

## ПЕРСПЕКТИВА СОСТАВЛЕНИЯ ПОЧВОУЛУЧШАЮЩЕЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ МЕСТНЫХ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ХЕМОАКТИВАЦИИ ИХ АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

Анастасия Владимировна Ручкина, *старший преподаватель*

Роман Николаевич Ушаков, *доктор сельскохозяйственных наук, профессор*

Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Россия

E-mail: r.ushakov1971@mail.ru

**Аннотация.** Перспективное направление в агрохимии – составление почвоулучшающих смесей из местных, относительно дешевых природных ресурсов. Это фосфориты и приготовленная из них фосфоритная мука, известняк, доломиты, суглинки (вскрынная порода). Возможно повышение их агрохимической эффективности при использовании модифицирующих кислот, в частности азотной, для хемоактивации элементов питания с одновременным обогащением почвоулучшающих смесей азотом. Цель исследований – изучить хемоактивацию суглинка, фосфоритной муки азотной кислотой (56%) при составлении почвоулучшающей смеси (ПУУС). Работа выполнена по материалам лабораторных опытов. Хемоактивирующий эффект рассматривали на уровне отдельных компонентов. Это связано с отсутствием соответствующего ГОСТа на многокомпонентную смесь. Данные по химическому составу имеют приближенные значения, так как исключили влияние компонентов друг на друга, одномоментное действие на них азотной кислоты. Указано ориентировочное содержание основных агрохимических показателей ПУУС: общий азот – 9,0%, фосфор – 19, усвояемые и водорастворимые формы фосфора – 7,0 и 3,5% (ФМ + доломит + двукратная обработка  $HNO_3$ ), общий калий – 0,2% (ориентировочно по покровному суглинку).

**Ключевые слова:** агросерая почва, азотная кислота, почвоулучшающая удобрительная смесь, хемоактивация, покровный суглинок

## THE PROSPECT OF COMPILING A SOIL-IMPROVING MIXTURE BASED ON LOCAL NATURAL RESOURCES WITH THEIR CHEMICAL ACTIVATION WITH NITRIC ACID

A.V. Ruchkina, *Senior Lecturer*

R.N. Ushakov, *Grand PhD in Agricultural Sciences, Professor*

Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostycheva, Ryazan, Russia

E-mail: r.ushakov1971@mail.ru

**Abstract.** In agrochemistry, a promising direction can be considered the preparation of soil-improving mixtures consisting of local, relatively cheap natural resources. These include phosphorites and phosphate rock prepared from them, limestone, dolomites, and can also include loam (overburden rock). One should expect an increase in their agrochemical efficiency when using modifying acids, in particular nitric acid, for the purpose of chemical activation (as a result of nitrate decomposition) of nutrients while simultaneously enriching soil-improving mixtures with nitrogen. The purpose of the research is to study the chemical activation of loam and phosphate rock with nitric acid (65%) when preparing a soil-improving mixture (SUMS). We proceeded from the composition of the PUUS with the ratio phosphate rock: dolomite: PS: nitric acid as 1:0.6:1:0.8. The work was carried out based on materials from laboratory experiments. In the experiments, the chemoactivating effect was considered at the level of individual components. This is due to the lack of appropriate GOST standards for a multicomponent mixture. Therefore, the data on the chemical composition have approximate values, because eliminated the influence of the components on each other and the immediate influence of nitric acid on them. However, it is possible to indicate the approximate values of the main agrochemical indicators of the PUUS: the content of total nitrogen 9,0%, total phosphorus – 19%, digestible and water-soluble forms of phosphorus 7,0 and 3,5% (according to the FM + dolomite + double treatment with  $HNO_3$ ), total potassium 0,2% (approximately based on cover loam).

**Keywords:** agro-gray soil, nitric acid, soil-improving fertilizer mixture, chemical activation, cover loam

При необходимости максимального и эффективного использования местных ресурсов природного и антропогенного происхождения для частичной компенсации выноса с урожаем элементов питания некоторые авторы рекомендуют применять сточные воды. [4, 9, 14–16, 21]

Также пригодны органоминеральные удобрительные композиции на основе отходов деревообработки (осиновая кора) и минерального сырья (вермикулит). В опыте О.А. Ульяновой на черноземе обыкновенном было установлено повышение гумуса в почве, изменение его качественного состава. [20] Не снижается удобрительная эффективность при замене вермикулита на цеолит. [19] Цеолитсодержащие породы, активированные различными приемами переработки, используются в земледелии для улучшения физико-химических

