УДК 631.41: 631.87 DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.19

АЗОТНОЕ СОСТОЯНИЕ ТЁМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОСАДКА СТОЧНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЙ

О.А. Мелентьева, И.М. Габбасова, д.б.н., Т.Т. Гарипов к.с.-х.н., Л.В. Сидорова к.б.н., М.А. Комиссаров, д.б.н., Е.С. Дорогая
Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН,
450054, Уфа, пр. Октября, д. 69, Россия. E-mail: gimib@mail.ru

При внесении ОСВ отдельно и в сочетании с добавками, а также помёта в дозе 10 т/га в тёмно-серую лесную почву за 3 года опыта увеличилось содержание минерального азота на 7-13 мг/кг, в дозе 40 т/га – на 9-22 мг/кг, щелочногидролизуемого азота на 15-25 мг/кг, повысилась активность уреазы и протеазы. Эффективность добавок возрастает в ряду: фосфорит < сапропель < кизельгур. Различия между дозами удобрений по этим показателям статистически недостоверны и риск накопления аммония и нитратов в почве отсутствует.

Ключевые слова: азотное состояние, ОСВ, помёт, сапропель, кизельгур, фосфорит, уреаза, протеаза.

Для цитирования: *Мелентьева О.А., Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Комиссаров М.А., Дорогая Е.С.* Азотное состояние тёмно-серой лесной почвы при использовании осадка сточных вод в качестве удобрений// Плодородие. – 2026. – №4. – С. 98-101. DOI: 10.25680/S19948603.2026.151.19.

Возрастающая потребность в утилизации осадков сточных вод (ОСВ) определяет необходимость их использования в качестве нетрадиционного органического удобрения – источника питательных веществ, особенно азота. Для повышения эффективности удобрений на основе ОСВ во многих исследованиях их использовали в составе смеси с различными отходами пищевой промышленности и другими материалами, такими как опилки, торф, солома, сапропель, птичий помёт, отработанный кизельгур и др., способствующими оптимизации их физических и агрохимических свойств [2-4, 9, 12]. Согласно ГОСТу Р 59748–2021, ОСВ должен содержать не менее 0,6 % азота в пересчете на сухое вещество, но как правило содержит гораздо больше – до 6% [6, 8, 11]. Для трансформации азотсодержащих веществ вносимых в почву органических удобрений большое значение имеет активность ферментов азотного обмена, которая может также служить показателем плодородия и здоровья почв [5, 15, 16].

Цель исследований – изучить влияние внесения удобрений на основе осадка сточных вод, в том числе с добавлением сапропеля, отработанного кизельгура и фосфорита, на азотное состояние и ферментативную активность тёмно-серой лесной почвы Южного Предуралья.

Методика. Исследования проводили в 2023-2025 г. в Северной лесостепи Республики Башкортостан. Почва опыта тёмно-серая лесная тяжелосуглинистая со слабокислой реакцией среды, средним содержанием гумуса, высокой степенью обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием. Площадь делянок 18 м^2, повторность опыта трёхкратная. Образцы отбирали ежегодно из пахотного слоя почвы перед посевом и после уборки урожая. Удобрения вносили один раз при заложении опыта. Были использованы: ОСВ с МУП «Уфаводоканал» по завершении цикла их обработки, экологическая безопасность применения которых в качестве удобрения (по содержанию токсичных веществ, в том числе тяжёлых металлов, а также патогенных микроорганизмов) изучена ранее [10]; сапропель из близлежащего осушенного болота; отход пивного производства отработанный кизельгур (далее – кизельгур); ашинский фосфорит с содержанием P_2O_5 около 20 %, куриный помёт – в сухом пеллетированном виде (10 т/га помёта по содержанию сухого вещества соответствовало 40 т/га ОСВ).

