

## ВЛИЯНИЕ ФОСФОРИТНОЙ МУКИ, ИЗВЕСТИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УДОБРИТЕЛЬНОЙ СМЕСИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОСЕРЫ ПОЧВЫ

**Ф.Ю. Бобраков, Р.Н. Ушаков, д.с.-х.н., А.В. Ручкина, к.с.-х.н., Д.В. Виноградов, д.б.н.,  
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет  
имени П.А. Костычева»**

**390044, Рязань, ул. Костычева, д. 1, 89105651928, E-mail: r.usakov1971@mail.ru**

Приведены результаты сопряженного изучения емкости буферности, микробиологической активности (азотобактер, *Azotobacter chroococcum*, нитрифицирующие и аммонифицирующие бактерии) агросерой тяжелосуглинистой почвы к подкислению. Емкость буферности определяли по количеству титранта, необходимого для доведения значения рН суспензии от начальной точки титрования до 3 (метод непрерывного потенциометрического титрования). Азотобактер изучали на безазотной среде Эшби, аммонифакторы – на МПА, нитрификаторы – на среде Виноградского. В опытах моделировали разные уровни кислотной нагрузки: 0,049 и 0,121 мМ/л. Использовали соляную кислоту. Контроль – без подкисления или фоновая рН<sub>KCl</sub>. При дозах фосфоритной муки и извести 4-6 т/га емкость буферности по сравнению с вариантом без мелиорантов возросла на 8-14 и 72-82 мМ-экв/кг соответственно и составила 33-39 и 87-107 мМ-экв/кг. Мелиоранты стабилизировали микробиологическую активность на фоне подкисления. Предложены критерии устойчивости почвы к подкислению на основе изменения емкости буферности и численности микроорганизмов при подкислении.

**Ключевые слова:** агросерая почва, подкисление почвы, емкость буферности, микробиологическая активность, критерии устойчивости почвы.

Для цитирования: Бобраков Ф.Ю., Ушаков Р.Н., Ручкина А.В., Виноградов Д.В. Влияние фосфоритной муки, извести и экспериментальной удобрительной смеси на устойчивость агросерой почвы// Плодородие. – 2025. – №6. – С. 87-91. DOI: 10.25680/S19948603.2025.147.17.

Устойчивость почвы является фундаментальным её свойством [2, 10-12, 14, 15]. Особую актуальность для диагностики почвенных процессов, ответственных за формирование устойчивости, приобретает использование таких показателей, как буферность к подкислению [4] и биологическая активность [1, 6, 7]. Устойчивость почвы к неблагоприятным воздействиям (в эволюционном аспекте ее не изучали) достаточно сложное явление, поэтому её не рассматривали в широком смысле, а исследовали на уровне отдельных процессов, которые характеризуют частные случаи проявления устойчивости. Емкость буферности к подкислению отражает функциональность твердой фазы, от которой зависит способность почвы сопротивляться, например, подкислению, одновременно обеспечивая более стабильное функционирование почвенных микроорганизмов. Поэтому они отражают устойчивость биологической составляющей почвы и выступают в качестве биоиндикаторов. Микроорганизмы позволяют не просто констатировать состояние устойчивости, но и устанавливать необходимые для неё условия, например, содержание гумуса, ценных тонкодисперсных фракций (ил). Это имеет решающее значение для продуктивности сельскохозяйственных растений, и поэтому данная проблема представляет интерес для прикладной агрохимии. Методологической основой рассмотрения проблемы стали моделирование нескольких уровней подкисления и изучение устойчивости почвы в зависимости от плодородия.

**Цель исследований** – изучить влияние фосфоритной муки, извести и экспериментальной удобрительной смеси на емкость буферности и микробиологическую активность агросерой почвы в условиях подкисления.

**Методика.** *Опыт 1.* Влияние фосфоритной муки на буферность к подкислению агросерой почвы. Для изучения буферности к подкислению фосфоритной муки в

чистом виде и в составе агропочвы (рН<sub>KCl</sub> 5,2-5,4, рН<sub>H2O</sub> 5,9-6,3, подвижного фосфора 10-13 мг/100 г, обменного калия 12-14 мг/100 г – оба показателя по Кирсанову) были заложены опыты.