и биологических свойств почвы, в растениеводстве – как высокоэффективные мелиоранты и удобрения. [2, 3, 11–13, 18, 22]

Почвоулучшающая смесь (ПУУС) должна состоять из компонентов с максимальной долей местных ресурсов (малые месторождения), например, сыромолотых (молотые) фосфоритов или фосфорной муки, извести (доломит). Один из эффективных вариантов разработки систем агрохимии – использование умеренных доз дорогостоящих минеральных удобрений с более дешевыми местными ресурсами в объеме малотоннажного производства. Вопросы улучшения усвояемости фосфора из фосфорной муки следует решать при приготовлении почвоулучшающих смесей с помощью хемоактивации. Многокомпонентность смесей оказывает мультиплицирующий эффект на почву.

Улучшить использование фосфора можно воздействием кислоты на стадии смешивания компонентов при получении почвоулучшающей смеси. В нашей стране солянокислым разложением фосфорита занимался академик С.И. Вольфович. [6] Одна из последних публикаций принадлежит С.Н. Андрианову и др., В.Н. Капанову. [1, 10] Авторы подвергли солянокислотному разложению Егорьевские фосфориты. Хемоактивация повысила их эффективность на почвах с кислой и нейтральной реакцией среды (рН – 7,1...7,5). Технологически получение активированного продукта возможно по цеховому принципу на малых месторождениях фосфоритов. При этом модифицирующие кислоты действуют одновременно на все компоненты – железо, кальций, калий. Наш выбор азотной кислоты обусловлен усилением азотного статуса почвоулучшающей смеси.

При разработке оптимальной технологической схемы получения удобрительной смеси, состоящей из покровного суглинка (вскрышная порода), доломита, фосфоритной муки (региональная сырьевая база) важно на стадии приготовления активизировать между ними химические процессы. Это обеспечит получение функционального, реакционноспособного продукта, с усилением его полезных свойств после внесения в почву. В этом случае можно ожидать как краткосрочные, так и долгосрочные эффекты от почвоулучшающей смеси.

Функциональность почвоулучшающей смеси – мобилизация в продукте агрохимических ресурсов, образование соединений, отличных от исходных, с хорошо выраженными удобрительными свойствами. Активатор процессов – азотная кислота.

Цель работы – изучить хемоактивацию суглинка, фосфоритной муки при составлении почвоулучшающей смеси.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В составе ПУУС соотношение фосфоритной муки, доломита, ПС, азотной кислоты – 1:0,6:1:0,8. Активирующий потенциал азотной кислоты (концентрация 65%) исследовали в лабораторных опытах.

Опыт 1. Цель – изучить влияние азотной кислоты на покровный суглинок. Необходимо определить возможности закрепления суглинка азота, мобилизацию калия суглинка, некоторые его физико-химические показатели после обработки азотной кислотой.

Опыт 1.2. Цель – установить изменение гранулометрического состава и некоторых агрохимических свойств покровного суглинка при хемоактивации азотной кислотой (20 мл / 100 г). Схема: без обработки  $\text{HNO}_3$  (контроль); с обработкой.

Для изучения степени мобильности нитратного азота смеси был заложен лабораторный опыт 2. Цель – определить содержание азота после взаимодействия ПУУС с почвой. Для этого ПУУС массой 1 и 5 г, обработанную азотной кислотой, смешивали с 40 мл дистиллированной воды и взбалтывали в течение минуты. Взвешенную суспензию добавляли к 80 г почвы с низким содержанием общего азота (0,03%).

Схема: 1. Отношение ПУУС к почве (1:80) – эквивалентной дозе азота 51 кг/га; 2. (5:80) – 255 кг/га.

Определяли рН водной вытяжки (ГОСТ 26423), рН солевой вытяжки (ГОСТ 26483), гидrolитическую

кислотность (ГОСТ 26484), массовую долю общего азота (ГОСТ 58596-2019), нитраты – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86).

Опыт 3. Цель – изучить изменение нитратов в почве в зависимости от дозы ПУУС. Почвоулучшающую смесь массой 5, 10 и 30 г разбавили в объеме воды 40 мл (1-й цикл). Полученные фильтраты внесли в агрошерую почву массой 100 г. После сушки определяли нитраты (ГОСТ 26951-86). К оставшейся почве после первого цикла разбавления еще раз добавили дистиллированную воду (40 мл) и повторили процедуру.

