

*На правах рукописи*

УДК 631:631.9:631.95

**КОСОДУРОВ Кирилл Сергеевич**

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ФОСФОГИПСА НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ  
В СЕВООБОРОТЕ С КАРТОФЕЛЕМ**

**Специальность 06.01.04 – агрохимия**

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата сельскохозяйственных наук**

**Москва – 2020**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» Минобрнауки России

**Научный руководитель:** **Аканова Наталья Ивановна**  
доктор биологических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Окорков Владимир Васильевич,**  
доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», отдел агрохимии и экологии, главный научный сотрудник

**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 «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

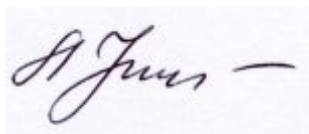
Защита диссертации состоится «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова»: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: <http://www.vniia-pr.ru/diss/diss-kosodurov-26.11.2019.pdf>

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 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: 127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а ученому секретарю диссертационного совета. E-mail: [dissovet\\_vniia@mail.ru](mailto:dissovet_vniia@mail.ru).

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**



Никитина Любовь Васильевна

**Актуальность темы** обоснована поиском путей повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур в рамках экологически безопасных технологий возделывания. Агроэкологический мониторинг почв земель сельскохозяйственного назначения выявил существенное обеднение фосфором, кальцием и серой. Частично проблему обеспечения элементами минерального питания и улучшения физико-химических свойств почв возможно решить при использовании побочных продуктов производства, в т.ч. фосфогипс (ФГ), применение которого эффективно и экологически безопасно.

ФГ имеет ряд недостатков, главный из которых наличие в его составе стронция и тяжелых металлов, как нежелательных примесей. Однако исследований, проведенных в этом направлении на дерново-подзолистых почвах практически нет. ФГ может найти широкое применение в качестве минерального удобрения, его использование позволит компенсировать потери кальция, решить проблему серного и фосфорного режимов питания сельскохозяйственных растений. Из вышеизложенного вытекает актуальность и необходимость проведения исследований по агроэкологической оценке влияния ФГ в условиях Нечерноземной зоны РФ на комплекс агрохимических, физико-химических показателей почвенного плодородия, урожай и качество продукции.

**Цель и задачи работы:** Целью работы является разработка ресурсосберегающих агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур в земледелии, направленных на повышение эффективности производства растительной продукции на дерново-подзолистых почвах, снижение затрат на производство продукции, сохранение и повышение плодородия почв. В задачи исследований входило:

- исследовать эффективность влияния различных доз внесения фосфогипса на рост, развитие, урожай и качество клубней картофеля и зерна ячменя;
- исследовать действие фосфогипса на кислотно-основные, физико-химические и агрохимические свойства и кальциевый режим дерново-подзолистых почв;
- изучить влияние последствий фосфогипса на динамику содержания подвижного фосфора, обменного калия и органического вещества в почве в звене севооборота картофель-ячмень-картофель;
- выявить влияние фосфогипса на накопление стронция и тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве;
- изучить влияние фосфогипса на накопление потенциально опасных примесей стронция и тяжелых металлов в клубнях картофеля и зерне ячменя.

**Новизна исследований состоит** в разработке экологически безопасной дифференцированной системы удобрения звена севооборота в земледелии Нечерноземной зоны. Изучены направленность почвенных процессов, пути регулирования физико-химических и агрохимических свойств и питательного режима дерново-подзолистых почв, установлено положительное действие фосфогипса на улучшение фосфорного и серного режимов питания и плодородия почв. Выявлено, что внесение фосфогипса способствует стабилизации кальциевого режима, увеличению содержания подвижного фосфора и обменного калия в

почве. Изучены экологические аспекты применения ФГ, определены уровни накопления стронция и тяжелых металлов в почвах и растениях при внесении фосфогипса в возрастающих дозах.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Предложены пути решения проблемы рационального вовлечения фосфогипса в сельскохозяйственное производство Нечерноземной зоны России. Разработана экологически обоснованная технология применения фосфогипса в севооборотах с картофелем, обеспечивающая улучшение физико-химических, агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы, сохранение её плодородия и повышение урожайности картофеля и ярового ячменя. Установлено, что внесение фосфогипса не приводит к существенному накоплению стронция и тяжелых металлов в почве, поэтому его можно рекомендовать в качестве мелиоранта и поликомпонентного минерального удобрения на слабокислых дерново-подзолистых почвах.

Полученный новый фактический материал и теоретические положения используются в курсах лекций в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по дисциплинам: «Мелиорация почв», «Агрохимия», «Почвенная экология».

Исследования, проводимые в 2013-2017 г., являлись составной частью плана НИР ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» 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».

