

DOI

УДК 631.841.7

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НОВОГО АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ НА РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

**Баранова Любовь Александровна**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Общая химия», ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья».

625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7.

E-mail: baranova@gausz.ru

**Ключевые слова:** азот, мочевины, силикат, ингибитор, удобрение.

*Цель исследований – сократить потери азота при использовании азотных удобрений и пролонгировать их действие для более рационального обеспечения азотом растений в течение всего вегетационного периода. Для сокращения потерь азота из азотных удобрений впервые разработаны силикатные покрытия с регулируемой скоростью растворения. Преимущества силикатов и в том, что они нетоксичны, не являются загрязнителями окружающей среды и представляют питательную ценность для растений. Разработка технологии получения удобрений пролонгированного действия на основе использования силикатных покрытий и оптимизация приемов их применения является важной и актуальной народнохозяйственной задачей. Разработана и реализована технология нового медленнодействующего удобрения на основе мочевины капсулированной продуктом взаимодействия силиката натрия и хлорида кальция. Изучены физико-химические свойства капсулированной мочевины. Показана эффективность применения капсулированной мочевины в вегетационном опыте с ячменём сорта Атлант с использованием изотопа азота  $^{15}\text{N}$ . Прибавка урожая ячменя на слабокультуренной дерново-подзолистой почве составляет 12,0% (2,9 г/сосуд), коэффициент использования азота увеличился с 49,0 до 55,0%, его потери уменьшились с 31,0 до 26,0%. Эффективность применения капсулированной мочевины, как основного азотного удобрения под яровую пшеницу на выщелоченном черноземе и серой лесной почве, в различные годы проявляется неодинаково. Прибавка урожая зерна яровой пшеницы в увлажненном 2012 году от капсулирования мочевины составляет 11,8% при урожае 30,4 ц/га, в засушливом 2013 году – 12,8% при урожае 19,4 ц/га, в 2014 году – 15,7% при урожае на контроле 21,7 ц/га. Изучено влияние капсулированной мочевины с ингибиторами уреазы (гидрохинон и гуamat натрия) на урожай и качество картофеля сорта Невский и столовой свеклы.*

## APPLICATION EFFICIENCY OF NEW NITROGEN FERTILIZERS ON DIFFERENT SOILS IN CONDITIONS OF NORTHERN URAL IN TYUMEN REGION

**L. A. Baranova**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department «General Chemistry», FSBEI HE «State Agrarian University of Northern Trans-Urals».

625003, Tyumen, Respubliki street, 7.

E-mail: baranova@gausz.ru

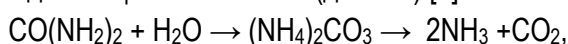
**Keywords:** nitrogen, urea, silicate, inhibitor, fertilizer.

The aim of the research is to reduce nitrogen loss during its use in fertilizer combination and prolong their effect for a more rational supply of nitrogen to plants throughout the crop season. Silicate coatings with adjustable dissolution rate were developed for the first time to reduce nitrogen loss from nitrogen fertilizers. The advantage of silicates is that they are non-toxic, environmentally friendly and make nutritive value to plants. Development of technology for long-acting fertilizers based on the use of silicate coatings and optimization of ways of their application is an important and urgent economic task. The technology of new slow-acting fertilizer based on calurea encapsulated resulted from interaction of sodium silicate and calcium chloride was developed and implemented. Physical and chemical properties of the encapsulated calurea have been investigated. The efficiency of use of encapsulated calurea in the vegetative practice with Atlant barley using the isotope of nitrogen  $^{15}\text{N}$  is shown. Increase in barley yield on cultivated derno-podzolic soil is 12.0% (2.9 g/vessel), the nitrogen utilization rate increased from 49.0 to 55.0%, its loss decreased from 31.0 to 26.0%. The effectiveness of the use of encapsulated calurea as the main nitrogen based fertilizer for spring wheat on leached Chernozem and gray forest soil is different in different years. The increase in grain yield of spring wheat in moistened year of 2012 from the encapsulation of calurea is 11.8% with a harvest of 30.4 C/ha, in arid 2013 – 12.8%

with a harvest of 19.4 C/ha, in 2014 – 15.7% with a harvest of the control group of 21.7 C/ha. The effect of encapsulated calurea with urea enzyme inhibitors (hydroquinone and calhumite) on yield and quality of Nevskiy potato and table beet have been studied.