Схема: 1. первый цикл разбавления – 5 г ПУУС / 40 мл воды, второй – 5 г / 80 мл; 2. 10 г / 40 мл, 10 г / 80 мл; 3. 30 г / 40 мл, 30 г / 80 мл.

Дозы условные и выбраны для определения качественных особенностей поведения нитратов в системе ПУУС – почва. Исходные данные по нитратам (43 мг/кг) отражают контроль без ПУУС (первый цикл).

Содержание нитратов устанавливали ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86).

Опыт 4. В заключительной фазе получения ПУУС после добавления к фосфоритной муке (ФМ) и покровному суглинку доломита было решено обработать смесь азотной кислотой – 0,3 кг/1 кг ПУУС (25% объема добавляемой кислоты). Для того, чтобы изучить эффективность хемоактивации фосфоритной муки исключили покровный суглинок, так как его рассматривали отдельно. Несмотря на некоторую условность опыта, его результаты могут указывать на потенциальные эффекты.

Цель – изучить азотнокислородное разложение фосфатов фосфоритной муки с доломитом и без него. Определяли массовую долю азота (ГОСТ 3081.4), усвояемых (ГОСТ 20851.2) и водорастворимых фосфатов (ГОСТ 20851.2); фосфора – экстрагирующим раствором соляной кислоты молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup>.

Фосфоритную муку с доломитом и без него обрабатывали азотной кислотой одно- и двукратно – 20 мл (28 г)/100 г материала. Время взаимодействия – 30 и 60 мин. Установлено, что за этот период  $\text{CaO}$  и  $\text{P}_2\text{O}_5$  извлекаются практически полностью. [5] Далее к ФМ добавляли доломит (1:0,6). Предполагалось, что частичное азотнокислородное разложение фосфоритной муки будет представлять первую фазу подготовки почвоулучшающей смеси.

Схема: 1. ФМ без  $\text{HNO}_3$  (контроль 1); 2. ФМ + доломит без  $\text{HNO}_3$  (контроль 2); 3. ФМ + однократная обработка  $\text{HNO}_3$ ; 4. ФМ + доломит + однократная обработка  $\text{HNO}_3$ ; 5. ФМ + доломит + двукратная обработка  $\text{HNO}_3$ .

В случае двукратной обработки азотную кислоту добавляли сначала к ФМ, затем к смеси с ФМ и доломитом.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 показан исходный гранулометрический состав покровного суглинка (опыт 1.2). Он характеризуется невысоким содержанием песчаных частиц – 3,6%. Доля грубых, тонких и глинистых пылеватых частиц – 53,6, 14,5 и 28,3% соответственно. По В.В. Охотину, покровный суглинок классифицируется как тяжелый пылеватый. [17]

Азотная кислота, взаимодействуя с суглинком, видимо, частично разрушает глинистый компонент.

Таблица 1.

Гранулометрический состав покровного суглинка

Древес	Частицы, %								
	песчаные						пылеватые		глинистые
	грубо-зернистые	крупно-зернистые	средне-зернистые	мелко-зернистые	тонко-зернистые	грубые	тонкие		
до взаимодействия с кислотой									
0	0,1	0,5	0,6	1,0	1,4	53,6	14,5	28,3	
после взаимодействия с кислотой									
0	0,1	0,5	0,6	1,0	1,4	55,1	24,3	17,0	

Таблица 2.

Химическая характеристика ПУУС

Показатель	До хемоактивации (контроль)	После хемоактивации	Единицы измерения
Вода	7,3±0,4	9,5±0,5	%
Обменная кислотность	5,7±0,2	5,3±0,4	ед.
Актуальная кислотность	Не опр.	7,3±0,7	ед.
Нитратный азот	20±0,3	70132±30	мг/кг
Общий азот	0,1±0,01	2,7±0,4	%
Обменный калий	11,5±0,6	1250±13	мг/кг
Общий калий	0,2±0,01	0,20±0,02	%
Подвижный фосфор	20±0,4	76,0±3	мг/кг
Общий фосфор	0,03±0,01	0,45±0,07	%
Кальций	Не опр.	128,68±2	моль/100 г
Медь	Не опр.	8,8±0,9	мг/кг
Цинк	Не опр.	9,5±0,9	мг/кг
Емкость катионного обмена (ЕКО)	51±0,7	47,6±7,1	мг-экв/100 г
Обменный кальций	Не опр.	>36,0	ммоль/100 г
Подвижный магний	Не опр.	>12,0	ммоль/100 г

Этим можно объяснить уменьшение количества глинистых частиц на 11,3%, содержание пылеватых увеличилось. Прямые исследования о переходе некоторой части глинистого компонента в пылеватую фазу при воздействии азотной кислоты отсутствуют. Возможно, он обусловлен кислотным гидролизом минералов.

