

**На правах рукописи**

**УДК 361:631.9:631.95**

**ЛИМАНСКИЙ АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**«Агроэкологическая эффективность применения нейтрализованного фосфогипса в богарном земледелии»**

**Специальность 06.01.04 -агрохимия**

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук**

Москва – 2017

Работа выполнена на базе кафедры технологии производства сельскохозяйственной продукции факультета Аграрных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Майкопский государственный технологический университет»

**Научный руководитель:** доктор биологических наук, профессор  
**Ашинов Юнус Нухович**

**Официальные оппоненты: Савич Виталий Игоревич**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева»  
кафедра почвоведения, геологии и ландшафтоведения,  
профессор

**Ефремова Сания Юнусовна**

доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО  
«Пензенский государственный технологический университет»,  
кафедра биотехнологии и техносферной безопасности, профессор

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ставропольский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «29» июня 2017 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д.006.029.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и на сайте: <http://vniia-pr.ru/diss/limanskyi-19-04-2017.pdf>

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» «\_\_\_\_\_» 2017 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31а, учёному секретарю диссертационного совета. E-mail: [dissovet\\_vniia@mail.ru](mailto:dissovet_vniia@mail.ru)

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**

**Никитина Любовь Васильевна**

## Общая характеристика работы

**Актуальность.** Мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения выявил существенное обеднение фосфором, кальцием и серой. Частично проблему обеспечения элементами минерального питания и регулирования физико-химических свойств почв возможно решить при использовании побочных продуктов производства, в т.ч. нейтрализованный фосфогипс (НФГ), применение которых существенно снижает затраты на производство сельскохозяйственной продукции. Эффективное и экологически безопасное использование НФГ справедливо связывают с проблемой рационального использования природных ресурсов. При этом решается комплекс важнейших задач: улучшение экологической обстановки в регионе, экономически и агрономически эффективное повышение плодородия почв. НФГ имеет ряд недостатков, главный из которых наличие в его составе фтора и стронция, как нежелательных примесей. Однако исследований, проведенных в этом направлении, в зоне богарного земледелия практически нет.

Нейтрализованный фосфогипс может быть использован в качестве химического мелиоранта не только на солонцовых почвах, но и найти широкое применение в качестве поликомпонентного удобрения. Использование НФГ позволит компенсировать потери кальция, решить проблему серного, кремниевого и частично фосфорного удобрений в земледелии.

**Цель и задачи работы:** Целью работы является разработка ресурсосберегающих агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур в богарном земледелии, направленных на повышение эффективности производства растительной продукции в Краснодарском крае, снижение затрат на производство продукции, сохранение и повышение плодородия почв. Задачи исследований – агроэкологическая оценка НФГ и разработка научных основ технологии его применения в качестве поликомпонентного удобрения и химического мелиоранта. Основанием для проведения настоящей работы послужила необходимость изучения следующих вопросов:

- исследовать эффективность различных доз внесения нейтрализованного фосфогипса на рост, развитие, урожайность и качество зерна сои и кукурузы;
- изучить влияние последствия НФГ и предшественников на динамику содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в черноземе выщелоченном под посевами озимой пшеницы;
- определить влияние предшественников и системы удобрений в последствии фосфогипса на формирование урожая и качества зерна озимой пшеницы;
- выявить изменение агрохимических и физико-химических свойств выщелоченного чернозема под воздействием нейтрализованного фосфогипса;
- изучить влияние НФГ на накопление потенциально опасных примесей стронция, фтора и других тяжелых металлов в почве и растениях озимой пшеницы;
- дать экономическую оценку эффективности применения нейтрализованного фосфогипса в богарном земледелии;

**Новизна исследований состоит** в разработке экологически безопасной дифференцированной системы удобрения сои, кукурузы на зерно и озимой пшеницы в богарном земледелии Краснодарского края. Изучена направленность почвенных процессов в выщелоченном черноземе, пути регулирования физико-химических и агрохимических свойств и питательного режима почв, установлено положительное дей-

ствии НФГ на повышение эффективности минеральных удобрений и плодородие почв. Выявлено, что внесение НФГ способствует стабилизации кальциевого режима, увеличению содержания азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве. Изучены экологические и почвозащитные аспекты применения НФГ, определены уровни накопления фтора и стронция в почвах и растениях озимой пшеницы при внесении различных доз фосфогипса.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложены пути решения проблемы рационального вовлечения НФГ в сельскохозяйственное производство Краснодарского края. Разработана экологически обоснованная технология применения НФГ в богарном земледелии, обеспечивающая улучшение физико-химических, агрохимических свойств почвы, сохранение её плодородия и повышение урожайности сои, кукурузы на зерно и озимой пшеницы. Установлено, что внесение с НФГ не приводит к существенному накоплению ТМ и фтора в почве, поэтому его можно рекомендовать в качестве мелиоранта и поликомпонентного минерального удобрения на выщелоченном черноземе.

Полученный новый фактический материал и теоретические положения используются в курсах лекций в Кубанском аграрном университете и Майкопском государственном технологическом университете по дисциплинам: «Мелиорация почв», «Агрохимия», «Почвенная экология».

Исследования проводились в 2012-2016 г., являлись составной частью плана НИР «Майкопского ГТУ», ФГБОУ ВО «КубГАУ» и ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» по заданию 02.03.02.08 «Провести агроэкологическую оценку кальцийсодержащих отходов промышленности в качестве химических мелиорантов для применения их в сельскохозяйственном производстве и разработать их ассортимент».

**Достоверность и обоснованность научных положений,** методических и практических рекомендаций, обобщенных результатов и выводов, представленных в диссертации, подтверждаются экспериментальными данными, полученными с применением комплекса широко апробированных стандартных методов анализов, статистической обработкой результатов эксперимента, проводимого по стандартной методике, высокой степенью сходимости результатов, положительными результатами апробации в производственных условиях.

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследования, выполнении основной части экспериментальных исследований, анализе и обобщении полученной информации, статистической обработке и систематизации полученных материалов, анализе литературы по теме диссертации, апробации основных положений. В диссертации использованы материалы, полученные лично автором и в процессе совместной работы с ФГБОУ ВО «КубГАУ», ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» и ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет».

**Апробация работы:** Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили положительную оценку на научных конференциях: кафедры агрохимии Кубанского государственного аграрного университета (2013-2015 г.), Международных научно-практических конференциях: «Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях» (М:ВНИИА, 2013), «Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты» («Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина», 2014), «Ключовые вопросы в современной науке» (София, 2014), «Агроэкологические аспекты устой-

чивого развития АПК» («Брянская ГСХА», 2014), «Агроэкологические основы применения удобрений в современной земледелии» (М.:ВНИИА, 2014), «Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона» (Казань, ф-ал МИИТ, 2015), «Агроэкологические основы применения удобрений в современной земледелии» (М.:ВНИИА, 2015), научно-практических семинарах для работников АПК Ростовской области и Краснодарского края (2013-2016).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, из них 4 в журналах, рекомендованных ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 179 странице машинописного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов и предложений производству, содержит 53 таблицу, 29 рисунков. Список литературы включает 274 наименований, в том числе 28 иностранных авторов.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю доктору биол. наук Ашинову Ю.Н. за неоценимую помощь в проведении работы, ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования. Особую благодарность автор выражает сотрудникам факультета Агротехнологий «Майкопского государственного технологического университета», сотрудникам кафедры агрохимии Кубанского ГАУ академику РАН Шеуджену А.Х, канд. сельскохозяйственных наук Онищенко Л.М. и Лебедевскому И.А. за помощь в организации исследований, проведении анализов, консультации и внимание к работе.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Условия и методика проведения исследований

Полевые опыты проводились на опытном поле Кубанского ГАУ в учебном хозяйстве «Кубань» на черноземе выщелоченном, слабогумусном сверхмощном, который характеризуется высоким содержанием карбонатов и основных элементов питания:  $K_2O$  - 1,9-2,0%,  $P_2O_5$  - 0,18 - 0,26% и серы ( $SO_3$ ) - 0,05% (Вальков, Штомпель, Трубилин и др. 1996). Водно-физические свойства чернозёма выщелоченного вполне благоприятные (табл. 1). Почва хорошо оструктурена, водопропускная способность структуры оптимальная для роста и развития сельскохозяйственных растений.

Таблица 1. – Водно-физические свойства чернозёма выщелоченного

Горизонт	Глубина, см	Плотность сложения $г/см^3$	Порозность общая	Максимальная гигроскопичность	Влажность завядания		Предельно полевая влагоёмкость	
					%	мм	мм	%
Ап	0-30	1,16	53,0	9,8	14,7	51,9	112,9	32,0
А	30-59	1,21	51,0	9,5	14,25	56,0	123	31,3
АВ1	59-112	1,25	50,0	9,2	13,8	96,9	216,2	30,8
АВ2	112-150	1,31	48,0	9,0	13,5	76,1	168,6	29,9
В	150-174	1,34	47,0	8,8	13,2	43,7	96	29,0
С	174-240	1,39	45,0	8,6	12,9	50,7	114,3	28,4

Плотность сложения лёссовидных пород 1,16- 1,4  $г/см^3$ , порозность 45-53%. Содержание физической глины, ила и крупной пыли варьирует слабо. Важным диагностическим показателем является отсутствие или ничтожное и сравнительно редкое содержание фракции крупнее 0,25 мм (табл. 2).