*Схема опыта:*

1. Без фосфоритования (контроль).
2. Фосфоритная мука в чистом виде (100 %).
3. Фосфоритная мука, 4 т/га.
4. Фосфоритная мука, 6 т/га.

Использовали желваковые фосфориты Егорьевского месторождения, в которых валовое содержание фосфора составляло 20,4-23,3%, кальция – 32,6-36,0, железа – 4,5-7,0, алюминия – 4,0-4,6 и кремния – 17,0-20,0 %.

*Опыт 2.* Роль известкования в формировании буферности к подкислению. Агрохимическая характеристика почвы аналогичная как в опыте 1.

*Схема опыта:*

1. Без известкования (контроль).
2. Известняковая мука, 100 %.
3. Известняковая мука, 4 т/га (1,5 г. к.).
4. Известняковая мука, 6 т/га (2,2 г. к.)

В опытах 1 и 2 массу пахотного слоя считали по формуле:  $hd \cdot 100$ ;

где  $h$  – мощность слоя (20 см),  $d$  – плотность почвы (1,2 г/см<sup>3</sup>), 100 – коэффициент пересчета в тонну.

Фосфоритную и известняковую муку тщательно перемешивали с почвой влажностью 15-16 % в соотношениях, соответствующих дозам согласно схемам опыта. Срок компостирования фосфоритной и известняковой муки с почвой составлял 7 дней.

*Опыт 3.* Мелкоделяночный опыт с использованием экспериментальной почвоулучшающей удобрительной смеси (ПУУС).

Почвоулучшающая удобрительная смесь включала фосфоритную муку (ФМ), доломитовую муку (ДМ),

покровный суглинок (ПС) и азотную кислоту в соотношении 1:0,6:1:0,8. Азотную кислоту (65 %) использовали в качестве хемоактиватора. В ПУУС содержание глинистых и тонких пылеватых частиц (ГОСТ 12536-2014) составило 7 и 24 % соответственно. Массовая доля азота (ГОСТ 30181.4-94) – 7 %, усвояемого водорастворимого фосфора (ГОСТ 20851.2) – 4 %, массовая доля калия (ГОСТ 20851.3-93 пункт 4) – 0,08 %, емкость катионного обмена [ГОСТ 17.4.4.01-84 (п. 4.1)] – около 47 мг-экв/100 г. Солевая кислотность на уровне 5,8 ед.

Подробно расчет дозы ПУУС (на основе агрохимической характеристики) и технология её получения (с соблюдением техники безопасности работы с азотной кислотой) представлены в работе [8].

*Схема опыта:*

1. Без ПУУС (контроль).
2.  $N_{40}P_{40}K_{40}$  (фон).
3. Стандарт 1 ( $K_{30} + N_{55}P_{30}$ ).
4. Стандарт 2 ( $K_{30} + N_{110}P_{60}$ ).
5. ПУУС, 800 кг/га (ФМ, 308 кг/га + ПС, 308 кг/га + ДМ, 184 кг/га) + хемоактивация азотной кислотой (эквивалентно  $K_{30} + N_{55}P_{30}$ ).
6. ПУУС, 1600 кг/га (ФМ, 614 кг/га + ПС, 614 кг/га + ДМ, 369 кг/га) + хемоактивация азотной кислотой (эквивалентно  $K_{30} + N_{110}P_{60}$ ).
7.  $N_{40}P_{40}K_{40}$  + ПУУС, 800 кг/га ( $N_{55}P_{30}$ ).
8.  $N_{40}P_{40}K_{40}$  + ПУУС, 1600 кг/га ( $N_{110}P_{60}$ ).

В опыте были предусмотрены фон –  $N_{40}P_{40}K_{40}$ , который отражает среднестатистические для Рязанской области дозы элементов питания, а также высокое и повышенное содержание фосфора и калия (вар. 2). Стандартом для сравнительной оценки ПУУС служили аммиачная селитра, суперфосфат двойной с дозами  $N_{55}$  кг/га,  $P_{30}$  кг/га и  $N_{110}$  кг/га,  $P_{60}$  кг/га соответственно (вар. 3, 4). Дозы минеральных удобрений были выбраны таким образом, чтобы суммарно они составили  $N_{95}P_{70}K_{70}$  (вар. 7) и  $N_{150}P_{100}K_{100}$  (вар. 8).