В таблице 2 приведена краткая химическая характеристика хемоактивированного покровного суглинка. Количество подвижного и общего калия при обработке покровного суглинка азотной кислотой увеличивается в 10,0 и 6,7 раз – с 115 до 1250 мг/кг и с 0,03 до 0,20% соответственно. В меньшей степени изменения коснулись подвижного фосфора (в 3,8 раза) – с 20 до 76 мг/кг. Содержание общего фосфора увеличилось в 15 раз – с 0,03 до 0,45%. Существенно повысилось

количество нитратного и общего азота. Содержание валовой формы меди (8,9 мг/кг) и цинка (9,5 мг/кг) соответствовало ПДК.

Приведенные значения следует считать приближенными. Они отражают ожидаемые тенденции изменения активности элементов с ориентировочными количественными измерениями, так как суглинок для хемоактивирования использован в качестве самостоятельного компонента. Совместно с другими компонентами химический состав будет другим.

Удобрительный эффект (доступность) зависит от мобильности элемента. Этот показатель у азота определяли в почве после добавления раствора, полученного в результате взаимодействия ПУУС с водой (опыт 2).

Нитратный азот суглинка обладает высокой активностью. После кратковременного взаимодействия с водой (имитация почвенного раствора) мобильно трансформируется и закрепляется почвой. Содержание общего азота при условно-эквивалентной дозе 255 кг/га достоверно увеличилось, по сравнению с исходным уровнем (0,03%) в три раза, нитратного – более чем в 100 раз. Можно предположить, что сразу после посева культурных растений азот ПУУС будет доступным для культурных растений. Между вариантом с условно-эквивалентной дозой 51 кг/га и исходным содержанием различия были не достоверными. Использование ПУУС не привело к подкислению почвенного раствора агросерой почвы, а, наоборот, способствовало нейтрализации кислотности.

Поведение нитратов в системе ПУУС– почва изучили в третьем опыте. Исходные данные по нитратам (43 мг/кг) отражает контроль без ПУУС (первый цикл). После второго цикла разбавления содержание нитратов в контрольном варианте снизилось на 10 мг/кг (см. рисунок). Данные третьего опыта подтверждают результаты второго в отношении активной трансформации нитратного азота из ПУУС в раствор с последующим закреплением почвой.

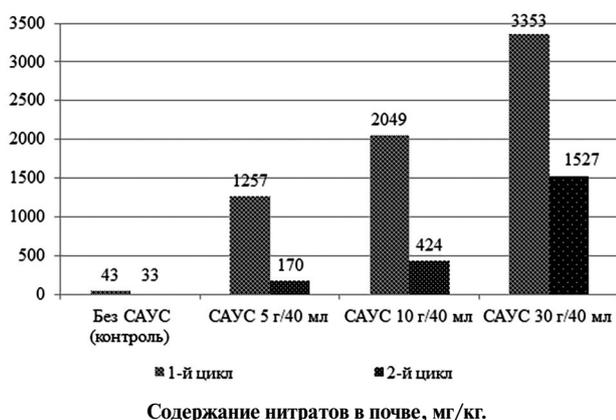
Содержание нитратов в почве находится в прямой зависимости от дозы (условная) удобрения как после первого, так и второго цикла разбавления, хотя характер изменения отличается. При увеличении условной дозы в два раза (с 5 до 10 г / 40 мл воды) после первого цикла разбавления содержание нитратов в почве увеличилось в 1,6 раза (2049/1257), в 6 раз (с 5 до 30) – в 2,7 раза. При этом достоверная зависимость содержания нитратов от условной дозы описывается логарифмическим уравнением. Аналогично после второго цикла разбавления – в 2,5 и 9,0 раза соответственно, зависимость проявляется по экспоненциальному и прямолинейному типам уравнения.

