

КОМПЛЕКСНЫЕ ФОСФОР-ЦЕОЛИТОВЫЕ УДОБРЕНИЯ — НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕКОНДИЦИОННЫХ ФОСФОРИТОВ

Н.И. Коннова

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия, e-mail: kni757@mail.ru

Аннотация: Показана возможность использования цеолитов в производстве фосфорных удобрений как активатора природных фосфатов. Рассмотрены теоретические основы процесса получения фосфор-цеолитового удобрения. Представлены результаты исследований по получению фосфор-цеолитовых удобрений из фосфорита (апатитового концентрата) и цеолита, комплексных удобрений из фосфорита, апатитового концентрата, цеолита и неорганических добавок. Показано влияние на качество удобрения соотношений компонентов смеси, жидкого к твердому, использования различного измельчительного оборудования. Исследования показали, что, варьируя режимом измельчения смеси (без переналадки или дополнительной комплектации оборудования), в фосфор-цеолитовых удобрениях можно получить практически одинаковые показатели качества (содержание лимонно-растворимого P_2O_5) по сравнению с традиционными удобрениями на основе фосфоритов и апатитов с добавками лигнина. Полученные по разработанной технологии удобрения содержат 72—90% относительного лимонно-растворимого P_2O_5 , хорошо усвояемого растениями. Полевые испытания опытной партии удобрений показали повышение урожая пшеницы и однолетних трав на 60—125% по сравнению с фосфоритной мукой.

Ключевые слова: цеолит, фосфорит, апатит, концентрат, фосфор-цеолитовое удобрение, механоактивация, лимонно-растворимый P_2O_5 .

Для цитирования: Коннова Н. И. Комплексные фосфор-цеолитовые удобрения — новый подход к повышению эффективности использования некондиционных фосфоритов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 5. — С. 59—71. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-59-71.

Compound phosphoric—zeolitic fertilizers—A new approach to improvement of offgrade phosphate rock efficiency

N.I. Konnova

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia, e-mail: kni757@mail.ru

Abstract: The article describes usability of zeolite as activator of natural phosphate rocks in production of phosphate fertilizers. Theory of phosphoric—zeolitic fertilizer production is considered. The research findings on production of phosphoric—zeolitic fertilizers from phosphate rocks (apatite concentrate) and zeolite as well as compound fertilizers from phosphate rocks, apatite concentrate and inorganic admixtures are reported. It is shown how quality of fertilizers is influenced by the mixture and solid-to-liquid ratios, as well as by models of milling equipment. The research shows that in pro-

duction of phosphoric–zeolitic fertilizers, by varying the mixture milling node (without re-alignment or additional fitting of equipment), it is possible to obtain nearly identical indexes of quality (content of citric-soluble P_2O_5) as against traditional fertilizers based on phosphate rocks apatite with rocks with added lignin. The fertilizers produced by the developed technology contain 72–90% of citric-soluble P_2O_5 well assimilable by plants. The field tests of sample fertilizers show the increased harvest of wheat and annual grasses by 60–125% as compared with the ground rock phosphate.

Key words: Zeolite, phosphate rock, concentrate, phosphoric–zeolitic fertilizer, mechanical activation, citric-soluble P_2O_5 .

For citation: Konnova N. I. Compound phosphoric–zeolitic fertilizers—A new approach to improvement of offgrade phosphate rock efficiency. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;5:59-71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-05-0-59-71.

Введение

Интерес к применению цеолитов во многих сферах деятельности человека в современном мире постоянно растет. В России цеолиты применяются в качестве компонента тепличного субстрата (при выращивании различных сельскохозяйственных культур) и для повышения плодородия почв и эффективности действия минеральных удобрений в качестве добавок к комбикормам и концентратам [1, 2].

Цеолиты являются природными сорбентами катионного типа, проявляющими сорбционную активность по отношению к ионам K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и другим.

Результаты исследований ряда ученых свидетельствуют о том, что цеолиты улучшают агрофизические и агрохимические свойства почвы, именно благодаря своей ионообменной способности, нейтрализуют излишнюю кислотность, увеличивают емкость катионного обмена, пролонгируют действие внесенных удобрений, предотвращают вымывание питательных веществ [3–9].

Кроме того, известно, что цеолиты уменьшают слеживаемость удобрений, снижают содержания тяжелых металлов в почвах и растительных продуктах, способствуют очистке загрязненных вод в рыбном хозяйстве, дезодорации животноводческих помещений. В работах [10–12] отмечено значительное увеличение

под влиянием цеолитов поглотительной способности малоплодородных почв. В целом, это приводит к активизации почвенной микрофлоры и ускорению разложения органического вещества.

В современной сельскохозяйственной практике широко применяются фосфорные удобрения: суперфосфат, двойной суперфосфат, аммофос и прочие с содержанием фосфора более 20%. Удобрения увеличивают урожай, улучшают его качество, ускоряют созревание растений, повышают их устойчивость к полеганию и засухе. Они негигроскопичны, не слеживаются, хорошо рассеиваются. Однако следует отметить, что применение этих удобрений имеет ряд отрицательных последствий: легкая вымываемость из почв, снос в водоемы, кратковременность действия и, как следствие, низкая усвояемость. Так, например, из 100 кг фосфора, внесенного в почву с концентрированным удобрением, усваивается не более 25 кг. Кроме того, промышленное производство концентрированных удобрений — процесс дорогостоящий и капиталоемкий.

