

УДК 631.812:631.452:631.445.4:631.559:633.34

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ ЛУГОВОЙ ЧЕРНОЗЕМОВИДНОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ СОИ

© 2022 г. Е. Т. Наумченко<sup>1,\*</sup>, Е. В. Банецкая<sup>1,\*\*</sup><sup>1</sup> Федеральный научный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт сои  
675027 Благовещенск, Амурская обл., Игнатьевское шоссе, 19, Россия

\*E-mail: net@vniisoi.ru

\*\*E-mail: bev@vniisoi.ru

Поступила в редакцию 22.06.2021 г.

После доработки 22.07.2021 г.

Принята к публикации 13.09.2021 г.

Изучено влияние длительного систематического применения удобрений на показатели плодородия луговой черноземовидной почвы и урожайность сои в севообороте в условиях южной зоны Амурской обл. в стационарном полевом опыте. Проанализировано агрохимическое состояние почвы и показатели урожайности сои за 1963–1967 (1-я ротация) и 2013–2017 гг. (11-я ротация). В результате сравнительной оценки изменения плодородия почвы выявлено, что длительное применение удобрений со среднегодовой нагрузкой на 1 га севооборотной площади N42P48 в 2.5–3.0 раза увеличивало содержание подвижного фосфора относительно исходного содержания за счет повышения в структуре фосфатного фонда доли рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов алюминия. Замена части дозы удобрений аналогичным количеством навоза (N24P30 + навоз 4.8 т/га) способствовала переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования, с доминированием в составе гумусовых кислот и повышением мобильности органического вещества почвы. Сильная связь между содержанием азота в растениях, численностью аммонификаторов, количеством лабильного гумуса и минерального азота в почве ( $r = 0.83$ ) указала на то, что в период образования генеративных органов растений сои в почве проходило наиболее активное разложение подвижных гумусовых веществ с высвобождением элементов, участвующих в питании растений. Изменение уровня плодородия почвы было сопряжено с повышением зерновой продуктивности сои, которая в 11-й ротации составила 2.00–2.04 т/га, что на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними показателями за годы исследования.

**Ключевые слова:** луговая черноземовидная почва, плодородие, удобрения, соя (*Glycine max* (L.) Merr.), урожайность, длительное применение минеральных удобрений, микробоценоз.

DOI: 10.31857/S0002188121120085

### ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и увеличение почвенного плодородия – один из путей повышения урожайности возделываемых культур. В условиях интенсификации сельскохозяйственного производства увеличивается антропогенное воздействие на почву: повышается интенсивность обмена почвы со средой, в результате чего изменяется ее биологическое состояние и соотношение между компонентами [1]. В этом плане основные агрохимические показатели – содержание гумуса, реакция среды и содержание подвижных соединений фосфора и калия – однозначно могут служить основной оценкой устойчивости агроэкосистемы к внешним воздействиям [2–4]. Формирование урожая культур происходит за счет использования поч-

венных ресурсов элементов питания как природных, так и накопленных в результате внесения удобрений. В связи с этим одним из основных средств, обеспечивающих высокую продуктивность сельскохозяйственных культур, является применение удобрений, на долю которых приходится 30–50% дополнительного урожая [5, 6]. В результате исследований влияния удобрений на плодородие почвы доказано, что изменение ее показателей зависит как от различий в свойствах самих почв, так и от химической нагрузки, обусловленной видом, дозой, а главное – длительностью внесения удобрений [7].

Активно функционирующий микробный ценоз является одним из главных показателей плодородия почвы. Микроорганизмы трансформи-

руют растительные остатки, участвуют в формировании структуры почвы, образовании гумуса и его минерализации [8]. Почвенная микрофлора не только активно участвует в формировании плодородия, но и является индикатором изменений, происходящих в почвенной среде. В зависимости от вида растительных остатков, вовлекаемых в почвообразовательный процесс, изменяется качество гумуса, от которого зависят физико-химические свойства почвы [9, 10]. Длительное систематическое использование даже сравнительно невысоких доз удобрений может стимулировать или угнетать почвенную биоту, влиять на ее видовое разнообразие и тем самым повышать или снижать запасы гумуса в пахотном слое.