Таблица 2. – Гранулометрический состав и водно-физические свойства чернозема выщелоченного

Горизонт	Глубина, см	Размер частиц, мм; содержание, %			Плотность		Общая скважность	Максимальная гигроскопичность	Влажность завядания
					сложения	твердой фазы почвы			
		>0,01	< 0,01	< 0,001	г/см <sup>3</sup>				
Ап	0-30	36,1	63,9	39,9	1,31	2,67	50,9	8,4	11,3
А	30-60	37,6	62,4	39,3	1,35	2,68	49,6	9,5	12,7
АВ <sub>1</sub>	60-112	38,7	61,3	39,1	1,42	2,68	47,0	9,2	12,3
АВ <sub>2</sub>	112-150	39,5	60,5	37,7	1,44	2,70	46,7	8,8	11,8
В	150-174	40,5	59,5	32,9	1,46	2,70	45,9	-	-
С	174-200	40,9	59,1	33,5	1,55	2,71	42,8	-	-

Таблица 3. – Агрохимическая характеристика чернозёма выщелоченного, 2011 г.

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Поглощенные катионы		Нг	ЕКО	V, %	рН	
			Са	Мg				H <sub>2</sub> O	KCl
			мг-экв / 100г почвы						
Ап	0-30	2,81	30,60	11,21	2,52	44,33	94,3	6,4	5,3
А	30-60	2,39	31,51	10,91	1,82	44,24	95,9	6,4	5,3
АВ <sub>1</sub>	60-112	1,74	32,12	10,00	1,15	43,27	97,3	6,6	5,5
АВ <sub>2</sub>	112-150	1,46	34,24	7,27	0,76	42,27	98,2	6,9	5,7
В	150-174	1,14	33,03	8,48	-	41,94	100	7,7	5,8
С	174-200	0,64	27,27	8,48	-	36,04	100	8,1	6,2

Таблица 4. – Содержание элементов питания в черноземе выщелоченном, 2011 г.

Горизонт	Глубина, см	Содержание элементов питания, мг/кг							
		NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Cu	Zn	Mn	Co
Ап	0-30	3,6	19,2	15,5	240	0,12	0,38	45,2	0,14
А	30-60	2,0	9,4	5,0	220	0,10	0,10	27,2	0,09
АВ <sub>1</sub>	60-112	2,8	13,1	5,0	210	0,12	0,08	19,3	0,08
АВ <sub>2</sub>	112-150	2,8	11,3	3,5	200	0,13	0,09	13,3	0,08
В	150-174	19,5	10,3	3,5	186	0,19	0,19	11,0	0,07
С	174-200	47,5	9,4	5,0	164	0,71	0,39	8,7	0,08

Содержание гумуса в пахотном слое почвы 2,81%, с глубиной постепенно снижается и в горизонте С на глубине 173-200 см достигает 0,6%. Содержание элементов питания в почве представлено в таблицах 3-4. Почва опытного участка обладает благоприятными водно-физическими свойствами и химическим составом, и подходит для возделывания всех полевых культур.

Погодные условия в годы проведения исследований в целом близки к средним многолетним и были благоприятными для роста и развития сельскохозяйственных растений. В 2013 году среднесуточные температуры воздуха превышали средние многолетние значения на 1–5°C. Исключение составили 3 декада июля – 1 декада августа (22.07–08.08), когда она была на 2,2–1,0°C ниже средних многолетних значений. Такой термический режим и отсутствие осадков в конце апреля – начале мая позволили своевременно подготовить почву и провести посев риса в оптимальные сроки. В 2014 г. период вегетации кукурузы и сои складывались удовлетворительные условия для их роста и развития. Запас продуктивной влаги в почве на 8.05.14 г.

в слое почвы 0–20 см составили 26 мм, на 18.05.14 г. – 39,4 мм. Погодные условия для роста и развития сои и кукурузы в первой половине мая были удовлетворительными. Влагообеспеченность посевов была хорошая, запасы влаги в пахотном слое почвы составляли 30–40 мм, в полутораметровом слое – 75–100 мм (28.05.14). В июне запасы продуктивной влаги составляли в пахотном слое почвы 25–40 мм, в метровом – 150–190 мм (08.06.14).

## 2.2 Методика проведения исследований

Объектами исследования была соя (сорт Вилана), кукуруза (гибрид Кубанский 250 СВ) и озимая пшеница (сорт Таня). Изучались дозы нейтрализованного фосфогипса 2; 4 и 6 т/га. НФГ был разбросан на поверхности почвы с последующей заделкой на глубину 10–15 см. Агротехника общепринятая для зоны достаточного, но неустойчивого увлажнения. После уборки кукурузы и сои перед посевом озимой пшеницы проводили лущение стерни дисковыми культиваторами на глубину 5–7 см. Озимая пшеница высевалась в оптимальные для центральной зоны Краснодарского края сроки: в 2013 г. – 3 октября, в 2015 г. – 12 октября.

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения за развитием растений, анализы почвенных и растительных образцов. Перед уборкой культур отбирался сноп растений для биометрического анализа. Учет урожая проводился в фазе полной спелости и учитывался путем его взвешивания с учетной площади делянки и последующим пересчетом на 100%-ную чистоту и 14 %-ную влажность зерен. Схема опыта включала 6 вариантов для каждой из культур, повторность опыта 3-х кратная. Общая площадь делянки – 162 м<sup>2</sup> (30·5,4), учетной – 54,2 м<sup>2</sup>.

### *Схема опыта с соей, кукурузой и озимой пшеницей*

Соя	Кукуруза	Озимая пшеница (предшественник соя и кукуруза на зерно)
Контроль	Контроль	1. Контроль
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>20</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	2. N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	3. N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> + НФГ 2 т/га	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	4. N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> + НФГ 4 т/га	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га	5. N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> + НФГ 6 т/га	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га	6. N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га

НФГ внесли в 2011 г. осенью поверхностно согласно схеме опыта с последующей заделкой в почву. Ежегодно вносили: аммонийную селитру (34% N), аммофос (12% N, 52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калий хлористый (60% K<sub>2</sub>O). На делянках с НФГ вносили только азотные и калийные удобрения из расчета N<sub>40</sub>K<sub>40</sub> на посевах кукурузы и пшеницы, и N<sub>20</sub>K<sub>20</sub> – сои. Полное минеральное удобрение вносилось ежегодно из расчета под кукурузу и пшеницу – N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>, сою – N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>.

НФГ содержит ~ 0,47% общего фтора и 0,46% стабильного стронция. Содержание водорастворимых фторидов колеблется в широком интервале от очень малых величин – 0,0016–0,0042% до 0,02%. Фтор в НФГ находится в нерастворимом соединении с кальцием.

Отбор образцов производился почвенным буром с диаметром стакана 5 см. Содержание минерального азота (сумма нитратного N-NO<sub>3</sub> и аммонийного азота N-NH<sub>4</sub>) определялось в свежих образцах с последующим определением влажности почвы гравиметрическим методом, ГОСТ 1396.3-92. Аммонийный азот – колори-

метрическим методом с помощью реактива Несслера в вытяжке 0,3 н КСl. Нитратный азот - по методу Грандваль-Ляжу, ГОСТ 26951-86 при извлечении нитратного азота из почвы 0,05% р-ом  $K_2SO_4$ . Содержания подвижного фосфора и обменного калия определяли в водной вытяжке по методу В.Ф. Мачигина в модификации ЦИ-НАО (ГОСТ 26205–91).

Содержание азота, фосфора и калия в надземной части растений определяли методом мокрого озоления в серной кислоте с перекисью водорода: N- по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4–93), фосфор – колориметрически (ГОСТ 26657–97), калий – на пламенном фотометре. Сбор протеина, сухого вещества рассчитывали по прописи А.С. Найденова, Л.П. Вербицкой и В.С. Ульянова (2005). Содержание белка в зерне сои определяли расчетным методом: содержание общего азота в зерне умножали на коэффициент 6,25. Содержание белка и клейковины в зерне пшеницы определяли на инфракрасном спектрофотометре ФТ-01 недиструкционным методом. Содержание жира определяли с помощью ядерно-магнитного резонанса.

Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа (Доспехов Б.А., 1985) с использованием программы Statistica 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Агрохимические основы формирования продуктивности сои в зависимости от условий минерального питания

На протяжении всего периода развития сои содержание минерального азота в почве было выше на вариантах, где использовали « $N_{20}K_{20}+НФГ$  4т/га» и составило в слое 0-20 см 11,3-12,8 мг/кг, в слое 20-40 см 12,0 -12,5 мг/кг, на варианте « $N_{20}K_{20}+НФГ$  6 т/га» его содержание составило 12,5-13,5 мг/кг и 12,3 -13,9 мг/кг соответственно по слоям почвы (табл.5).

Таблица 5.–Содержание минерального азота в почве на посевах сои, мг/кг

Вариант опыта	Глубина отбора образца, см	4–5листьев	Бобообразование	Полная спелость
Контроль	0-20	7,3	7,8	0,6
	21-40	6,0	7,8	0,6
$N_{20}P_{40}K_{20}$	0-20	9,7	12,8	0,8
	21-40	10,3	12,5	1,2
$N_{20}K_{20}$	0-20	5,0	6,5	0,6
	21-40	6,3	7,1	0,8
$N_{20}K_{20}+НФГ$ 2 т/га	0-20	7,3	7,8	0,6
	21-40	6,0	7,8	0,6
$N_{20}K_{20}+НФГ$ 4 т/га	0-20	11,3	12,8	0,8
	21-40	12,0	12,5	1,2
$N_{20}K_{20}+НФГ$ 6 т/га	0-20	12,5	13,5	0,8
	21-40	12,3	13,9	1,2

Внесение « $N_{20}P_{40}K_{20}$ » в фазу 4-5 настоящих листьев увеличило в пахотном слое почвы содержание доступных фосфатов на 26,5 мг/кг почвы, а в вариантах « $N_{20}K_{20}+НФГ$  4 т/га», « $N_{20}K_{20}+НФГ$  6 т/га» – на 30,5 и 34,5 в слое 0-20 см и в слое 21-40 см– на 40,0 и 35,0 мг/кг почвы (табл. 6).

