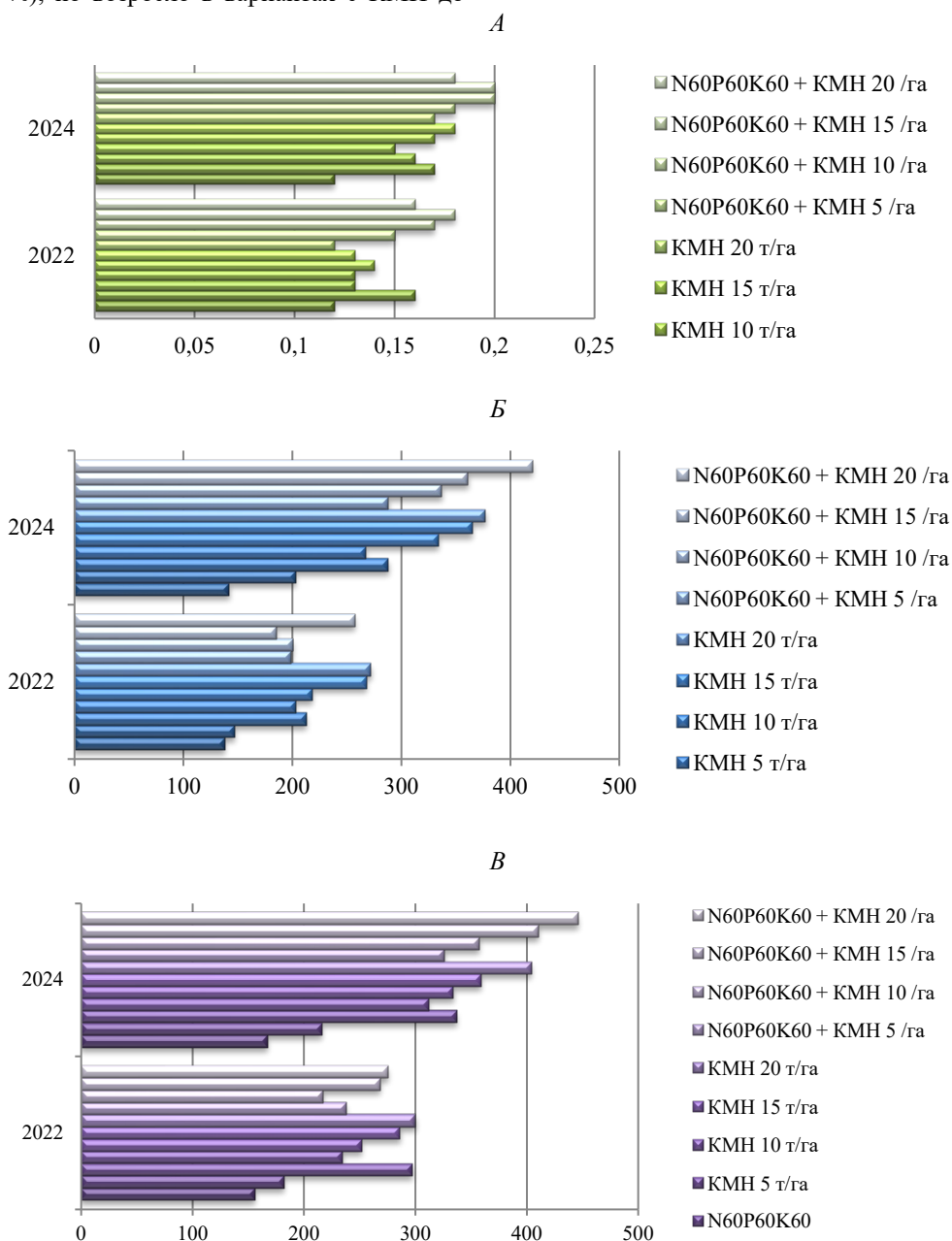


Рис. 2. Динамика содержания общего азота, % (А), подвижного фосфора (Б), мг/кг и подвижного калия (В), мг/кг в серой лесной почве при применении удобрений

На чистом минеральном фоне прибавка азота была минимальной (0,16 % в первый год, 0,16 % во второй), что подтверждает необходимость органического вещества для долгосрочного улучшения азотного режима.

Динамика подвижного фосфора и калия оказалась более яркой. Уже в первый год в вариантах с минеральным фоном содержание  $P_2O_5$  достигало 213 мг/кг,  $K_2O$  – 297 мг/кг, а в вариантах с КМН 10–20 т/га – 218–272 мг/кг  $P_2O_5$  и 234–300 мг/кг  $K_2O$  (рис. 2 Б,В). Комбинация фона с КМН увеличивала доступный фосфор и калий ещё сильнее. Ко второму году эта тенденция сохранилась: подвижный фосфор достигал 288–420 мг/кг, калий – 337–446 мг/кг. Наиболее высокие значения получены при 20 т/га КМН с совместным применением  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

Данный факт отражает синергизм органических и минеральных удобрений: органические вещества способны уменьшать фиксацию фосфатов и удерживать катионы калия на коллоидах, а минеральный фон обеспечивает быстрый приток элементов, что подтверждается литературными данными.