Объективно и всесторонне изучить влияние удобрений на воспроизводство плодородия и повышение продуктивности почвы можно лишь в длительных опытах с удобрениями при сравнительной оценке различной их нагрузки на почву. В связи с этим результаты более полувекового (55 лет) мониторинга плодородия почвы в стационарном 5-польном севообороте с применением минеральных и органических удобрений имеют важное значение как для изучения изменения условий повышения плодородия почвы, так и для разработки механизма оптимизации питательных элементов с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

Цель работы – изучение влияния длительного систематического применения удобрений на показатели плодородия луговой черноземовидной почвы и урожайность сои.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В стационарном 5-польном севообороте (соево-овсяная смесь – соя – пшеница – соя – пшеница) в течение 11-ти ротаций проводили изучение влияния длительного применения минеральных и органических удобрений со среднегодовой нагрузкой на 1 га севооборотной площади N24P30, N42P48 и N24P30 + навоз 4.8 т на изменение показателей плодородия и продуктивность севооборота. Дозы удобрений сравнивали как между собой, так и с вариантами опыта, где вносили только азот в дозе N24 и без внесения удобрений (контроль). Из минеральных удобрений применяли P<sub>сд</sub> и N<sub>аа</sub>, из органических – полупрепревший навоз крупного рогатого скота. Опыт имеет 3 закладки со сдвигом во времени и трехкратную повторность в пространстве. Варианты опыта размещали систематически в трехкратной повторности, общая площадь делянки – 180, учетная – 72 м<sup>2</sup>. Почва опытного участка – луго-

вая черноземовидная маломощная в комплексе со среднемошной (Классификация почв СССР, 1977). В почвенных образцах, отобранных с глубины пахотного слоя в конце ротации севооборота, определяли гумус по методу Тюрина в модификации Пономаревой–Плотниковой, его активные компоненты – по методике ВНИИА, подвижный фосфор – методом Кирсанова, обменную кислотность – потенциометрическим методом, гидролитическую – по Каппену в модификации ЦИНАО. Для характеристики микробиологической активности определяли численность протеолитической и амилитической микрофлоры методом посева почвенной суспензии на твердые питательные среды: мясо-пептонный агар (МПА) и крахмало-аммиачный агар (КАА) соответственно.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В конце 11-й ротации установлено, что применение повышенной дозы минеральных удобрений (N42P48) увеличило гидролитическую кислотность почвы на 0.88 мг-экв/100 г почвы, обменную – на 0.2 ед. рН по сравнению с исходным показателем, тогда как при замене эквивалентной части дозы навозом (N24P30 + навоз 4.8 т/га) отмечали снижение гидролитической кислотности на 0.5 мг-экв/100 г почвы, обменной – на 0.2 ед. рН (табл. 1). Содержание подвижного фосфора увеличилось относительно исходного на 17–56 мг/кг почвы за счет увеличения в структуре фосфатного фонда доли рыхлосвязанных фосфатов на 0.7–2.5 и фосфатов алюминия – на 4.8–6.5%. Применение минеральных удобрений совместно с навозом увеличило содержание гумуса относительно исходного на 0.34%.

Одним из наиболее важных, информативных параметров действия различных антропогенных факторов на плодородие является комплекс показателей гумусового состояния почвы. Длительное применение повышенных доз минеральных удобрений и замена части их навозом способствовало переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования (соотношение ГК : ФК составило соответственно 1.80 и 1.53), с доминированием в составе гумусовых кислот (ГК) – наиболее агрономически ценной фракции, связанной с кальцием. Группа фульвокислот (ФК) представлена в основном 2-й фракцией (связанной с СаО), относительное содержание которой менялось от 30 до 45% от суммы всех фракций ФК. Повышенное содержание (на 1.2% больше относительно других вариантов) “агрессивной” фракции ФК (1а по Тюрину) при использовании N42P48

**Таблица 1.** Сравнительная оценка влияния длительного внесения удобрений на изменение агрохимических свойств пахотного слоя почвы

Вариант	рН <sub>KCl</sub>	$H_T$	$\Sigma Ca^{2+} + Mg^{2+}$	$P_2O_5$	Гумус, %
		мг-экв на 100 г почвы		мг/кг почвы	
Контроль (без удобрений)	5.0	4.42	22.5	20	4.20
	5.0	4.44	22.4	28	4.19
N24	5.2	4.30	22.3	22	4.23
	5.0	4.62	21.9	22	4.08
N24P30	5.0	4.40	22.0	25	4.29
	5.0	4.70	22.0	42	4.19
N42P48	5.1	4.41	22.7	29	4.25
	4.9	5.29	21.5	74	4.16
N24P30 + навоз 4.8 т/га	5.0	4.40	22.4	28	4.21
	5.2	3.90	22.5	84	4.55

Примечание. Над чертой – конец 2-й ротации севооборота, под чертой – конец 11-й ротации.