Схема опыта: 1) контроль (без удобрений); 2) ОСВ, 10 т/га – фон I; 3) фон I + сапропель, 10 т/га; 4) фон I + кизельгур, 10 т/га; 5) фон I + фосфорит, 2 т/га; 6) помёт куриный, 2,5 т/га; 7) ОСВ, 40 т/га – фон II; 8) фон II + сапропель, 10 т/га; 9) фон II + кизельгур, 10 т/га; 10) фон II + фосфорит, 2 т/га, 11) помёт куриный, 10 т/га.

Содержание валового азота определяли по Кьельдалю, щелочногидролизуемого – по Корнфилду, нитратного – колориметрическим методом с дисульфофеноловой кислотой, аммонийного азота – колориметрическим методом с реактивом Несслера [1]; активность уреазы по методу Щербакова, протеазы по Галстяну с окончанием по Лоури [14]. Полученные данные обрабатывали статистически с помощью пакета программ MS Excel при $p<0,05$.

Результаты и их обсуждение. Тёмно-серая лесная почва характеризовалась содержанием общего азота 3240-3380 мг/кг, которое по вариантам опыта и годам исследований менялось незначительно. Основные изменения происходили в содержании подвижных форм азота. Внесение ОСВ способствовало существенному возрастанию минерального азота в верхнем 10 см слое почвы (табл.).

Содержание аммонийного и нитратного азота в первый год опыта в слое 0-10 см, мг/кг

Вариант	$N\text{-}NH_4$		$N\text{-}NO_3$	
	весна	осень	весна	осень
Контроль (б/у)	4,8	2,1	1,8	11,5
$ОСВ_{10}$	4,7	1,2	10,6*	7,5
$ОСВ_{10}Сап_{10}$	37,8*	2,2	23,0*	37,6*
$ОСВ_{10}Киз_{10}$	14,4*	3,4*	22,3*	21,6*
$ОСВ_{10}Фос_2$	5,3	3,5*	15,4*	26,4*
$ОСВ_{40}$	16,1*	13,6*	8,7*	39,8*
$ОСВ_{40}Сап_{10}$	25,6*	8,4*	25,4*	48,4*
$ОСВ_{40}Киз_{10}$	60,8*	4,4*	34,6*	39,8*
$ОСВ_{40}Фос_2$	24,3*	3,1*	28,7*	32,4*
$Помет_{10}$	5,8	1,9	10,3*	5,3
$Помет_{40}$	7,7*	3,9*	14,2*	18,7*

*Значение достоверно выше контроля при $p<0,05$.

Самое высокое содержание аммонийного азота наблюдалось вскоре после внесения удобрений, но к

осени оно значительно снизилось и в последующие годы не превышало 5 мг/кг почвы. В отличие от аммонийной формы, максимальное содержание нитратного азота наблюдалось осенью 1-го года опыта и в дальнейшем снижалось постепенно.

Содержание минерального азота по фону I в среднем за 3 года достоверно увеличилось на 7-13 мг/кг ($t_{факт}$ 2,23-2,34 при $t_{крит}$ 2,20) только при добавлении сапропеля и кизельгура (рис 1). По фону II увеличение этого показателя было достоверно по всем вариантам и составило от 9 до 22 мг/кг ($t_{факт}$ 2,26-2,62).