В пределах одной условной дозы ПУУС между циклами различия по содержанию нитратов в почве составили: в 7,4 раза для 5 г / 40 мл; в 4,8 – 10 г / 40 мл,

Таблица 3.

Содержание азота и кислотность агросерой почвы при использовании ПУУС (модельный подход)

Вариант	Исходный N-NO <sub>3</sub> в почве, мг/кг	Исходный общий азот в почве, %	Опыт 2			
			Общий азот, %	pH вод.	pH сол.	Гидролитическая кислотность, моль/100 г
Условно-эквивалентная доза азота 51 кг/га	24,7	0,03	0,050±0,005	5,75±0,1	5,23±0,1	2,15±0,03
Условно-эквивалентная доза азота 255 кг/га	24,7	0,03	0,095±0,005	6,10±0,1	6,10±0,1	1,69±0,015



в 2,2 – 30 г/40 мл, то есть с ее увеличением возрастает остаточное количество нитратов. В указанном выше ряду запасы составили 14% (170/257), 21 и 46%.

Воспроизвести лабораторным путем реальных соотношений удобрения к почвенному раствору невозможно, тем более, что влажность почвы динамичный показатель. Но на основе выявленных тенденций, достоверность которых подтверждена статистически, можно предположить, что нитратный азот ПУУС относительно активен, но в то же время его вымывание не одномоментное, определенная часть азота находится в ближайшем запасе. Следовательно, не стоит ожидать быстрого истощения нитратов из глинистого компонента экспериментальной почвоулучшающей смеси.

Первоначально планировали азотную кислоту добавлять в трехкомпонентную смесь, состоящую из ФМ, ПС и доломита. В лабораторном опыте 4, для выявления хемоактивизирующей роли азотной кислоты фосфоритную муку рассматривали как самостоятельный компонент и совместно с доломитом. Установлено, что с обработкой модифицирующей азотной кислотой и без нее содержание массовой доли усвояемых (в лимонной кислоте) и водорастворимых фосфатов в варианте с доломитом оказалось одинаковым – менее 3,0%.

Суммарное количество азота при однократной обработке ФМ с доломитом составило 2,39%, в контролях 1 и 2 (без добавления азотной кислоты) – около 0,26%. Дополнительное использование азотной кислоты увеличило содержание общего азота до 6,3%, массовой

доли усвояемых фосфатов – до 14, водорастворимых фосфатов – до 3,5% (табл. 4).

Положительную роль доломита можно рассматривать с точки зрения связывания азотной кислоты с образованием легкорастворимого нитрата кальция. Однако кальций доломита связывает фосфаты. После двукратной обработки азотной кислотой частично растворяются фосфаты. На это указывают данные по усвояемым и водорастворимым фосфатам, содержание которых увеличилось до 7,0% и 3,5% соответственно. При однократной обработке их содержание не превышало 3,0%.

**Выводы.** Суглинок, фосфоритная мука имеют сложную химическую, минералогическую композицию. Установить с высокой точностью необходимый объем модифицирующей кислоты сложно даже после определения содержания примесных минералов, в состав которых входит кальций и фосфор. Некоторые химические процессы контролировать без специального аналитического оборудования невозможно. Все эти направления – область изучения других наук. Мы получали продукт со связанной в максимальной степени модифицирующей кислотой, неполным переводом фосфора в подвижные формы. Например, неполная активация фосфоритной муки приводит к частичному или полному разрушению минералов. [8] Это дает основание предполагать, что хемоактивированный прочносвязанный фосфор минералов, который далее вступит в химическую реакцию с кальцием, не потеряет свою активность.

При составлении почвоулучшающей смеси из суглинка, фосфоритной муки и доломита основная сложность заключается в расчетах отношений последних двух компонентов для частичного перевода фосфора фосфоритной муки в доступные формы. Трудности связаны с присутствием кальция в составе примесных минералов, сорбцией фосфатов алюминием, железом и другими элементами. По нашим предварительным исследованиям, если на заключительной стадии добавить в смесь азотную кислоту, но в меньшем количестве, чем положено по стехиометрической норме (есть вероятность выделения диоксида азота), часть фосфора переходит в усвояемые формы. Приблизительно о необходимом количестве модифицирующей кислоты можно судить по экстрагируемому объему фосфора с использованием соляной кислоты молярной концентрацией 0,2 моль/дм<sup>3</sup> (методика заимствована из ГОСТа Р 54650-2011). Следует признать условность выбранного подхода, так как он распространяется на почву, но при некоторых допущениях при сравнении вариантов с обработкой азотной кислотой фосфоритной муки с доломитом и без него позволяет по минимальной разнице содержания подвижного фосфора приблизительно рассчитать объем кислоты. Чем больше нейтрализуется кислоты кальцием самой ФМ, тем меньше выход фосфора. В варианте с ФМ без доломита содержание подвижного фосфора – 10960 мг/кг, с доломитом – 8240...8560 мг/кг, что дает нам основание сделать вывод о приемлемом выборе соотношения компонентов в ПУУС.

