

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ
НА ДИНАМИКУ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА И КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ****INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF AGROCHEMICALS
ON THE DYNAMICS OF SOIL ORGANIC MATTER AND ACIDITY**

Ключевые слова: выщелоченный чернозём, гумус, кислотность, длительное применение удобрений, средства защиты растений, лизиметрический опыт, агрохимические свойства.

Изложены результаты многолетнего лизиметрического опыта (1987-2024 гг.) по изучению влияния длительного систематического применения средств химизации на динамику органического вещества и кислотности выщелоченного чернозёма. Исследование проходило по схеме, включавшей 2 фактора: уровень минерального питания (контроль, умеренная и высокая дозы NPK) и применение средств защиты растений (СЗР). Анализ показал, что уровень химизации оказывает выраженное влияние на ключевые показатели плодородия почвы: гумус и кислотность. В вариантах без внесения удобрений наблюдалась существенная деградация гумусового горизонта с потерями до 22% в активном пахотном слое 0-20 см, в то время как в подпахотном слое 21-40 см изменения были минимальными. Применение умеренных доз удобрений позволило стабилизировать запасы гумуса, а сочетание высоких доз с СЗР обеспечило его прирост до 8 отн.% в пахотном горизонте благодаря увеличению и сохранению общей биомассы. Параллельно зафиксирована чёткая тенденция к прогрессирующему подкислению почвы, напрямую зависящему от уровня антропогенного воздействия. Наибольшее подкисление (снижение pH на 16%, рост гидролитической кислотности на 56%) отмечено при высоких дозах удобрений без СЗР, что связывается с процессами нитрификации и выносом обменных оснований. Применение СЗР оказывало умеренное смягчающее действие, снижая темпы подкисления. Основным выводом работы является необходимость дифференцированного подхода к управлению плодородием: для стабилизации гумуса при минимальном подкислении рекомендованы умеренные дозы удобрений в сочетании с СЗР, тогда как в интенсивных системах с высокими дозами обязательен системный контроль кислотности че-

рез известкование и постоянный агрохимический мониторинг.

Keywords: leached chernozem, humus, acidity, long-term fertilizer application, plant protection agents, lysimetric experiment, agrochemical properties.

The findings of a long-term lysimetric experiment (1987–2024) on the study of the influence of long-term systematic application of agrochemicals on the dynamics of organic matter and acidity in leached chernozem are discussed. The study followed a scheme that included two factors: the level of mineral nutrition (control, moderate, and high rates of NPK) and the application of plant protection agents (PPA). The analysis revealed that the level of chemicalization had a pronounced influence on the key soil fertility indices: humus and acidity. In the variants without any fertilizer application, significant degradation of the humus horizon was observed, with losses of up to 22% in the active arable layer of 0–20 cm, while the changes in the subsoil layer (21–40 cm) were minimal. The application of moderate fertilizer rates allowed for the stabilization of humus content, and the combination of high rates with PPAs ensured its increase by up to 8% in the arable horizon due to increase and preservation of total biomass. Concurrently, a clear trend toward progressive soil acidification directly dependent on the level of anthropogenic impact was found. The greatest acidification (16% decrease in pH and a 56% increase in hydrolytic acidity) was revealed with high fertilizer rates without PPAs which was associated with nitrification processes and the removal of exchangeable bases. The application of PPAs had a moderate mitigating effect reducing the rate of acidification. The main conclusion is the necessity of a differentiated approach to soil fertility management: for humus stabilization with minimal acidification, moderate fertilizer rates in combination with PPAs are advised, whereas in intensive systems with high rates, systematic acidity control through liming and constant agrochemical monitoring is mandatory.

Логаева Ольга Александровна, аспирант, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: suhareva.olga2010@yandex.ru.

Потапова Наталья Васильевна, к.с.-х.н., доцент, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: potapovan24@mail.ru.

Смолин Николай Васильевич, д.с.-х.н., профессор, зав. кафедрой агрономии и ландшафтной архитектуры, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: smolin89@mail.ru.

Баймаковский Максим Сергеевич, магистрант, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет, г. Саранск, Российская Федерация, e-mail: baikasd@yandex.ru.

Logaeva Olga Aleksandrovna, post-graduate student, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: suhareva.olga2010@yandex.ru.

Potapova Natalya Vasilevna, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: potapovan24@mail.ru.