В фазе полной спелости сои содержание подвижных фосфатов в почве увеличилось по всем вариантам относительно их количества в фазе цветения–начало бобообразования, его было больше, где вносили « $N_{20}K_{20}+НФГ$  4 -6т/га»: в сравнении с



контролем увеличение составило соответственно в слое 0-20 см на 47,5 и 55,0 мг/кг, в слое 21-40 см на 22,5 мг/кг.

Табл. 6.–Содержание подвижного фосфора в почве на посевах сои, мг/кг

Вариант	Глубина отбора образца, см	4–5листьев	Бобообразо-вание	Полная спелость
Контроль	0-20	132,5	72,5	160,0
	21-40	130,0	72,5	180,0
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>20</sub>	0-20	159,0	75,0	197,5
	21-40	160,0	75,0	200,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	0-20	119,5	73,0	192,5
	21-40	132,0	93,0	205,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 2 т/га	0-20	135,0	72,5	180,0
	21-40	132,0	62,5	175,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 4 т/га	0-20	163,0	81,0	207,5
	21-40	170,0	75,0	202,5
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 6 т/га	0-20	167,0	89,0	215,0
	21-40	165,0	70,0	202,5

Таблица 7. – Содержание обменного калия в почве на посевах сои, мг/кг

Вариант опыта	Глубина, см	4–5листьев	Бобообразование	Полная спелость
Контроль	0-20	212,5	127,0	102,0
	21-40	143,8	75,0	79,0
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>20</sub>	0-20	317,5	137,5	119,0
	21-40	162,5	84,7	87,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	0-20	237,5	121,5	115,0
	21-40	137,5	73,7	87,5
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 2 т/га	0-20	200,0	187,5	121,0
	21-40	206,3	79,0	82,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 4 т/га	0-20	211,3	189,0	124,0
	21-40	153,8	81,0	91,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 6 т/га	0-20	275,0	195,0	129,5
	21-40	161,3	85,0	95,0

Содержание обменного калия было наименьшим на контроле в фазу 4–5 листьев и начало образования бобов сои и составляло в слое 0-20 см 212,5 и 127,0 мг/кг и в слое 21-40 см – 143,8 и 75,0 мг/кг почвы. При внесении НФГ прослеживается положительная тенденция увеличения содержания обменного калия (таблица 7).

#### **Формирование урожая и качества зерна сои в условиях применения нейтрализованного фосфогипса**

Исследования 2012 года показали, что на естественном уровне плодородия почвы получен урожай зерна сои 19,4 ц/га. Внесение «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>» обусловило получение прибавки урожая зерна 2,2 ц/га или 11,3%. Применение НФГ способствовало повышению урожайности сои не только в сравнении с контролем, где прибавка в зависимости от дозы НФГ составила 1,8–5,4 ц/га, но и по отношению к варианту «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>» – 1,8–3,2 ц/га. Наибольший урожай получен при внесении НФГ в дозе 4 т/га - прибавка составила 27,8%, причем за счет НФГ - 22,2% (табл. 8). Урожай зерна сои в 2014 году на контроле составил 26,1 ц/га. Применение «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 2 т/га» способствовало получению практически одинакового урожая зерна, который составил 29,1 и 28,5 ц/га, прибавка составила 3,0 и 2,4 ц/га или 11,5 и

9,2%. Наибольший урожай зерна получен на вариантах «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4 т/га» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 6 т/га» - 30,1 и 30,8 ц/га соответственно, прибавка урожая к контролю составила 4,1 и 4,8 ц/га (табл. 8).

Таблица 8. – Влияние НФГ и минеральных удобрений на урожайность сои (в среднем за 2012-2014 г.)

Вариант	Урожай зерна, ц/га		Сред. за 2 года, ц/га	Прибавка урожая			
	2012	2014		общая		от НФГ	
				ц/га	%	ц/га	%
Контроль	19,4	26,1	22,8	-	-	-	-
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>20</sub>	21,6	29,1	25,4	2,6	11,4	-	-
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	20,3	26,7	23,5	0,7	3,1	-	-
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 2 т/га	21,2	28,5	24,9	2,1	9,2	1,4	6,0
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 4 т/га	24,8	30,1	27,5	4,7	20,6	4,0	17,1
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 6 т/га	23,4	30,8	27,1	4,3	18,9	3,6	15,3
НСР <sub>05</sub> , ц/га	1,7	1,9					

Учет урожая зерна за 2 года возделывания сои показал, что закономерности выявленные за отдельные годы нашли подтверждение при обобщении результатов: вариантами, в которых были созданы наилучшие условия питания растений были «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4 т/га» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 6 т/га», урожай зерна в среднем составил 27,5-27,1 ц/га соответственно, что на 20,6-18,9% больше в отношении к контролю. Доза НФГ 4 т/га была оптимальной, в среднем за два года от её применения были получены прибавки урожая зерна сои до 4 ц/га или 17,1% (табл. 8).

Внесение НФГ способствовало увеличению содержания белка в зерне, и, соответственно его сбору по сравнению с контролем на 0,77–2,9 ц/га или на 9,87–37,4%. Наибольший сбор белка отмечен в варианте «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 6 т/га», где он составил соответственно 10,7 и 10,0 ц/га (табл. 9).

Таблица 9. – Качество зерна сои в зависимости от системы удобрения, в среднем за 2 года

Вариант опыта	Содержание белка, %		Сбор белка, ц/га				Масличность, %	Сбор масла	Прибавка
	2012	2014	2012	2014	ср. за 2 года	Прибавка			
								ц/га	
Контроль	40,0	38,1	7,8	9,9	17,7	-	19,8	3,84	-
N <sub>20</sub> P <sub>40</sub> K <sub>20</sub>	42,4	40,0	9,2	11,6	20,8	3,1	21,9	4,73	0,89
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub>	42,0	39,4	8,5	10,5	19,0	1,3	20,0	4,06	0,22
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 2 т/га	42,5	45,1	9,0	12,8	21,8	4,1	19,6	4,16	0,32
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 4 т/га	43,0	45,6	10,7	13,7	24,4	6,7	18,6	4,61	0,77
N <sub>20</sub> K <sub>20</sub> +НФГ 6 т/га	42,8	45,8	10,0	14,1	24,1	6,4	17,5	4,10	0,26
НСР <sub>05</sub>	1,10	2,2	-	-	-	-	0,15	-	

Аналогичные закономерности получены в 2014 году. Максимальное и практически одинаковое содержание белка отмечалось на вариантах «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4 т/га» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 6 т/га». Сбор белка на этих вариантах наибольший и составил 13,7 и 14,1 ц/га соответственно. В среднем за два года прибавка сбора белка на вариантах с внесением НФГ была практически в двое выше чем при внесении «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>».

## Действие минеральных удобрений и нейтрализованного фосфогипса агрохимические свойства выщелоченного чернозема на посевах кукурузы

Закономерности изменения содержания нитратного азота в почве под кукурузой в 1-ый год после внесения НФГ аналогичны выявленным в опыте с соей. Различия касаются количественных показателей, что обусловлено как разным временем учета, так и различной потребностью в азоте культур. Действие НФГ на содержание аммонийного азота в почве под соей и кукурузой аналогично их влиянию на нитратный азот. Как и в посевах сои, наибольшее их количество отмечено в варианте с кукурузой «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4 т/га», где оно было больше в сравнении с контролем соответственно в первой половине вегетации на 34,9% и 17%, в середине вегетации – 12,9 и 21,2%, и по завершению онтогенеза – на 30,0 и 35,8%.

В 2014 году анализ содержания в почве минерального азота не выявил существенных отличий вариантов с НФГ и N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>. В фазе выметывания различия по содержанию нитратного азота в почве составили 1,0–1,9% с преимуществом варианта «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» (таблица 10).

Таблица 10. – Динамика содержания минерального азота в почве на посевах кукурузы, мг/кг (2014 год)

Вариант	Фаза вегетации растений кукурузы					
	выметывание		появление початков		созревание	
	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>
Контроль	16,2	17,6	14,5	15,4	10,3	14,0
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	20,8	24,2	17,0	19,1	12,3	16,2
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	21,7	23,9	17,5	18,8	13,1	15,4
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	20,5	23,8	16,4	19,0	12,6	16,0
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	20,6	24,5	17,6	19,4	13,3	16,2
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	20,4	24,1	17,2	19,1	13,1	16,1
НСР05, мг/кг	1,8	2,1	1,3	1,1	0,7	0,9

На фоне внесения 4 т/га НФГ не только в год внесения, но и на 2-й год последействия выявлено положительное влияние мелиоранта на азотный режим почвы, что обусловило увеличение на 1,2% содержание аммонийного азота в почве по сравнению с его количеством в варианте «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>». При всех дозах НФГ в конце вегетации содержание нитратного азота было на 2,4–8,1% больше, чем в варианте «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>».