Почвоулучшающую удобрительную смесь и минеральные удобрения вносили вручную перед посевом ярового ячменя.

Технико-технологическое сопровождение ежегодного внесения ПУУС позволяет воплотить туковысевающий аппарат АТП-2Г, предназначенный для высева стартовой дозы минеральных удобрений и их смесей в различных видах (в диапазоне от 20 до 1600 кг/га) в рядки при посеве разных сельскохозяйственных культур.

В опытах моделировали разные уровни кислотной нагрузки: 0,049 и 0,121 мМ/л. Использовали соляную кислоту. Контроль – без подкисления (0 мМ/л, фоновая  $pH_{KCl}$ ).

В смешанных почвенных образцах определяли: кислотность в солевой вытяжке ( $pH_{KCl}$ ) (ГОСТ 26483-85) и актуальную кислотность ( $pH_{H_2O}$ ) – в водной вытяжке. Для определения буферности к подкислению агросерой почвы был использован метод непрерывного потенциометрического титрования (НПТ) [9]. Для этого из почвенных образцов приготавливали водные суспензии при соотношении твердой фазы к жидкой 1:10. Титрование проводили с шагом 0,5 мл. В качестве титранта использовали 0,1 М HCl. Буферность (мМ-экв/100 г) к подкислению определяли по количеству титранта, необходимого для доведения значения pH суспензии от начальной точки титрования до 3.

Микробиологическую активность определяли методом посева: аммонифицирующие бактерии на мясопептонном агаре (МПА), нитрифицирующие бактерии на среде Виноградского.

Для биоиндикации с учетом азотобактера (*Azotobacter chroococcum*) использовали метод почвенных комочков при колонизации на плотной питательной безазотной среде Эшби. Из увлажненной почвы готовили комочки диаметром около 4 мм и размещали в чашках Петри. Их закрывали крышками и оставляли при комнатной температуре на 7 дней. Рассчитывали количество (в%) обрастания комочков (обсемененность азотобактером по методу Виноградского).

Для расчетов стандартной ошибки средней и уровня значимости использовали работу [3] и программный комплекс «STATISTICA».

**Результаты и их обсуждение.** На повышение емкости буферности к подкислению в агропочвах большое влияние оказывает применение фосфоритной муки (ФМ). Установлено, что в чистом виде фосфоритная мука обладает относительно высокой емкостью буферности – 70 мМ-экв/кг, это в 2,8 раза больше, чем в исследуемой агросерой тяжелосуглинистой почве (табл. 1). Поэтому от объема фосфоритования будет зависеть интенсивность приращения величины емкости буферности. В нашем опыте, при дозе фосфоритной муки 4 т/га она возросла относительно контроля на 8 мМ-экв/кг, при дозе 6 т/га – на 14 мМ-экв/кг.

1. Емкость буферности в зависимости от использования фосфоритной муки и извести, мМ-экв/кг

| Вариант                       | По интервалам значений $pH_{H_2O}$ |         |         |         |         |         | Общая |
|-------------------------------|------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
|                               | 6,0-5,5                            | 5,5-5,0 | 5,0-4,5 | 4,5-4,0 | 4,0-3,5 | 3,5-3,0 |       |
| Без фосфоритования (контроль) | 5±0,5                              | 9±1,1   | 8±1,1   | 11±1,5  | 19±2,0  | 25±0,6  | 25    |
| Без извести (контроль)        | 5±0,6                              | 9±1,1   | 8±0,5   | 11±1,5  | 19±2,3  | 25±0,7  | 25    |
| ФМ, 100 %                     | 27±1,5                             | 34±2,0  | 40±3,2  | 45±3,5  | 57±2,0  | 70±1,5  | 70    |
| Известь, 100 %                | 57±1,5                             | 81±3,2  | 97±3,5  | 110±2,6 | 133±3,0 | 170±2,9 | 170   |
| ФМ, 4 т/га                    | 11±1,1                             | 15±1,0  | 20±1,5  | 24±1,0  | 28±1,0  | 33±2,5  | 33    |
| Известь, 4 т/га               | 33±2,6                             | 45±2,3  | 59±2,3  | 67±3,0  | 88±1,7  | 97±5,5  | 87    |
| ФМ, 6 т/га                    | 15±1,5                             | 18±1,1  | 25±2,3  | 27±1,5  | 29±1,1  | 39±2,6  | 39    |
| Известь, 6 т/га               | 41±2,3                             | 52±1,0  | 61±2,3  | 77±1,1  | 84±2,0  | 107±2,0 | 107   |