**Реализация результатов исследований.** На основе результатов исследований разработаны научно-практические рекомендации по применению фосфогипса в сельскохозяйственном производстве (Москва, 2019). Результаты исследований использованы институтом ФГБНУ «ВНИИ Агрохимии» и ФГБНУ «ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха» для разработки системы земледелия при возделывании зерновых культур и картофеля, оптимизации питательного режима дерново-подзолистых почв и разработки ресурсо-энергосберегающих технологий под картофель.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- использование фосфогипса при возделывании сельскохозяйственных культур полевого севооборота сопровождается изменением основных параметров плодородия дерново-подзолистых почв;
- научное обоснование перспективных эколого-мелиоративных приемов регулирования плодородия дерново-подзолистых средне и слабокислых почв, снижения их деградации, оптимизации почвенно-экологической ситуации и повышения урожайности картофеля и ячменя;
- оценка почв и растений картофеля и ячменя по содержанию тяжелых металлов и стронция в последствии различных доз фосфогипса;
- рациональное использование фосфогипса на дерново-подзолистой почве – это экономически целесообразное, социальное и экологически эффективное решение проблемы утилизации фосфогипса обеспечивает положительный баланс кальция, улучшает фосфатный и серный питательный режим почв, повышает эффективность применения удобрений;

**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 научной проблемы, 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 ФГБНУ «ВНИИ картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха».

**Апробация работы** Основные положения диссертационной работы обсуждались и получили положительную оценку на научных конференциях молодых ученых и специалистов ФГБНУ «ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова» (2013-2016 г.), на Международных конференциях: «Агроэкологические основы применения удобрений в современной земледелии» (М.:ВНИИА, 2015), «Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства», посвященной 50-летию ВНИИ орошаемого земледелия (Волгоград: ВНИИОЗ, 2017), V Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования Майкопского ГТУ (Майкоп, 2018).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, из них 3 в журналах, рекомендованных ВАК.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа изложена на 154 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, выводов и предложений производству, содержит 40 таблиц, 3 рисунка. Список литературы включает 299 наименований, в том числе 61 иностранных авторов.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю доктору биол. наук Акановой Н.И. за неоценимую помощь в проведении работы, ценные советы и рекомендации на всех этапах исследования. Особую благодарность автор выражает сотрудникам ФГБНУ «ВНИИ картофельного хозяйства им. А.Г. Лорха» докт. с.-х. наук Федотовой Л.С., канд. с.-х. наук Тимошиной Н.А. за помощь в организации исследований, проведении анализов, консультации и внимание к работе.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Объекты и методы полевых исследований

Полевой опыт по исследованию агроэкологической оценки эффективности фосфогипса в севообороте с картофелем заложен в 2013 году в ФГБНУ «ВНИИ картофельного хозяйства имени А.Г. Лорха» в Московской области. Объекты исследований: картофель сорта Любава (2013) - ячмень сорта Московский 86

элита (2014) – картофель сорта Гала (2015). Схема посадки картофеля 75x30 см, уход за картофелем и посевами ячменя проводили по общепринятой методике.

Схема опыта

Номер варианта	Вариант опыта
1	НПК - контроль
2	НПК + фосфогипс, 0,5 т/га
3	НПК + фосфогипс, 1,0 т/га
4	НПК + фосфогипс, 1,5 т/га
5	НПК + фосфогипс, 3,0 т/га

Удобрения в дозе  $N_{90}P_{90}K_{90}$  под ячмень и  $N_{90}P_{90}K_{180}$  – под картофель и фосфогипс в дозах – 0,5, 1,0, 1,5 и 3,0 т/га вносили в 2013 г. под весеннюю культувацию почвы. Повторность опыта 4-кратная, площадь делянок – 60 м<sup>2</sup>, расположение делянок рендоминизированное. Почва опытного участка дерново-подзолистая супесчаная.

Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

рН <sub>KCl</sub>	Нг	Сумма обменных оснований, S	Содержание				Степень насыщенности основаниями, V
			□ N-NO <sub>3</sub> , N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	гумуса	
мг-экв/100 г			мг/кг почвы				%
4,71	3,27	3,11	24,5	215	97	1,91	48,7

ФГ АО «Апатит», выпускается по ТУ 113-08-418-94, содержит > 21% Са, >17% S и до >1% общего фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Содержание техногенных радионуклидов не превышает допустимых значений (Бк/кг): <sup>137</sup>Cs < 3,7, <sup>90</sup>Sr < 28,3 Бк/кг, содержание ТМ (мг/кг): Cu – 15,7±1,2, Mn – 14,1±0,9, Pb – 5,8±0,5, Zn – 4,6±0,4, Co – 3,2±0,6, Ni – 2,1±0,2, Cr – 1,6±0,2, Cd – 0,70±0,02, Hg – 0,042±0,005.