Табл. 11. – Содержание подвижного фосфора в почве под посевом кукурузы, мг/кг

Вариант опыта	Фаза вегетации растений кукурузы					
	выметывание		появление початков		созревание	
	2012	2014	2012	2014	2012	2014
Контроль	180	105	130	90	100	85
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	210	117	146	117	120	102
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	196	109	132	98	108	89
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	191	121	134	112	112	101
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га	201	129	140	119	120	107
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га	206	132	148	121	126	116
НСР05, мг/кг	11,2		7,4		9,1	

Содержание в почве подвижных соединений фосфора постепенно уменьшается от начала вегетационного периода кукурузы к полному созреванию. В 2012 году

внесение «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и НФГ было практически равноценным по содержанию подвижного фосфора в почве под кукурузой. В 2014 г. на 3-ий год последствий НФГ при сравнении с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» видно, что отличия по содержанию фосфора в почве в фазе выметывания составляли соответственно – +3,4, +10,2% и +12,8%, в фазе появления початков – -4,3, +1,7% и +3,4%, созревания -1,0%, +5% и +13,7%. Выявлено преимущество внесения НФГ в дозах 4,0 и 6,0 т/га (табл. 11). Фосфогипс, внесенный в дозе 4-6 т/га в значительной мере обеспечивает потребность растений кукурузы в фосфоре, содержание в почве подвижного фосфора было больше, чем в варианте «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>».

Исследования калийного режима почвы показали, что действие при внесении 4-6 т/га НФГ было более существенным, различия в сравнении с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» были менее значительными (табл. 12).

Таблица 12. – Содержание обменного калия в почве под посевом кукурузы, мг/кг

Вариант опыта	Фаза вегетации развития растений кукурузы					
	выметывание		появление початков		созревание	
	2012	2014	2012	2014	2012	2014
Контроль	219	208	180	190	150	160
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	256	218	196	203	168	180
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	240	216	190	205	165	184
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	259	212	210	200	171	178
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	261	216	220	201	174	179
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	265	215	226	206	178	182
НСР <sub>05</sub> , мг/кг	9,6	12,0	7,2	10,1	8,4	13,1

Проведенные исследования показали, что внесение НФГ позволяет существенно снизить или вообще исключить применение фосфорных удобрений как минимум в 3-4 последующих годах. При норме 4 т/га содержание подвижного фосфора в почве на протяжении всего вегетационного периода кукурузы было на 1,0–1,7% меньше, чем в варианте с внесением P<sub>60</sub> в год исследования, а на фоне 6 т/га НФГ – на 0,8–3,9% больше.

### Формирование урожайности кукурузы в условиях применения нейтрализованного фосфогипса

Внесение удобрений в 2012 году позволило увеличить урожай зерна кукурузы на 3,2–7,7 ц/га или на 5,8–14,7%. Наибольший урожай получен на фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4 т/га», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub> + ФГ 6 т/га» - 62,5 и 61,4 ц/га соответственно. Прибавка урожая составила в сравнении с контролем 8,0-6,9 ц/га или 14,7-12,7%, что практически вдвое больше в сравнении с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>». Только за счет НФГ получено дополнительной продукции 2,5-4,5 ц/га или 4,3-7,8%.

Учет урожая зерна в 2014 году показал, что во всех вариантах с внесением удобрений и НФГ он был выше, чем в контроле на 5,8–9,6 ц/га или 9,6–15,9% (таблица 13). Наибольшая урожайность формировалась при внесении «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4-6 т/га», которая на 9,6 -8,2 ц/га превышала контроль.

Учет урожая зерна за 2 года возделывания кукурузы подтвердил выявленные закономерности за отдельные годы исследований: вариантами, в которых были созданы наилучшие условия питания растений кукурузы, как и в случае сои, были «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га», урожай зерна составил 65,6-64,9 ц/га со-

ответственно, что на 14,1-12,9% больше в сравнении с контролем (табл. 13). Доза НФГ 4 т/га была оптимальной, увеличение дозы до 6 т/га достоверного эффекта в увеличении урожая зерна кукурузы не дало.

Таблица 13. – Урожай зерна кукурузы в зависимости от системы удобрения, ц/га, (в среднем за 2012 -2014 годы)

Вариант опыта	2012		2014		Среднее за 2 года		
	урожай	прибавка	урожай	прибавка	урожай	прибавка	%
	ц/га						
Контроль	54,5	-	60,4	-	57,5	-	
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	58,8	4,0	70,0	9,6	64,4	6,9	12,0
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	58,0	3,2	66,2	5,8	62,1	4,6	8,0
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	60,5	5,7	66,4	6,0	63,5	6,0	10,4
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га	62,5	7,7	68,6	8,2	65,6	8,1	14,1
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га	61,4	6,6	68,3	8,0	64,9	7,4	12,9
НСР <sub>05</sub>	2,7		3,15				

Результаты по урожайности кукурузы, как и при возделывании сои, убедительно доказали, что возможна замена фосфорных удобрений НФГ, с агроэкономической точки зрения это эффективно, выгодно и обладает пролонгированным действием. При использовании НФГ в сочетании с азотными и калийными удобрениями можно получать такой же урожай кукурузы и сои, как и при внесении соответственно «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>».

Внесение «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» способствовало увеличению содержания в зерне белка на 1,02% и крахмала на 0,06%, а на фоне НФГ – на 1,14–1,77% и 0,03–0,10% соответственно в зависимости от его дозы. Наилучшими вариантами для формирования качества зерна кукурузы были «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub> + ФГ 6т/га», которые характеризовались наибольшим содержанием белка и крахмала и соответственно прибавкой сбора белка на 1,35–1,79 ц/га и крахмала на 0,05-0,1 ц/га. При сочетании азотных и калийных удобрений и НФГ создавалось сбалансированное минеральное питание, которое обеспечило формирование выполненного зерна с наибольшей массой 1000 зерен: 325-328 г, что на 10-13 г больше в сравнении с вариантом с полным минеральным удобрением (табл. 14).

Таблица 14. – Качество зерна кукурузы в зависимости от системы удобрения

Вариант опыта	Содержание, %		Сбор, ц/га		Масса 1000 зерен, г
	сырой белок	крахмал	белка	крахмала	
Контроль	8,58	0,46	4,68	0,25	295
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	9,60	0,52	5,62	0,30	315
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	9,46	0,49	5,52	0,29	303
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	9,72	0,50	5,88	0,30	311
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га	10,35	0,56	6,47	0,35	325
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га	9,82	0,49	6,03	0,30	328
НСР <sub>05</sub>	0,51	0,03			10

Таким образом, НФГ обладает пролонгированным действием. Внесение НФГ в дозе 4 т/га позволяет получать урожай кукурузы равный с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>», внося только азотные и калийные туки.

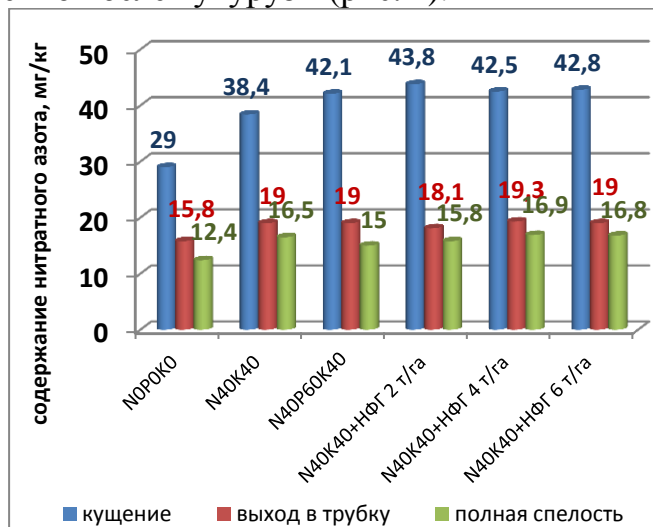
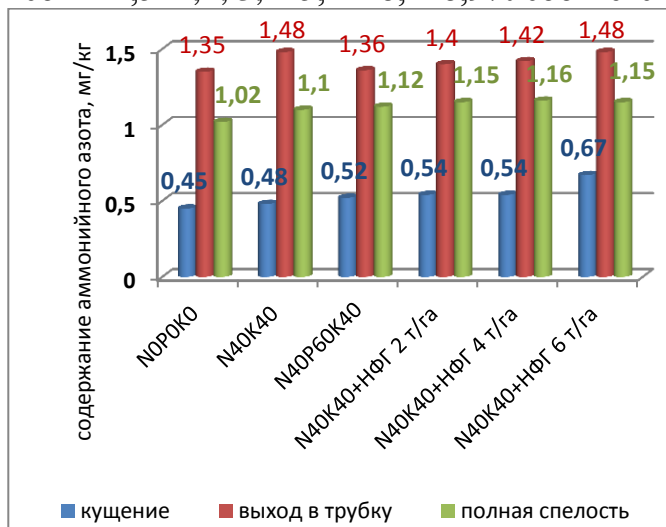
## Влияние нейтрализованного фосфогипса и минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы

Данные, полученные в 2013 году показали, что удобрения оказали положительное влияние на содержание аммонийного и нитратного азота в почве. На фоне  $N_{40}P_{60}K_{40}$  и « $N_{40}K_{40}$ +ФГ 2-6 т/га» содержание этих форм азота в почве в фазы кущения, трубоквания и созревания в равной степени превышало контроль.

По степени действия на фосфатный режим почвы варианты « $N_{40}P_{60}K_{40}$ », « $N_{40}K_{40}$ +ФГ 4т/га» и « $N_{40}K_{40}$ + ФГ 6т/га» были равноценными, содержание подвижного фосфора в зависимости от фазы развития растений на фоне НФГ составляло соответственно 88,9, 160,0 и 78,0 мг/кг при внесении 4 т/га и 89,5, 161,0 и 78,5 мг/кг на фоне 6 т/га НФГ по предшественнику соя и 86,5, 112,3 и 67,1 мг/кг при внесении 4 т/га и 87,1, 115,0 и 67,5 мг/кг на фоне 6 т/га НФГ по предшественнику кукуруза. Последействие НФГ было равнозначным действию фосфорного удобрения ( $P_{60}$ ).

