

УДК 631.416.2:631.445.41:631.879.2

ФОСФАТНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ВНЕСЕНИИ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД[§]

© 2025 г. И. М. Габбасова^{1,*}, А. С. Нигматзянов², Т. Т. Гарипов¹,
И. К. Хабиров², Л. В. Сидорова¹

¹Уфимский институт биологии УФИЦ РАН
450054 Уфа, просп. Октября, 69, Россия

²Башкирский государственный аграрный университет
450001 Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, Россия

*E-mail: gimib@mail.ru

В 3-месячном модельном опыте изучено влияние внесения осадков сточных вод (ОСВ) в дозах, соответствующих в пересчете на сухую массу 5 и 10 т/га, в сочетании с соломой, отработанным кизельгуром и сапропелем на фосфатное состояние чернозема выщелоченного слабоэродированного. Валовое содержание фосфора повысилось в зависимости от дозы ОСВ на 6–31%, подвижного – на 71–150%, его максимальное содержание отмечено на 6–8-й неделе компостирования. При этом добавки к ОСВ незначительно повлияли на эти показатели, но внесение отработанный кизельгура и сапропеля способствовало увеличению степени подвижности фосфора при дозе 5 т/га на 50–220%, при дозе 10 т/га – на 100–370%. В целом фосфатное состояние чернозема выщелоченного слабоэродированного улучшалось в ряду: ОСВ + солома < ОСВ < ОСВ + кизельгур < ОСВ + сапропель.

Ключевые слова: фосфатное состояние почвы, осадки сточных вод, кизельгур, сапропель, солома.

DOI: 10.31857/S0002188125030013, **EDN:** UQWRXM

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных задач земледелия всегда являлось регулирование фосфатного режима почвы. В Республике Башкортостан (РБ), несмотря на довольно высокое потенциальное плодородие черноземов, при их сельскохозяйственном использовании степень обеспеченности фосфором, как правило, является низкой [1]. Это связано в том числе с тем, что фосфор, в отличие от азота и углерода, не имеет естественных источников пополнения запасов в почве. Потребление его для создания урожая сельскохозяйственных культур практически полностью восполняется только за счет внесения удобрений. В условиях дефицита или дороговизны минеральных удобрений важное значение приобретает использование различных фосфорсодержащих отходов. Среди них наибольшие объемы в регионе составляют осадки сточных вод (ОСВ) населенных пунктов, птичий помет, фосфогипс – неизбежный крупнотоннажный отход производства минеральных

удобрений и сапропель, извлекаемый со дна застойных водоемов [2–5]. Особое место занимают ОСВ, наиболее экологичным и целесообразным способом утилизации которых является их использование в качестве органического удобрения. Содержание P_2O_5 в ОСВ, как правило, изменяется в диапазоне 1.5–4.3% [6–8]. Помимо прямого привноса фосфора в почву, ОСВ может способствовать увеличению доступности растениям трудногидролизующихся фосфатов почвы [9, 10]. Кроме этого, повышенное содержание фосфора в ОСВ позволяет получить из него биоуголь [11] и даже фосфорные удобрения [12].

Добавление к ОСВ других отходов и возобновляемых природных ресурсов, которые также нуждаются в утилизации и могут быть использованы как источник органических удобрений, способствует улучшению питательного режима, что особенно важно для эродированных почв [13, 14].

В этой связи целью настоящей работы было изучение влияния внесения ОСВ, в том числе с добавлением соломы, сапропеля и отработанный кизельгура, на фосфатное состояние слабоэродированного чернозема выщелоченного.

[§] Работа выполнена по теме № 118022190102-3.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В модельном опыте использовали пахотный горизонт чернозема средневщелоченного, легкоглинистого, слабоэродированного Южной лесостепи РБ с содержанием гумуса 6.1%, валового азота 0.35%, его щелочногидролизуемой формы 152 мг/кг, pH_{KCl} 5.5 ед. *ОСВ* были взяты с городских очистных сооружений после обезвоживания на иловых площадках. Добавками служили органические субстраты: измельченная пшеничная солома, отработанный кизельгур (отход пивного производства) в порошкообразном и суспендированном виде, сапрпель из осушенного болота. Аналитические исследования проводили, применяя общепринятые в агрохимии методы [15]: содержание гумуса определяли по Тюрину, валового азота – по Кьельдалю, щелочногидролизуемого – по Корнфилду, валового фосфора – методом мокрого озоления в смеси серной и хлорной кислот, подвижного фосфора – по Чирикову, степень подвижности фосфора – по Карпинскому–Замятиной, обменную кислотность – потенциометрическим методом.