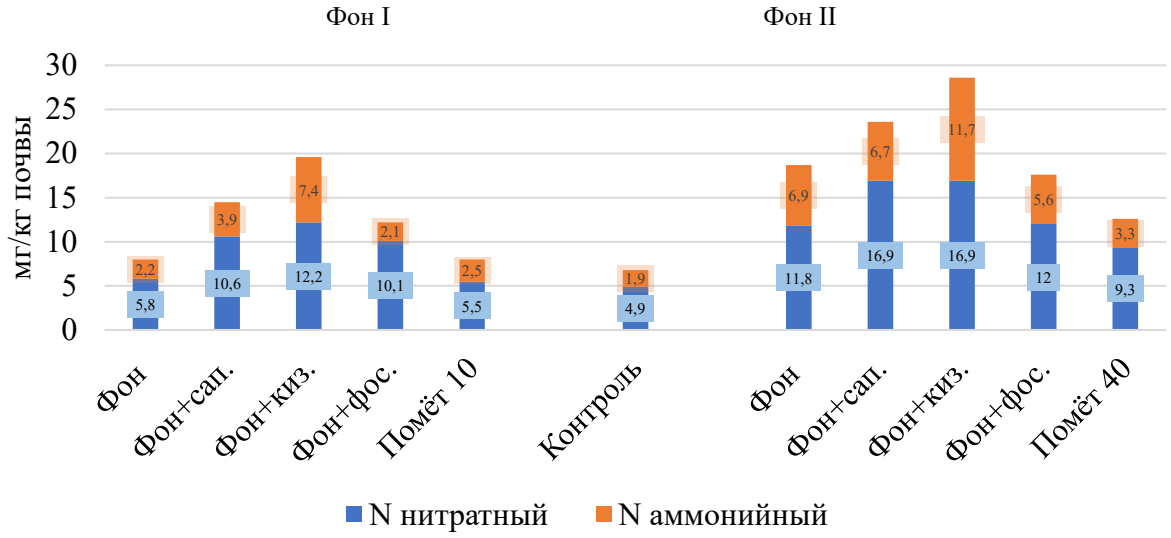


Рис. 1. Содержание минерального ($N\text{-}NH_4$ + $N\text{-}NO_3$) азота в слое почвы 0-10 см (в среднем за 3 года)

Несмотря на повышение среднего содержания минерального азота за 3 года на 4-14 мг/кг, различия между дозами ОСВ 10 и 40 т/га оказались статистически недостоверными ($t_{факт}$ 1,22-1,90), как и между дозами куриного помёта ($t_{факт}$ 1,86). Это свидетельствует об отсутствии рисков накопления аммония и нитратов в почве даже при высокой дозе этих удобрений. Следует отметить, что по влиянию на этот показатель ОСВ в дозе 10 т/га были практически одинаковыми с аналогичной дозой помёта, а при 40 т/га – превосходили его в 1,5 раза. Эффективность добавок к ОСВ по увеличению содержания минерального азота возрастала в ряду: фосфорит < сапропель < кизельгур.

Обеспеченность почвы опыта щелочногидролизуемым азотом, который является резервом доступного для растений минерального азота, невелика. Заметное увеличение его содержания отмечалось только весной первого года опыта при внесении ОСВ (рис. 2), особенно с добавлением кизельгура и сапропеля. В дальнейшем во всех вариантах с использованием ОСВ содержание щелочногидролизуемого азота снижалось и выравнивалось, изменяясь в сравнительно узком диапазоне – от 120 до 160 мг/кг. В отличие от ОСВ при внесении помёта содержание этой формы азота в первый год было на уровне контрольного варианта, но на третий год возросло. Такая динамика обусловлена, по всей видимости, более медленным разложением сухих пеллет помёта. По содержанию щелочногидролизуемого азота в среднем за 3 года при внесении 10 т/га ОСВ и обеих доз помёта различия с контролем оказались недостоверными ($t_{факт}$ 1,97-2,20 при $t_{крит}$ 2,57), но добавление кизельгура, сапропеля и фосфорита к ОСВ способствовало достоверному увеличению этого показателя до 139-141 мг/кг против 123 мг/кг на контроле; $t_{факт}$ 3,04-4,36. По всем вариантам с внесением 40 т/га ОСВ увеличение составило 12-20% по сравнению с контролем (138-148 мг/кг; $t_{факт}$ 3,61-5,77). При этом различия между фонами по содержанию щелочногидролизуемого азота оказались несущественными ($t_{факт}$ 0,26 – 1,53).