Таким образом, фосфоритную муку можно рассматривать не только как ресурс фосфора для растений, но и как источник буферных компонентов за счет почвенных процессов растворения алюминия, кальция, протонирования ОН-групп на поверхности оксидов-гидроксидов железа и алюминия, вытеснения обменного кальция, магния протоном и др.

Установлено, что величина емкости буферности извести в 2,4 раза превышает аналогичный показатель фосфоритной муки и составляет 170 мМ-экв/кг (см. табл. 1). При использовании извести в количестве 4 и 6 т/га емкость буферности возросла по сравнению с контролем на 72 и 82 мМ-экв/кг соответственно. В этом случае можно предположить, что устойчивость агросерой почвы увеличивается в 5-7 раз. Это указывает на высокую эффективность применения извести для формирования устойчивости агросерой тяжелосуглинистой почвы к подкислению.

В ряду кислотной нагрузки от 0 до 0,121 мМ/л плотность обрастания азотобактером на контроле

уменьшилась с 35 до 0 %, т.е. при максимальном подкислении произошло полное угнетение активности азотобактера при рН<sub>КС</sub> 4,5. Внесение извести в дозах 4 и 6 т/га снизило значение солевой кислотности на 0,3 и 0,6 ед. больше по сравнению с контролем (табл. 2).

## 2. Плотность обрастания комочков азотобактером, %

| Вариант                      | рН <sub>КС</sub>      |                          | Кислотная нагрузка, мМ/л |                 |                  |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|
|                              | до применения извести | после применения извести | 0                        | 0,049           | 0,121            |
| Без известкования (контроль) | 5,2-5,4               | 5,2-5,4                  | 5,3±0,2                  | 5,0±0,06        | 4,5±0,03         |
|                              |                       |                          | 35±3                     | 10±1<br>КО= 1,4 | 0±0<br>КО = 1,0  |
| Известь, 4 т/га              | 5,2-5,4               | 5,5-5,7                  | 5,6±0,2                  | 5,6±0,07        | 5,4±0,15         |
|                              |                       |                          | 57±2                     | 40±5<br>КО=1,4  | 33±3<br>КО =2,3  |
| Известь, 6 т/га              | 5,2-5,4               | 5,8-6,0                  | 5,8±0,3                  | 5,8±0,1         | 5,8±0,03         |
|                              |                       |                          | 65±2                     | 55±6<br>КО= 6,5 | 51±3<br>КО = 4,6 |

Примечание. Над чертой - значения рН<sub>КС</sub>, под чертой – плотность обрастания.

При нулевой нагрузке в вариантах с дозами извести 4 и 6 т/га плотность обрастания азотобактером была достоверно выше контроля на 22 % ( $p=0,047$ ) и 30 % ( $p=0,018$ ) соответственно, хотя по солевой кислотности различия были не достоверными. По-видимому, это связано с влиянием не самой почвенной кислотности, несмотря на то, что она оказалась выше на контроле, а с кальцием, который улучшает среду обитания для азотобактера.

При кислотной нагрузке 0,049 и 0,121 мМ/л на фоне достоверного снижения солевой кислотности в вариантах с известкованием по сравнению с вариантом без известкования на 0,6-0,8 и 0,9-1,3 ед. соответственно, плотность обрастания азотобактером значимо ( $p<0,05$ ) возросла на 30-51 % (абс).