Способность цеолитсодержащих пород сорбировать кальций позволила использовать их в производстве фосфорных удобрений как активатор природных фосфатов.

Одним из путей решения проблемы эффективного и рационального использования фосфоритов — это создание

удобрения пролонгированного действия (основой которого является дикальций-фосфат), например, фосфор-цеолитовые удобрения [13, 14, 16, 17].

Целью данных исследований являлась разработка технологий получения минеральных удобрений из фосфоритов (апатитового концентрата) и цеолитов. Кроме того, в работе изложены результаты по изучению воздействия добавок неорганических веществ, используемых в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений, на фосфор-цеолитовые удобрения.

Материалы и методы

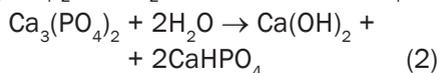
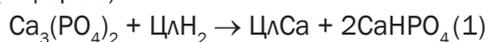
Для получения фосфор-цеолитовых удобрений в исследованиях были использованы фосфориты Сейбинского, Телекского и Обладжанского месторождений (Красноярский край), апатитовый концентрат, полученный из апатитовых руд Ошурковского месторождения (Бурятия) и цеолиты Сахаптинского месторождения (Красноярский край). Исследования по получению фосфор-цеолитовых удобрений проводили с использованием воды и без нее. Фосфоритовую руду и цеолит дробили до крупности 25–0 мм, и далее измельчали в двух режимах: с водой или без. Измельчение проводили в стержневой, шаровой и планетарной мельницах.

Результаты и обсуждение

Теоретические основы процесса. Ранее учеными Красноярского института цветных металлов (КИЦМ) был предложен способ получения фосфор-цеолитового удобрения из природных фосфатов и цеолитов (органических сорбентов) [13, 14]. Теоретические основы механизма позволяют констатировать, что получение фосфор-цеолитового удобрения включает, как минимум, два процесса: активацию фосфата и взаимодействие активированного фосфата с ор-

ганической добавкой — цеолитом. Эти процессы могут осуществляться последовательно (измельчение фосфата и цеолита, смешивание и хранение) или одновременно (смешивание компонентов и последующее их измельчение). Последовательный способ получения удобрения сопряжен со значительной длительностью процесса и его высокой затратностью.

Ниже представлена последовательность возможного механизма взаимодействия трикальцийфосфата $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ с цеолитом (Цл) в водородной форме (Н форме):



Из уравнений (1)–(5) следует, что возможны два механизма разложения трикальцийфосфата: прямое взаимодействие с цеолитом и гидролиз с последующей нейтрализацией гидроксида кальция.

Теоретически оба возможных механизма разложения трикальцийфосфата могут работать в безводной среде, однако в воде скорость реакции должна увеличиваться. Ниже представлены результаты исследований на апатите и фосфоритах (табл. 1, 2), подтверждающие данное предположение [1, 2].

Механоактивацию исходных материалов (вторая составляющая процесса получения удобрения), проводили в планетарной мельнице. Детально состав продуктов активации апатита неизвестен. Рентгенофазовый анализ фиксирует уширение рефлексов, что связано с увеличением дефектности структуры. Возможно образование измененных форм апатита: апатито-гидроксилапатита, силикоапатита и др. при активации с соответствующими добавками [18].

Таблица 1

Влияние соотношения апатита и цеолита на качество удобрения, полученного в мельнице механоактивации в воздушной среде (постоянные условия: время активации 15 мин)

Influence of a parity of apatite and zeolite on quality of the fertilizer received in a mill mechanical activation in the air environment (constant conditions: time of activation is 15 minutes)

Соотношение апатит:цеолит	Содержание P_2O_5 , %		
	общего	лимоннорастворимого	
		абсолютного	относительного
1:0	36,8	8,22	22,3
1:1	18,4	4,03	21,9
1:2	12,1	2,95	24,3
1:3	9,2	2,48	27,0
1:4	7,4	2,02	27,3
1:5	6,1	2,02	33,1
1:7	4,6	2,02	43,9

Известно, что при активации апатита и фосфорита существует динамическое равновесие между исходным и активированным минералом. По достижении такого равновесия при дальнейшем увеличении времени измельчения (табл. 3) степень активации не изменяется. Равновесная степень активации зависит от целого ряда параметров: от энергонапряженности активатора, соотношения

шары: апатит, количества и состава цеолита (добавки).

Изменение степени активации апатита в водной среде от энергонапряженности активатора показано на рис. 2. При совмещении процессов активации апатита и разложения продуктов активации до ди- и монокальцийфосфата механизм процесса еще более усложняется. В этом случае имеет место динамиче-

Таблица 2

Влияние соотношения апатита и цеолита на качество удобрения, полученного в мельнице механоактивации в водной среде (постоянные условия: время активации 15 мин, Т:Ж = 1:3)

Influence of a parity of apatite and zeolite on quality of the fertilizer received in a mill mechanical activation in the water environment (constant conditions: time of activation is 15 min, S:W = 1:3)

Соотношение апатит:цеолит	Содержание P_2O_5 , %		
	общего	лимоннорастворимого	
		абсолютного	относительного
1:0	36,8	8,22	22,3
1:1	18,4	5,43	29,5
1:2	12,1	5,42	44,8
1:3	9,2	5,44	59,1
1:4	7,4	4,9	66,4
1:5	6,1	4,28	70,1
1:7	4,6	3,40	73,9