Smolin Nikolay Vasilevich, Dr. Agr. Sci., Prof., National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: smolin89@mail.ru.

Baymakovskiy Maksim Sergeevich, master's degree student, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russian Federation, e-mail: baikasd@yandex.ru.

Введение

Сохранившиеся стационарные полевые опыты занимают ведущее место в исследовании динамики свойств и плодородия почвы. Они позволяют оценить влияние длительного применения минеральных удобрений и средств защиты в рамках современных экологически ориентированных систем земледелия, отследить долговременные изменения плодородия и эффективность различных приемов технологии [1].

Влияние минеральных удобрений на свойства почвы весьма неоднозначно. Их применение может привести либо к существенному росту потенциальных запасов питательных веществ, либо к деградации ценных для роста и развития растений свойств почвы. Масштаб этих изменений зависит от доз, форм удобрений, длительности периода их использования и почвенно-климатических условий регионов [2]. Ключевым фактором при выращивании сельскохозяйственных культур является сбалансированность системы удобрения в севообороте. Длительное внесение нерациональных доз вызывает дисбаланс питательных веществ, при котором снижается отдача от внесенных туков, тогда как их научно обоснованное применение способствует стабилизации свойств и режимов, как и в целом плодородия почвы.

Основой управления почвенным плодородием выступает органическое вещество, особенно его стабильная часть – гумус. От его количества и качества зависят базовые свойства почвы: физико-химические показатели, буферная ёмкость, поглощательная способность, обеспеченность растений азотом и фосфором, а также её

физическое состояние [4]. В связи с этим поддержание положительного или бездефицитного баланса органического вещества как главного источника элементов минерального питания считается первостепенной задачей современного земледелия [5-8].

Вторым фундаментальным фактором плодородия является состояние кислотности почвы, напрямую определяющее уровень продуктивности той или иной почвенной разности. Интенсивное земледелие, в частности, применение минеральных удобрений, является весомым фактором изменения кислотности почвы [9]. Повышенная кислотность нарушает питание растений, угнетает микробиоту, увеличивает подвижность токсичных элементов и может снижать отдачу от внесенных туков на 20-40% [10].

Целью исследования была комплексная оценка влияния многолетнего применения различных систем химизации на динамику ключевых агрохимических свойств выщелоченного чернозёма – запасов гумуса и параметров кислотности почвы.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служил выщелоченный чернозём. Предметом исследования являлись изменения под влиянием средств химизации его ключевых агрохимических показателей – содержания органического вещества (гумуса) и параметров состояния кислотности в почвенно-поглощающем комплексе.

В основу работы положены данные многолетнего (1987-2024 гг.) лизиметрического опыта. Почва была заложена обратным сложением в

железобетонные лизиметры площадью 4 м² и глубиной 1,0 м.

Схема опыта включала два фактора: систематическое внесение минеральных удобрений и применение средств защиты растений в зерно-пропашном севообороте, где фактор А – уровень минерального питания: 1) без удобрений (контроль), 2) умеренный (N₅₉P₆₄K₅₅*), 3) высокий (N₁₁₈P₁₂₈K₁₁₀*); фактор В – средства защиты растений: 1) вариант без средств защиты (далее – контроль), 2) комплекс химических средств защиты (далее – СЗР) (*Указана средняя многолетняя доза удобрений за 37 лет).

Каждый вариант опыта выполнен в трёхкратной повторности. Все агротехнические операции (внесение удобрений под перекопку почвы, посев, опрыскивание средствами защиты) проводились вручную.

Почвенные образцы для анализа отбирались послойно (0-20 см – условно пахотный), 21-40 – подпахотный) методом конверта с последующим составлением объединённой пробы. Анализы выполнялись в соответствии со стандартными методиками: содержание гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91); обменная кислотность (рН солевой вытяжки) – по ГОСТ 26483-85; гидролитическая кислотность (Нг) – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91).

Используемая в лизиметрах почва – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Исходные агрохимические показатели слоя почвы 0-20 см: содержание гумуса – 6,4%, подвижных форм фосфора –

155 мг/кг и калия – 120 мг/кг, рН солевой вытяжки – 6,2, гидролитическая кислотность – 5,8 ммоль(экв.)/100 г почвы. Сумма обменных оснований равна 32,8 ммоль(экв.)/100 г почвы; слоя почвы 21-40 см: содержание гумуса – 4,4%, подвижных форм фосфора – 128 мг/кг и калия – 120 мг/кг, рН солевой вытяжки – 6,0, гидролитическая кислотность – 5,3 ммоль(экв.)/100 г почвы. Сумма обменных оснований равна 27,4 ммоль(экв.)/100 г почвы.

