

## ОТЗЫВ

доктора технических наук, профессора Пантелеева Игоря Борисовича  
на автореферат диссертации Карапетяна Кирилла Гарегиновича на тему  
«Технология удобрений и биосорбентов на основе фосфатных стекол», представленную на  
соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
05.17.01 – Технология неорганических веществ

Диссертационная работа К.Г. Карапетяна «Технология удобрений и биосорбентов на основе фосфатных стекол» посвящена научно обоснованному исследованию по созданию технологических основ получения неорганических фосфатных удобрений и биосорбентов на основе фосфатных стекол. Автором применен комплексный подход к изучению физико-химических свойств, кинетики растворения и структуры стеклообразных фосфатных материалов с целью разработки технологии промышленного производства стеклообразных фосфатных удобрений пролонгированного действия.

### Актуальность

Целесообразность использования стеклообразных фосфатных материалов в качестве неорганических удобрений обусловлена тем, что они в определенной области составов химически неустойчивы и характеризуются растворимостью под действием грунтовых вод, также фосфатные стекла для удобрений могут быть модифицированы любыми микроэлементами, в соответствии с задачами сельскохозяйственных производителей. Их регулируемая скорость растворения обеспечивает полноценное питание растений, без ударных нагрузок на корневую систему и без загрязнения окружающих поля территорий, что характерно при использовании традиционных поликристаллических удобрений. Использование фосфатных стеклообразных материалов в качестве удобрений и биосорбентов способствует более рациональному природопользованию, решению задач по очистке почвы и воды от нефтепродуктов.

Фосфатные стеклообразные материалы до настоящего времени использовались в качестве специальных стекол, и синтезировались в небольших объемах, с высокой себестоимостью. Для использования фосфатных стекол в качестве неорганических удобрений необходима была разработка и внедрение технологии их крупнотоннажного производства, что подтверждает актуальность научно-технических исследований Карапетяна К.Г. направленных на получение фосфатных стеклообразных удобрений в ваннах стекловаренных печах непрерывного действия.

315-9  
23.9.20

## Основные научные результаты, новизна и практическая значимость:

- Проведено химико-технологическое исследование свойств и структуры стекол в системах  $K_2O - (Mg, Ca)O - P_2O_5$  и  $K_2O - (Mg, Ca)O - P_2O_5 - SiO_2$ , которое позволило решить задачи по понижению летучести расплава в процессе варки и снижение кристаллизационной активности стекломассы. Применение апатитового сырья для использования в качестве шихтных материалов и отработка технологий получения шихты, изучение особенностей синтеза фосфатных стекол в ваннах стекловаренных печах, использование оригинальных конструкций печей привело к созданию технологии крупномасштабного серийного производства стеклообразных фосфатных удобрений. Разработаны методы получения на основе порошковой фракции стеклообразных фосфатных удобрений, фосфатных пеностекол, что обеспечило их использование в качестве биосорбентов нефтепродуктов.
- Исследование свойств и структуры фосфатных стекол позволило установить автору, что их растворимость растет по мере увеличения содержания в них фосфора, а введение в фосфатные системы добавок диоксида кремния в количествах, не приводящих к образованию второй фазы, способствует уменьшению скорости растворения. Возможность регулирования скорости растворения фосфатных стекол легла в основу разработки фосфатных удобрений с заданными параметрами растворимости. Предложен параметр GGC (обобщенный состав стекла), который отражает общее число связей металлов (K, Mg, Ca) с одним атомом фосфора через немостиговые атомы кислорода. Установлен линейный характер зависимости скорости растворения стеклообразных удобрений в воде и кислотных растворах от GGC параметра, что можно использовать для прогнозирования времени растворения гранул удобрения в почве.
- Изучена кинетика растворения фосфатных стеклообразных материалов при различных условиях, что создало предпосылки для разработки конкретных составов удобрений. Разработана модель послойного процесса растворения гранулы стеклообразного удобрения в почве, включающая ионный обмен щелочных ионов с ионами водорода, гидролитическое разрушение полианионной сетки, электролитическую диссоциацию, рост биомассы и растворение питательных веществ на поверхности гранулы.
- Методом капиллярного электрофореза изучена кинетика выхода катионов и анионов в раствор. Установлено эмпирическое кинетическое уравнение для вычисления переходящего из стекла в раствор количества ионов через  $1 \text{ см}^2$  поверхности сферической гранулы за определенное время, что является важным параметром расчета дозировки удобрений необходимых для полноценного питания растений.
- Показано, что в отличие от поликристаллических удобрений, растворяющихся с высокой скоростью по границам зерен, стеклообразное состояние вещества приводит к равномерному растворению гранул удобрения, обеспечивая их низкую скорость растворения с постепенным высвобождением в почву питательных веществ. Установлена высокая эффективность применения разработанных фосфатных стеклообразных удобрений, обусловленная тем, что данные удобрения не имеют балласта в своем составе и содержат только вещества, необходимые для роста растений. Составы стекол для удобрений могут быть модифицированы для различных культур и почв, а кинетика растворения зависит от температуры, что приводит к саморегуляции выхода питательных веществ в почву в период развития растений.