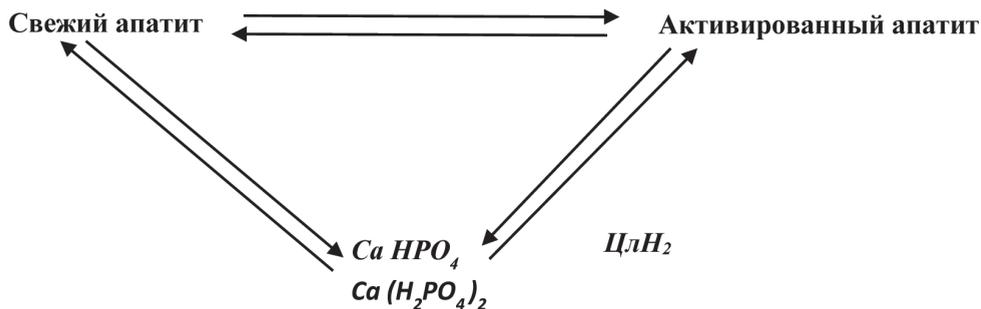


Рис. 1. Принципиальная схема динамического равновесия между исходным и активированным минералом при совмещении процессов активации апатита и разложении продуктов

Fig. 1. Schematic diagram of the dynamic equilibrium between the source and activated mineral when combining the processes of activation of apatite and decomposition of products

ское равновесие, которое принципиально можно представить в виде следующей схемы (рис. 1).

В этой системе средства смещения равновесия могут быть различными: изменение соотношений компонентов смеси, применение активаторов различной энергонапряженности и другие.

Получение фосфор-цеолитовых удобрений из фосфорита (апатитового концентрата) и цеолита. Фосфор-цеолитовое удобрение получали совместным измельчением руды и цеолита с водой или без. В табл. 4 представлены результаты исследований влияния времени измельчения на качество удобрения. С увеличе-

Таблица 3

Влияние времени активации в воздушной среде на качество удобрения
Influence of time of activation in the air environment on quality of fertilizer

Исходный продукт	P ₂ O ₅ общее, %	P ₂ O ₅ лимоннорастворимого, %		Время, мин
		абсолютного	относительного	
Апатит	36,85	2,95	8,0	0
	36,85	7,75	21,0	10
	36,85	8,22	22,30	15
	36,85	8,99	24,40	30
	36,85	8,97	24,34	35
Сейбинская фосфоритовая руда	22,28	4,68	21,0	0
	22,28	4,94	22,17	5
	22,28	8,58	38,51	10
	22,28	12,66	56,86	15
	22,28	12,92	58,0	30
Телекская фосфоритовая руда	14,6	3,65	25,0	0
	14,6	5,41	37,1	5
	14,6	7,19	49,3	10
	14,6	10,2	69,9	15
	14,6	10,36	71,0	30
Харанурская фосфоритовая руда	14,2	5,2	36,6	0
	14,2	5,43	38,2	5
	14,2	5,89	41,4	10
	14,2	6,2	43,6	15
	14,2	6,2	43,6	30

Таблица 4

Влияние времени измельчения на качество органо-минерального удобрения, полученного из фосфоритов и цеолитосодержащей породы

Influence of time of crushing on quality of the organic-mineral fertilizer received from phosphorites and zeolite-contened rock

Тип мельницы	Время измельчения, мин	Содержание P_2O_5 , %		
		общего	лимонно-растворимого	
			абсолютного	относительного
Стержневая	30	9,4	5,36	57,0
	60	9,4	5,36	57,0
	120	9,4	5,99	63,7
	180	9,4	4,70	50,0
	фосфоритная мука	14,2	5,12	36,0
Шаровая	30	9,4	6,51	69,3
	60	9,4	7,50	79,8
	120	9,4	8,68	92,3
	180	9,4	4,50	47,8
	фосфоритная мука	14,2	5,12	36,0

Примечание. Постоянные условия: соотношение фосфор:цеолит = 1:0,5.

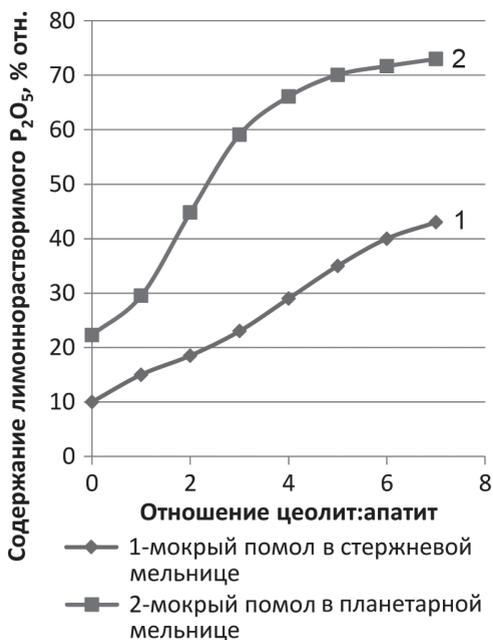


Рис. 2. Зависимость относительного содержания лимонно-растворимого P_2O_5 в удобрении от процентного отношения цеолит:апатит: 1 — стержневая мельница, мокрый помол; 2 — планетарная мельница, мокрый помол

Fig. 2. Dependence of the relative maintenance citric soluble P_2O_5 in fertilizer from zeolite percentage:apatite: 1 — a rod mill, a wet grinding; 2 — a planetary mill, a wet grinding

нием времени измельчения, в шаровой и стержневой мельницах, до 180 мин, абсолютное и относительное количество лимонно-растворимого P_2O_5 растет, а далее — снижается. Качество получаемого удобрения зависит от разжижения пульпы (табл. 5). С увеличением соотношения твердого к жидкому, качество удобрения растет.