Модельный опыт был заложен по следующей схеме, варианты: 1 – контроль, 2 – *ОСВ* 5 т/га в пересчете на сухую массу (*ОСВ*(5)), 3 – *ОСВ* 10 т/га в пересчете на сухую массу (*ОСВ*(10)), 4 – *ОСВ* 5 т/га + солома 0.5 т/га (*ОСВ*(5)+сол), 5 – *ОСВ* 10 т/га + солома 1 т/га (*ОСВ*(10)+сол), 6 – *ОСВ* 5 т/га + сапрпель 2.5 т/га (*ОСВ*(5)+сап), 7 – *ОСВ* 10 т/га + сапрпель 5 т/га (*ОСВ*(10)+сап), 8 – *ОСВ* 5 т/га + кизельгур сухой 7.5 т/га (*ОСВ*(5)+кс), 9 – *ОСВ* 10 т/га + кизельгур сухой 15 т/га (*ОСВ*(10)+кс), 10 – *ОСВ* 5 т/га + кизельгур жидкий (суспендированный) 7.5 т/га (*ОСВ*(5)+кж), 11 – *ОСВ* 10 т/га + кизельгур жидкий

15 т/га (*ОСВ*(10)+кж). В 2-литровые пластиковые контейнеры вносили по 1 кг почвы в воздушно-сухом состоянии, растертой и просеянной через сито с диаметром отверстий 3 мм. Солому, сапрпель и сухой кизельгур измельчали, просеивали, вносили в почву, перемешивали и добавляли воду до 60% ПВ. Жидкий кизельгур вносили по объему с учетом его влажности. Опыт проводили в трехкратной повторности в течение 3 мес. при постоянной температуре (20°C) и влажности. Отбор образцов для определения содержания подвижного фосфора производили каждые 2 нед, степень его подвижности – на 2-й и 12-й нед опыта. Содержание гумуса, общего и щелочногидролизуемого азота, валового фосфора, pH_{KCl} определяли по завершении опыта. Данные обрабатывали статистическими методами в программе MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение *ОСВ* в чернозем выщелоченный привело к существенному изменению его агрохимических свойств в целом и фосфатного состояния в частности. Содержание гумуса возросло на 5–14% пропорционально дозам *ОСВ*, при добавлении к *ОСВ* соломы и отработанного кизельгура оно увеличилось на 7–15%, сапрпеля – на 20–28% по сравнению с контролем. Во многом схожие тенденции наблюдали в изменении содержания валового и щелочногидролизуемого азота (табл. 1).

Валовое содержание фосфора увеличилось достоверно только в вариантах с внесением *ОСВ* в дозе 10 т/га. Его изменение коррелировало с содержанием гумуса ($r = 0.58$) и валового азота ($r = 0.60$). При этом влияние добавок было незначительным.

Таблица 1. Фосфатное состояние почвы опыта при применении *ОСВ*

Вариант	P_2O_5 вал, %	P_2O_5 подв, мг/кг	t_{st}^*	Степень подвижности фосфора, мг/л	
				2-я нед	12-я нед
Контроль	0.16 ± 0.01	70.2 ± 4	–	0.09 ± 0.01	0.10 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (5)	0.18 ± 0.02	120 ± 4	8.91	0.14 ± 0.02	0.10 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (10)	0.20 ± 0.01	165 ± 6	13.6	0.16 ± 0.01	0.13 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (5)+сол	0.18 ± 0.01	105 ± 5	5.14	0.12 ± 0.02	0.13 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (10)+сол	0.19 ± 0.02	139 ± 5	10.6	0.14 ± 0.01	0.11 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (5)+сапр	0.19 ± 0.03	122 ± 7	6.6	0.31 ± 0.01	0.32 ± 0.02
<i>ОСВ</i> (10)+сапр	0.20 ± 0.03	163 ± 6	12.9	0.51 ± 0.02	0.47 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (5)+кс	0.17 ± 0.01	120 ± 5	7.4	0.18 ± 0.01	0.15 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (10)+кс	0.18 ± 0.02	174 ± 4	18.4	0.24 ± 0.01	0.20 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (5)+кж	0.18 ± 0.3	123 ± 8	5.8	0.10 ± 0.01	0.21 ± 0.01
<i>ОСВ</i> (10)+кж	0.21 ± 0.2	171 ± 6	13.7	0.11 ± 0.01	0.27 ± 0.02

* $t_{01} = 3.17$.