В опытах хемоактивирующий эффект рассматривали на уровне отдельных компонентов. Это связано с отсутствием соответствующего ГОСТа. Поэтому данные по химическому составу имеют приближенные значения, так как исключено влияние компо-

**Таблица 4.**  
Содержание общего азота, фосфатов и подвижного фосфора в различных вариантах с ФМ

Вариант	Общий азот, %	Усвояемые фосфаты, %	Водорастворимые фосфаты, %	Подвижный фосфор, мг/кг
ФМ без HNO <sub>3</sub> (контроль 1)	0,24	<3,0	<3,0	10960
ФМ + доломит без HNO <sub>3</sub> (контроль 2)	0,26	<3,0	<3,0	8530
ФМ + однократная обработка HNO <sub>3</sub>	2,4	14,0	3,5	9880
ФМ + доломит + однократная обработка HNO <sub>3</sub>	2,4	<3,0	<3,0	8560
ФМ + доломит + двукратная обработка HNO <sub>3</sub>	6,3	7,0	3,5	8240

нентов друг на друга, одномоментное действие на них азотной кислоты. Тем не менее, можно указать ориентировочные значения основных агрохимических показателей ПУУС: общий азот – 9,0%, общий фосфор – 19, усвояемые и водорастворимые формы фосфора – 7,0 и 3,5 (ФМ + доломит + двукратная обработка  $\text{HNO}_3$ ), общий калий – 0,2% (по покровному суглинку).

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Андрианов С.Н., Капранов В.Н., Сушеница Б.А. Эффективность и технология производства хемоактивированной фосфоритной муки // Плодородие. 2007. № 6 (39). С. 11–12.
- Безручко Е.В., Федотова Л.С. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля // Агрохимия. 2021. № 8. С. 70–81.
- Биккинина Л.М.Х., Алиев Ш.А., Ежков В.О., Суханова И.М. Изменение калийного режима почвы под влиянием комплексного удобрения на основе природного цеолита и стоков животноводческих комплексов // Агрохимический вестник. 2016. № 4. С. 27–29.
- Варламова Л.Д., Короленко И.Д. Нетрадиционные удобрения материалы в растениеводческом комплексе России и Нижегородской области // Агрохимический вестник. 2017. № 2. С. 15–20.
- Власов В.Ф., Марченков В.Ф. Исследование азотнокислотного разложения Кимовского фосфорита // Технология неорганических веществ, процессы и аппараты и кибернетика химических процессов. Труды МХТИ им. Д.И. Менделеева. 1962. Вып. 60. С. 29–31.
- Вольфкович С.И. и др. Общая химическая технология, 1945. № 3, С. 1–7.
- Газизов Р.Р., Суханова И.М., Прищепенко Е.А. и др. Влияние бурого угля и глауконита на плодородие почвы и урожайность культур // Плодородие. 2020. № 6 (117). С. 34–36.
- Готто З.А., Шевчук В.В., Можейко Ф.Ф., Островский Л.К. Активация фосфоритной муки путем частичного разложения минеральных кислот // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. 2014. № 3. С. 110–116.
- Дорощкевич С.Г., Убугунов Л.Л. Влияние органоминеральных удобрительных смесей на основе осадков сточных вод и цеолитов на агрохимические свойства аллювиальной дерновой почвы // Агрохимия. 2002. № 4. С. 5–10.
- Капранов В.Н. Использование природных агрохимических средств в качестве источников минерального питания полевых культур: дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04 / Капранов Владимир Николаевич. Немчиновка, 2009. 378 с.
- Козлов А.В., Куликова А.Х., Уромова И.П. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы и продуктивность агрофитоценозов от применения высококремнистых пород в качестве почвенных кондиционеров // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Естественные науки. 2017. № 11 (260). С. 155–166.
- Козлов А.В., Куликова А.Х., Уромова И.П. Функциональность соединений кремния в почвах и их участие в формировании экологической устойчивости почвенно-поглощающего и почвенно-биотического комплексов // Сб. науч. тр. по мат. Междунар. экологической конф. «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития, Краснодар. 2020. С. 294–298.
- Козлов А.В., Трушкова М.А. Влияние кремнийсодержащих пород на содержание подвижных соединений тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 6. С. 510.
- Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. и др. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // Агрохимия. 2016. № 2. С. 31–41.
- Межева А.С., Берестнева Ю.В., Бикметова К.Р. Апробация органоминерального удобрения на основе осадков сточных вод // Агрохимический вестник. 2020. № 6. С. 71–74.
- Мерзлая Г.Е., Афанасьев Р.А. Агрохимические аспекты использования осадков сточных вод для рекультивации земель различного назначения // Агрохимия. 2020. № 8. С. 70–77.
- Охотин В.В., Мазуров Г.П. Покровные отложения на моренах Европейской части Советского Союза // Вестник Ленинградского университета. 1951. № 4. С. 66–57.
- Спиридонов Ю.Я., Чкаников Н.Д., Пастухов А.В. и др. Влияние цеолитов на развитие ярового рапса в присутствии остатков метсульфурон-метила в почве // Агрохимия. 2021. № 10. С. 81–88.
- Ульянова О.А. Трансформация органического вещества почвы под действием композиций из древесной коры и цеолита // Плодородие. 2009. № 2(47). С. 23–25.
- Ульянова О.А., Чупрова В.В., Луганцева М.В., Кулебакин В.Г. Получение удобрительных композиций и влияние их на содержание и состав органического вещества в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи // Агрохимия. 2007. № 6. С. 42–49.
- Фрид А.С., Касатиков В.А., Борисочкина Т.И. и др. Динамика агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при внесении осадков сточных вод и извести // Агрохимия. 2022. № 9. С. 3–14.
- Шабаетов В.П., Бочарникова Е.А., Остроумов В.Е. Ремедиация загрязненной кадмием почвы при применении стимулирующих рост растений ризобактерий и природного цеолита // Почвоведение. 2020. № 6. С. 738–750.