Содержание обменного калия при внесении в почву « $N_{40}P_{60}K_{40}$ » в фазу кущения и выхода в трубку было выше в сравнении с контролем в среднем соответственно на 26 и 16 мг/кг по предшественнику соя и на 14 и 15 мг/кг по предшественнику кукуруза. На вариантах, где вносили фосфогипс содержание обменного калия превосходило не только контроль, но и где применялись « $N_{40}K_{40}$ » и « $N_{40}P_{60}K_{40}$ ».

Результаты исследований 2015 г. на 4-ый год последействия НФГ показали, что доля аммонийного азота почвы в составе минерального была незначительной и от фазы кущения до полной спелости зерна варьировала 1,2–1,5; 6,8–7,9 и 6,3–7,7% после сои и 1,5–2,1; 3,4–5,2 и 8,1–8,9% соответственно после кукурузы (рис. 1).

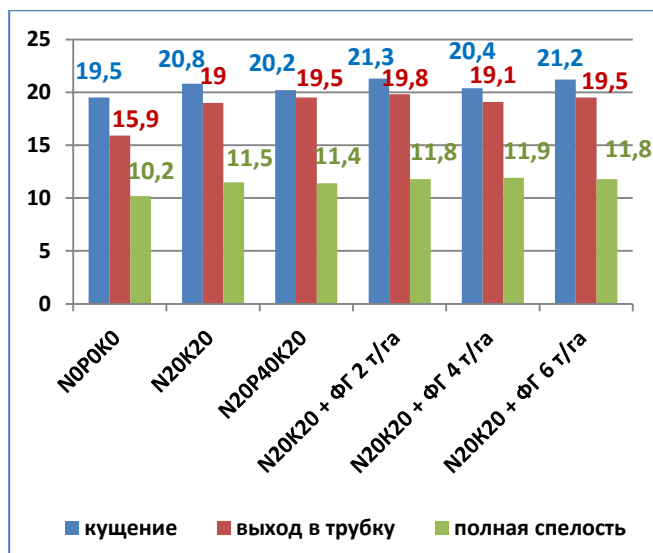
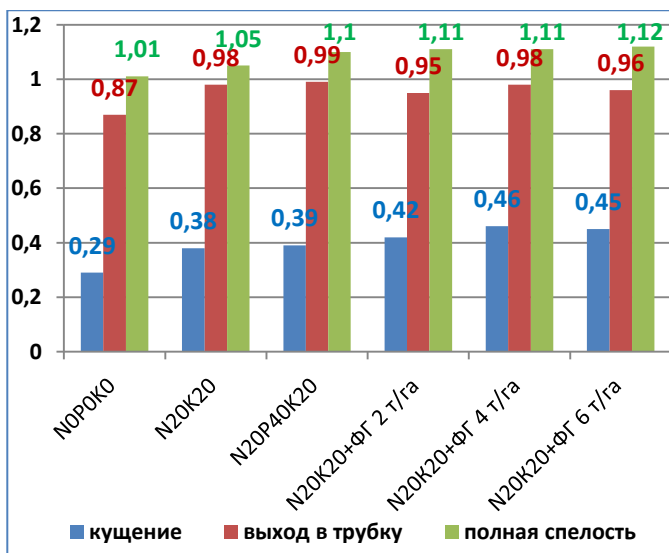


Предшественник соя, 2015 год

Рис. 1. – Динамика содержания  $NH_4^+$ - азота в почве, мг/кг

Рис. 2. – Динамика содержания  $NO_3^-$ - азота в почве, мг/кг

Содержание нитратного азота в фазу кущения на контроле было 29,0 и 19,5 мг/кг соответственно. В почве после сои в вариантах « $N_{40}K_{40}$ » и « $N_{40}P_{60}K_{40}$ » выявлено увеличение содержания нитратов на 9,4–13,1 мг/кг или на 32,4 и 45,2%. На фоне « $N_{40}K_{40}$ +ФГ 2 -6 т/га» показатель повышался значительно на 14,8; 13,5 и 13,8 мг/кг или на 51,0; 46,6 и 47,6% соответственно (рис.2).



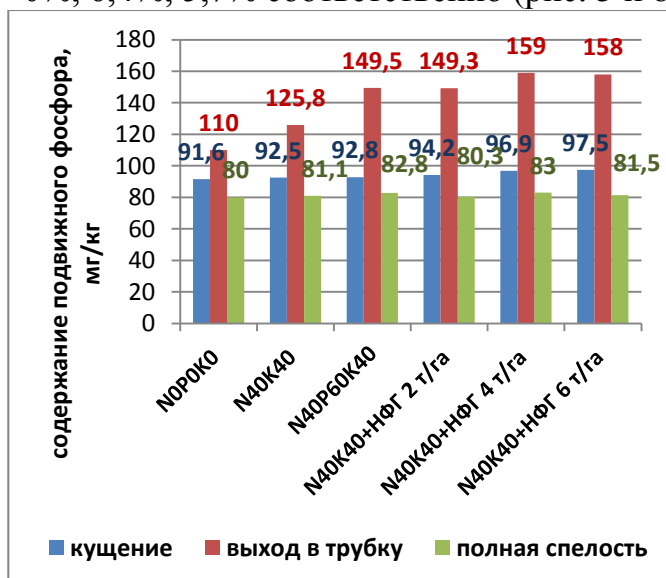
Предшественник кукуруза на зерно, 2015 год

Рис. 3. –Динамика содержания  $NH_4^+$ - азота в почве, мг/кг

Рис. 4. –Динамика содержания  $NO_3^-$ - азота в почве, мг/кг

После кукурузы в почве под озимой пшеницы на вариантах «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>» содержание  $NO_3^-$ -азота увеличилось на 6,7 и 3,6%. Применение «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+ФГ 2, 4, 6 т/га», повышало содержание  $NO_3^-$ - азота соответственно на 9,2, 4,6 и 8,7% (рис. 4).

Исследования 2015 года показали, что применение «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2, 4, 6/га», по предшественнику кукуруза повышало содержание подвижного фосфора к фазе выхода в трубку в сравнении с контролем на 25,8%, 23,9%, 33,7% и вариантом с «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» на 6,1%; 4,6% и 12,8% соответственно. Наибольшее содержание подвижного фосфора в почве на посевах озимой пшеницы, выращиваемой после сои, выявлено также на вариантах «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2, 4, 6 т/га», величина показателя увеличилась по отношению к контролю на 35,7%, 44,5%, 43,6% и варианту «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» на 0%, 6,4%, 5,7% соответственно (рис. 5 и 6).



Динамика содержания подвижного фосфора в почве, мг/кг, 2015 г.

Рис. 5. предшественник соя

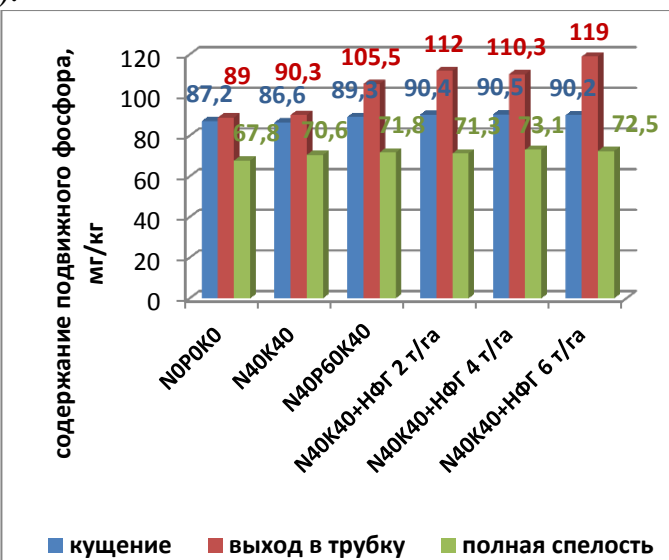


Рис. 6. предшественник кукуруза

Результаты исследований показали, что содержание обменного калия на контроле по фазам развития растений изменялось от 248 до 174 мг/кг при выращивании

озимой пшеницы после сои и от 235 до 180 мг/кг после кукурузы на зерно. Достоверное увеличение показателя относительно контроля наблюдалось в фазу кущения на вариантах «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2, 4, 6 т/га», после сои и кукурузы на зерно – на 12,9 и 11,9% соответственно по предшественникам.

Таким образом, содержание обменного калия в черноземе выщелоченном на посевах озимой пшеницы зависит в большей степени от последствий вносимых минеральных удобрений и фосфогипса, наибольшее его количество обнаружено на фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га».

### **Влияние нейтрализованного фосфогипса и минеральных удобрений на формирование урожая и качества зерна озимой пшеницы**

Результаты исследований показали, что урожайность озимой пшеницы в 2013 году зависела и от условий минерального питания, и предшественников: наибольший урожай зерна получен по предшественнику соя, разница на контроле в зависимости от предшественника составила 23,4 ц/га. Действие минеральных удобрений и последствий НФГ было эффективнее при выращивании озимой пшеницы после кукурузы, что объясняется большим отчуждением с урожаем кукурузы элементов питания, чем соей. Прибавка урожая зерна при посеве после кукурузы на вариантах «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4 т/га», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6 т/га» составила 9,4 ц/га (28,1%), 9,3 ц/га (27,8 %) и 9,2 ц/га (27,5 %) соответственно; после сои – 8,0 ц/га (14,1%), 7,9 ц/га (13,9%) и 8,1 ц/га (14,2%) соответственно.