Примечание. сол - солома, сапр - сапрпель, кс - кизельгур сухой, кж - кизельгур жидкий. То же на рис. 1.

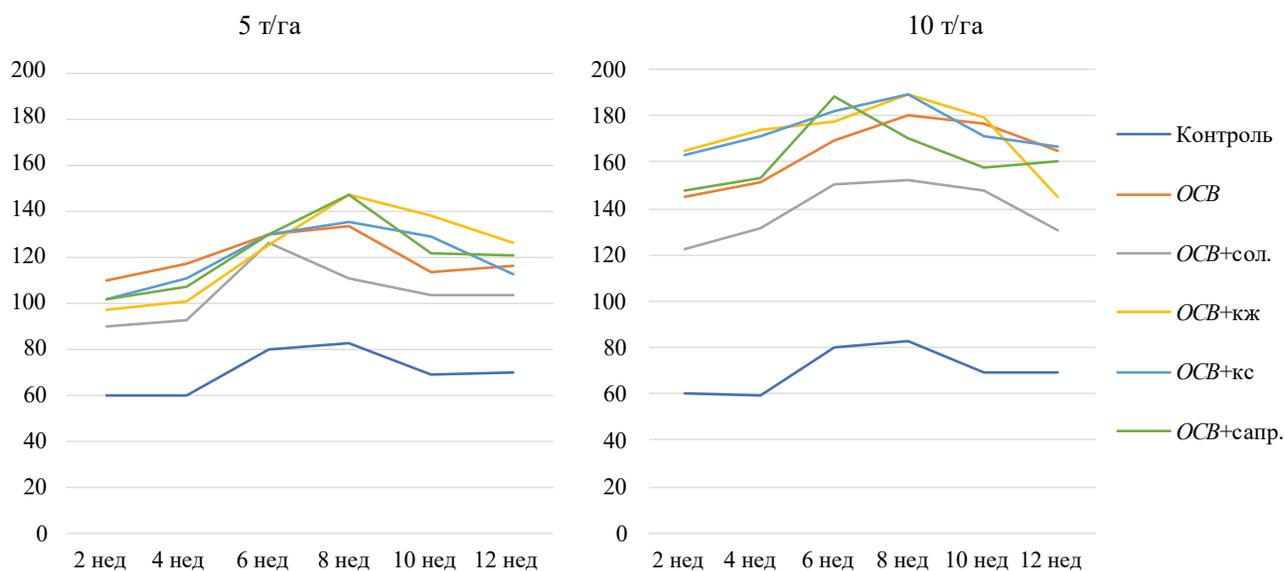


Рис. 1. Динамика содержания подвижного фосфора.

Более существенные изменения наблюдали в содержании подвижного фосфора, хотя, по мнению некоторых авторов, фосфор в составе *OSB* находится в трудноизвлекаемых формах [16, 17]. Обеспеченность им почвы возросла от “средней” в контроле до “повышенной” при дозе *OSB* 5 т/га и “высокой” при дозе 10 т/га. Эффективность добавок оказалась незначительной, а в варианте с соломой содержание подвижного фосфора было даже меньше, чем при внесении только *OSB*. При этом выявили корреляцию между содержанием подвижного фосфора и щелочногидролизующего азота ($r = 0.69$).

В процессе компостирования в условиях оптимальной влажности и температуры наблюдали высвобождение подвижного фосфора (рис. 1), которое достигло максимума на 6–8-й нед эксперимента, после этого началось постепенное снижение.

Следует отметить, что в течение 3 мес. различия между дозами *OSB* были достоверны при $p < 0.01$ ($t_{st} = 6.11–18.7$), тогда как в аналогичном 3-летнем полевом опыте эти различия нивелировались [18].