#### REFERENCES

- Andrianov S.N., Kapranov V.N., Sushenica B.A. Effektivnost' i tekhnologiya proizvodstva hemoaktivirovannoj fosforitnoj muki // Plodorodie. 2007. № 6 (39). S. 11–12.
- Bezruchko E.V., Fedotova L.S. Dostupnyj dlya rastenij kremnij – faktor ustojchivogo proizvodstva kartofelya // Agrohimiya. 2021. № 8. S. 70–81.
- Bikkinina L.M.H., Aliev Sh.A., Ezhkov V.O., Suhanova I.M. Izmnenie kalijnogo rezhima pochvy pod vliyaniem kompleksnogo udobreniya na osnove prirodno go ceolita i stokov zhivotnovodcheskih kompleksov // Agrohimi cheskij vestnik. 2016. № 4. S. 27–29.
- Varlamova L.D., Korolenko I.D. Netradicionny e udobritel'nye materialy v rastenievodcheskom komplekse Rossii i Nizhegorodskoj oblasti // Agrohimi cheskij vestnik. 2017. № 2. S. 15–20.
- Vlasov V.F., Marchenkov V.F. Issledovanie azotnokislотноgo razlozheniya Kimovskogo fosforita // Tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv, processy i apparaty i kibernetika himicheskikh processov. Trudy MHTI im. D.I. Mendeleeva. 1962. Vyp. 60. S. 29–31.
- Vol'fkovich S.I. i dr. Obshchaya himicheskaya tekhnologiya, 1945. № 3, S. 1–7.
- Gazizov R.R., Suhanova I.M., Prishchepenka E.A. i dr. Vliyani e burogo uglya i glaukonita na plodorodie pochvy i urozhajnost' kul'tur // Plodorodie. 2020. № 6 (117). S. 34–36.
- Gotto Z.A., Shevchuk V.V., Mozhejko F.F., Ostrovskij L.K. Aktivaciya fosforitnoj muki putem chastichnogo razlozheniya