Использовали широко апробированные и гостированные методы: для почвы рН<sub>KCl</sub> – потенциометрически по ГОСТ 26483-85, содержание гумуса (по Тюрину) ГОСТ 26213-91, подвижного фосфора и обменного калия (по Кирсанову) ГОСТ 26207-91, гидролитическую кислотность (по Каппену в модификации ЦИНАО) ГОСТ 26212-91, содержание обменных Са и Mg (вытяжка NaCl) методом ЦИНАО по ГОСТ 26487-85, степень насыщенности основаниями – расчетным методом [V,% = S·100: (S+Нг)], подвижной серы по ГОСТ 26490-85, тяжелых металлов (в ацетатно-аммонийном буферном растворе с рН 4,8).

Учет урожая клубней картофеля проводили с каждой делянки, взвешивали товарную (по перечному диаметру >50 мм) и нетоварную (по перечному диаметру <50 мм) фракции отдельно. В клубнях определяли содержание: крахмала и сухих веществ (весовой метод), витамина С (метод Мурри), белка (рефрактометрическим методом по А.С. Вечеру); нитратов (ион-селективный метод), тяжелых металлов; комплекс кулинарных качеств картофеля оценивался по 9-балльной шкале, включая потемнение мякоти сырой и после варки; оценку по-

раженности клубней грибными болезнями (парша обыкновенная, ризоктониоз и др.) проводили по 5-балльной шкале. Расчет коэффициента дискриминации (КД) производили из соотношения Ca/Sr в растении к соотношению Ca/Sr в почве:  $KD = [Ca/Sr \text{ зерно}]:[Ca/Sr \text{ почва}]$ . Если  $KD < 1$  – в растениях преобладает процесс накопления стронция, если  $KD > 1$ , наоборот, его дискриминация (Иванов, 1988; Ермохин, Иванов, 2004). Дисперсионный и корреляционный анализы экспериментальных данных проводили по Доспехову Б.А. (1985).

### **Условия проведения опытов**

В первый год опыта (2013) вегетационный период характеризовался нестабильными условиями: засуха сменялась переувлажнением, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) в целом, составил 1,64. В 2014 году средняя температура воздуха за период вегетации (май-август) составила 18,4°C, что на 1,9°C выше климатической нормы (16,5°C), осадков выпало 206,4 мм, или 79,1% от нормы, ГТК составил 0,93. Сумма эффективных температур выше 10°C составила 2216°C, что в 2,8 раза больше многолетней (791°C). На третий год исследований (2015 г.) средняя температура воздуха за май-август составила 17,1°C, что на 0,6°C выше средне климатической нормы (16,5°C). Осадков выпало 302,45 мм, что в 1,2 раза больше нормы, ГТК -1,67, что характеризует условия вегетации, как благоприятные для картофеля. В целом вегетационный период 2015 года был умеренно-влажный.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **Влияние фосфогипса на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы**

В сравнении с весной 2013 года, в 2015 году осенью в вариантах с ФГ, величина  $pH_{КС1}$  была 4,67 -4,73 ед., что ниже исходных величин на 0,15-0,24 ед. Достоверного подкисляющего действия ФГ не выявлено.

Величина гидролитической кислотности в зависимости от дозы ФГ увеличилась на 0,16-0,52 мг-экв/100 г почвы. Наибольшее повышение на +0,48 - +0,52 мг-экв/100 г почвы по сравнению с исходным уровнем отмечено в конце вегетации 2015 года в варианте с внесением ФГ в дозе 0,5 т/га (2 вар.) и 1,0 т/га (3 вар.). При внесении высоких доз ФГ 1,5 и 3,0 т/га (5 и 6 вар.) не выявлено статистически достоверного изменения Нг почвы.

В фоновом варианте и при внесении ФГ в дозе 0,5 т/га (1 и 2 вар.) отмечена тенденция к повышению суммы обменных оснований. При внесении ФГ в дозах 1,0, 1,5 и 3,0 т/га (3, 4, 5 вар.) выявлено достоверное увеличение показателя на 0,21-0,28 мг-экв/100 г почвы. В сравнении с фоновым вариантом при внесении ФГ в возрастающих дозах, наблюдается также достоверное увеличение содержание обменных оснований в почве (3, 4, 5 вар.) - на 0,22 -0,30 мг-экв/100 г почвы. На третий год последствия ФГ в 2015 году выявлено снижение суммы обменных оснований на фоне доз 0,5 и 1,0 т/га на 0,50-0,52 мг-экв/100 г почвы в сравнении с исходными величинами (табл.1).