Согласно таблице 2, при внесении доз извести 4 и 6 т/га солевая кислотность при кислотной нагрузке от 0,049 до 0,121 мМ/л не изменялась. Это указывает на эффективность проявления механизмов буферности, ответственных за реализацию ионообменной и карбонатной буферных зон. Расчеты показывают, что при таких нагрузках изначально слабокислые почвы трансформируются в кислые. По данным [5, 13], в многолетнем стационарном полевом опыте на агросерой тяжелосуглинистой почве установлено, что за 40 лет применения в севообороте минеральной системы удобрения в дозе 40-60 кг/га сдвиг солевой кислотности по сравнению с вариантом без удобрений (рН<sub>КС</sub> 5,5) составил при использовании: суперфосфата двойного – 0,5 ед., хлористого аммония – 1,1, хлористого калия – 0,4 ед. В нашем опыте с аналогичной почвой при кислотной нагрузке 0,049 мМ/л разница составила 0,3 ед. Таким образом, данная нагрузка соответствовала приблизительно сорокалетнему периоду. За это время следует ожидать формирования кислой и сильнокислой почвы, соответственно снижения микробиологической активности в отсутствии использования известковых мелиорантов.

Для оценки биологической устойчивости почвы предлагается коэффициент отклика (КО) на неблагоприятный фактор, рассчитываемый по формуле:

$$КО = БФ / (БФ - БФП), \quad (1)$$

где БФ – биогенность на фоне, БФП – биогенность при подкислении. Чем больше величина коэффициента, тем выше биологическая составляющая устойчивости

почвы. Если при прочих равных условиях значение коэффициента одинаковое, но достигается при разных нагрузках, то можно найти отношение коэффициента отклика к условно-эквивалентной нагрузке рН. Например, в опыте с известкованием значение коэффициента отклика активности азотобактера на подкисление на контроле в диапазоне от 5,3 до 3,9 ед. рН составило 1,0 ед. (устойчивость отсутствует), в варианте с дозой 6 т/га в диапазоне 5,8-3,9 ед. рН – 4,6 ед.

Научных исследований по изучению влияния альтернативных способов улучшения кислотно-основных свойств агропочв проведено намного меньше, чем в отношении естественных почв. Было установлено, что внесение лёсса в норме 3 т/га локально в дерново-подзолистую связнопесчаную почву способствовало не только снижению почвенной кислотности, но и повышению буферности к подкислению. Вследствие усиления буферной способности почвы к подкислению под действием бентонитовой глины, повышается степень естественной буферной емкости самой почвы (с 19 до 37 %) [4]. Как вариант, мы предлагаем использовать почвоулучшающую удобрительную смесь, состоящую из покровного суглинка, фосфоритной и доломитовой муки в соотношении 1:0,6:1. Связано это, как и в случае с лессом и бентонитовой глиной, с содержанием в экспериментальной смеси компонентов буферности или носителей буферных реакций.

В опыте все варианты оказали положительное влияние на проявление емкости буферности к подкислению. По сравнению с контролем в зависимости от кислотной нагрузки разница составила с вариантом экспериментальной смеси 13-35 мМ-экв/кг, известью, 4 т/га – 21-42 мМ-экв/кг, хотя по солевой кислотности различия были не столь существенными и даже в некоторых случаях недостоверными.

В контрольном варианте в ряду кислотной нагрузки установлено достоверное снижение буферности с 15 мМ-экв/кг до 11 и далее до 2 мМ-экв/кг (табл. 3). В варианте с экспериментальной смесью – до кислотной нагрузки 0,049 мМ/л снижение буферности до 45 мМ-экв/кг было недостоверным. Дальнейшее подкисление снизило буферность до 15 мМ-экв/кг. Это соответствовало величине буферности контрольного варианта. Аналогичная тенденция проявилась в варианте с известью 4 т/га. Следовательно, кислотная нагрузка 0,121 мМ/л является критичной, так как, по-видимому, исчерпывается потенциал проявления механизмов буферности. Между вариантами с экспериментальной смесью и известью 4 т/га эффект проявления буферности оказался схожим с кислотной нагрузкой 0,049 мМ/л. В этом случае их значения 45 и 50 мМ-экв/кг соответственно оказались недостоверными ( $p=0,26$ ).