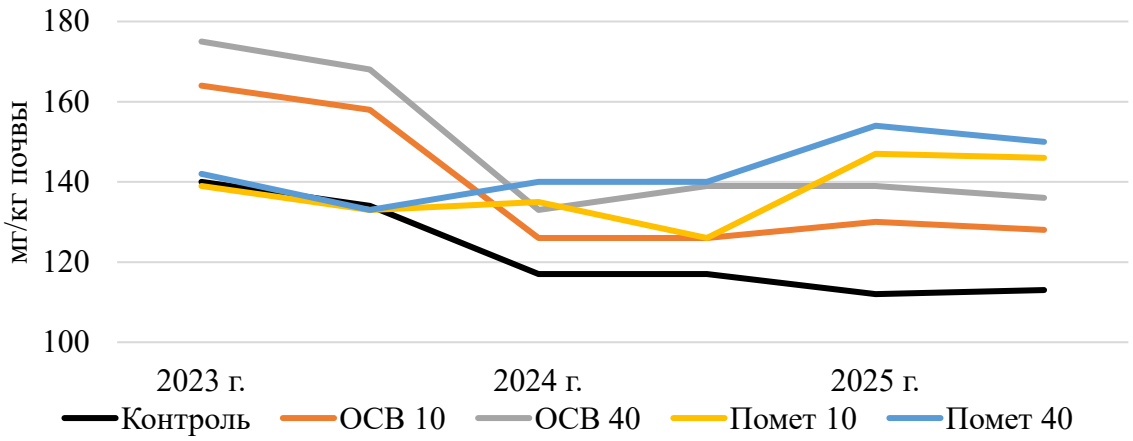


Рис. 2. Содержание щелочногидролизуемого азота в слое почвы 0-20 см

Важную роль в трансформации азота в почве играют ферменты азотного обмена класса гидролаз: протеза и уреаза. Активность протеазы, участвующей в расщеплении белков, мало зависела от вида и дозы удобрений, увеличиваясь только в варианте с сапропелем по фону II, при этом различия между слоями почвы были недостоверны (рис 3).

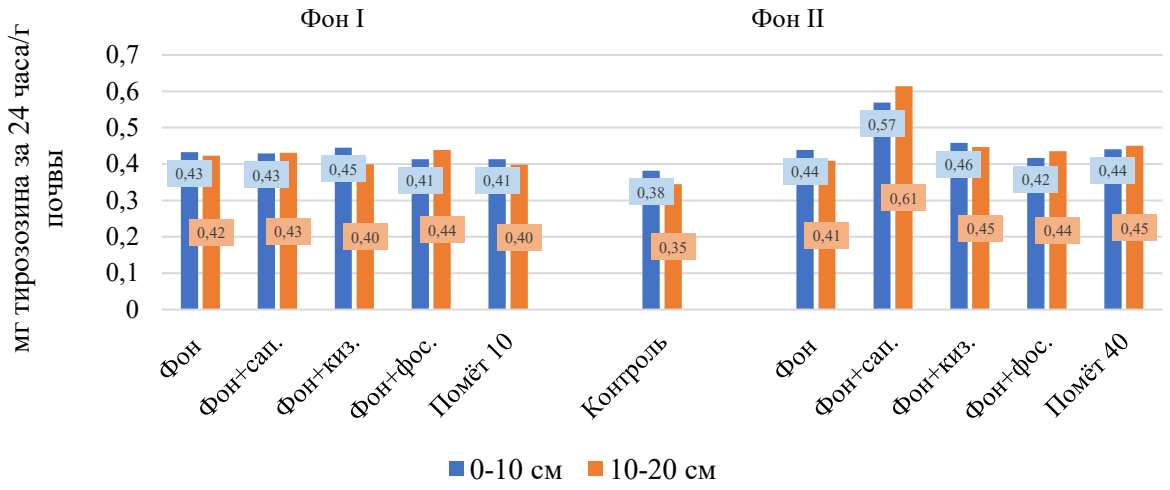


Рис. 3. Активность протеазы

Активность уреазы – катализатора гидролиза мочевины – в верхнем 10-см слое почвы в большей степени реагировала на внесение ОСВ, добавок и помёта, увеличиваясь на 20-40 и 30-70% с возрастанием дозы удобрений (рис. 4). В слое почвы 10-20 см активность фермента заметно снижалась и не превышала значения на контроле более чем на 30%.