Таблица 1. Влияние фосфогипса на физико-химические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы

№ вари- анта опыта	pH <sub>KCl</sub>				Нг				S				V, %			
					мг-экв/100 г почвы											
	2013	2013	2015	ΔpH	2013	2013	2015	ΔНг	2013	2013	2015	ΔS	2013	2013	2015	ΔV
	весна	осень			весна	осень			весна	осень			весна	осень		
1	4,69	4,69	4,63	-0,06	3,97	4,05	3,73	-0,24	3,05	3,13	2,90	-0,15	43,4	41,4	43,7	+0,3
2	4,73	4,65	4,51	-0,22	3,91	4,02	4,43	+0,25	3,07	3,23	2,57	-0,50	44,0	42,8	36,7	-7,3
3	4,67	4,56	4,47	-0,20	4,08	4,08	4,56	+0,48	3,22	3,43	2,70	-0,52	44,1	43,1	37,2	-6,9
4	4,73	4,68	4,58	-0,15	3,97	3,80	4,13	+0,16	3,15	3,41	2,80	-0,35	44,2	45,1	40,4	-3,8
5	4,72	4,62	4,48	-0,24	3,91	3,80	4,17	+0,36	3,07	3,35	2,95	-0,12	44,0	45,1	41,4	-2,6
НСР <sub>05</sub>	0,18	0,17	0,16		0,15	0,19	0,28		0,20	0,22	0,33		1,5	1,8	2,9	

∞



Применение ФГ в дозе 1,0 т/га (вар. №3) в 2013 году способствовало увеличению степени насыщенности основаниями на 1,6%, на фоне дозы 1,5 т/га – на 3,1% и при дозе 3,0 т/га – на 2,9%. Спустя два года в варианте с внесением ФГ в дозе 0,5 т/га установлено увеличение показателя V на 7,3%, на фоне дозы 1,0 т/га – на 6,9%. При использовании ФГ в дозах 1,5 и 3,0 т/га достоверных изменений показателя не установлено (табл.1).

### Влияние фосфогипса на кальциевый режим дерново-подзолистой почвы

Содержание обменных оснований в почве до внесения удобрений колебалось по вариантам опыта: Ca - от 43,1 до 52,2 мг/100 г почвы и Mg -от 13,0 до 15,1 мг/100 г почвы соответственно (табл. 2). В 1-ый год действия ФГ в дозах 0,5, 1,0, 1,5 и 3,0 т/га после уборки урожая клубней выявлено увеличение содержания обменного кальция соответственно на 7,3, 17,1, 18,5 и 41,4 мг/100 г почвы соответственно. По сравнению с фоновым вариантом, увеличение показателей было на 18,0, 23,2, 30,3 и 52,1 мг/100 г почвы соответственно.

Осенью 2015 г. на вариантах с последствием ФГ в сравнении с фоновым вариантом отмечено повышение содержания обменного кальция соответственно внесенным дозам – на 10,4, 18,0, 24,2 и 34,9 мг/100 г почвы.

Снижение запасов обменного кальция в почве за счет его потери с выносом и инфильтрационными водами на контроле составило: в 1-ый год – на 171 кг/га, во 2-ой – 164 кг/га, в 3-ий –109 кг/га или в среднем за три года – на 148 кг/га ежегодно. Обеднение почвы в фоновом варианте (1 вар.) объясняется обилием выпавших осадков во время вегетации и, в связи с этим, потерями обменных оснований, в результате соотношение CaO и MgO увеличилось с 3,16 до 3,81 (табл.2).

Таблица 2. Динамика содержания обменных оснований

Доза ФГ, т/га	Содержание в почве, мг/100 г почвы								
	весна 2013	CaO		весна 2013	MgO		весна 2013	CaO:MgO	
		осень			осень			осень	
		2013	2015		2013	2015		2013	2015
0	46,1	40,4	31,3	13,1	11,6	9,5	3,51	3,48	3,30
0,5	51,1	58,4	41,7	15,1	12,4	10,3	3,38	4,71	4,05
1,0	46,5	63,6	49,3	13,9	12,9	10,2	3,35	4,93	4,83
1,5	52,2	70,7	55,5	13,7	12,5	10,7	3,81	5,66	5,19
3,0	51,1	92,5	66,2	13,0	13,0	10,3	3,93	7,12	6,43
НСР <sub>05</sub>		6,5			3,8				

Применение фосфогипса в дозах 0,5-3,0 т/га в сравнении с исходными значениями не привело к существенному снижению обменного магния в осенних образцах почвы 2013 г. и обеспечило достоверное увеличение обменного кальция на 14-81%. В результате соотношение CaO:MgO в почвах по завершению

вегетации картофеля в 2013 г. расширилось до 4,71, 4,93, 5,66 и 7,12 соответственно возрастающим дозам ФГ.

Уменьшение запасов обменного магния в пахотном слое почвы на контроле по годам составило: в первый год – на 45 кг/га, на второй - 39 кг/га и третий – 24 кг/га или в среднем ежегодные потери составили 36 кг/га.