Использование в схеме опыта варианта со 100 %-ной экспериментальной смесью позволяет определить её потенциальные буферные возможности. Она существенно отличается высокой буферностью. Можно предположить, что в ней заложены эффективные компоненты буферности при предложенном соотношении входящих в неё ингредиентов. Это кальций, который обеспечивает проявление буферных ионообменных реакций, а также за счет растворения карбонатов. Здесь можно отметить также ил, отрицательно заряженные коллоиды, участвующие в физико-химической адсорбции ионов водорода.

Общая биогенность (аммонифицирующие и нитрифицирующие бактерии) в условиях отсутствия кислотной

нагрузки в вариантах с экспериментальной смесью и известью, 4 т/га незначительно превышала контроль и уровень значимости (p) не выявил достоверных различий (см. табл. 3). По-видимому, это связано с тем, что, например, активность аммонификаторов во многом обусловлена содержанием органического вещества. Опытные варианты не могли на него повлиять. Активность нитрификаторов зависит от аммония, который является продуктом аммонификации. Однако данная группа микроорганизмов чувствительна к кислотности почвы, поэтому может считаться надежным биоиндикатором устойчивости почвы к подкислению. Кислотная нагрузка 0,121 мМ/л соответствует рН около 3,9 ед. Как следствие, в контрольном варианте численность аммонификаторов и нитрификаторов достоверно снижалась. В опытных вариантах существенное падение активности микроорганизмов не установлено. Не обнаружено оно и между экспериментальной смесью и известкованием: общая численность лежала в пределах ошибки опыта в варианте с экспериментальной смесью и в известкованном варианте.

### 3. Емкость буферности к подкислению и микробиологическая активность при подкислении

| Вариант                                       | Кислотная нагрузка, мМ/л      |   |   |   |                    |
|---|-------------------------------|---|---|---|--------------------|
|   | 0                             | 0,049   | 0,121   | 0   | 0,121              |
|   | ёмкость буферности, мМ-экв/кг |   |   | общая биогенность, КОЕ·10 <sup>6</sup> /г |                    |
| Без экспериментальной смеси (контроль)        | 15±2,1                        | 11±1,5<br>КУП=1,9<br>K <sub>уязв.</sub> =0,1  | 2±1,5<br>КУП=1,4<br>K <sub>уязв.</sub> =0,23  | 21,4±0,7                                  | 12,3±0,6<br>КО=2,3 |
| Экспериментальная смесь в чистом виде (100 %) | 99±5,5                        | 90±2,5<br>КУП=4,7<br>K <sub>уязв.</sub> =0,03 | 83±3,5<br>КУП=4,7<br>K <sub>уязв.</sub> =0,08 | Не опр.                                   | Не опр.            |
| Экспериментальная смесь, 1600 кг/га           | 50±2,5                        | 45±2,3<br>КУП=3,2<br>K <sub>уязв.</sub> =0,05 | 15±2,3<br>КУП=2,4<br>K <sub>уязв.</sub> =0,16 | 23,6±0,9                                  | 20,6±0,9<br>КО=7,9 |
| Известь, 4 т/га                               | 57±4                          | 50±2,5<br>КУП=3,5<br>K <sub>уязв.</sub> =0,07 | 23±1,2<br>КУП=2,6<br>K <sub>уязв.</sub> =0,13 | 24,0±0,7                                  | 24,0±0,7<br>КО=max |

Мероприятия по известкованию агросерой тяжелосуглинистой почвы в дозе 4 т/га, ежегодно внесению альтернативной почвоулучшающей удобрительной смеси, состоящей из покровного суглинка, фосфоритной и доломитовой муки в соотношении 1:0,6:1 в дозе 1600 кг/га в течение четырех лет, оказали схожий эффект на устойчивость к подкислению, микробиологическую активность в условиях подкисления. При максимальной кислотной нагрузке 0,121 мМ/л сопротивляемость почвы, оцениваемая по соответствующему показателю физико-химической буферности, возросла в 7,5-11,5 раз по сравнению с вариантом без применения мелиоративных средств. Данный критерий следует использовать в качестве оценочного показателя плодородия с точки зрения обеспечения устойчивости агросерой почвы по ингредиенту подкисления, при котором обеспечивается устойчивое функционирование почвенных микроорганизмов.