Самым концентрированным (46,6% азота) твердым азотным удобрением является мочеви́на, на выпуск которой в последние годы переориентируется большинство химических предприятий. Быстрый рост производства и потребления мочевины по сравнению с другими азотными удобрениями объясняется следующими преимуществами: 1) высокое содержание азота (46,6%) экономически выгодно; 2) мочеви́на не взрывоопасна, менее гигроскопична, слабее слеживается и поэтому более транспортабельна; 3) в виду использования дешёвой углекислоты CO<sub>2</sub> стоимость исходных материалов для производства мочевины относительно ниже, чем для производства аммиачной

селитры и сульфата аммония, но наряду с преимуществами мочеви́на имеет существенные недостатки – она менее стабильна, чем другие азотные удобрения (разлагается при более низкой температуре – 30-50°C, без взрыва или загорания; 4) большие потери азота мочевины вследствие гидролиза и улетучивания выделяющегося аммиака (до 75%) [9]:



поэтому для сокращения потерь азота мочевины разработаны силикатные покрытия с регулируемой скоростью растворения и использованием азота в течение всего вегетационного периода растений.

Разработка технологии получения удобрений пролонгированного действия на основе использования силикатных покрытий и оптимизация приемов их применения является актуальным и имеет большое практическое значение.

**Цель исследований** – сократить потери азота при использовании азотных удобрений и пролонгировать их действие для более рационального обеспечения азотом растений в течение всего вегетационного периода.

**Задачи исследований** – разработать технологию капсулирования мочевины силикатом кальция; изучить основные физико-химические свойства капсулированной мочевины в сравнении с некапсулированной; определить эффективность применения капсулированной силикатами мочевины в вегетационных и полевых опытах с зерновыми культурами на разных типах почв в условиях Северного Зауралья Тюменской области.

**Материалы и методы исследований.** При проведении исследований использовалась гранулированная мочеви́на (ГОСТ 2081-75, марка Б): 20% Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, 33% CaCl<sub>2</sub>, лабораторная установка с «кипящим» слоем и полупромышленная установка, действующая по тому же принципу.

Для характеристики полученного продукта было проведено изучение следующих физико-химических свойств капсулированной мочевины:

- 1) масса силикатной плёнки – гравиметрически после озоления;
- 2) механическая прочность – методом раздавливания под прессом;
- 3) рассеиваемость – с помощью воронки Меринга;
- 4) влажность – методом высушивания в термостате;
- 5) растворимость – рефрактометрическим методом.

После уборки урожая в растениях ячменя (зерне, соломе, корнях), яровой пшеницы и почве определяли общее содержание азота по методу Къельдаля, а изотопный состав – на оптическом анализаторе МСД. Общее содержание белка в зерне яровой пшеницы определяли по методу Къельдаля, фосфора – по методу Кирсанова, калия – на пламенном фотометре ПФМ.

Уборка урожая проводилась вручную, методом связывания в снопы с последующим обмолачиванием и взвешиванием. Математическую обработку результатов опытов проводили методом дисперсионного анализа по В. А. Доспехову.

**Результаты исследований.** Для понижения растворимости мочевины (ГОСТ 2081-75, марка Б) и улучшения её физико-химических свойств с целью более эффективного использования в качестве основного удобрения, была разработана и реализована в лабораторных условиях и на производстве технология капсулирования гранул мочевины силикатом кальция.