Наиболее сильно вымывание обменных оснований из ППК выявлены на фоновом варианте, в результате отмечено сужение соотношения CaO : MgO с 3,5 до 3,3. Внесение ФГ в дозах 1,5 и 3,0 т/га не привело к достоверному снижению обменного магния, но повышало содержание обменного кальция. В результате в вариантах с внесением ФГ в дозах 1,0, 1,5 и 3,0 т/га соотношение CaO : MgO к завершению вегетации 2015 года стало выше исходных значений и составляло, соответственно 4,83, 5,19 и 6,43.

### **Влияние внесения фосфогипса на содержание основных элементов питания в почве**

Внесение минеральных удобрений в сочетании с ФГ способствовало обеспечению растений необходимым запасом питания. В конце вегетации растений картофеля в 2013 году в фоновом варианте (1 вар.) отмечено повышение содержания подвижного фосфора – на 17 мг/кг и обменного калия – на 32 мг/кг почвы, при этом наблюдалось снижение содержания серы на 4,3 мг/кг почвы по сравнению с весенним отбором проб. Применение ФГ в дозах 0,5-3,0 т/га привело к достоверному повышению содержания подвижного фосфора на 30-62 мг/кг и обменного калия на 32-51 мг/кг почвы. Сезонное сравнение вариантов с ФГ (2-5 вар.) и фонового варианта показало, что в первый год действия ФГ установлено увеличение содержания фосфора в почве на 29, 49, 31 и 54 мг/кг почвы соответственно (табл. 3).

Таблица 3. Влияние фосфогипса на агрохимические свойства дерново-подзолистой супесчаной почвы (2013-2015 г.)

Вариант опыта	Содержание, мг/кг									
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					K <sub>2</sub> O				
	2013	2013	2014	2015	± к 2013	2013	2013	2014	2015	± к 2013
	весна	осень				весна	осень			
1	208	225	245	234	+26	97	129	120	124	+27
2	224	254	252	254	+30	107	151	132	124	+17
3	221	274	253	258	+47	98	130	142	123	+14
4	207	256	267	279	+72	93	144	122	118	+25
5	217	279	259	257	+40	91	138	130	119	+28
НСР <sub>05</sub>	19,0					20,0				

На 2-й год после внесения в возрастающих дозах ФГ наблюдается повышение подвижного фосфора в почве по сравнению с исходными значениями на 28-60 мг/кг, при этом максимальные значения прироста подвижного фосфора 60 мг/кг и 42 мг/кг выявлены на фоне максимальных доз ФГ 1,5 и 3,0 т/га. Сравнение осенних значений показателя (2014 г.) в вариантах с внесением ФГ с фоновым вариантом отмечен прирост содержания подвижного фосфора адекватно дозам ФГ на 7, 8, 22 и 14 мг/кг почвы.

На 3-й год последействия ФГ в 2015 году после уборки урожая картофеля содержание подвижного фосфора в почве на контроле увеличилось на 26 мг/кг, в вариантах с последействием ФГ – на 30-72 мг/кг, максимальный прирост на 72 и 40 мг/кг был на фоне доз 1,5 и 3,0 т/га.

Повышение обменного калия в пахотном слое почвы по сравнению с исходным значением отмечено в фоновом варианте - на 32 мг/кг почвы и в вариантах: Фон + ФГ (от 0,5 до 3,0 т/га) - на 32-51 мг/кг. Сезонная динамика содержания обменного калия в почве на фоне ФГ выявила его повышение на 22 мг/кг в варианте «Фон + 0,5 т/га ФГ». В вариантах с возрастающими дозами ФГ повышение обменного калия было на пределе достоверности на 1-15 мг/кг почвы. Возможно, в этом проявилось антагонистическое действие высокого содержания кальция, поступающего в почву с ФГ в дозах 1,5 и 3,0 т/га, который приводит к фиксации обменного калия почвы.

Содержание органического вещества в почве весной 2013 года до внесения удобрений составляло 1,8-2,0% и на том же уровне оставалось в течение всего вегетационного периода (1,78-2,1%). Однако, отмечено положительное влияние ФГ на содержание органического вещества почвы. Спустя два года исследований в 2015 году содержание органического вещества находилось в интервале от 1,75% на фоновом варианте до 1,87% в варианте с внесением фосфогипса в дозе 3,0 т/га, однако все различия были в пределы ошибки опыта, т.е. не достоверны.