Были проведены исследования по влиянию соотношения цеолитов и фосфатов (апатит или фосфорит) на качество удобрений. Результаты представлены графически на рис. 3. Во всех случаях наблюдается повышение качества удобрений при увеличении соотношения цеолитов и фосфатов. При этом измельчение в планетарной мельнице цеолита позволяет получить более высокие показатели.

Получение комплексных удобрений. Комплексные удобрения получали из фосфорита, апатитового концентрата, цеолита и следующих добавок: угля, K_2SO_4 , $(NH_4)_2SO_4$, $NHNO_3$.

Определение эффективности комплексного активатора, смеси угля и цеолита, проведено с использованием углей

Таблица 5

Влияние соотношения Т:Ж на качество удобрения, полученного из фосфорита и цеолита

Influence of parity S:W on quality of the fertilizer received from phosphorite and zeolite

Тип мельницы	Соотношение Т:Ж	Содержание P_2O_5 , %			Содержание класса — 0,74 мм, %
		общего	лимонно-растворимого		
			абсолютного	относительного	
Стержневая	1:1,7	9,4	5,36	57,0	100
	1:2	9,4	5,55	59,0	100
	1:3	9,4	6,51	69,3	100
	1:4	9,4	7,24	77,0	100
	фосфоритная мука	14,2	5,12	36,0	
Шаровая	1:2	9,4	6,82	72,6	100
	1:3	9,4	7,28	77,5	100
	1:4	9,4	8,68	92,3	100
	фосфоритная мука	14,2	5,12	36,0	

Примечание. Постоянные условия: соотношение фосфор:цеолит = 1:0,5; время измельчения — 30 мин.

КАТЭКа, Сахатпинского цеолита (Красноярский край), фосфоритов Телекского месторождения (Красноярский край) и апатита Ощурковского месторождения (Бурятия).

Условия измельчения (продолжительность и соотношение твердого к жидкому) и пределы соотношений компонен-

тов смеси были выбраны на основе результатов ранее проведенных исследований. В табл. 6 представлены результаты исследований по влиянию соотношений фосфорит:уголь:цеолит на качество удобрений. Показана возможность получения удобрения с относительным процентом лимонно-растворимого P_2O_5

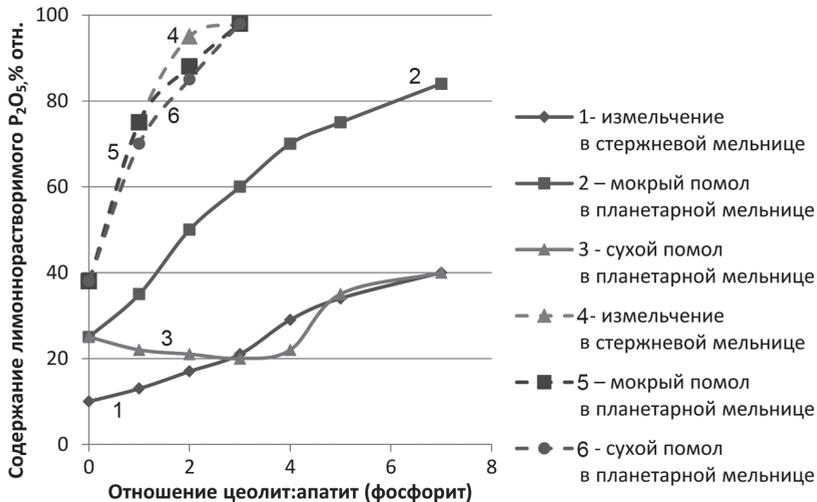


Рис. 3. Зависимость качества удобрения от соотношения добавка: апатит (сплошные линии) и добавка: фосфорит (пунктирные линии): 1 — цеолит, стержневая; 2 — цеолит, планетарная; 3 — цеолит, планетарная, сухой помол

Fig. 3. Dependence of quality of fertilizer on a parity an additive: apatite (continuous lines) and an additive: phosphorite (dashed lines): 1 — zeolite, rod; 2 — zeolite, planetary; 3 — zeolite, planetary, a dry grinding

Таблица 6

Влияние соотношения фосфат:уголь:цеолит на качество удобрения
Influence of parity phosphate:coal:zeolite on quality of fertilizer

Соотношение фосфат: уголь: цеолит	Содержание P_2O_5 , %			Условия измельчения
	общего	лимонно-растворимого		
		абсолютного	относительного	
1:0,5:0	9,4	5,43	57,8	время – 30 мин Т:Ж = 1:0
1:0,25:0,25	9,4	7,80	83,0	
1:0,1:0,4	9,4	6,36	67,6	
1:0,4:0,1	9,4	7,24	77,0	
1:0:0,5	9,4	5,80	61,8	
фосфоритная мука	14,2	5,12	36,0	
1:5:0	6,1	3,88	63,0	время – 120 мин Т:Ж = 1:2
1:3:2	6,1	4,9	80,3	
1:2,5:2,5	6,1	4,03	66,0	
1:2:3	6,1	5,8	95,1	
1:0:5	6,1	2,12	34,8	
апатитовый концентрат	36,85	2,95	8,0	

83–95% (что превышает его долю в исходной руде более чем в 2–10 раз) при соотношениях фосфорит:уголь:цеолит, равных 1:0,25:0,25 и 1:2:3. Использование воды при измельчении в данном случае улучшает процесс.