Результаты и их обсуждение

Содержание гумуса, как основного компонента органического вещества почвы, продемонстрировало выраженную зависимость от уровня химизации и чёткую вертикальную дифференциацию (табл.).

Анализ данных подтверждает, что наиболее существенные изменения сосредоточены в активном пахотном слое (0-20 см), где амплитуда колебаний составила 30 % относительно исходного уровня.

В контрольном варианте (без удобрений) за 37 лет произошло снижение содержания гумуса на 19-22%. Умеренная доза удобрений позволила стабилизировать этот показатель (±2%), что означает превышение над контролем на 21-24%. Максимальный результат достигнут при высокой дозе удобрений в сочетании с СЗР: прирост гумуса на 8% соответствует превышению над контролем примерно на 30%, а также опережению на 5% варианта с аналогичной дозой, но без СЗР.

Таблица

Влияние длительного применения средств химизации на содержание гумуса в различных слоях почвы (изменение за период 1987-2024 гг.)

Вариант		Содержание гумуса по слоям			
Доза удобрений (фактор А)	Средства защиты (фактор В)	0-20 см		21-40 см	
		%	в % к контролю	%	в % к контролю
Без удобрений (контроль)	Контроль	5,0	-22	3,8	-14
	СЗР	5,2	-19	4,0	-9
Умеренная доза	Контроль	6,3	-2	4,4	0
	СЗР	6,5	+2	4,5	+2
Высокая доза	Контроль	6,6	+3	4,6	+4
	СЗР	6,9	+8	4,7	+7
НСР ₀₅ ч.р.		0,2		0,2	
НСР ₀₅ А		0,2		0,1	
НСР ₀₅ В		0,1		0,1	
для сочетания факторов АВ		F _ф <F _т		F _ф <F _т	

В подпахотном слое (21-40 см) динамика в содержании гумуса была выражена значительно слабее – амплитуда изменений не превысила 7%, что в 4-5 раз меньше, чем в пахотном горизонте. Это наглядно свидетельствует о консервативности глубинных запасов органического вещества.

Полученные различия между вариантами имеют четкое агробиологическое объяснение. Умеренная система средств химизации, компенсируя вынос элементов, поддерживает биомассу и поступление органических остатков, обеспечивая бездефицитный баланс гумуса. При интенсивной системе (высокие дозы NPK в севообороте + СЗР) создает условия для положительного баланса: увеличение общей биомассы на 15-20% за счет удобрений и её сохранение благодаря СЗР формирует существенный приток лабильного органического вещества. Именно этот приход, а не прямое действие удобрений, служит главным субстратом для гумификации, что подтверждается исследованиями Географической сети опытов ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова [11].

Таким образом, именно система химизации определяет судьбу трансформации гумуса. Градиент эффективности от деградации (контроль) к стабилизации (умеренная доза) и накоплению (высокая доза + СЗР) в пахотном слое демонстрирует принципиальную возможность управления органическим веществом. Однако это управление должно быть дифференцированным по глубине, учитывая фундаментальное свойство черноземов: высокую лабильность гумуса в агрогенном слое и его реликтовую стабильность в подпахотных горизонтах почвы.

Помимо органического вещества ключевым фактором плодородия почвы является её кислотность, непосредственно влияющая на доступность элементов питания, активность микрофлоры и развитие растений. Данные многолетнего мониторинга выявили выраженную тенденцию к подкислению пахотного горизонта чернозёма под влиянием средств химизации, причём интенсивность процесса напрямую зависела от уровня антропогенной нагрузки (рис.).

Наибольшее подкисление отмечено в варианте с высокой дозой удобрений без применения СЗР: значение рН в слое 0-20 см снизилось на 16% (до 5,2), а гидролитическая кислотность возросла на 56%. Даже умеренные дозы удоб-

рений вызвали статистически значимое снижение рН (на 10-11%) и рост Нг (на 28-30%). В контрольном варианте (без удобрений) изменения были минимальными, что подтверждает определяющую роль антропогенного фактора в трансформации кислотного состояния почвы.