### **Влияние фосфогипса, как серосодержащего удобрения, на содержание серы в дерново-подзолистой почве**

По содержанию подвижной серы дерново-подзолистая почва характеризовалась как среднеобеспеченная - 10,6-14,1 мг/кг почвы. К осени первого года исследований (2013 год) содержание серы в контрольном варианте снизилось на 4,3 мг/кг почвы, или на 36%. В вариантах с ФГ в дозах от 0,5 до 3,0 т/га содержание подвижной серы к осени этого же года возрастало вместе с дозами ФГ на 6,2, 12,9, 27,5 и 34,1 мг/кг соответственно. Сезонное сравнение результатов анализа почвенных образцов 2013 года показало, что фосфогипс является полноценным серным удобрением, после периода вегетации в сравнении с контрольным вариантом содержание серы в почве достоверно увеличилось с возрастанием дозы ФГ от 0,5 до 3,0 т/га на 11,5, 19,2, 30,3 и 40,0 мг/кг почвы соответственно (табл. 4).

Таблица 4. Влияние внесения фосфогипса на содержание подвижной серы в дерново-подзолистой почве, 2013 год

№ п/п	Варианты опыта	Содержание S, мг/кг почвы		
		весна	осень	± к весеннему отбору
1	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> –контроль – фон	12,1	7,8	-4,3
2	Фон + ФГ, 0,5 т/га	13,1	19,3	+6,2
3	Фон + ФГ, 1,0 т/га	14,1	27,0	+12,9
4	Фон + ФГ, 1,5 т/га	10,6	38,1	+27,5
5	Фон + ФГ, 3,0 т/га	13,7	47,8	+34,1
	НСР <sub>05</sub>	3,9		

В 2014 году содержание подвижной серы в почве в вариантах с внесением ФГ было наименьшим за годы исследований, что можно объяснить засухой, установившейся с середины июля по третью декаду августа. Несмотря на это, в вариантах с внесением ФГ в дозах 1,5 и 3,0 т/га увеличение содержания серы составило, соответственно 15,8 и 19,3 мг/кг. К осени 2015 года в контрольном варианте содержание серы снизилось на 8,6 мг/кг, или на 71% в сравнении с исходными значениями. Ежегодные потери серы из пахотного слоя почвы на контроле составили: в 2013 г. - 12,9 кг/га, 2014 г. – 5,7 кг/га и 2015 г. – 7,2 кг/га, или в среднем 8,6 кг/га ежегодно (табл.5).

Таблица 5. Влияние внесения фосфогипса на содержание подвижной серы в дерново-подзолистой почве

Вариант опыта	Содержание S, мг/кг почвы					
	весна	осень			± к весне 2013 г.	
		2013 г.	2014 г.	2015 г.	мг/кг	%
НРК контроль –фон	12,1	7,8	5,9	3,5	-8,6	-71
Фон + ФГ, 0,5 т/га	13,1	19,3	15,0	22,8	+9,7	+74
Фон + ФГ, 1,0 т/га	14,1	27,0	20,9	31,6	+17,5	+124
Фон + ФГ, 1,5 т/га	10,6	38,1	26,4	37,1	+26,5	+250
Фон + ФГ, 3,0 т/га	13,7	47,8	33,0	46,6	+32,9	+240
НСР <sub>05</sub>	2,1	3,9	4,3	7,6		

Осенью 2015 года в вариантах с внесением ФГ в возрастающих дозах, содержание подвижной серы было на том же уровне, что и в первый год опыта осенью 2013 года и составляло 22,8-46,6 мг/кг почвы. В зависимости от дозы ФГ содержание серы увеличилось на 9,7, 17,5, 26,5 и 32,9 мг/кг по сравнению с исходными значениями. Использование в системе удобрения ФГ обеспечило улучшение серного режима питания: на фоне дозы 0,5 т/га ФГ на +35,1 кгS/га, 1,0 т/га ФГ на + 57,6 кгS/га, 1,5 т/га на +79,8 кгS/га, 3,0 т/га ФГ на +105,6 кгS/га.

### Влияние фосфогипса на содержание стронция и тяжелых металлов в почве

В фоновом варианте содержание стронция определялось на уровне 1,46 мг/кг, а уже при внесении 1,0 т/га – 2,58 мг/кг, однако при утروении дозы ФГ не отмечено дальнейшего увеличения количества Sr, его величина составила 2,12 мг/кг почвы (табл. 6). Внесение ФГ способствовало увеличению содержания стронция в почве, но одновременно многократно возросло содержание кальция. Соотношение Ca:Sr в фоновом варианте составляло 198, а в вариантах с внесением ФГ в дозе 1,0 т/га -176, 3,0 т/га – 312. Таким образом, отношение Ca:Sr оставалось достаточно широким и увеличивалось с повышением дозы ФГ. В связи с этим, опасность загрязнения почв и растений при внесении фосфогипса не превышающем 3,0 т/га, маловероятна.