Известно, что усвояемость фосфора растениями регулируется характером равновесия фосфатов между твердой и жидкой фазами почвы и зависит от степени его подвижности. Для почв региона характерна невысокая степень подвижности фосфора (0.2–0.4 мг/л) [19], в то время как оптимальные показатели находятся в диапазоне 0.5–0.9 мг P_2O_5 /л [20]. Через 2 нед после начала эксперимента степень подвижности фосфора увеличилась от “низкой” в контроле до “средней” и “повышенной”, возрастая в ряду $OSB+кж < OSB+сол < OSB < OSB+кс < OSB+сапр$. При этом различия между дозами *OSB* были заметны только в 2 последних вариантах. В течение эксперимента степень подвижности фосфора

при внесении *OSB*, соломы и сапрпеля оставалась на прежнем уровне, тогда как при добавлении сухого кизельгура она снизилась, жидкого – напротив, возросла в 2 раза. Следует отметить, что при этом содержание как валового, так и подвижного фосфора в вариантах с добавлением кизельгура было одинаковым. В целом степень подвижности фосфора изменялась однонаправленно с содержанием гумуса, валового и щелочногидролизующего азота ($r = 0.76, 0.89$ и 0.74 соответственно). Высокая величина коэффициента корреляции между степенью подвижности фосфора и содержанием гумуса при внесении *OSB* отмечена также в работе [21]. Таким образом, добавление к *OSB* отработанного кизельгура и особенно сапрпеля способствовало увеличению степени подвижности фосфатов в отличие от содержания валового и подвижного фосфора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, внесение осадков сточных вод (*OSB*) в чернозем выщелоченный слабоэродированный оказало заметное влияние на его фосфатное состояние: валовое содержание фосфора повысилось в зависимости от дозы *OSB* на 6–31%, подвижного – на 71–148%, его максимальное содержание наблюдали после 6–8-й нед компостирования. При этом добавки к *OSB* незначительно повлияли на эти показатели, но внесение отработанного кизельгура и сапрпеля способствовало увеличению степени подвижности фосфора при дозе 5 т *OSB*/га на 50–220%, при дозе 10 т *OSB*/га – на 100–370%. В целом фосфатное состояние чернозема выщелоченного слабоэродированного при 3-месячном компостировании при внесении *OSB* и добавок улучшалось в ряду: *OSB* + солома – *OSB* – *OSB* + кизельгур – *OSB* + сапрпель.