отчасти объясняет увеличение кислотности почвы при высокой ее насыщенности  $Ca^{+2}$  и  $Mg^{+2}$ .

Анализ показателей подвижности (лабильности) гумуса проводили по изменению содержания гумусовых кислот, прочно связанных с минеральной частью почвы. Из фракционного состава гумуса эту группу кислот выделяют в качестве самостоятельного компонента и идентифицируют как фракцию ГК-1 [11]. Выявлено, что повышенные соотношения фракции подвижных гумусовых кислот к сумме фракций, связанных с кальцием и полуторными оксидами, с 0.50 в контроле до 0.62 в варианте с совместным внесением минеральных и органических удобрений может указывать на рост подвижности органического вещества почвы в длительном опыте. Важная роль в этом процессе отводится бактериям азотного обмена, для которых лабильные гумусовые вещества служат энергетическим материалом.

В наших исследованиях было установлено, что применение удобрений со среднегодовой нагрузкой P30 и N24P30 повышало количество бактерий-аммонификаторов на 2.1 и 3.2 млн КОЕ соответственно относительно контроля при  $HCP_{05} = 1.6$  (рис. 1). Считается, что эта группа микроорганизмов легко разлагает лабильные компоненты органического вещества почвы [12]. Корреляционный анализ выявил тесную обратную связь численности аммонифицирующих микроорганизмов с количеством подвижных фракций гумусовых веществ в фазе цветения сои ( $r = -0.92$ ,  $d_{yx} = 0.85$ ). Это позволило сделать предварительный вывод о том, что в этот период вегетации наиболее интенсивно проходило разложение лабильного гумуса, содержание которого в последу-

ющих фазах снизилось в 3.5 раза в контроле и на 20–62% в вариантах с применением удобрений.

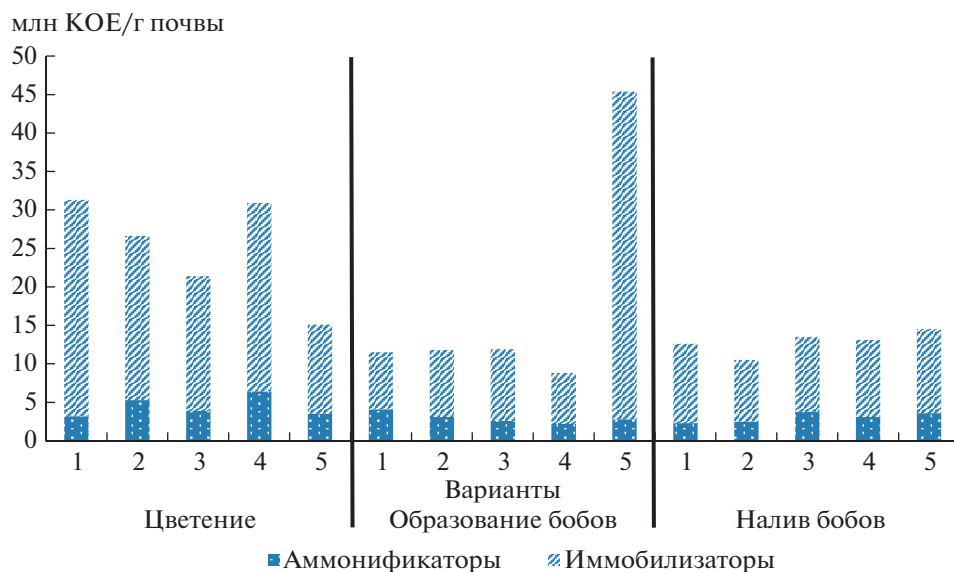
Корреляционно-регрессионный анализ выявил тесную связь между содержанием азота в растениях, численностью аммонификаторов, количеством лабильного гумуса и минерального азота в почве (табл. 2). С вероятностью 69% можно утверждать, что в период образования генеративных органов у растений сои питание происходило за счет элементов, образовавшихся в результате разложения лабильного гумуса. Подтверждением этого также может служить установленная тесная взаимосвязь содержания лабильного гумуса с величиной урожайности семян сои, коэффициент парной корреляции ( $r$ ) составил 0.89 при  $r_{крит} = 0.88$ .