Применение средств защиты растений оказывало умеренное мелиорирующее действие, снижая темпы подкисления. В варианте с высокой дозой удобрений внесение СЗР сократило падение рН на 2%, а прирост Нг – на 2% в абсолютном выражении. Вероятный механизм связан с подавлением сорной растительности, что уменьшает вынос обменных катионов (Ca^{2+} , Mg^{2+}) из почвы, а также с возможным ингибирующим влиянием некоторых пестицидов на активность нитрифицирующих бактерий.

Подкисление носило ясно выраженную вертикальную дифференциацию. Наиболее интенсивные изменения были сконцентрированы в активном корнеобитаемом слое 0-40 см. В нижележащих горизонтах (<40 см) статистически значимых сдвигов рН и Нг не зафиксировано, что подтверждает формирование антропогенно-преобразованного кислотного профиля с максимумом изменений в зоне прямого внесения удобрений и ризосферной активности корней культур севооборота. Наблюдаемое подкисление является прямым следствием процесса нитрификации аммонийного азота из минеральных удобрений, сопровождающегося выделением ионов H^+ , а также выноса оснований с урожаем сельскохозяйственных культур. При снижении рН ниже 5,5 в пахотном слое возникает риск повышения подвижности токсичных форм алюминия и снижения доступности фосфора для растений на 40-60% вследствие образования нерастворимых соединений.

Длительное применение минеральных удобрений, особенно в высоких дозах, является основным драйвером прогрессирующего подкисления и роста потенциальной кислотности выщелоченного чернозёма. Использование СЗР демонстрирует ограниченный смягчающий эффект. Полученные данные обосновывают необходимость системного контроля кислотности (регулярное известкование, оптимизация доз азотных удобрений) как обязательного элемента адаптивных систем земледелия на чернозёмных почвах.

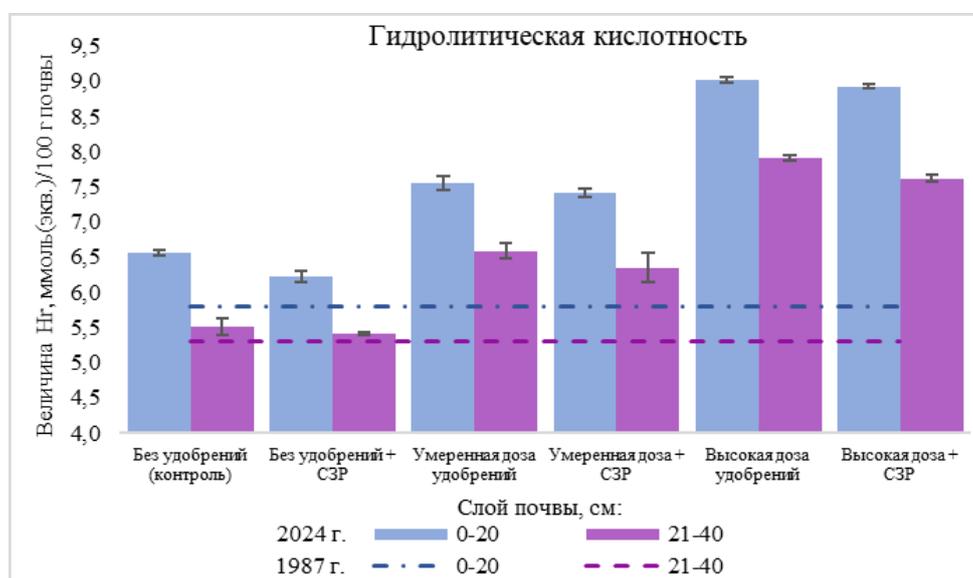
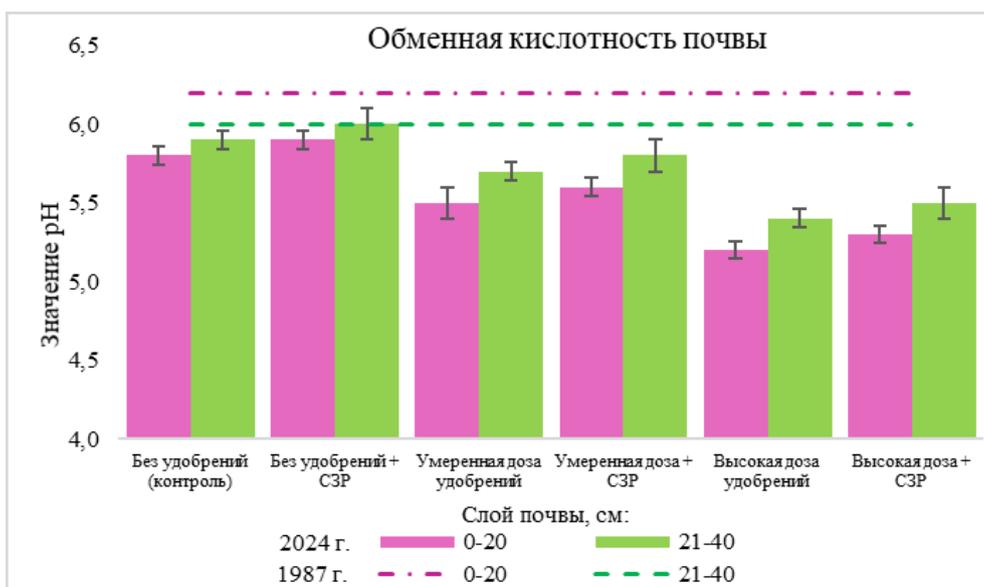