В ходе исследования была использована приборная база Центра коллективного пользования “Агидель” УФИЦ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кольцова Г.А., Хазиев Ф.Х., Габбасова И.М.* Фосфатное состояние почв Башкортостана. Уфа: Гилем, 2001. 216 с.
2. *Габбасова И.М., Сулейманов Р.Р., Дашкин С.М., Гарипов Т.Т.* Повышение плодородия черноземов южных Зауральской степи с использованием природных агроруд // Докл. РАСХН. 2008. № 5. С. 34–38.
3. *Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Галимзянова Н.Ф., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Сидорова Л.В., Гималетдинова Г.А.* Использование удобрения на основе сплавнины для повышения плодородия эродированного чернозема типичного // Агрохимия. 2014. № 6. С. 35–42.
4. *Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Сидорова Л.В., Сулейманов Р.Р., Назырова Ф.И., Баязитова Л.И., Комиссаров А.В., Яубасаров Р.Б.* Использование куриного помета как удобрения на агрочерноземе Южного Предуралья // Агрохимия. 2016. № 8. С. 30–35.
5. *Komissarov M., Gabbasova I., Garipov T., Suleymanov R., Sidorova L.* The Effect of phosphogypsum and turkey litter application on the properties of eroded agrochernozem in the South Ural region (Russia) // Agronomy. 2022. V. 12. № 11. P. 2594. DOI: 10.3390/agronomy12112594
6. *Межевова А.С.* Использование осадков сточных вод при возделывании сельскохозяйственных культур // Научн. журн. Рос. НИИ пробл. мелиорации. 2021. Т. 11. № 2. С. 82–91. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-82-91
7. *Рабинович Г.Ю., Подолян Е.А., Зинковская Т.С., Анциферова О.А.* Агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы под влиянием удобрительных смесей с осадком сточных вод // Аграрн. научн. журн. 2021. № 12. С. 69–74. DOI: 10.28983/asj.y2021i12pp69-74
8. *Утомбаева А.А., Кузнецова Т.В., Вершинин А.А., Зайнулгабидинов Э.Р., Петров А.М.* Эффективность применения осадка городских сточных вод при рекультивации нефтезагрязненной серой лесной почвы // Вестн. НВГУ. 2023. № 3(63). С. 113–126. DOI: 10.36906/2311-4444/23-3/10
9. *Кириллов Н.А., Фадеева Н.А.* Перспективы использования осадков сточных вод для повышения продуктивности малогумусных почв // Экол. вестн. Северного Кавказа. 2015. Т. 11. № 1. С. 79–83.
10. *Брындина Л.В., Платонов А.Д., Бакланова О.В.* Биодоброудобрения на основе осадков сточных вод как катализаторы трансформационных процессов почвы // Экол. и пром-ть России. 2019. Т. 23. № 1. С. 42–45. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-1-42-45
11. *Кравцова М.В., Чариков Ю.В., Волков Д.А., Мельникова Д.А., Пустовитова Т.А., Кравцов М.В.* Исследование осадков сточных вод для получения органоминерального удобрения // Экол. и пром-ть России. 2023. Т. 27. № 4. С. 17–21. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-4-17-21
12. *Манжина С.А.* Российские и зарубежные практики обращения с осадком сточных вод // Экол. и водн. хоз-во. 2023. Т. 5. № 1. С. 15–31. DOI: 10.31774/2658-7890-2023-5-1-15-31
13. *Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А.* Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения // Агрохимия. 2020. № 8. С. 70–77. DOI: 10.31857/S0002188120080050
14. *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. 92–96. DOI: 10.31857/S0002188123110054
15. *Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова.* М.: Наука, 1975. 656 с.
16. *Косолапова А.И., Васбиева М.Т.* Изменение плодородия дерново-подзолистой почвы Предуралья при внесении отходов промышленности органического происхождения // Докл. РАСХН. 2010. № 4. С. 33–35.
17. *Фрид А.С., Касатиков В.А., Борисочкина Т.И., Колчанова К.А., Никитина Н.С.* Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при внесении осадков сточных вод и известии // Агрохимия. 2022. № 9. С. 3–14. DOI: 10.31857/S0002188122090058
18. *Нигматзянов А.С., Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Хабиров И.К.* Влияние внесения осадков сточных вод, сапропеля и фосфогипса на содержание подвижного фосфора в черноземе выщелоченный среднеэродированный // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. Мат-лы Международ. научн.-практ. конф. “Агрокомплекс-2023”. 2023. С. 133–137.
19. *Почвы Башкортостана / Под ред. Ф.Х. Хазиева.* Уфа: Гилем, 1995. Т. 1. 384 с.
20. *Касицкий Ю.И.* Агрохимические аспекты решения проблемы фосфора в земледелии СССР // Агрохимия. 1983. № 10. С. 16–31.
21. *Васбиева М.Т.* Изменение фракционного состава минеральных фосфатов, содержания подвижного фосфора и степени подвижности фосфатов по профилю дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2021. № 7. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188121070115

Phosphate State of Leached Chernozem under Applying Fertilizers Based on Sewage Sludge

I. M. Gabbasova^{a,#}, A. S. Nigmatzyanov^b, T. T. Garipov^a,
I. K. Khabirov^b, L. V. Sidorova^a

^a*Ufa Institute of Biology UFRC RAS,
prosp. Oktyabrya 69, Ufa 450054, Russia*

^b*Bashkir State Agrarian University,
ul. 50 Let Oktyabrya 34, Ufa 450001, Russia*

[#]*E-mail: gimib@mail.ru*

In a 3-month model experiment, the effect of introducing sewage sludge (SS) in doses corresponding to 5 and 10 t/ha in terms of dry weight, in combination with straw, spent kieselguhr and sapropel on the phosphate state of leached, slightly eroded chernozem, was studied. The gross content of phosphorus increased depending on the dose of SS by 6–31%, and mobile phosphorus – by 71–150%, its maximum content was observed at 6–8 weeks of composting. At the same time, additions to SS had a slight effect on these indicators, but the addition of spent kieselguhr and sapropel contributed to an increase in the degree of phosphorus mobility at a dose of 5 t/ha by 50–220%, and at a dose of 10 t/ha – by 100–370%. In general, the phosphate state of leached, slightly eroded chernozem improves in the series: SS+ straw < SS < SS + kieselguhr < SS + sapropel.

Keywords: soil phosphate status, sewage sludge, kieselguhr, sapropel, straw.