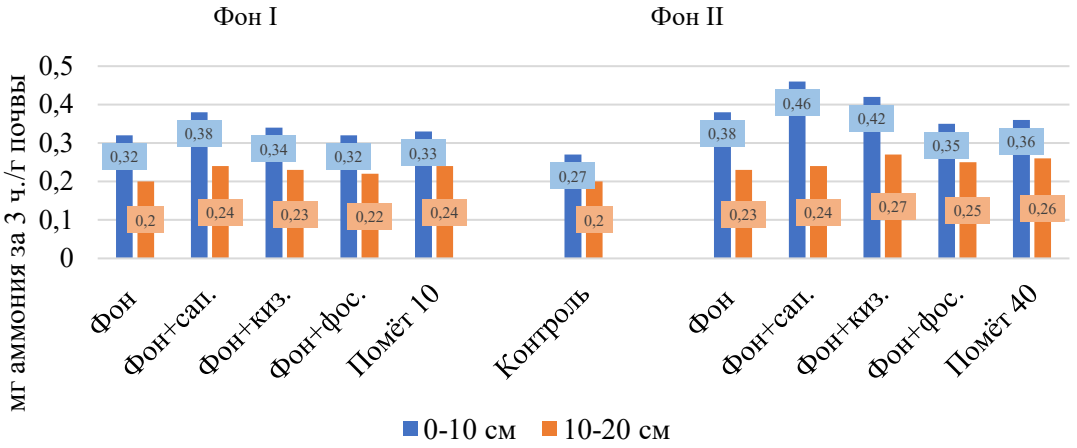


Рис. 4. Активность уреазы

Как и в случае с протеазой, на повышение активности уреазы сапропель оказал наибольшее воздействие по сравнению с кизельгуром и фосфоритом. Влияние помёта на активность изученных ферментов было сходным с аналогичной дозой ОСВ. Возрастание ферментативной активности при внесении в почву ОСВ и помёта, связанное не только с повышением плодородия, но и с благоприятным агроэкологическим состоянием почвы, отмечено также в работах [7, 13].

Заключение. Внесение ОСВ, как отдельно, так и совместно с другими материалами, а также пеллетированного куриного помёта способствовало улучшению азотного состояния тёмно-серой лесной почвы: повышению содержания аммонийного, нитратного и щелочногидролизуемого азота, а также активности ферментов азотного обмена. Максимальное увеличение содержания минеральных форм азота при обеих дозах удобрений наблюдалось в первый год опыта: аммонийного весной, а нитратного осенью. В дальнейшем содержание аммонийного азота снижалось резко, а нитратного – постепенно. Заметное увеличение содержания щелочногидролизуемого азота при внесении ОСВ отмечалось только весной первого года опыта с последующим понижением и выравниванием. При этом в среднем за 3 года различия по данным показателям между дозами удобрений 10 и 40 т/га оказались статистически недостоверными, то есть накопления аммония и нитратов в почве не происходит. Внесение удобрений способствовало повышению активности уреазы в большей степени, чем протеазы. Эффективность добавок к ОСВ возрастала в ряду: фосфорит < сапропель < кизельгур.

Литература

1. *Агрохимические* методы исследования почв. Коллективная монография / Под. ред. А. В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 656 с.

2. *Анисимова Т.Ю., Зазыкина Л.А.* Эффективность использования птичьего помета в качестве активатора компостирования // Journal of Agriculture and Environment. – 2025. – №6. – С. 1-7. https://doi.org/10.60797/JAE.2025.58.2