Плодородие почвы является материальной основой урожая, который, в свою очередь, следует оценивать как комплексный продукт связанных между собой физических, химических и биологических свойств почвенной системы. Результаты

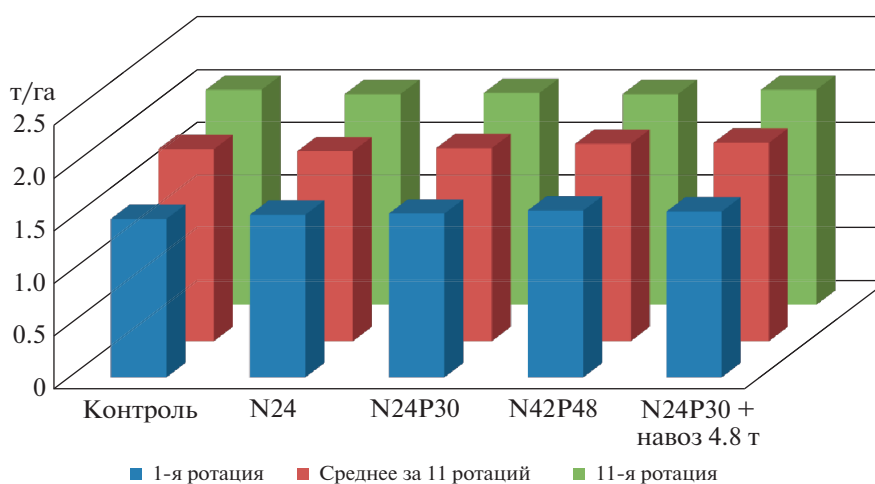
**Таблица 2.** Множественная регрессия содержания азота в растениях в период цветения–образования бобов сои (2020 г.)

Уравнение регрессии: $N_{раст} = 2.81 - 0.02x_1 + 0.44x_2 + 0.02x_3$	
$N = 10, R = 0.83, R^2 = 0.69$	$\beta$ коэффициент
$x_1$ – $N_{мин}$ в почве, мг/кг почвы	–0.30
$x_2$ – лабильный гумус, %	0.69*
$x_3$ – аммонификаторы, млн КОЕ/г почвы	0.29

\*Статистически значимые переменные по величине  $p$ -уровней и  $t$ -коэффициента Стьюдента.



**Рис. 1.** Динамика численности бактерий азотного обмена в зависимости от среднегодовой нагрузки удобрениями (2020 г.), млн КОЕ/г почвы. Варианты: 1 – без удобрений, 2 – P30, 3 – N24P30, 4 – N42P48, 5 – N24P30 + навоз 4.8 т/га.



**Рис. 2.** Влияние длительного внесения удобрений на урожайность сои (средние 2-х полей), т/га.

исследования в краткосрочных полевых опытах, в которых изучали эффективность применения фосфорных и азотно-фосфорных удобрений под сою в Амурской обл., показали, что в 60–66% случаев эффект отсутствовал [13]. Длительный полевой опыт с удобрениями имеет преимущество перед краткосрочными опытами, т.к. позволяет объединить результаты наблюдений в течение длительного времени и оценить их в пространстве, учитывая все факторы жизни растений. Урожайность сои в 1-й ротации длительного севооборота (1963–1967 гг.) изменялась от 1.50 в контроле до 1.57–1.58 т/га в вариантах, где за ро-

тацию была внесена повышенная доза азотно-фосфорных удобрений (рис. 2).