Варианты с применением КМН сопровождалось некоторым повышением содержания меди и цинка по сравнению с исходной почвой. Через два года меди содержалось 11,12–14,06, цинка – 24,55–33,39 мг/кг. Накопление объясняется поступлением микроэлементов с компостом. Однако, даже максимальные значения были в 4–6 раз ниже предельно допустимых концентраций, что свидетельствует о безопасном уровне загрязнения. Варианты с минеральным фоном без органического вещества практически не изменяли содержание тяжелых металлов. Как показывают полевые исследования, длительное применение компоста даже снижает подвижность Cd и Zn, увеличивая гумус и уменьшая кислотность, что подтверждается данными о снижении доступных фракций Cd и Zn на 38 и 86 % при многолетнем внесении компоста (табл. 1).

Наиболее устойчивы с точки зрения плодородия оказались варианты 8 и 9. Они обеспечили высокое содержание гумуса (3,64–3,66 %), увеличенное содержание общего азота (0,20 %), фосфора (337–361 мг/кг) и калия (357–410 мг/кг) при умеренном подкислении (рН 6,15–6,23).

#### 1. Содержание тяжелых металлов в серой лесной почве (в среднем за 2022–2024 г.), мг/кг

Вариант	Cu (вал.)	Ni (вал.)	Pb (вал.)	Zn (вал.)	Cd (вал.)
1. Контроль	10,67	10,84	6,68	23,16	0,18
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	10,85	11,13	7,43	24,19	0,18
3. КМН, 5 т/га	11,42	10,94	6,95	26,83	0,18
4. КМН, 10 т/га	11,98	11,15	7,08	29,61	0,19
5. КМН, 15 т/га	11,72	10,23	7,00	30,52	0,23
6. КМН, 20 т/га	12,36	10,68	6,79	33,44	0,20
7. КМН, 5 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	11,33	10,57	6,96	27,34	0,19
8. КМН, 10 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	11,68	10,97	6,65	29,85	0,18
9. КМН, 15 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	11,75	10,69	7,03	28,63	0,19
10. КМН, 20 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	12,02	11,03	7,56	32,12	0,19
ОДК: рН ≥ 5,5	66,0	40,0	65,0	110,0	1,0
рН ≤ 5,5	132,	80,0	130,0	220,0	2,0
Кларк	20,0	40,0	10,0	50,0	0,50

Вариант с чистым минеральным фоном показал хороший рост Р и К в первый год, но не обеспечил накопления гумуса, а дальнейшее подкисление почвы может

привести к ухудшению её структуры. Варианты с высокими дозами КМН без минерального фона (15–20 т/га) давали значительный рост гумуса, но в первый год растения могли испытывать дефицит доступного азота, а ко второму году наблюдалось сильное подкисление. Представленные данные демонстрируют, что рациональное сочетание органических и минеральных удобрений может существенно повысить продуктивность кормовых трав и сохранить экологическую безопасность агроландшафтов.

Внесение только минеральных удобрений привело к повышению урожайности по сравнению с контрольным вариантом (табл. 2).

#### 2. Урожайность зеленой массы бобово-злаковой травосмеси (в среднем за 2022–2024 г.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
1. Контроль	10,13	-	-
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	11,93	1,80	17,8
3. КМН, 5 т/га	14,95	4,82	47,6
4. КМН, 10 т/га	16,59	6,46	63,8
5. КМН, 15 т/га	17,71	7,58	74,8
6. КМН, 20 т/га	15,59	5,46	53,9
7. КМН, 5 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	20,48	10,35	102,2
8. КМН, 10 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	25,35	15,22	150,2
9. КМН, 15 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	25,84	15,71	155,1
10. КМН, 20 т/га + $N_{60}P_{60}K_{60}$	18,26	8,13	80,3
НСР <sub>05</sub> , т/га	1,13		

Внесение КМН в разных дозах способствовало еще большему повышению урожайности (вар. 3–6). С увеличением дозы КМН с 5 до 15 т/га урожайность росла. Дальнейшее увеличение дозы КМН до 20 т/га (вар. 6) привело к снижению урожайности, что указывает на возможный отрицательный эффект от данной концентрации удобрения.

Сочетание органических и минеральных удобрений дало максимальную прибавку урожая. Пик урожайности отмечен при внесении КМН, 15 т/га на фоне НРК (вар. 9). Вариант с КМН, 10 т/га +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  также показал высокую эффективность.

Доза КМН, 20 т/га совместно с  $N_{60}P_{60}K_{60}$  (вар. 10) также вызвала снижение урожайности, подтверждая негативный эффект высокой дозы также при совместном внесении с минеральными удобрениями.

Для достижения устойчивого плодородия, а не только быстрого «подкорма» оптимальна система с использованием КМН: она объединяет крупные эффекты по Р и К с наращиванием гумуса/общего азота при умеренном подкислении и контролируемых экологических рисках.