*Табл. - 15. Эффективность фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями при формировании урожая зерна озимой пшеницы*

Вариант опыта	Урожай зерна озимой пшеницы					
	2013	2015	В среднем за 2 года	Прибавка урожая		
				общая	%	от НФГ, ц/га
ц/га						
предшественник – соя						
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	56,9	68,8	62,8	-	-	-
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	64,9	75,3	70,1	7,3	11,6	-
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	59,8	73,0	66,4	3,6	5,7	-
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	61,0	77,4	69,2	6,4	10,2	2,8
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	64,8	79,2	72,0	9,2	14,7	5,6
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	65,0	78,1	71,6	8,8	14,0	5,2
НСР <sub>05</sub>	3,7	2,8	3,4			
предшественник – кукуруза						
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	33,5	64,5	49,0	-	-	-
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	42,9	73,3	58,1	9,1	18,6	-
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	40,5	70,0	55,3	6,3	12,9	-
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	41,2	75,1	58,2	9,2	18,8	2,9
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	42,8	78,9	60,9	11,9	24,3	5,6
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	42,7	76,9	59,8	10,8	22,1	4,5
НСР <sub>05</sub>	2,8	3,1	2,9			

Исследования в 2015 году показали, что на контроле урожай зерна пшеницы, выращиваемой после сои составила 68,8 ц/га, а после кукурузы 64,5 ц/га, т.е. на 4,3 ц/га ниже. На фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га» получен наибольший урожай зерна, который составил после сои – 79,2 и 78,1 ц/га, что выше



контроля на 10,4 и 9,3%. Наибольшая прибавка зерна озимой пшеницы, выращиваемой после сои, получена в варианте «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» - 10,4 ц/га или 15,1%. После кукурузы при внесении «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>», «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га» также получены существенные прибавки: 5,5; 8,8; 10,6 и 11,9 ц/га или 8,5; 13,6; 18,0 и 19,2% соответственно. Максимальная прибавка зерна – 14,4 ц/га или 22,3% получена на фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4 т/га» (табл. 15).

Обобщение результатов учета урожая зерна за два года (2013 и 2015 годы) показало, что применение НФГ на фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>» обеспечило получение высоких урожаев зерна: после предшественника соя - на 10,2-14,7% и на 18,8 - 24,3% после кукурузы на зерно, доля участия НФГ в получении прибавки урожая независимо от предшественника составляет практически 50% (таблица 15) .

В сравнении с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» выявлено преимущество «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га» в повышении урожайности пшеницы. На 4-ый год после внесения НФГ не обнаружено затухающего его действия и использование в сочетании с «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>» равноценно применению «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» без ущерба для урожайности озимой пшеницы.

Применение «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2т/га», «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га» обеспечило улучшение качества зерна пшеницы: увеличение содержания белка на 0,2–0,6% и 0,2–0,3%, клейковины на 1,8–2,8% и 0,1–0,8% соответственно после сои и кукурузы на зерно, наилучшая стекловидность в зерне (51,6 и 50,4%) отмечена на варианте «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га», ИДК (68,1 и 78,4 ед.) и сбор белка (9,8 и 9,0 ц/га) при внесении «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+ НФГ 6т/га» (табл. 16).

Таблица 16. – Качество зерна озимой пшеницы, 2015 г.

Вариант опыта	Содержание		Стекловидность	ИДК, ед.	Сбор белка, ц/га
	клейковины	белка			
	%				
Предшественник – соя					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	20,1	12,0	50,1	67,5	8,3
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	21,2	12,2	51,2	63,1	9,2
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	23,0	12,8	53,2	68,2	9,3
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	22,8	12,2	52,1	62,6	9,4
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	22,1	12,5	51,6	64,9	9,9
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	21,9	12,6	49,7	68,1	9,8
НСР <sub>05</sub>	0,60	0,31	0,42	0,83	–
Предшественник – кукуруза на зерно					
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	18,7	12,0	49,9	70,6	7,7
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	17,6	11,8	49,3	73,2	8,6
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	18,6	12,1	50,2	76,0	8,5
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	18,6	12,2	50,4	71,4	9,3
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	18,1	11,9	49,5	77,2	9,4
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	17,9	11,7	47,7	78,4	9,0
НСР <sub>05</sub>	0,58	0,33	0,40	0,79	–

Выявлено достоверное повышение содержания белка в зерне в варианте «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» до 12,8% при выращивании озимой пшеницы после сои. На этом же варианте по предшественнику кукуруза на зерно наметилась тенденция к повышению содержания белка до 12,1%.

## Экономическая эффективность применения удобрений под озимую пшеницу

Экономическая эффективность НФГ тем выше, чем ниже себестоимость продукции и экономически эффективно тогда, когда стоимость прибавки урожая зерна окупает все расходы. Оценка экономической эффективности показала, что на урожай зерно озимой пшеницы наибольшее влияние оказало внесение «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6т/га». Наиболее существенная прибавка зерна получена на варианте «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 4т/га» и составила – 10,4 ц/га, а при внесении «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 6 т/га», прибавка по сравнению с контролем была равна 9,3 ц/га. Чистый доход на 1 га максимальный в варианте «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+ФГ 4 т/га», где он составил 58 589 рублей при уровне рентабельности – 352%. Коэффициент окупаемости дополнительных затрат составил 3,36 (табл. 17).

Таблица 17. – Экономическая эффективность внесения минеральных удобрений под озимую пшеницу (предшественник соя)

Показатель	Вариант опыта					
	Контроль	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 2 т/га	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 4 т/га	N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> + НФГ 6 т/га
Урожайность, ц/га	68,8	73,0	75,3	77,4	79,2	78,1
в т. ч. прибавка	-	4,2	6,5	8,6	10,4	9,3
Цена реализации, 1 ц/руб.	940	940	950	940	950	950
Стоим. продукции, руб.	64 672	68 620	71 535	72 756	75 240	74 195
в т. ч. дополнительной	-	3 948	6 175	8 084	9 880	8 835
Произв. затраты на 1 га, руб.	13 500	16 185	16 921	14 934	16 651	19 635
в т.ч. дополнительной	-	2 685	3 421	1 434	3 151	6 135
Себестоимость 1 ц, руб.	196	222	225	193	210	251
Чист. доход на 1 га, руб.	51 172	52 435	54 614	57 823	58 589	54 560
Уровень рентабельн., %	379	324	323	387	352	278
Окупаем. дополн. затрат	-	1,40	2,09	2,77	3,36	3,00

## Изменение кислотно-основных свойств выщелоченного чернозема в условиях применения фосфогипса, как фактора экологической стабильности

Для богарного земледелия Краснодарского края не установлена длительность действия мелиорантов, не изучена возможность использования НФГ в качестве кальций- фосфорно– серного удобрения, не определены оптимальные дозы минеральных удобрений в сочетании с НФГ. Оценка изменений агрохимических параметров плодородия почв в условиях применения нейтрализованного фосфогипса и различных доз минеральных удобрений показала, что в течение вегетации кислотность почвенного раствора подвержена изменению в широких пределах (табл.18)

Таблица 18. – Динамика pH почвенного раствора при внесении нейтрализованного фосфогипса

Вариант	До посева	Фаза вегетации растений		
		кущение	выметывание	созревание
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	6,41	5,68	5,73	6,24
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	6,41	5,67	5,84	6,32
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	6,41	6,00	5,91	6,34
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	6,41	6,02	5,97	6,38
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	6,41	6,06	6,08	6,34
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	6,41	6,05	6,04	6,38
НСР, ед. pH	0,2	0,15	0,20	0,13

При проведении сравнительной оценки на 4-ий год последствий НФГ в посевах озимой пшеницы можно заключить, что благодаря высокому содержанию в верхнем слое почвы кальция и магния внесение НФГ не оказывает подкисляющего действия на почву, напротив, оказывает стабилизирующее действие на уровень кислотности почвы. Динамика реакции почвы в различные фазы развития растений пшеницы по вариантам опыта, хотя имеет одинаковую закономерность, но величины рН достоверно различаются. Исследуемые почвы характеризуются высоким содержанием поглощенных оснований. В слое 0 - 20 см на контроле её величина достигает 30,6 мг-экв/100 г, на долю поглощенного Са приходится 79% в верхнем горизонте почвы. При внесении НФГ в дозе 4,0 т /га сумма оснований увеличивается, и содержание Са достигает 33,7 мг-экв/100 г почвы, и его доля в сумме оснований возрастает до 87%, при увеличении дозы НФГ до 6,0 т/га показатели увеличиваются соответственно до 35,1 мг-экв/100 г почвы и 89,9%.

Исследование изменения содержания оснований по почвенному профилю до 2,0 м свидетельствует о том, что, независимо от применяемых удобрений, максимальное содержание кальция обнаруживается в слое почвы 112-150 см, а магния на глубине 30-112 см. С увеличением дозы НФГ возрастают потери обменных Са и Mg: при дозе 4,0 т/га содержание Mg в слое 60-112 см доходило до 8,14 мг-экв/100 г. Поступление в почву Са с его сернокислыми и углекислыми соединениями в составе НФГ обеспечивает стабилизацию кальциевого режима.

При анализе полевой влажности выщелоченного чернозема в опыте под озимой пшеницей было выявлено, что при внесении НФГ и на второй год последствий и на четвертый, влажность почвенной пробы была достоверно выше в сравнении с контролем и вариантом с внесением минеральных удобрений NP и NPK в среднем на 5,2-6,3%. Этот факт свидетельствует о том, что нейтрализованный фосфогипс способствует увеличению агрегированности почвы и в силу своих особенностей, более длительному удержанию влаги в почве.