При прохождении первых 6-ти ротаций наиболее эффективно было внесение фосфорных удобрений (P60), прибавка относительно контроля составляла 0.23 т/га [14]. По истечении 8-ми ротаций, когда содержание подвижных форм фосфора в почве увеличилось соответственно нагрузке удобрениями, наблюдали стабильно повышенную урожайность сои, которая в большей степени зависела от гидротермических условий вегетационного периода, чем от внесения удобрений [15]. Процесс формирования урожая сои за 10 ротаций севооборота при урожайности >2.00 т/га

показал, что существует его тесная зависимость ( $r = 0.71$ ) от гидротермических условий в период развития генеративных органов (отношение суммы выпавших осадков в июле и августе к сумме температур за этот же период) [16]. Влияние агроэкологических условий южной зоны Амурской обл. обеспечило среднюю (за 55 лет) зерновую продуктивность растений сои в контрольном варианте опыта 1.82 т/га.

В 11-й ротации при сложившемся уровне плодородия и относительно благоприятных гидротермических условиях 2013–2017 гг. урожайность культуры в опыте составила 2.00–2.04 т/га, что было на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними показателями за 11 ротаций севооборота.

### ВЫВОДЫ

1. Длительное применение повышенных доз минеральных удобрений увеличивало содержание подвижного фосфора на 17–56 мг/кг почвы относительно исходного уровня за счет повышения доли рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов алюминия в структуре фосфатного фонда.

2. Замена части дозы минеральных удобрений таким же количеством д.в. навоза способствовала переходу от гуматно-фульватного к гуматному типу гумусообразования с доминированием в составе гумусовых кислот наиболее агрономически ценной фракции, связанной с кальцием. Соотношение фракции подвижных гумусовых кислот к сумме остальных фракций увеличилось с 0.50 в контроле до 0.62 в варианте с внесением органоминеральных удобрений, что указывало на повышение мобильности органического вещества почвы. Обратная корреляционная связь численности бактерий-аммонификаторов с содержанием подвижных фракций гумусовых веществ ( $r = -0.92$ ,  $d_{yx} = 0.85$ ) свидетельствовала об интенсивном их разложении с высвобождением элементов питания растений.

3. Изменение уровня плодородия почвы было сопряжено с повышением зерновой продуктивности сои, которая в 11-й ротации составила 2.00–2.04 т/га, что на 0.42–0.54 т/га больше по сравнению с 1-й ротацией и на 0.13–0.22 т/га – со средними за годы исследования показателями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масютенко Н.П. Устойчивость органического вещества черноземов к антропогенным воздействиям // Сб. докл. Международ. научн.-практ. конф. Модели и технологии оптимизации земледелия. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2003. С. 505–508.

2. Тумова В.И. Подходы к выбору показателей и опыт оценки способности почвенного покрова к выполнению общебиосферных функций (аналитический обзор) // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 67. № 6. С. 4–16.

3. Шаповалова Н.Н. Динамика показателей плодородия и продуктивность чернозема обыкновенного в последствии длительного применения минеральных удобрений в условиях Центрального Предкавказья // Изв. Оренбург. ГАУ. 2019. № 3 (77). С. 8–12.

4. Nazia R., Liang F., Huang S., Wang B., Xu V., Li J., Gao H., Zhang W. Long-term fertilization effects on organic carbon fractions in a red soil of China // J. Animal Plant Sci. 2019. V. 29. Iss. 5. P. 1383–1389.

5. Корченкина Н.А., Дабахова Е.В., Тумова В.И. Фосфатное состояние светло-серой лесной почвы при внесении возрастающих доз барды послеспиртовой // Аграр. наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 2 (57). С. 35–40.

6. Liu L.-Y., Hua W., Zhang S.-Y., Peng Q.-C., Dai J., Han X.-R. Nitrogen up take of soybean and soil nitrate nitrogen under long-term rotation and different fertilization in a brown soil of northeast China // J. Plant Nutr. Fertil. 2020. V. 26. Iss. 1. P. 10–18.

7. Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Длительный стационарный опыт в степном Поволжье: результаты исследований в восьмой ротации зернопарового севооборота // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг.: Мат-лы Всерос. коорд. совещ. научн. учрежд. – участников Географической сети опытов с удобрениями / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2018. С. 420–429.

8. Чевердин Ю.И., Гармашова Л.В. Развитие микроорганизмов, связанных с циклом азота в сезонно переувлажненных почвах // Вестн. Курск. ГСХА. 2018. № 6. С. 24–28.