Режим КМН, 10–15 т/га +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  показывает высокий и устойчивый уровень обеспеченности Р и К, прирост общего N и органического вещества, сдерживает подкисление и минимизирует экологические риски. Для увлажнённых лет оправданы дробное внесение калия и мониторинг форм тяжелых металлов. Рекомендуется использование сочетания  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и КМН, 10–15 т/га.

**Выводы.** Органические удобрения (компост) значительно улучшают агрохимические свойства серой лесной почвы: повышают содержание гумуса и общего азота, увеличивают запасы доступных форм фосфора и калия, что согласуется с публикациями, где отмечается, что органические материалы увеличивают содержание органического вещества, общего азота и доступных элементов питания и лишь незначительно снижают рН.

Минеральные удобрения обеспечивают быстрый рост содержания  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , но практически не влияют на запас гумуса и вызывают подкисление почвы вследствие нитрификации аммонийных форм азота.

Наилучшие результаты получены при комбинированном внесении КМН, 10 т/га +  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и КМН, 15 т/га +  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . Такая схема обеспечивает сбалансированное питание растений, увеличивает гумусовый фонд, поддерживает умеренную реакцию среды и минимизирует риски накопления тяжёлых металлов.

Комбинированное применение органических (КМН) и минеральных ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) удобрений наиболее эффективно обеспечивает наибольшее увеличение урожайности по сравнению с контролем. Оптимальными дозами КМН в данном эксперименте являются 10 и 15 т/га. Самым эффективным агроприемом в исследовании было внесение КМН в дозе 15 т/га совместно с минеральными ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) удобрениями.

Высокие дозы компоста ( $\geq 20$  т/га) на минеральном фоне приводят к избыточному накоплению питательных элементов и более сильному подкислению, снижению продуктивности. Их применение целесообразно только при низком исходном содержании гумуса и требует контроля за содержанием кадмия, меди и цинка.

Для повышения плодородия серых лесных почв и устойчивости кормовых агроценозов рекомендуется использовать органическую систему питания с дозой

компоста 10-15 т/га на фоне  $N_{60}P_{60}K_{60}$ , обеспечивающую равномерное поступление элементов и улучшение физических свойств почвы.

#### Литература

1. Воеводина Л.А., Воеводин О.В. О биологических методах мелиорации земель // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2005. – № 13. – С. 71-77.
2. Мерзлая Г.Е., Новикова А.Н. Агроэкологические особенности биологизированных и минеральных систем удобрения в агроценозах // Плодородие. – 2025. – № 3. – С. 48-52.
3. Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Эффективность органического земледелия // Плодородие. – 2020. – № 5. – С. 56-60.
4. Зинковская Т.С., Ковалев Н.Г., Зинковский В.Н. Классификация биологических мелиорантов, применяемых в земледелии // Плодородие. – 2012. – № 4 (67). – С. 20-22.
5. Окорков В. В., Фенова О. А., Окоркова Л. А. Использование агроклиматического потенциала серых лесных почв Верхневолжья при применении удобрений // Агрохимия. – 2021. – № 4. – С. 27-41.
6. Уткин А. А., Лукьянов С. Н. Плодородие и экотоксикологическое состояние реперных участков серых лесных почв Владимирской области // Агрохимия. – 2022. – № 3. – С. 12-21.
7. Черникова О.В., Мажайский Ю.А. Продуктивность яровой пшеницы при применении нанобиотехнологий // Плодородие. – 2025. – № 5. – С. 72-75.
8. Мерзлая Г.Е. Нитраты и тяжелые металлы в агроценозах при длительном применении органических удобрений // Агрохимия. – 2024. – № 8. – С. 95-104.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

#### THE EFFECT OF FERTILIZERS ON AGROECOLOGICAL INDICATORS OF GRAY FOREST SOIL

*K.E. Em<sup>1</sup>, O.V. Chernikova<sup>2</sup>, Yu.A. Mazhayskiy<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 390044, Russia, Ryazan, st. Kostycheva, 1

<sup>2</sup> The academy of the FPS of Russia, 390000, Russia, Ryazan, st. Sennaya, 1

*In 2022-2024, in the vegetation experiment on gray forest soil, the effect of various doses of multi-purpose compost (КМН, 5 t/ha, 10 t/ha, 15 t/ha, 20 t/ha) was studied together and without the use of mineral fertilizers ( $N_{60}P_{60}K_{60}$ ) on agrochemical and environmental soil parameters. It was found that composting at doses of 10-15 t/ha on a mineral background contributes to an increase in the content of humus, total nitrogen, mobile phosphorus and potassium with moderate acidification of the soil. The content of heavy metals (Cu, Zn, Pb, Ni, Cd) is significantly lower than the maximum permissible levels, which indicates the safety of using organic fertilizers. The most effective options were those with a combination of mineral and organic fertilizers, ensuring sustainable fertility and minimizing environmental risks. The most effective agricultural method in the study was the application of КМН at a dose of 15 t/ha together with the use of mineral fertilizers  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . The data obtained confirm the expediency of using multi-purpose compost in conditions of gray forest soils.*

*Keywords: gray forest soil, multipurpose compost, mineral fertilizers, agrochemical indicators, heavy metals.*