Изучили воздействие неорганических веществ, используемых в сельском хозяйстве в качестве минеральных удобрений, на процесс получения комплексного органоминерального удобрения на основе фосфоритов. Такие соединения, как сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$, аммиачная селитра NH_4NO_3 , имеют в растворе слабокислую реакцию и могут способствовать гидролизу фосфора, тем самым повышая качество удобрения. Сульфат калия K_2SO_4 и сульфат аммония содержат в своем составе сульфат-ион и при определенных условиях могут вступить в обменную реакцию с фосфоритом, связывая кальций в малорастворимый сульфат и переводя фосфор в усвояемую форму.

Аммиачная селитра, сульфат аммония, аммиак, как и все соединения аммония, склонны к образованию комплексов, и в силу этого также могут воздейство-

вать на процесс получения комплексного удобрения.

Введение традиционных азотных и калийных минеральных удобрений в состав комплексного удобрения в качестве реагирующего вещества представляет интерес еще и потому, что они априори должны вноситься в почву для поддержания бездефицитного баланса азота и калия в почве. Таким образом, они действуют двояко: как удобрение и как реагент-добавка к удобрению в процессе его получения.

На рис. 4 приведены результаты исследований по изучению воздействия добавки сульфата аммония на процесс получения удобрения мокрым способом. Приведенные данные свидетельствуют о том, что введение сульфата аммония в удобрение повышает качество удобрения. Удобрение с добавкой $(NH_4)_2SO_4$, полученное в стержневой мельнице, не уступает по качеству удобрению, приготовленному в планетарной мельнице. Это особенно заметно при соотношении апатит:уголь, равном 7:1. Содержание лимонно-растворимого P_2O_5 в данном удобрении достигает 93%.

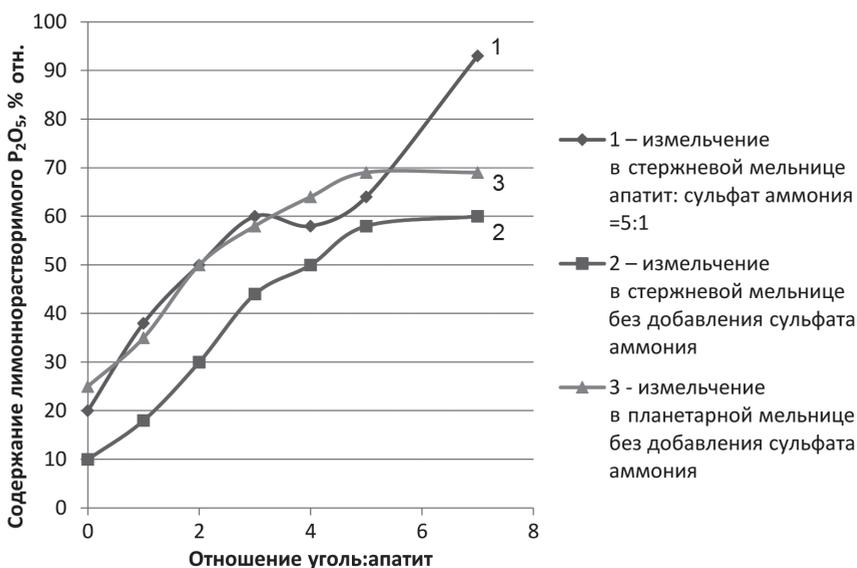


Рис. 4. Зависимость качества удобрения от соотношения уголь: апатит, полученном в стержневой мельнице: 1 – апатит:(NH₄)₂SO₄ = 5:1 (стержневая мельница); 2 – (NH₄)₂SO₄–0 (стержневая мельница); 3 – (NH₄)₂SO₄–0 (в планетарной мельнице)

Fig. 4. Dependence of quality of fertilizer from a parity coal:apatite, received in a rod mill: 1 – apatite: (NH₄)₂SO₄ = 5:1 (a rod mill); 2 – (NH₄)₂SO₄–0; 3 – (NH₄)₂SO₄–0 (in the activator)

Таблица 7

Зависимость качества удобрения, полученного в стержневой мельнице, от дозировки (NH₄)₂SO₄ и от типа добавки к фосфоритной основе
Dependence of quality of the fertilizer received in a rod mill from a dosage (NH₄)₂SO₄ and from type of an additive to a phosphoritic basis