- mineral'nyh kislot // Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Belarusi. Seriya himicheskikh nauk. 2014. № 3. S. 110–116.
9. Doroshkevich S.G., Ubugunov L.L. Vliyanie organomineral'nyh udobritel'nyh smesey na osnove osadkov stochnyh vod i ceolitiv na agrohimiicheskie svoystva allyuvial'noj dernovoy pochvy // Agrohimiya. 2002. № 4. S. 5–10.
  10. Kapranov V.N. Ispol'zovanie prirodnyh agrohimiicheskikh sredstv v kachestve istochnikov mineral'nogo pitaniya polevyh kul'tur: dis. ... d-ra biol. nauk : 06.01.04 / Kapranov Vladimir Nikolaevich. Nemchinovka, 2009. 378 s.
  11. Kozlov A.V., Kulikova A.H., Uromova I.P. Biologicheskaya aktivnost' dernovo-podzolistoj pochvy i produktivnost' agrofitorozov ot primeneniya vysokokremnistyh porod v kachestve pochvennyh kondicionerov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennyye nauki. 2017. № 11 (260). S. 155–166.
  12. Kozlov A.V., Kulikova A.H., Uromova I.P. Funkcional'nost' soedinenij kremniya v pochvah i ih uchastie v formirovanii ekologicheskoy ustojchivosti pochvenno-pogloshchayushchego i pochvenno-bioticheskogo kompleksov // Sb. nauch. tr. po mat. Mezhdunar. ekologicheskoy konf. «Agrarnye landshafty, ih ustojchivost' i osobennosti razvitiya, Krasnodar. 2020. S. 294–298.
  13. Kozlov A.V., Trushkova M.A. Vliyanie kremnijsoderzhashchih porod na sodержanie podviznyh soedinenij tyazhelyh metall-ov v dernovo-podzolistoj pochve // Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2016. № 6. S. 510.
  14. Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V. i dr. Meliorativnyye svoystva, udobritel'naya cennost' i skorost' rastvoreniya v pochvah razlichnyh po razmeru frakcij otseva dolomita, ispol'zuemogo dlya dorozhnogo stroitel'stva // Agrohimiya. 2016. № 2. S. 31–41.
  15. Mezhevova A.S., Berestneva Yu.V., Bikmetova K.R. Aprobatsiya organomineral'nogo udobreniya na osnove osadkov stochnyh vod // Agrohimiicheskij vestnik. 2020. № 6. S. 71–74.
  16. Merzlaya G.E., Afanas'ev R.A. Agrohimiicheskie aspekty ispol'zovaniya osadkov stochnyh vod dlya rekultivatsii zemel' razlichnogo naznacheniya // Agrohimiya. 2020. № 8. S. 70–77.
  17. Ohotin V.V., Mazurov G.P. Pokrovnyye otlozheniya na morenah Evropejskoj chasti Sovetskogo Soyuza // Vestnik Leningradskogo universiteta. 1951. № 4. S. 66–57.
  18. Spiridonov Yu.YA., Chkanikov N.D., Pastuhov A.V. i dr. Vliyanie ceolitiv na razvitie yarovogo rapsa v prisutstvii ostatkov metsul'furon-metila v pochve // Agrohimiya. 2021. № 10. S. 81–88.
  19. Ul'yanova O.A. Transformatsiya organicheskogo veshchestva pochvy pod dejstviem kompozitsij iz drevnesnoj kory i ceolita // Plodorodie. 2009. № 2(47). S. 23–25.
  20. Ul'yanova O.A., CHuprova V.V., Luganceva M.V., Kulebakin V.G. Poluchenie udobritel'nyh kompozitsij i vliyanie ih na sodержanie i sostav organicheskogo veshchestva v chernozeme obyknennom Krasnoyarskoj lesostepi // Agrohimiya. 2007. № 6. S. 42–49.
  21. Frid A.S., Kasatkov V.A., Borisochkina T.I. i dr. Dinamika agrohimiicheskikh pokazatelej pochvy v mnogoletnem polevom opyte pri vnosenii osadkov stochnyh vod i izvesti // Agrohimiya. 2022. № 9. S. 3–14.
  22. Shabaev V.P., Bocharnikova E.A., Ostroumov V.E. Remedatsiya zagryaznennoj kadmii pochvy pri primenenii stimuliruyushchih rost rastenij rizobakterij i prirodnogo ceolita // Pochvovedenie. 2020. № 6. S. 738–750.

*Поступила в редакцию 13.09.2023*

*Принята к публикации 27.09.2023*