Сущность технологии состоит в следующем: гранулы мочевины обрабатывались в «кипящем слое» аэрозолем 20% водного раствора силиката натрия с модулем 2,8, концентрациями  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Na}_2\text{O}$  435 г/л и 158 г/л соответственно и 33% водным раствором хлорида кальция при температуре 30-40°C в течение 9-12 минут с расходом: по  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 0,026 кг, по  $\text{CaCl}_2$  – 0,024 кг в расчёте на 1 кг удобрения при условии, что силикатная плёнка составляет 2,52% от массы удобрения. При этом поверхность гранул покрывается прочной медленнорастворимой плёнкой из силиката кальция:  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{CaSiO}_3 + 2\text{NaCl}$ .

Для осуществления процесса капсулирования в лабораторных условиях использовалась установка, состоящая из стеклянной колонки с металлической сеткой, подставки и пылесоса, из которого поступает тёплый воздух с определённой скоростью и приводит в движение гранулы мочевины, при этом весь слой гранул переходит из неподвижного состояния во взвешенное. В таком состоянии гранулы передвигаются во всех направлениях, что позволяет равномерно покрыть их плёнкой. Внешний вид слоя напоминает кипящую жидкость [3, 4].

Наработка больших количеств капсулированной мочевины была проведена в Санкт-Петербурге на полупромышленной установке, действующей по тому же принципу.

Для характеристики полученного продукта было проведено изучение следующих физико-химических свойств капсулированной мочевины: масса силикатной плёнки, механическая прочность, рассеиваемость, влажность, растворимость.

Результаты экспериментальных исследований растворимости обычной мочевины и мочевины капсулированной силикатом кальция показали, что характер зависимости изменения концентраций во времени при растворении некапсулированной мочевины и мочевины капсулированной силикатом кальция, одинаков, но время достижения максимума различно (5 минут в случае растворения некапсулированной мочевины и 10 минут в случае растворения мочевины капсулированной силикатом кальция).

Следовательно, растворимость капсулированной мочевины уменьшается в среднем в 2 раза, механическая прочность гранул силикатной плёнкой увеличивается на 54,6 г/гранулу, рассеиваемость и влажность отвечают стандартным требованиям (табл. 1).

Таблица 1

Изменения физико-химических свойств мочевины, капсулированной силикатом кальция

Удобрения	Масса силикатной плёнки, масс. %	Содержание $\text{SiO}_2$ , масс. %	Механическая прочность гранул, г/гранула	Растворимость при 20°C, %	Рассеиваемость, баллы
Мочевина не капсулированная	-	-	Не менее 300,00	51,14	9,6
Мочевина капсулированная силикатом кальция	2,52	1,30	354,60	25,57	9,4

Основной питательный компонент капсулированной мочевины – азот – полностью сохраняется, чему способствуют условия капсулирования гранул силикатом кальция (температура обработки и сушки гранул).

Предложенная технология проста не требует дополнительного опудривания гранул удобрений другими веществами, а силикатное покрытие более экологически «чистое», так как не содержит загрязняющих окружающую среду примесей органического происхождения. Таким образом, в предложенной технологии присутствуют элементы новизны, а также преимущество практической реализации на производстве при сходных количественных параметрах конечного продукта.

Десилицированные почвы – торф и краснозёмы. Мало доступного кремния и в почвах Западной Сибири (Г. П. Гамзиков), поэтому назрела необходимость в кремниевых удобрениях как экологически чистых, но химическая промышленность их пока не выпускает. При внесении в почву соединения кремния разлагаются силикатными микроорганизмами, превращаясь в доступные для растений формы [1, 2].

Для оценки эффективности применения мочевины, капсулированной силикатом кальция, по разработанной авторами технологии были проведены вегетационные и полевые опыты с зерновыми культурами на разных типах почв.

Влияние некапсулированной и капсулированной мочевины на продуктивность зерна и соломы ячменя в вегетационном опыте с изотопом азота  $^{15}\text{N}$  показано в таблице 2.