Для оценочных критериев устойчивости предлагаем кислотную нагрузку и емкость буферности (в единицах

измерения концентрации ионов водорода в растворе) перевести в условно-эквивалентные единицы рН (рН – отрицательный логарифм концентрации ионов водорода). Чем ниже значение условно-эквивалентной рН нагрузки (рН<sub>уэзнагрузка</sub>), тем выше величина нагрузки. Чем выше значение емкости буферности, тем ниже условно-эквивалентное значение рН емкости буферности на фоне (рН<sub>уэбфон</sub>) или при определенном значении кислотной нагрузки (рН<sub>уэбнагрузка</sub>).

$$КУП = (рН_{фон} - рН_{уэбфон}) / рН_{уэбнагрузка}, \quad (2)$$

где КУП – коэффициент устойчивости почв, чем выше его значение, тем более устойчива почва, рН<sub>фон</sub> – фоновая рН до подкисления (кислотной нагрузки), рН<sub>уэбфон</sub> – условно-эквивалентная рН емкости буферности на фоне, рН<sub>уэбнагрузка</sub> – условно-эквивалентная рН емкости буферности после подкисления.

Установлено, что при использовании ПУУС в дозе 1600 т/га на фоне подкисления 0,049 мМ/л значение КУП или устойчивость почвы к подкислению возросло до 3,2 усл. ед., против 1,9 ед. в контрольном варианте. По эффективности это сопоставимо с вариантом применения извести в дозе 4 т/га (см. табл. 3).

Другой вариант оценки устойчивости почвы к подкислению – использование коэффициента уязвимости:

$$K_{уязв.} = (рН_{фон} - рН_{нагрузка}) / рН_{уэзнагрузка}, \quad (3)$$

где K<sub>уязв.</sub> – коэффициент уязвимости почвы к подкислению. Он показывает, в какой степени снижается уязвимость почвы к подкислению на единицу кислотной нагрузки (чем ниже значение коэффициента, тем устойчивее почва), рН<sub>фон</sub> – фоновая рН до подкисления, рН<sub>нагрузка</sub> – рН после подкисления (нагрузка), рН<sub>уэзнагрузка</sub> – условно-эквивалентная рН кислотной нагрузки. Значения коэффициента приведены в таблице 3. Как видно, они изменяются в соответствии с КУП. По этой причине устойчивость общей биогенности агросерой почвы при применении почвоулучшающей удобрительной смеси повышалась относительно контроля в 3 раза.

**Заключение.** Результаты исследований можно использовать для оценки устойчивости почвы к подкислению на основе сопряженного анализа емкости буферности и одновременно микробиологической активности. Применение известняковой и фосфоритной муки, доломита, почвоулучшающей удобрительной смеси на их основе с добавлением покровного суглинка обеспечивает улучшение потенциала устойчивости агросерой почвы к подкисляющим агентам.

#### Литература

1. Ананьева, Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв / Н.Д. Ананьева. – М.: Наука, 2003. – 223 с.
2. Глазовская, М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: методическое пособие / М.А. Глазовская. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. – 102 с.
3. Ивойлов, А.В. Анализ данных агрономических исследований методами непараметрической статистики: учебное пособие / А.В. Ивойлов. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2000. – 64 с.
4. Козлов, А.В. Влияние диатомита, цеолита и бентонитовой глины на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, И.П. Уромова // Агрохимия. – 2023. – № 12. – С. 22-30.
5. Формы минеральных удобрений при длительном применении / Н.В. Войтович, Я.В. Костин, И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница. – М.: Центральный научно-исследовательский институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства, 2002. – 208 с.
6. Методология биодиагностики почв и особенности некоторых методов биоиндикации и биотестирования (обзор) / В.А. Терехова, С.А. Кулачкова, Е.В. Морачевская, А.П. Кирыюшина // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2023. – № 2. – С. 35-45.
7. Оценка устойчивости почв к загрязнению наночастицами платины