- Результаты работы внедрены на ряде Российских предприятий, что подтверждается актами о внедрении результатов диссертационной работы в производство и совместными патентами.

### **Степень достоверности**

Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов и выводов, содержащихся в диссертации, обеспечена необходимым объемом экспериментальных лабораторных и промышленных испытаний, подтверждена их воспроизводимостью, согласованностью, применением современных методов анализа, использованием стандартной измерительной аппаратуры и стандартизованных методик, соответствием результатов современному уровню знаний в исследуемой области науки, обсуждением основных положений работы на российских и международных конференциях и их публикацией в соответствующих журналах, применением на производстве.

Основные научные результаты, полученные автором диссертации, отражены в 58 публикациях, в том числе 15 статей в индексируемых научных журналах: рекомендованных Министерством науки и высшего образования РФ – 5, в статьях изданий, индексируемых в международных базах данных (Web of Science – 2, Scopus – 8), в 1 монографии. По теме диссертации получено 8 патентов РФ на изобретения и 1 патент РФ на полезную модель.

### **Замечания**

В целом, положительно оценивая представленную работу, считаем необходимым высказать несколько вопросов и замечаний:

1. Стр. 12. Автор пишет: «Определение аналитического состава стекол проводилось для  $P_2O_5$  по ГОСТ 20851.2-75, для  $K_2O$  – по ГОСТ 20851.3-93». Во-первых, неудачное выражение – аналитический состав. Известен химический состав, фазовый, минералогический, но аналитический? Во-вторых, указанные автором ГОСТы относятся к анализу химического состава удобрений, а не стекол, как автор учитывал эту разницу?

Там же, на стр. 12 читаем: «... скорость растворения стекол изучалась на плоских образцах при перемешивании ...». Получается, перемешивали плоские образцы?

2. Стр. 14. Автор пишет: «Показано, что плоская форма образцов в наибольшей степени подходит для изучения кинетики растворения, так как в процессе растворения поверхность образцов практически не меняется». Думается дело не в этом, а в том, что у плоских образцов наибольшая площадь поверхности по сравнению с равнообъемными частицами в форме куба и, тем более, сферических частиц.

3. Рисунок 10. Получается, что в составе порошка вспененного стекла присутствует свободный кристаллический пятиоксид фосфора. Требуется пояснить.

Появляющиеся при ознакомлении с авторефератом замечания не снижают высокую оценку представленной автором научной разработки.

Считаю, что диссертационное исследование К.Г. Карапетяна представляет собой законченное научное исследование, выполненное автором самостоятельно на высоком научном уровне.

Диссертация « Технология удобрений и биосорбентов на основе фосфатных стекол», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.01– Технология неорганических веществ, соответствует требованиям пунктов 2.1 – 2.6 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 26.06.2019 № 839 адм, а ее автор – Карапетян Кирилл Гарегинович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.01 – Технология неорганических веществ.

Доктор технических наук (специальность 05.17.11 – технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов), профессор, заведующий кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)».

Пантелеев Игорь Борисович

Адрес: 1900013, г. Санкт-Петербург, Московский пр., 26

Тел.: +7 (812) 494-93-75 E-mail: [panteleev@technolog.edu.ru](mailto:panteleev@technolog.edu.ru)

Подпись *Пантелеева Игоря Борисовича*  
Начальник отдела кадров *Пантелеева И.Б.*