Основа	Добавка	Соотношение (NH ₄) ₂ SO ₄ : фосфат	Содержание P ₂ O ₅ , %			Условия измельчения
			общего	лимонно-растворимого		
				абсолютного	относительного	
Фосфорит	Уголь	0	9,4	5,42	57,7	время – 30 мин, соотношение фосфорит:уголь = = 1:0,5
		0,05	9,2	5,89	64,0	
		0,1	8,9	7,13	80,1	
		0,2	8,4	7,00	84,5	
		0,3	7,9	7,12	90,1	
	Цеолит	0	9,4	5,99	63,7	
		0,05	9,2	4,65	50,5	
		0,1	8,9	5,74	64,4	
		0,2	8,4	5,74	64,4	
		0,3	7,9	6,04	76,5	
Апатитовый концентрат	Уголь	0	6,1	3,88	63,0	время – 120 мин, соотношение апатит:уголь = 1:5 Т:Ж = 1:2
		0,05	6,05	3,95	65,2	
		0,1	6,0	3,96	65,9	
		0,2	5,9	4,18	70,6	
	Цеолит	0	6,1	2,12	34,8	
		0,05	6,05	5,88	97,1	
		0,1	6,0	5,89	98,1	
		0,2	5,9	3,88	65,8	
		0,4	5,73	2,02	35,3	

Эксперименты по определению оптимальной дозировки сульфата аммония показали, что введение $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в удобрение при приготовлении в планетарной мельнице практически не влияет на его качество.

Иной характер этой зависимости выявлен при получении удобрения в стержневой мельнице. При соотношении апатит:уголь равном 5:1 введение добавки сульфата аммония увеличивает как абсолютное так и относительное содержание лимонно-растворимой пятиоксида фосфора в удобрении.

Сложный характер имеет зависимость качества фосфор-цеолитового удобрения от добавки сульфата аммония (табл. 7). Эта криволинейная зависимость имеет свой максимум при отношении апатит: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ равном 10:1, для фосфорита — при отношении фосфорит: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ равном 30:1 соответственно.

Аналогичные зависимости наблюдаются при введении в удобрение добавки сульфата калия. Сульфат калия не-

сколько ухудшает показатели качества удобрения, полученного в планетарной мельнице, и существенно увеличивает содержание лимонно-растворимого P_2O_5 в органоминеральном удобрении, измельченном в стержневой мельнице (табл. 8).

Результаты опытов по исследованию добавок аммиачной селитры приведены в табл. 9. Характер зависимостей аналогичен описанным ранее. Добавление $\text{Ca}(\text{HPO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, CH_4ONO_3 дают аналогичные результаты, но процент содержания лимонно-растворимой P_2O_5 получен несколько ниже. Поэтому для последующих агротехнических испытаний были взяты опытные партии фосфор-цеолитовых и органо-фосфор-цеолитовых удобрений с добавками $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$ и K_2SO_4 . Максимальный эффект получен при использовании K_2SO_4 . Содержание относительного лимонно-растворимого P_2O_5 в удобрении получено 90–94%. Полевые испытания опытной партии удобрений показали повышение урожая пшеницы

Таблица 8

Зависимость качества органо-минерального удобрения, полученного в стержневой мельнице, от дозировки K_2SO_4 и от типа добавки к фосфоритной основе
Dependence of quality to an organic mineral fertilizer received in a rod mill, from dosage K_2SO_4 and from type of an additive to a phosphoritic basis

Основа	Добавка	Соотношение K_2SO_4 : фосфорит	Содержание P_2O_5 , %			Условия измельчения
			общего	лимонно-растворимого		
				абсолютного	относительного	
Фосфорит	Уголь	0	9,4	5,42	57,7	время — 30 мин, соотношение фосфорит:уголь = 1:0,5
		0,05	9,2	7,60	82,6	
		0,1	8,9	7,39	83,0	
		0,2	8,4	7,59	90,4	
		0,3	7,9	7,11	90,0	
	Цеолит	0	9,4	5,99	63,7	время — 30 мин, соотношение фосфорит:цеолит = 1:0,5
		0,05	9,2	4,65	50,5	
		0,1	8,9	5,92	66,5	
		0,2	8,4	5,74	68,3	
		0,3	7,9	7,44	94,2	
Апатитовый концентрат	Уголь	0	6,1	3,88	63,0	время — 120 мин соотношения апатит:уголь = 1:5, Т:Ж = 1:2
		0,065	6,0	4,18	69,3	
		0,13	5,97	5,0	83,7	
		0,26	5,85	5,11	87,4	
		0,52	5,6	5,08	90,5	

Таблица 9

Зависимость качества органо-минерального удобрения, полученного в стержневой мельнице, от дозировки $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$ и от типа добавки
Dependence of quality of organic mineral fertilizer received in a rod mill, from a dosage $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$ and from additive type

Основа	Добавка	Соотношение $(\text{NH}_4)_2\text{NO}_3$: фосфорит	Содержание P_2O_5 , %			Условия измельчения
			общего	лимонно-растворимого		
				абсолютного	относительного	
Фосфорит	Уголь	0	9,4	5,42	57,7	время — 30 мин, соотношение фосфорит:уголь = 1:0,5
		0,05	9,2	4,80	52,2	
		0,1	8,9	6,82	76,6	
		0,2	8,4	6,98	83,0	
		0,3	7,9	6,79	85,0	
	Цеолит	0	9,4	5,99	63,7	время — 120 мин, соотношение фосфорит:цеолит = 1:0,5
		0,05	9,2	4,34	47,2	
		0,1	8,9	4,96	55,7	
		0,2	8,4	6,36	75,6	
		0,3	7,9	6,01	76,0	
Апатитовый концентрат	Уголь	0	6,1	3,88	63,0	время — 120 мин соотношения апатит:уголь = 1:5, Т:Ж = 1:2
		0,065	6,0	3,87	64,5	
		0,13	5,97	3,87	64,8	
		0,26	5,85	4,13	70,6	
		0,52	5,6	4,29	76,6	

и однолетних трав на 60—125% по сравнению с фосфоритной мукой.