### **Вероятность загрязнения выщелоченного чернозема фтором в условиях применения нейтрализованного фосфогипса**

Вопросы поступления и накопления фтора, содержание которого в НФГ составляет в среднем 0,24-0,46%, в почвы и растения, а также механизмы превращения его соединений мало изучены. При внесении 6,0 т НФГ в почву может поступить до 10-12 кгF/га. Исходное валовое его содержание в почвах колеблется от 79 до 152 мг/кг. В слое почвы 20-40 см происходит его аккумуляция, что обусловлено большим содержанием карбонатов, в силу способности фтора образовывать при взаимодействии с кальцием флюорит. Поэтому можно предполагать, что при внесении НФГ фтор взаимодействует с кальцием, осаждается в виде флюорита и закрепляется в почве. Следуя этой гипотезе, 95-98% поступающего фтора связывается в трудно-растворимые соединения, практически не доступные для растений.

При внесении 2-6 т/га НФГ не выявлено повышения содержания подвижного фтора в почве, в верхнем пахотном горизонте его содержание практически не отличалось от контрольного варианта в опыте и фонового содержания в почвах района и составляло 0,75 -0,87 мг/кг почвы (при  $HCp_{05}=0,29$ ), что не превышает уровня допустимых пределов ПДК. Установлено, что фтор практически не мигрировал по профилю почвы, с увеличением глубины не наблюдалось накопления водорастворимого

фтора, что косвенно указывает на слабое участие гумуса в фиксации фтора. На 3-ий год после внесения НФГ происходило снижение концентрации F до 0,5-0,6 мг/кг.

Для изучения поступления F в растения озимой пшеницы были проанализированы в урожае зерно и солома. В зерне были обнаружены либо «следовые количества» фтора, либо содержание на уровне 0,01 мг/кг, достоверной разницы по вариантам опыта не обнаружено, различия укладываются в ошибку определений. Некоторое повышение содержания F в сравнении с контролем, хотя статистически не достоверное, отмечено в образцах варианта «NPK+НФГ 4-6т/га». По-видимому, на фоне полного минерального удобрения увеличивается подвижность фтора. В соломе озимой пшеницы содержание фтора существенно выше – на уровне 1,09-0,93 мг/кг, но различия и в этом случае значимых пределов не достигли.

Приведенные сведения позволяют сделать вывод о том, что концентрации, в которых находится фтор в НФГ, не могут оказать негативное влияние на экологическое состояние почв, на произрастание растений и формирование качества зерна озимой пшеницы.

### **Накопление тяжелых металлов в выщелоченном черноземе и растениях озимой пшеницы в условиях применения фосфогипса**

Анализ почвенных проб всех вариантов опыта на содержание тяжелых металлов в почве в условиях применения НФГ показал, что их содержание находилось в пределах естественного фона, достоверного увеличения концентрации при внесении 2,0-6,0 т/га фосфогипса не выявлено, что вполне укладывается в экологический регламент (табл.19). Доказанный факт позволяет рекомендовать применение НФГ с гарантией получения экологически безопасной растительной продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормам.

Анализ зерна пшеницы не выявил достоверного увеличения тяжелых металлов, качество зерна соответствовало санитарно-гигиеническим требованиям СанПин 2.3.3.1078-01 (табл.20).

*Таблица 20. - Содержание ТМ в зерне озимой пшеницы, мг/кг*

Варианты опыта	Содержание, мг/кг						
	Ni	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd	Co
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0.06	19.3	4,7	28.7	0.33	0.036	0,06
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	0,07	21.3	4,9	27,9	0,41	0,029	0,06
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	0,05	20.4	5,0	29,2	0,36	0,032	0,07
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	0,06	22.0	5,1	29,1	0,34	0,038	0,07
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	0,07	22,1	5,0	28,7	0,38	0,035	0,06
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	0,06	23,0	5,2	29,5	0,35	0,039	0,07
НСР <sub>05</sub> , мг/кг	0,03	3,2	0,6	2,3	0,2	0,017	0,03

При внесении НФГ, который в своем составе в качестве примеси содержит стабильный стронций, может отмечаться накопление в этого элемента в почве и растениях. Показателем вредности или безвредности элемента принято весовое соотношение кальция к стронцию в почве. Соотношение Ca:Sr в НФГ 75-80: 1, что свидетельствует о его экологической безопасности и возможности блокирования активности стронция.

Таблица 19.- Влияние нейтрализованного фосфогипса на содержание тяжелых металлов в выщелоченном черноземе

Варианты опыта	Содержание тяжёлых металлов в почве, мг/кг*							
	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	Mn
Валовое содержание, мг/кг								
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	58,0±2,1	0,18±0,05	16,2±0,2	0,09±0,009	17,0±2,4	11,1±2,4	38,0±2,3	492±22,0
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	57,0±2,4	0,16±0,07	15,5±0,3	0,07±0,013	20,0±1,6	12,3±3,0	39,0±3,1	494±31,0
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	59,1±2,7	0,17±0,04	17,5±0,5	0,08±0,017	17,0±1,5	10,3±3,7	36,0±4,3	488±36,0
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	59,5±3,4	0,15±0,05	18,5±0,6	0,09±0,023	20,0±1,9	12,3±3,5	38,0±4,1	498±31,9
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	60,2±4,0	0,18±0,06	16,9±0,2	0,08±0,021	19,4±2,1	11,1±3,9	39,0±2,9	496±28,9
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	61,0±4,4	0,19±0,07	17,5±0,4	0,07±0,021	18,0±3,1	13,3±1,4	40,0±1,3	488±41,0
НСР <sub>05</sub> , мг/кг	11,5	0,04	1,54	0,032	3,4	1,5	4,2	44,2
ПДК	100	3,0	32,0	2,1	55,0	50	85,0	1500
Содержание подвижных форм ТМ, мг/кг								
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	1,49±0,44	0,06±0,031	0,7±0,075	0,0034	1,45±0,07	0,26	2,66	42,0±0,9
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	1,61±0,51	0,05±0,042	1,1±0,071	0,0045	0,95±0,07	0,19	2,33	36,5±1,3
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	1,55±0,54	0,07±0,034	0,9±0,067	0,0044	1,21±0,06	0,31	2,44	39,8±1,4
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	1,59±0,47	0,06±0,041	1,1±0,074	0,0039	1,38±0,04	0,27	2,64	37,9±1,2
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	1,69±0,41	0,06±0,038	1,2±0,069	0,0041	1,18±0,05	0,34	2,52	41,0±1,2
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	1,51±0,44	0,06±0,029	1,3±0,057	0,0047	1,28±0,05	0,21	2,49	42,0±1,4
НСР <sub>05</sub> , мг/кг	0,92	0,04	0,8	0,002	0,24	0,34	0,92	5,76
ПДК	23,0	1,0	6,0	0,1	3,0	5,0	4,0	400

При внесении максимальной дозы НФГ в опыте 6 т/га в почву поступит не более 10-12 кг Sr (в расчете на элемент). Определение Sr в почве показывает, что его содержание в опыте колеблется в пределах 0,2-0,4 мг/кг, соотношение Ca:Sr после внесения НФГ составляло 137-129:1 и не было выявлено достоверной разницы в этой величине в сравнении с контролем. Поэтому загрязнение почв стронцием при внесении 2,0-6,0 т/га НФГ маловероятно.

Выявлено, что при внесении 2-6 т/га НФГ соотношение Ca:Sr практически не изменялось и не отличалось от фонового на выщелоченном черноземе в этом районе, экологическое равновесие агроценоза не нарушалось. Не установлено влияние НФГ на содержание стабильного стронция в растениях озимой пшеницы (табл. 21). Величина интегрирующего показателя при оценке экологических последствий от внесения НФГ - соотношение Ca и Sr в сельскохозяйственной продукции - находилось на безопасном уровне.

Таблица 21. - Влияние НФГ на накопление Sr в различных органах растений озимой пшеницы (мг/кг)

Варианты опыта	Содержание, мг/кг				Отношение Ca/Sr	
	Ca		Sr		Зерно	Солома
	Зерно	Солома	Зерно	Солома		
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	561	3866	3,2	12,7	175	304
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub>	571	3985	3,2	12,9	178	304
N <sub>40</sub> P <sub>60</sub> K <sub>40</sub>	562	3928	3,3	13,1	170	304
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 2 т/га	581	4006	3,3	13,1	176	306
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 4 т/га	591	4017	3,4	13,5	174	298
N <sub>40</sub> K <sub>40</sub> +НФГ 6 т/га	588	4029	3,4	14,0	173	288
НСР <sub>05</sub> , мг/кг	57,0	137,0	0,51	1,32		

Высокое содержание кальция в почвах препятствует поглощению и накоплению стронция растениями, исследованная растительная продукция по соотношению Ca:Sr находится выше пороговой величины и характеризуется как экологически безопасная. При содержании стронция, внесенного с НФГ в почву в дозе 2-6 т/га, соотношение Ca:Sr в почве существенно не изменилось, что является фактором экологической безопасности применения мелиоранта. Кроме того, нейтрализованный фосфогипс имеет слабощелочную реакцию среды, при которой снижается подвижность соединений стронция в почве.

## ВЫВОДЫ

1. Применение нейтрализованного фосфогипса на выщелоченном черноземе в условиях богарного земледелия способствует решению важной агроэкологической проблемы Краснодарского края - создание безотходного производства с высоким КПД использования сырьевых ресурсов, обеспечения высокого КПД питательных веществ, утилизации многотоннажного отхода, применение экологически безопасного и высокоэффективного мелиоранта и фосфорного удобрения.
2. Внесение НФГ способствует стабилизации реакции почвенной среды в интервале 6,2-6,5 ед. рН и улучшению кальциевого режима почв. В пахотном горизонте почв в зависимости от дозы НФГ увеличивается содержание кальция с 30,6 до 35,1 мг-экв/100 г почвы, доля кальция с 79% до 89%. Установлено поло-

жительное влияние по удержанию влаги в почве, показатель влажности почвы на фоне внесения НФГ выше в среднем на 5,2-6,3%.