9. Шаповалова Н.Н., Менькина Е.А. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы в последствии длительного применения минеральных удобрений // Изв. Оренбург. ГАУ. 2018. № 5 (37). С. 43–46.

10. Zhang J., Chi F., Wei D., Zhou B., Cai S., Li Y., Kuang E., Sun L., Li L.-J. Impacts of long-term fertilization on the molecular structure of humic acid and organic carbon content in soil aggregates in black soil // Sci. Rep. V. 9. Iss. 1. Art. 11908.

11. Назарова А.В., Попова Е.А. Лабильные формы гумусовых веществ в гумусовых профилях пахотных и залежных дерново-подзолистых суглинистых почв // Изв. СПб. ГАУ. 2015. № 39. С. 101–104.

12. Завьялова Н.Е., Широких И.Г., Ямалтдинова В.Р. Микробиологическое состояние дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении органических и минеральных удобрений // Теор. и прикл. экол. 2020. № 1. С. 151–159.

13. Прокопчук В.Ф., Ковшик И.Г., Наумченко Е.Т. Повышение эффективности минеральных удобрений под сою в Амурской области // Резервы повышения продуктивности сои: Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ, СО, ВНИИ сои. Новосибирск, 1990. С. 140–144.

14. *Степкина Р.Н.* Эффективность систематического применения удобрений в севообороте на луговых черноземовидных почвах Приамурья. Благовещенск: ДальГАУ, 2001. 274 с.
15. *Наумченко Е.Т., Ковшик И.Г., Кондратова А.В.* Результаты длительного применения системы удобрений под сою в стационарном соево-зерновом севообороте // Итоги исследований по сое за годы реформирования и направления НИР на 2005–2010 гг.: Сб. ст. коорд. Совещ. ВНИИМК. Краснодар, 2004. С. 164–169.
16. *Наумченко Е.Т., Малашонок А.А.* Агрэкологические условия формирования урожайности сои в севообороте // Вестн. Рос. сел.-хоз. науки. 2016. № 6. С. 27–29.

## Influence of Long-Term Anthropogenic Loading on Fertility of Meadow Chernozem-Like Soil and Yield of Soybean

E. T. Naumchenko<sup>a,#</sup> and E. V. Banetskaya<sup>a,##</sup>

<sup>a</sup> Federal Scientific Center, All-Russian Scientific Research Institute of Soybean  
Ignatevskoye shosse 19, Amur region, Blagoveshchensk 675027, Russia

<sup>#</sup>E-mail: net@vniisoi.ru

<sup>##</sup>E-mail: bev@vniisoi.ru

The influence of long-term systematic application of fertilizers on the indicators of the fertility of meadow chernozem soil and the yield of soybeans in the crop rotation in the conditions of the southern zone of the Amur region in a stationary field experiment was studied. The agrochemical state of the soil and indicators of soybean yield for 1963–1967 (1<sup>st</sup> rotation) and 2013–2017 (11<sup>th</sup> rotation) were analyzed. As a result of a comparative assessment of changes in soil fertility, it was revealed that the long-term use of fertilizers with an average annual load per 1 ha of crop rotation area N42P48 increased the content of mobile phosphorus by 2.5–3.0 times relative to the initial content due to an increase in the share of loosely bound phosphates and aluminum phosphates in the structure of the phosphate fund. The replacement of a part of the fertilizer dose with a similar amount of manure (N24P30 + manure 4.8 t/ha) contributed to the transition from humate-fulvate to humate type of humus formation, with the dominance of humic acids in the composition and increased mobility of soil organic matter. A strong relationship between the nitrogen content in plants, the number of ammonifiers, the amount of labile humus and mineral nitrogen in the soil ( $r = 0.83$ ) indicated that during the formation of the generative organs of soybean plants, the most active decomposition of mobile humus substances took place in the soil with the release of elements involved in plant nutrition. The change in the level of soil fertility was associated with an increase in the grain productivity of soybeans, which in the 11th rotation was 2.00–2.04 t/ha, which is 0.42–0.54 t/ha more than in the 1st rotation and 0.13–0.22 t/ha – with the average indicators for the years of the study.

*Key words:* meadow chernozem soil, fertility, fertilizers, soy (*Glycine max* L. Merr.), yield, long-term use of mineral fertilizers, microbocenosis.