Таблица 2

Влияние некапсулированной и капсулированной мочевины на продуктивность ячменя (вегетационный опыт с ячменём сорта Атлант)

Вариант	Почва 1		Почва 2	
	Урожайность, г/сосуд			
	Зерна	Соломы	Зерна	Соломы
РК	5,2	5,5	8,6	10,8
РК + некапсулированная мочевина	24,6	24,8	32,2	30,5
РК + капсулированная мочевина	27,5	24,4	31,9	32,3
НСР <sub>0,5</sub> , г/сосуд	2,1	1,9	2,7	2,5
Sx, %	3,1	2,9	3,1	2,9

Из таблицы 2 видно, что на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве (почва 1) при внесении капсулированной мочевины достоверная прибавка зерна ячменя 2,9 г/сосуд, что составляет 12,0% по сравнению с некапсулированной мочевиной.

На хорошо окультуренной почве (почва 2) урожайность зерна ячменя на всех вариантах была примерно одинакова и составляла 31,9-32,2 г/сосуд. Это объясняется достаточной обеспеченностью азотом, фосфором и калием хорошо окультуренной почвы, вследствие чего, внесение удобрений не оказало существенного влияния на повышение урожайности.

Полевые деляночные опыты проводились на выщелоченном черноземе с яровой пшеницей сорта Ранг и на серой лесной почве с яровой пшеницей сорта Новосибирская-67 в условиях северной лесостепи Тюменской области.

Схема полевых опытов: 1) Контроль( фон Р<sub>90</sub>К<sub>60</sub> ); 2) Фон Р<sub>90</sub>К<sub>60</sub> + N<sub>90</sub> (мочевина некапсулированная); 3) Фон Р<sub>90</sub>К<sub>60</sub> + N<sub>90</sub> (мочевина капсулированная).

Учетная площадь делянок 120 м<sup>2</sup>, размещение делянок одноярусное, последовательное, повторность четырехкратная. Учет и наблюдения проводились по общепринятым методикам. Предшественники – чистый пар и кукуруза.

За годы исследований прибавка урожайности яровой пшеницы сорта Ранг составила 11,8-12,8 % по сравнению с некапсулированной мочевиной.

В целом за годы исследований, несмотря на недостаток тепла в отдельные периоды развития при обеспеченности влагой, создавались благоприятные условия для получения хороших урожаев яровой пшеницы на серой лесной почве. На посевах контрольного варианта урожай яровой пшеницы сорта Новосибирская-67 составляет 21,7 ц/га, на фоне применения некапсулированной мочевины – 34,5 ц/га, использование капсулированной мочевины даёт урожай 39,9 ц/га. Таким образом, прибавка урожайности от капсулирования мочевины составляет 15,7%.

В полевом опыте с яровой пшеницей сорта Новосибирская-67 на выщелоченном черноземе получено высококачественное зерно яровой пшеницы с максимальным содержанием белка на варианте с капсулированной мочевиной – 17,3% (табл. 3).

Таблица 3

Влияние капсулированной мочевины на содержание белка, фосфора и калия в зерне яровой пшеницы сорта Новосибирская-67

Вариант	Содержание в абсолютно сухом зерне, %		
	Белок	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Контроль (Фон Р <sub>90</sub> К <sub>60</sub> )	15,6	0,6	0,8
Фон Р <sub>90</sub> К <sub>60</sub> +N <sub>90</sub> (мочевина некапсулированная)	16,8	0,6	0,7
Фон Р <sub>90</sub> К <sub>60</sub> +N <sub>90</sub> (мочевина капсулированная)	17,3	0,6	0,7

Полевые опыты показали, что в условиях северной лесостепи Тюменской области лимитирующим фактором в получении высокой урожайности, наряду с запасами продуктивной влаги и среднесуточной температурой, является применение мочевины капсулированной силикатом кальция, медленное высвобождение азота из капсулированной мочевины в течение всего

вегетационного периода яровой пшеницы способствовало, наряду с увеличением урожайности, повышению содержания белка в зерне.

Следовательно, мочевины, капсулированная силикатами, эффективна при внесении под зерновые культуры в качестве основного удобрения на разных типах почв.