3. *Брындина Л.В., Корчагина А.Ю., Говедар З.* Биоудобрение из древесных отходов и осадка сточных вод с повышенным содержанием азота // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13. – № 3(51). – С. 5-16. – https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.3/1
4. *Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Дорогая Е.С., Комиссаров М.А., Назырова Ф.И., Нигматзянов А.С.* Влияние осадков сточных вод в сочетании с различными добавками на азотное состояние чернозема выщелоченного // Агрохимия. – 2023. – № 11. – С. 112-116. https://doi.org/10.31857/S0002188123110054
5. *Егоров В.И., Галяутдинова Г.Г., Гибадуллин Р.З., Ягафарова К.Ф.* Использование почвенных ферментов для оценки качества почвы // Охрана окружающей среды и заповедное дело. – 2024. – Т. 5. – № 2(14). – С. 123-128.
6. *Жигарева Ю.В., Мерзлая Г.Е.* Агроэкологическая оценка эффективности осадков сточных вод на дерново-подзолистых почвах Тверской области // Плодородие. – 2018. – № 2. – С. 49-51.
7. *Зинченко М.К., Зинченко С.И.* Мониторинг ферментативной активности уреазы в серых лесных почвах Верхневолжья // Земледелие. – 2020. – № 6. – С. 21-24. – https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10605.
8. *Касатиков В.А., Шабардина Н.П., Раскатов В.А.* Агроэкологическая оценка применения осадка городских сточных вод в длительном полевом опыте // Плодородие. – 2018. – № 5. – С. 46-49.
9. *Лицкевич А.Н., Гулькович М.В., Черничко О.А. Хинич А.И., Дашкевич М.М.* Осадки сточных вод перерабатывающих предприятий как компоненты производства органических удобрений // Природопользование. – 2017. – № 31. – С. 166-172.
10. *Мелентьева О.А., Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Хабиров И.К.* Содержание токсичных элементов при внесении осадков сточных вод в чернозем типичный Южного Предуралья // Почвы – опора России: тезисы докладов IX съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. – Москва-Казань: МАКС-Пресс. – 2024. – С. 181-182.
11. *Семерджян А.К., Орехова В.И., Кондратенко Л.Н., Варакин Г.С.* Осадки сточных вод очистных сооружений г. Краснодара как удобрение для сельскохозяйственных угодий // Плодородие. – 2022. – №4. – С. 88-89. https://doi.org/10.25680/S19948603.2022.127.22.
12. *Тихойкина И.М., Тучкова Л.Е., Верховец И.А., Чувашева Е.С.* Влияние удобрительных форм на основе отходов производства и природных цеолитов на свойства темно-серой лесной почвы // Вестник сельского развития и социальной политики. – 2019. – № 3. – С. 38-41.
13. *Тютюнькова М.В., Малахова С.Д., Мурадова И.Ю., Федорова З.С.* Ферментативная активность дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях длительного применения осадков сточных вод // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 2. – С. 49-51. – https://doi.org/10.24411/1728-323X-2018-12049
14. *Хазиев Ф.Х.* Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. – 256 с.
15. *Хазиев Ф.Х.* Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 80-92. – https://doi.org/10.31163/2618-964X-2018-1-2-80-92.
16. *Хасанова Р.Ф., Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н.* Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности // Вестник Нижневартовского государственного университета. – 2017. – № 1. – С. 103-108.

NITROGEN STATUS OF DARK GRAY FOREST SOIL WHEN USING SEWAGE SLUDGES AS FERTILIZERS

O.A. Melentyeva, I.M. Gabbasova, Dr. Biol., T.T. Garipov, PhD. Agr., L.V. Sidorova, PhD. Biol., M.A. Komissarov, Dr. Biol., E.S. Dorogaya.

Ufa Institute of Biology of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 450054, Ufa, 69 Oktyabrya Avenue, Russia

When sewage sludges separately and in combination with additives, as well as chicken litter are added to dark gray forest soil at the dose of 10 t/ha over a 3-year experiment, mineral nitrogen content increased by 7-13 mg/kg; at 40 t/ha, by 9-22 mg/kg; alkaline-hydrolyzable nitrogen by 15-25 mg/kg; urease and protease activity also increased. The effectiveness of the additives increases in the following order: phosphorite < sapropel < kieselguhr. Differences between fertilizer doses for these parameters are statistically insignificant, and there is no risk of ammonium and nitrate accumulation in the soil.
Keywords: nitrogen state, sewage sludges, chicken manure, sapropel, kieselguhr, phosphorite, urease, protease.