Таким образом, при внесении ФГ в первый год его действия содержание стронция возрастало до 0,66-1,12 мг/кг почвы (на 45-77%). В фоновом варианте содержание стронция было на уровне 1,46 мг/кг, при внесении 1,0 т/га ФГ – 2,58 и на фоне 3,0 т/га – 2,12 мг/кг, при этом соотношение Ca:Sr в фоновом варианте составляло 198, в варианте Фон+1,0 т/га ФГ – 176, и Фон+3,0 т/га ФГ – 312.

Таблица 6. Влияние внесения фосфогипса на содержание стабильного стронция в почве (2013 г.)

Варианты опыта	Sr, мг/кг почвы	Ca:Sr
НРК –контроль – фон	1,46	197,6
Фон + ФГ, 0,5 т/га		
Фон + ФГ, 1,0 т/га	2,58	176,0
Фон + ФГ, 1,5 т/га		
Фон + ФГ, 3,0 т/га	2,12	311,6
НСР05	0,32	

На основании полученных результатов можно утверждать, что загрязнение почв стронцием при внесении ФГ отсутствовало (табл. 7).

Таблица 7. Содержание стабильного стронция в почве

Варианты опыта	Sr, мг/кг почвы		Ca:Sr	
	2014	2015	2014	2015
НРК контроль – фон	3,58	3,60	97,4	86,9
Фон + ФГ, 0,5 т/га	4,15	4,05	107,5	103,0
Фон + ФГ, 1,0 т/га	4,46	4,45	116,5	110,8
Фон + ФГ, 1,5 т/га	5,54	5,55	103,6	100,0
Фон + ФГ, 3,0 т/га	7,66	7,72	97,4	85,7
НСР05	1,29	1,70		

Исследование возможной токсичности ФГ показало, что содержание Sr колебалось от 3,58 мг/кг в фоновом варианте (1 вар.) до 7,66 мг/кг в варианте с внесением 3,0 т/га ФГ. Соотношение Ca:Sr снизилось по всем вариантам опыта: в фоновом варианте оно составляло 97,4, в условиях применения ФГ в дозах 0,5, 1,0 и 1,5 т/га, соответственно, 107,5, 116,5, 103,8, при внесении ФГ в дозе 3,0 т/га соотношение было практически таким же, как на контроле - 97,4.

На 3-й год последствий ФГ в 2015 году содержание стабильного Sr в почве оставалось на уровне 2014 года: от 3,6 мг/кг в фоновом варианте до 7,72 мг/кг в варианте с внесением 3,0 т/га ФГ. Соотношение Ca:Sr колебалось от 86,9 в фоновом варианте до 85,7 на фоне дозы ФГ 3,0 т/га. При внесении ФГ не превышающем 1,5 т/га соотношение Ca:Sr было на безопасном уровне, т.е. > 100.

Сужение соотношения Ca:Sr в 2014 и 2015 году можно объяснить потерями кальция из почвы с инфильтрационными водами. При внесении ФГ увеличивается содержание стабильного Sr, но одновременно возрастает содержание обменного кальция, что обеспечивает экологическую безопасность применения мелиоранта, соотношение Ca:Sr остается в широком диапазоне. Даже при внесении ФГ в максимальной дозе 3,0 т/га соотношение Ca:Sr не уже, чем в фоновом варианте.

Оценка эколого-токсикологической безопасности применения ФГ показала, что его внесение в дозе до 3,0 т/га не привело к увеличению содержания тяжелых металлов в концентрациях, превышающих ПДК для почв (СанПиН 42-128-4433-87 и ГН 2.1.7.2041-06) (табл. 8). Валовое содержание цинка в весенних пробах почвы было в пределах 56,9-64,3 мг/кг, в осенних пробах – 54,5-63,5 мг/кг, т.е. внесение ФГ в возрастающих дозах не оказало значимого влияния на содержание этого элемента в почве.

Таблица 8. Валовое содержание тяжелых металлов в почве

Доза ФГ, т/га	Срок отбора	Содержание тяжелых металлов, мг/кг почвы						
		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Mn	Hg
0	Весна 2013 г	14,8	56,9	8,33	0,38	5,90	161,2	0,09
	Осень 2013 г	14,3	54,6	5,38	0,28	4,94	122,0	0,08
	Осень 2014 г	21,9	32,1	9,16	0,35	9,30	220,9	0,04
	Осень 2015 г	18,2	47,0	6,27	0,37	10,30	222,0	0,06
1,0	Весна 2013 г	16,2	64,3	8,39	0,32	6,40	161,4	0,10
	Осень 2013 г	15,5	63,5	5,82	0,37	5,42	148,0	0,11
	Осень 2014 г	19,8	29,3	6,32	0,23	9,40	228,2	0,06
	Осень 2015 г	20,1	47,2	4,75	0,25	11,5	205,0	0,09
3,0	Весна 2013 г	15,8	59,2	7,58	0,28	6,63	175,3	0,09
	Осень 2013 г	16,5	61,9	6,95	0,42	5,60	180,0	0,09
	Осень 2014 г	15,2	17,0	1,44	0,42	6,29	184,5	0,05
	Осень 2015 г	15,9	40,0	1,55	0,42	10,4	171,0	0,09