В 2012 году при кафедре «Общая химия» ГАУ Северного Зауралья организовано ОАО «Биотех» с полупромышленной установкой, работающей по технологии авторов. Она применяется для производства капсулированной мочевины и изучения её эффективности при внесении под овощные культуры (картофель, столовая свёкла и др.), причем в силикатную плёнку вводятся ингибиторы уреазы (гидрохинон и гумат натрия), а также гербициды. Преимущество гумата натрия в том, что он является стимулятором роста растений и дешевле других ингибиторов [6].

Применение капсулированной мочевины с ингибиторами уреазы даёт прибавку урожайности картофеля сорта Невский 5,5-8,1 т/га по сравнению с применением некапсулированной мочевины, содержание крахмала в клубнях картофеля самое высокое: 13,68% (с гидрохиноном) и 14,5% (с гуматом натрия) [7].

Изучено влияние капсулированной мочевины с ингибиторами уреазы (гидрохинон и гумат натрия) на урожайность и качество столовой свёклы [8].

Самая низкая урожайность столовой свёклы в варианте с некапсулированной мочевиной – 43,98 т/га. Применение капсулированной мочевины увеличивает урожайность на 3,3 т/га. Самая большая урожайность корнеплодов получена с применением капсулированной мочевины и гумата натрия – 53,25 т/га, т.е. введение в силикатную композицию ингибиторов уреазы даёт дополнительную прибавку урожайности.

Самое высокое содержание углеводов в корнеплодах свёклы – в варианте с капсулированной мочевиной и гидрохиноном по годам исследований 13,46% и 9,98% соответственно [8].

**Заключение.** Разработана технология получения нового азотного удобрения пролонгированного действия на основе мочевины, капсулированной продуктом взаимодействия силиката натрия и хлорида кальция, с целью сокращения потерь азота из азотных удобрений. Оптимизированы параметры технологического процесса капсулирования гранул мочевины силикатом кальция: капсулирование в «кипящем слое» – 9-12 минут, сушка гранул – 15-20 минут при температуре 60+5 °С. Изучены физико-химические и механические свойства нового медленнодействующего удобрения – мочевины капсулированной силикатом кальция. Капсулирование снижает растворимость гранул мочевины в 2 раза, что позволяет пролонгировать действие удобрения и уменьшить потери азота. Гранулы нового удобрения обладают более высокой механической прочностью 354,6 г/гранул, чем исходная мочевина (ГОСТ 2081-75). В вегетационном опыте с ячменем сорта Атлант на дерново-подзолистых почвах разной степени окультуренности использование мочевины, меченой изотопом азота  $^{15}\text{N}$ , позволило установить, что капсулирование гранул силикатом кальция повышает коэффициент использования азота удобрений с 49 до 55%, уменьшает потери азота с 31 до 26%, прибавка урожайности ячменя составляет 12,0%. В полевых опытах с яровой пшеницей показана высокая эффективность действия капсулированной мочевины на урожайность зерновых культур и содержание белка в зерне. Применение капсулированной мочевины на разных типах почв в различные годы проявилось неодинаково. Прибавка урожайности зерна составляет от 11,8 до 15,7%. Медленное высвобождение азота из капсулированной мочевины в течение всего вегетационного периода яровых культур, наряду с увеличением урожайности, способствует улучшенному азотному питанию растений и повышению содержания белка в зерне до 17,3%.

#### Библиографический список

1. Неумывакин, И. П. Кремний. Мифы и реальность / И. П. Неумывакин. – М. : Диля, 2009. – 160 с.
2. Рассел, Д. Кремний / Д. Рассел. – М. : Книга по требованию, 2012. – 64 с.
3. А. с. 1353767 СССР, МКИ<sup>3</sup> МПК С 05 G 3/00. Способ получения медленнодействующих удобрений / И. Д. Комиссаров, Л. А. Панфилова. – опубл. 23.11.87, Бюл. №43.
4. Баранова, А. Л. Технология капсулирования мочевины силикатной плёнкой и эффективность её применения под зерновые культуры / Л. А. Баранова, И. Д. Комиссаров, Т. А. Малюгина // Инновационное развитие АПК Северного Зауралья : мат. региональной науч.-практ. конф. молодых учёных. – Тюмень, 2013. – С. 80-82.