Рис. Влияние средств химизации на величину pH KCl и H⁺ в пахотном слое почвы (изменение за период 1987-2024 гг.)

Заключение

Многолетние исследования выявили выраженное влияние уровня химизации на содержание гумуса и кислотности чернозёма выщелоченного. В отсутствие удобрений наблюдается деградация гумусового горизонта (потери до 22% в слое 0-20 см) и умеренное подкисление. Умеренные дозы удобрений позволяют стабилизировать гумус и замедлить подкисление. Наибольший положительный эффект на накопление гумуса (+8 отн.%) достигается при сочетании высокой дозы удобрений и СЗР, однако этот же режим вызывает максимальное подкисление пахотного слоя (снижение pH на 16%, рост H⁺ на 56%). Применение СЗР снижает темпы подкисления на 2-3% и усиливает гумификацию за счёт сохранения фитомассы.

Для устойчивого управления плодородием чернозёмов выщелоченных рекомендуется дифференцированный подход: умеренные дозы удобрений в сочетании с СЗР для стабилизации гумуса и минимизации подкисления, а при интенсивных системах – обязательный контроль кислотности (известкование) и мониторинг агрохимических показателей.

Библиографический список

1. Основные результаты длительного (с 1931 г.) полевого опыта Д. Н. Прянишникова на ДАОС / Ю. Г. Грицевич, В. Г. Игнатов, Н. К. Сидоренкова [и др.] – Текст: непосредственный // Агрохимический вестник. – 2012. – № 6. – С. 30-33.

2. Влияние длительного применения удобрений на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / А. Х. Шеуджен, М. А. Осипов, И. А. Лебедовский, С. В. Есипенко // *Агрохимический вестник*. – 2013. – № 6. – С. 2-3.

3. Парамонов, А. В. Влияние систематического применения удобрений на плодородие почвы в длительном стационарном опыте / А. В. Парамонов, С. В. Пасько. – Текст: непосредственный // *Географическая сеть опытов с удобрениями: материалы Всероссийского совещания научных учреждений – участников Географической сети опытов*. – Москва: ВНИИА, 2016. – С. 204-209.

4. Околелова, А. А. Экологическое почвоведение и законы экологии: учебное пособие / А. А. Околелова, В. Ф. Желтобрюхов, Г. С. Егорова. – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. – 220 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107857>. – Режим доступа: Электронно-библиотечная система Лань. – Текст: электронный.

5. Роль органических удобрений (соломы, сидератов, пожнивно-корневых остатков) в воспроизводстве и сохранении гумуса в почве / А. Х. Куликова, Е. А. Яшин, Е. А. Черкасов, Е. С. Волкова. – Текст: непосредственный // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2022. – № 4 (60). – С. 53-58.

6. Синих, Ю. Н. Севооборот и биологизация земледелия / Ю. Н. Синих. – Текст: непосредственный // *Аграрная Россия*. – 2010. – № 6. – С. 5-9.

7. Троц, В. Плодородие почв – основа благосостояния населения / В. Троц, Д. Ахматов. – Текст: непосредственный // *Аграрное решение*. – 2011. – № 3. – С. 22-26.