Уменьшение количества добавляемых угля и цеолита в удобрении (соотношение фосфорит:уголь и фосфорит:цеолит равное 1:0,25) не влияют на величину относительного процента лимонно-растворимого P_2O_5 , при этом качество удобрения повышается за счет увеличения абсолютного содержания лимонно-растворимого P_2O_5 .

Заключение

Таким образом, проведенные исследования показали, что, варьируя режимом измельчения смеси, в фосфор-цеолитовых удобрениях можно получить практически одинаковые показатели качества (содержание лимонно-растворимого P_2O_5) по сравнению с традиционными удобрениями на основе фосфоритов и апатитов с добавками лигнина. Кроме того, для получения фосфор-цеолитовых удобрений при этом не требуется перена-

ладки или дополнительной комплектации оборудования при изменении компонентного состава комплексных удобрений, способа приготовления и т.п.

Предложена технология получения фосфор-цеолитовых удобрений из фосфорита (apatитового концентрата) и цеолита. Изучено влияние соотношения компонентов смеси: фосфорита (apatита), угля и цеолита, а также различных добавок на качество удобрений. Показано, что процесс можно вести в обычных барабанных мельницах. Полученные по разработанной технологии удобрения содержат 72—90% относительного лимонно-растворимого P_2O_5 , хорошо усвояемого растениями. Полевые испытания опытной партии удобрений показали повышение урожая пшеницы и однолетних трав на 60—125% по сравнению с фосфоритной мукой.

Автор выражает признательность Брагиной Вере Ивановне за помощь в проведении исследований, предоставленный материал и консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возрастная физиология и патология сельскохозяйственных животных: матер. междунар. научн. конф., посв. 90-летию проф. В.Р. Филиппова. — Улан-Удэ, 2003. — 168 с.
2. Михайлов Н. Г. и др. Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий. Магадан: ОАО «МАОБТИ», 2004. — 184 с.
3. Ермолаев А. А. Цеолиты в сельском хозяйстве // Химия в сельском хозяйстве. — 1987. — № 5. — С. 39–44.
4. Романова Г. А. Цеолиты: эффективность и применение в сельском хозяйстве. Ч. 1. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. — 296 с.
5. Самуленко Л. В. Оценка действия цеолита и серпентинита на плодородие почв Сахалина / Сельское хозяйство Севера на рубеже тысячелетий. Ч. 2. — 2004. — С. 71–77.
6. Кодякова Т. Е. Применение собственных сырьевых ресурсов для улучшения плодородия почв ЕАО (к вопросу применения торфа, сапропеля, цеолитов, фосфоритов и карбонатов) / Аграрная наука — сельскому хозяйству. Кн. 1. — Барнаул, 2006. — С. 110–112.
7. Кузнецов А. Ю. Изменение плотности почвы под влиянием цеолитсодержащей породы и удобрений / Инновационные технологии в сельском хозяйстве. — Пенза, 2006. — С. 33–34.
8. Кузнецов А. Ю., Кузин Е. Н. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. — 2009. — № 3. — С. 12–13.
9. Газданов А. У., Юлдашев М. А., Солдатова И. Э. Восстановление деградированных горных кормовых угодий // Земледелие. — 2008. — № 3. — С. 20–21.
10. Борошенко В. П., Зинкевич Е. П., Пакуль В. Н. Эффективность доз цеолита на посевах гороха / Применение природных цеолитов в народном хозяйстве. Ч. 2. — М., 1989. — С. 38–47.
11. Андрионикашвили Т. Г., Гамисония М. К., Кардава М. А. Влияние использования природных цеолитов в качестве удобрений на химические и физико-химические свойства подзолистых и карбонатных почв влажных субтропиков Грузии // Annals of Agrarian Science. — 2006. — Т. 4. — № 1. — С. 9–14.
12. Кузнецов А. Ю., Кузин Е. Н. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Плодородие. — 2009. — № 3. — С. 12–13.
13. Брагина В. И., Антонов И. С., Гронь В. А., Русина Г. И., Градобоева Н. А., Горб Г. П., Болта Н. К. А.с. 1608170 (СССР). Способ получения органоминерального удобрения. 1990.
14. Брагина В. И., Брагин В. И., Кононов Ю. С., Делкова К. С. Патент 2098394 РФ. Способ получения фосфорного органоминерального удобрения. 1997.
15. Брагина В. И., Брагин В. И., Кириенко Т. М. Совершенствование технологии переработки фосфоритовых руд Обладжанского месторождения // Всерос. н-т конфер. по перспективным материалам (Красноярск, 21–24 апреля 1998 г.). — Красноярск, 1998. — С. 51.
16. Абашеева Н. Е., Болонеза Л. Н., Дорошкевич С. Г., Инешина Е. Г., Кожевникова Н. М., Мангатаев Ц. Д., Меркушева М. Г., Убугунов Л. Л. Патент 2255922 РФ. Способ получения биологически активного фосфор-цеолитового удобрения пролонгирующего действия, 2005.
17. Анисимов В. С., Анисимова Л. Н., Жигарева Т. Л., Иванов В. Н., Картузова М. Н., Мазуров В. Н., Петров К. В., Попова Г. И., Ратников А. Н., Свириденко Д. Г. Патент 2336257 РФ. Способ получения комплексного удобрения пролонгированного действия.
18. Юсупов Т. С., Шумская Л. Г., Болдырев В. В. Механохимическое взаимодействие природных цеолитов с фосфатами кальция. Доклады АН. — 1999. — Т. 364. — № 4. — С. 508–511. **ПАБ**