5. Баранова, Л. А. Экологически чистое азотное удобрение / Л. А. Баранова // Вестник ГАУ Северного Зауралья. – 2013. – №3. – С. 15-18.
6. Пат. 2224732 РФ, МПК C05G3/08. Способ получения медленнодействующих капсулированных удобрений / Комиссаров И. Д., Уступалова В. А., Козел Е. Г., Филисюк Г. Н. – №2002128714/15 ; заявл. 25.10.02 ; опубл. 27.02.04.
7. Филисюк, Г. Н. Получение и эффективность применения новой формы капсулированной мочевины под картофель на выщелоченном чернозёме Тюменской области : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Филисюк Григорий Николаевич. – Тюмень, 2004. – 152 с.
8. Козел, Е. Г. Эффективность применения новой формы капсулированной мочевины под столовую свёклу на выщелоченных чернозёмах Тюменской области : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.06 / Козел Елена Геннадьевна. – Тюмень, 2000. – 141 с.
9. Осипов, А. И. Потери азота удобрений и некоторые пути их сокращения // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук (Доклады ВАСХНИЛ). – 2009. – №4. – С. 42-44.

#### References

1. Neumyvakin, I. P. (2009). Kremnii. Mifi I realinost [Silicon. Myths and reality]. Moskow: Dilya [in Russian].
2. Russell, D. (2012). Kremnii [Silicon]. Moskow: Book on demand [in Russian].
3. Komissarov, I. D., & Panfilova, L. A. (1987). Sposob polucheniia medlenno-deistvuiushchikh udobrenii [Method for producing slow-acting fertilizers]. *Copyright certificate 1353767 of the USSR, IPC C 05 G 3/00* [in Russian].
4. Baranova, A. L. Komissarov I. D., & Malyugina T. A. (2013). Tekhnologiya kapsulirovaniia mochevini silikatnoi plionkoi I effektivnost eio primeneniia pod zernoviiie kuliuri [Technology of encapsulation of calurea with silicate film and efficiency of its application for grain crops]. *Innovational development of agroindustrial complex of Northern Trans-Urals '13: materially regionalnoi nauchno-prakticheskoi konferencii – materials of the regional scientific-practical conference.* (pp. 80-82). Tyumen [in Russian].
5. Baranova, L. A. (2013). Ekologicheskii chistoe azotnoie udobreniie [Organic nitrogen fertilizer]. *Vestnik GAU Severnogo Zauraliiia – Bulletin of Northern Trans-Ural State Agricultural University*, 3, 15-18 [in Russian].
6. Komissarov I. D., Ostapova V. A., Kozel, E. G., & Filisuk G. N. Sposob polucheniia medlenno deistvuiushchikh kapsulirovannikh udobrenii [A method of producing encapsulated fertilizer slow] *Patent 2224732 OF THE RUSSIAN FEDERATION, IPC C05G3/08, №2002128714/15* [in Russian].
7. Filisuk, G. N. (2004). Poluchenie I effektivnost primeneniia novoi formi kapsulirovannoi mochevini pod kartofel na vishchelochennom chernoziome Tiimenskoi oblasti [The receipt and effectiveness of new forms of encapsulated urine-guilt for potatoes on leached Chernozem of the Tyumen area]. *Candidate's thesis.* Tyumen' [in Russian].
8. Kozel, E. G. (2000). Effektivnost primeneniia novoi formi kapsulirovannoi mochevini pod stolovuiiu svioklu na vishchelochennikh chernoziomakh Tiimenskoi oblasti [The Efficiency of new forms of encapsulated urea under the table-first beet on leached chernozems of the Tyumen area]. *Candidate's thesis.* Tyumen' [in Russian].
9. Osipov, A. I. (2009). Poteri azota udobreni i inekotoriie puti ikh sokrashcheniia [The Loss of nitrogen fertilizer and some ways of their reduction]. *Dokladi Rossiiskoi akademii seliskhozyaistvennikh nauk – Reports of the Russian Academy of agricultural Sciences*, 4, 42-44 [in Russian].