8. Чекмарев, П. А. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах ЦЧР / П. А. Чекмарев, С. В. Лукин, Ю. И. Сискевич [и др.]. – Текст: непосредственный // *Достижения науки и техники АПК*. – 2011. – № 10. – С. 23.

9. Weil, R.R., Brady, N.C. (2017). *The Nature and Properties of Soils*. 15th Edition, Pearson, New York. P. 217.

10. Черкасов, Е. А. Динамика кислотности пахотных почв Ульяновской области / Е. А. Черкасов, Б. К. Саматов, А. В. Карпов. – Текст: непосредственный // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2011. – № 3 (15). – С. 31-34.

11. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов Географической сети России / В. Г. Сычев, А. Н. Налиухин, Л. К. Шевцова [и др.]. – Текст: непосредственный // *Почвоведение*. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536.

References

1. Gritsevich, Yu. G. Osnovnye rezultaty dlitel'nogo (s 1931 g.) polevogo opyta D. N. Pryanishnikova na DAOS / Yu. G. Gritsevich, V. G. Ignatov, N. K. Sidorenkova [i dr.] // *Agrokhimicheskii vestnik*. – 2012. – No. 6. – S. 30-33.

2. Sheudzhen, A. Kh. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobreniy na fiziko-khimicheskie svoystva chernozema vyshchelochennogo / A. Kh. Sheudzhen, M. A. Osipov, I. A. Lebedovskiy, S. V. Esipenko // *Agrokhimicheskii vestnik*. – 2013. – No. 6. – S. 2-3.

3. Paramonov, A. V. Vliyanie sistematicheskogo primeneniya udobreniy na plodorodie pochvy v dlitel'nom stacionarnom opyte / A. V. Paramonov, S. V. Pasko // *Geograficheskaya set opytov s udobreniyami: materialy Vseros. soveshch. nauch. uchrezhdeniy – uchastnikov Geograficheskoy seti opytov*. – Moskva: VNIIA, 2016. – S. 204-209.

4. Okolelova, A. A. Ekologicheskoe pochvovedenie i zakony ekologii: uchebnoe posobie / A. A. Okolelova, V. F. Zheltobryukhov, G. S. Egorova. – Volgograd: Volgogradskiy GAU, 2017. – 220 s. – Tekst: elektronnyy // Lan: elektronno-bibliotchnaya sistema. – URL: <https://e.lanbook.com/book/107857>.

5. Kulikova, A. Kh. Rol organicheskikh udobreniy (solomy, sideratov, pozhnivno-kornevykh ostatkov) v vosproizvodstve i sokhraneniі gumusa v pochve / A. Kh. Kulikova, E. A. Yashin, E. A. Cherkasov, E. S. Volkova // *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. – 2022. – No. 4 (60). – S. 53-58.

6. Sinikh, Yu. N. Sevooborot i biologizatsiya zemledeliya / Yu. N. Sinikh // *Agrarnaya Rossiya*. – 2010. – No. 6. – S. 5-9.

7. Trots, V. Plodorodie pochv – osnova blagosostoyaniya naseleniya / V. Trots, D. Akhmatov // *Agrarnoe reshenie*. – 2011. – No. 3. – S. 22-26.

8. Chekmarev, P. A. Monitoring sodержaniya organicheskogo veshchestva v pakhotnykh pochvakh TsChR / P. A. Chekmarev, S. V. Lukin,

YU. I. Siskevich [i dr.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2011. – No. 10. – S. 23.

9. Weil, R.R., Brady, N.C. (2017). The Nature and Properties of Soils. 15th Edition, Pearson, New York. P. 217.

10. Cherkasov, E. A. Dinamika kislotalnosti pakhotnykh pochv Ulyanovskoy oblasti / E. A. Cherkasov, B. K. Samatov, A. V. Karpov // Vestnik Ulyanovskoy GSKHA. – 2011. – No. 3 (15). – S. 31–34.

11. Sychev, V. G. Vliyanie sistem udobreniya na sodержanie pochvennogo organicheskogo ugleroda i urozhaynost selskokhozyaystvennykh kultur: rezultaty dlitelnykh polevykh opytov Geograficheskoy seti Rossii / V. G. Sychev, A. N. Naliukhin, L. K. Shevtsova [i dr.] // Pochvovedenie. – 2020. – No. 12. – S. 1521–1536.