- методами биодиагностики / А.Н. Тимошенко, С.И. Колесников, В.С. Кабакова [и др.] // Почвоведение. – 2023. – № 8. – С. 997-1006.
8. Ручкина, А.В. Применение природных глин для стабилизации плодородия агросерой почвы / А.В. Ручкина, Р.Н. Ушаков // Плодородие. – 2024. – № 1(136). – С. 46-50.
9. Соколова, Т.А. Взаимодействие лесных суглинистых подзолистых с модельными кислыми осадками и кислотнo-основная буферность подзолистых почв / Т.А. Соколова [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 208 с.
10. Титова, В.И. Устойчивость светло-серых лесных почв крупного свиного комплекса к антропогенному воздействию в динамике за 2007-2022 г. / В.И. Титова, О.С. Мартынова // Развитие аграрной науки и ее роль в обеспечении продовольственной безопасности страны : Материалы национальной научно-практической конференции (с международным участием), посвященной 115-летию со дня рождения А.С. Фатьянова, 95-летию со дня рождения Ю.П. Сиротина, 55-летию со дня образования факультета агрохимии и почвоведения (в н. в. биоэкологического факультета), Нижний Новгород, 05-06 декабря 2023 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный агротехнологический университет, 2023. – С. 156-160.
11. Установление параметров устойчивости почв сельскохозяйственных земель к засухам и составление цифровых карт пространственного распределения выявленных факторов (на примере Каменецкого района) / В.Б. Цырибко, А.М. Устинова, И.А. Логачев [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1(70). – С. 38-47.
12. Устойчивость почв к экзогенным воздействиям: учеб.-метод. пособие / В.В. Чупрова, Н.Л. Кураченко. Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2018. – 171 с.
13. Фадькин, Г.Н. Эффективность длительного применения различных форм азотных удобрений на серой лесной тяжелосуглинистой почве / Г.Н. Фадькин, Я.В. Костин // Актуальные проблемы аграрной науки : Материалы международной юбилейной научно-практической конференции, посвященной 60-летию Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева, Рязань, 24 апреля 2009 года. – Рязань, 2009. – С. 414-416.
14. Хитров, Н.Б. Представление об устойчивости почв к внешним воздействиям / Н.Б. Хитров // Тез. докл. Всерос. конф. «Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям». – М., 2002. – С. 3-7.
15. Черников, В.А. Устойчивость почв к антропогенному воздействию. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн. 3 / В.А. Черников, Н.Э. Милащенко, О.А. Соколов. – Пушкино: ОНТИ ПНЦ РАН, 2001 – 203 с.

### **EFFECT OF PHOSPHORITE FLOUR, LIME AND AN EXPERIMENTAL FERTILIZER MIXTURE ON THE STABILITY OF AGRO-GRAY SOIL**

**F. Yu. Bobrakov, graduate student,**

**R.N. Ushakov, professor, doctor of agricultural sciences,**

**A.V. Ruchkina, senior lecturer, Ph.D. of Agricultural Sciences,**

**D.V. Vinogradov, Doctor of Biological Sciences.**

**FGBOU HE "Ryazan State Agrotechnological University named after**

**P.A. Kostycheva", 390044, Ryazan, st. Kostycheva, 1, E-mail: r.ushakov1971@mail.ru**

*The results of a combined study of buffering capacity, microbiological activity (Azotobacter, Azotobacter chroococcum, nitrifying and ammonifying bacteria) of agro-gray heavy loamy soil to acidification are presented. The buffering capacity was determined by the amount of titrant required to bring the pH value of the suspension from the initial titration point to 3 (continuous potentiometric titration method). Azotobacter was studied on an nitrogen-free Ashby medium, ammoniactors – on MPA, nitrifiers – on Vinogradsky medium. In the experiments, different levels of acid load were simulated: 0.049 mM/l and 0.121 mM/l. Hydrochloric acid was used. Control – without acidification 0 mM/l or background pH<sub>KCl</sub>). At doses of phosphorous flour and lime 4-6 t/ha, the buffering capacity increased by 8-14 mol-eq/kg of soil (mM-eq/kg) and 72-82 mM-eq/kg, respectively, compared with the variant without meliorants, and amounted to 33-39 and 87-107 mM-eq/kg. Meliorants stabilized microbiological activity against the background of acidification.*

*Keywords: agro-gray soil, soil acidification, buffering capacity, microbiological activity, soil stability criteria.*