3. Применение «N<sub>20-40</sub>P<sub>40-60</sub>K<sub>20-40</sub>» и фосфогипса в сочетании с минеральными удобрениями «N<sub>20-40</sub>K<sub>20-40</sub>+ ФГ 4-6т/га» были равнозначными по действию на азотный, фосфатный и калийный режим почвы. Оптимальной дозой нейтрализованного фосфогипса, способствующей созданию лучших условий минерального питания следует признать 4 т/га.
4. На фоне «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4 т/га» в среднем за два года получен наибольший урожай зерна сои 27,5 ц/га, что на 20,6% больше в сравнении с контролем и на 8,3% в сравнении в варианте «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>». Увеличение дозы НФГ до 6 т/га достоверного положительного эффекта не дало. Только от НФГ в среднем за два года получена прибавка урожая зерна сои 4 ц/га, что составляет 17,1%.

Наибольшее содержание белка в зерне сои 45,1-45,8% отмечалось на вариантах «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 4 т/га» и «N<sub>20</sub>K<sub>20</sub>+НФГ 6 т/га», что на 7,5-7,7% выше в сравнении с контролем и на 5,8% больше относительно варианта «N<sub>20</sub>P<sub>40</sub>K<sub>20</sub>». Внесение НФГ 4-6 т/га обеспечило сбор белка 13,7 и 14,1 ц/га соответственно.

5. Применение «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2-6т/га» способствовало получению в среднем за два года урожая зерна кукурузы 63,5-65,6 ц/га - практически равного с вариантом «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и на 14,1-11,0% больше в сравнении с контролем. Наилучшим был вариант «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+ НФГ 4 т/га», в котором урожайность кукурузы и все элементы структуры урожая (число початков, длина початка, количество зерен в початке и масса 1000 зерен) имели максимальные значения.

При всех дозах внесения фосфогипса «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2-6т/га» формируется зерно кукурузы высокого качества : содержание белка 9,72-10,35% и крахмала 0,49-0,56% , что выше чем на контроле и в варианте «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>».

6. Применение НФГ на фоне «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>» обеспечило получение урожая зерна озимой пшеницы в среднем за два года после предшественника соя при дозе 4 т/га - 72,0 ц/га, на фоне 6 т/га - 71,6 ц/га, прибавка составила - 10,2-14,7%, после кукурузы на зерно при дозе НФГ 4 т/га - 60,9 ц/га, на фоне 6 т/га - 59,8 ц/га, прибавка урожая составила на 24,3 - 22,1%. Доля НФГ в получении дополнительного урожая после сои и после кукурузы составляет практически 50%. Достоверной разницы по урожайности между вариантами «N<sub>40</sub>P<sub>60</sub>K<sub>40</sub>» и «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+НФГ 2-6 т/га» не выявлено.
7. Применение фосфогипса, как фосфорного удобрения и химического мелиоранта независимо от предшественника способствует увеличению белковости зерна пшеницы на 0,3-0,6%, клейковины на 1,8-2,8%, улучшению качества клейковины - ИДК (68,1 и 78,4 ед.), лучшие показатели стекловидности зерна пшеницы (51,6 и 50,4%) отмечены на варианте «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>+ НФГ 4т/га».
8. Нейтрализованный фосфогипс обладает пролонгированным действием, после 4-ех лет не обнаружено затухающего действия НФГ и его использование в дозах 4-6 т/га в сочетании с «N<sub>40</sub>K<sub>40</sub>» равноценно применению полного минерального удобрения «N<sub>20-40</sub>P<sub>40-60</sub>K<sub>20-40</sub>» без ущерба для урожайности сои, кукурузы и озимой пшеницы.
9. Применение рекомендованных доз нейтрализованного фосфогипса в богарном земледелии под кукурузу, сою и озимую пшеницу не оказало значимого влияния на увеличение содержания тяжелых металлов, их концентрация значитель-

но ниже ПДК ТМ и фтора в почве и зерне. Соотношение Са и Sr от внесения НФГ в зерне пшеницы и почве находится на безопасном уровне.

10. Высокая агроэкономическая эффективность применения фосфогипса обусловлена содержанием в его составе 2-4%  $P_2O_5$  в усвояемой форме, до 21% серы, что в значительной степени возмещает затраты сельского хозяйства на его транспортирование и внесение в почву. Экономическая оценка эффективности НФГ под озимую пшеницу показала, что чистый доход на лучшем варианте « $N_{20}K_{20}+ФГ$  4 т/га» составил 58589 рублей при уровне рентабельности – 352%. Коэффициент окупаемости дополнительных затрат составил 3,36.

### **Предложения производству**

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать следующие мероприятия:

1. С целью стабилизации плодородия выщелоченного чернозема Кубани внесение нейтрализованного фосфогипса в условиях богарного земледелия следует проводить в дозе 4 т/га, лучше с осени или в конце лета, до посева сельскохозяйственных культур.
2. Фосфогипс нейтрализованный является эффективным мелиорантом и минеральным удобрением на выщелоченном черноземе Краснодарского края, выявлено пролонгированное положительное действие его как фосфорного удобрения. При внесении НФГ дозы фосфорных удобрений в последующие 3-4 года могут быть снижены не менее чем на 25%. Высокая агроэкономическая эффективность применения НФГ обусловлена содержанием в его составе 2-4%  $P_2O_5$  в усвояемой форме, до 21% серы, что в значительной степени возмещает затраты сельского хозяйства на его транспортирование и внесение в почву.
3. Расчет доз для рационального использования НФГ производства ОАО «ЕвроХим- БМУ» в качестве мелиоранта и/или кальций-фосфорно-серного удобрения, сохранения плодородия черноземных почв, улучшения их структуры и водно-воздушного режима следует проводить согласно «Научно-практических рекомендации по применению фосфогипса нейтрализованного в качестве химического мелиоранта и серного удобрения», М, 2012.- 43 с.

### **Список основных опубликованных работ по теме диссертации**

*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. Локтионов М.Ю. , Добрыднев Е.П. , Шеуджен А.Х. , **Лиманский А.Н.**, Онищенко Л.М. Агроэкологическая эффективность фосфогипса на черноземе выщелоченном//Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс».- 2013.- № 09(13).- Том 2.- С. 187-194.
2. Кизинек С.В., Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Локтионов М.Ю., **Лиманский А.Н.** Экологические и агроэкономические аспекты применения фосфогипса в сельском хозяйстве//Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс». - 2013.- № 09(13).- Т. 2.- С. 206-217.
3. Дроздова В.В., Шеуджен А.Х., Нешадим Н.Н., **Лиманский А.Н.** Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зелёной массы кукурузы//Плодородие, 2013.- № 6(75).- С. 13-15.
4. Добрыднев Е.П., Шеуджен А.Х., Локтионов М.Ю., Аканова Н.И., **Лиманский А.Н.**, Ашинов Ю.Н. Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфо-



гипса при возделывании озимой пшеницы в условиях Краснодарского края //Научно-методический журнал «XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс», 2014.- 01(17).- С. 74-80.

*Публикации в других изданиях*

5. Локтионов М.Ю., **Лиманский А.Н.** Эффективность применения фосфогипса на черноземе выщелоченном в качестве комплексного минерального удобрения//В сб. ст. «Перспективы применения средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях», М:ВНИИА.-2013.-С. 116-120.
6. Шеуджен А.Х., **Лиманский А.Н.** Агроэкологическая эффективность фосфогипса при возделывании озимой пшеницы на выщелоченных черноземах// Сб. ст. «Микроэлементы и регуляторы роста в питании растений: теоретические и практические аспекты», посвященной 75-летию профессор, академика РАЕН Костина В.И. ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина» - 2014.- С. 122-125.
7. Ашинов Ю.Н., **Лиманский А.Н.** Агроэкологическая эффективность фосфогипса при возделывании озимой пшеницы на выщелоченных черноземах Краснодарского края// Материалы за 10-а международна научна практична конференция, «Ключови въпроси в съвременната наука», Селско стопанство.- София. «Бял ГРАД-БГ» ООД.- 2014.- Том 33.- С. 57-59.
8. Локтионов М.Ю., **Лиманский А.Н.** Агроэкологическая эффективность применения фосфогипса и КАС на выщелоченном черноземе //«Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК», Изд-во Брянской ГСХА, 2014.- с. 54-57.
9. **Лиманский А.Н.**, Ашинов Ю.Н. Эффективность фосфогипса в земледелии на выщелоченных черноземах Краснодарского края//Сб. ст. «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии». М.:ВНИИА.- 2014.- С. 123-126.
10. Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Локтионов М.Ю., **Лиманский А.Н.** Агроэкологическая эффективность нейтрализованного фосфогипса на выщелоченных черноземах//Сб. ст. "Актуальные проблемы социально-экономической и экологической безопасности Поволжского региона". Казанский ф-л МИИТ. Изд-во "Мир без границ" - 2015.- С. 91-94.
11. **Лиманский А.Н.**, Лебедовский И.А. Эффективность нейтрализованного фосфогипса в богарном земледелии Краснодарского края// Материалы 49-ой международной научной конференции специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии». М.:ВНИИА.- 2015.- С.94-98.
12. Шеуджен А.Х., Аканова Н.И., Жиленко С.В., **Лиманский А.Н.** Эффективность применения фосфогипса при возделывании озимой пшеницы на выщелоченных черноземах Краснодарского края//Сб. ст. X Международного симпозиума НП «Содружество ученых агрохимиков и агроэкологов» - «Совершенствование методологии агрохимического обеспечения современного земледелия». М.:ВНИИ агрохимии, 2017.-С. 97-107.