REFERENCES

1. *Vozrastnaya fiziologiya i patologiya sel'skokhozyaystvennykh zhiivotnykh: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu prof. V.R. Filippova* [Developmental physiology and pathology of farm animals]: mater. mezhdunar. nauchn. konf., posv. 90-letiyu prof. V.R. Filippova]. Ulan-Ude, 2003, 168 p.
2. *Mikhaylov N. G. Sel'skoe khozyaystvo Severa na rubezhe tysyacheletiy* [Agriculture of the North at the turn of the millennia], Magadan, ОАО «МАОБТИ», 2004, 184 p.
3. *Ermolaev A. A. Zeolites in agriculture. Khimiya v sel'skom khozyaystve*. 1987, no 5, pp. 39–44. [In Russ].

4. Romanova G. A. Tseolity: effektivnost' i primeneniye v sel'skom khozyaystve. Ch. 1 [Zeolites: Efficiency and Application in Agriculture. Part 1], Moscow, FGNU «Rosinformagrotekh», 2000, 296 p.
5. Samutenko L. V. Evaluation of the effect of zeolite and serpentinite on soil fertility of Sakhalin. Sel'skoe khozyaystvo Severa na rubezhe tysyacheletiy. Part 2. 2004, pp. 71–77. [In Russ].
6. Kodyakova T. E. The use of its own raw materials to improve soil fertility of the Jewish Autonomous Region. *Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu*. Book 1. Barnaul, 2006, pp. 110–112. [In Russ].
7. Kuznetsov A. Yu. Change in soil density under the influence of zeolite-containing rock and fertilizers. *Innovatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaystve*. Penza, 2006, pp. 33–34. [In Russ].
8. Kuznetsov A. Yu., Kuzin E. N. Effect of natural zeolite and fertilizers on soil properties and crop yields. *Plodorodie*. 2009, no 3, pp. 12–13. [In Russ].
9. Gazdanov A. U., Yuldashev M. A., Soldatova I. E. Restoration of degraded mountain forage lands. *Zemledelie*. 2008, no 3, pp. 20–21. [In Russ].
10. Boroshenko V. P., Zinkevich E. P., Pakul' V. N. The effectiveness of doses of zeolite in pea crops. *Primeneniye prirodnykh tseolitov v narodnom khozyaystve*. Part 2, Moscow, 1989, pp. 38–47. [In Russ].
11. Andronikashvili T. G., Gamisoniya M. K., Kardava M. A. The effect of using natural zeolites as fertilizers on the chemical and physico-chemical properties of podzolic and carbonate soils of humid subtropics of Georgia. *Annals of Agrarian Science*. 2006. Vol. 4, no 1, pp. 9–14.
12. Kuznetsov A. Yu., Kuzin E. N. Effect of natural zeolite and fertilizers on soil properties and crop yields. *Plodorodie*. 2009, no 3, pp. 12–13. [In Russ].
13. Bragina V. I., Antonov I. S., Gron' V. A., Rusina G. I., Gradoboeva N. A., Gorb G. P., Bolta N. K. *Copyright certificate no 1608170 USSR*. 1990.
14. Bragina V. I., Bragin V. I., Kononov Yu. S., Delkova K. S. *Patent RU 2098394*, 1997.
15. Bragina V. I., Bragin V. I., Kirienko T. M. Improving the technology of processing phosphate ores Obladzhanskogo deposit. *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya po perspektivnym materialam* (Krasnoyarsk, 21–24 April 1998). Krasnoyarsk, 1998, pp. 51. [In Russ].
16. Abasheeva N. E., Boloneva L. N., Doroshkevich S. G., Ineshina E. G., Kozhevnikova N. M., Mangataev T. S. D., Merkusheva M. G., Ubugunov L. L. *Patent RU 2255922*, 2005.
17. Anisimov V. S., Anisimova L. N., Zhigareva T. L., Ivanov V. N., Kartuzova M. N., Mazurov V. N., Petrov K. V., Popova G. I., Ratnikov A. N., Sviridenko D. G. *Patent RU 2336257*.
18. Yusupov T. S., Shumskaya L. G., Boldyrev V. V. Mechanochemical interaction of natural zeolites with calcium phosphates. *Doklady Akademii nauk*. 1999. Vol. 364, no 4, pp. 508–511. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Коннова Наталья Ивановна — кандидат технических наук, доцент,
Сибирский федеральный университет, e-mail: kni757@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

N.I. Konnova, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, Siberian Federal University,
660124 Krasnoyarsk, Russia, e-mail: kni757@mail.ru.