На 2-й и 3-й годы проведения опыта в вариантах ФГ наблюдалась тенденция к снижению валового содержания тяжелых металлов: меди, цинка, свинца и марганца. В варианте с внесением NPK- удобрений валовое содержание свинца составляло 7,72 мг/кг, а в варианте последействия ФГ в дозе 3 т/га – 1,50 мг/кг. При этом валовое содержание цинка составило, соответственно, 39,6 и 28,5 мг/кг. Такое снижение наблюдалось по каждому элементу, что объясняется действием ФГ как мелиоранта с высоким содержанием кальция. В этом проявляется агроэкологическое значение ФГ для окружающей среды (табл. 8).

Содержание подвижных форм ТМ в почве по вариантам опыта с внесением ФГ в дозах 0,5, 1,0, 1,5 и 3,0 т/га было ниже ПДК (ГН 2.1.7.2041-46; ГН 2.1.7.2042-46) (табл.9).

Таблица 9. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве, мг/кг

Доза ФГ, т/га	Срок отбора	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Mn	Cr	Co
0	Весна 2013 г.	2,0	9,65	0,38	0,09	3,8	8,77	1,75	0,85
	Осень 2013 г.	1,72	11,84	0,38	0,1	3,57	14,13	2,9	0,96
	Осень 2014 г.	1,1	12,8	0,7	0,05	1,7	13,9	1,58	0,39
	Осень 2015 г.	0,28	1,21	0,62	0,1	0,3	30,6	1,55	0,41
1,0	Весна 2013 г.	1,58	10,8	0,39	0,09	3,68	8,97	2,2	0,85
	Осень 2013 г.	1,83	12,36	0,54	0,11	3,38	11,7	3,65	0,99
	Осень 2014 г.	1,51	11,9	0,42	0,1	2,5	0,2	2,05	0,53
	Осень 2015 г.	0,3	1,0	0,46	0,19	0,53	29,7	1,9	0,5
3,0	Весна 2013 г.	1,5	10,4	0,36	0,13	3,4	6,65	3,05	1,11
	Осень 2013 г.	1,55	8,76	0,62	0,08	3,0	7,9	4,0	1,03
	Осень 2014 г.	1,15	7,2	0,38	0,16	2,71	5,0	2,15	0,62
	Осень 2015 г.	0,4	0,77	0,44	0,13	0,74	26,2	1,98	0,64

### Эффективность фосфогипса при внесении его под картофель

Выявлена высокая эффективность ФГ на урожайность картофеля. В 1-й год опыта (2013 г.) растения картофеля развивались хорошо, однако, избыточное увлажнение приводило к задержке созревания клубней и поражённости картофеля болезнями, что и определило формирования урожайности (табл. 10). Урожайность картофеля в фоновом варианте составила 25,7 т/га, применение ФГ способствовало повышению урожая клубней до 29,5-34,5 т/га, прибавка была адекватно возрастающим дозам ФГ: 3,8 т/га, или 14,8%, 5,6 т/га, или 21,8%, 8,8 т/га, или 34,2% и 7,3 т/га, или 28,4%. Максимальная урожайность получена в условиях применения 1,5 т/га ФГ – 34,5 т/га, прибавка к фону составила 8,8 т/га, или 34,2% (табл. 10).

В экстремальных по влажности условиях 2015 года в последействии ФГ выявлены существенные различия по продуктивности картофеля. В фоновом варианте урожай клубней составил 28,9 т/га, в последействии возрастающих доз ФГ

урожайность увеличивалась до 32,0-34,6 т/га, прибавка составила соответственно дозам ФГ 3,1 т/га или 10,7%, 5,7 т/га, или 19,7%, 4,7 т/га, или 16,3% и 3,6 т/га, или 12,5% (табл. 11).

Таблица 10. Влияние фосфогипса на формирование урожая и товарности клубней картофеля (2013)

Доза ФГ, т/га	Урожай клубней, т/га	Прибавка урожая		Товарность, %
		т/га	%	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> –фон	25,7	-	-	78,2
Фон +0,5 т/га ФГ	29,5	3,8	14,8	89,1
Фон +1,0 т/га ФГ	31,3	5,6	21,8	88,5
Фон +1,5 т/га ФГ	34,5	8,8	34,2	87,8
Фон + 3,0 т/га ФГ	33,0	7,3	28,4	86,3
НСР <sub>05</sub> , т/га	3,0			-

В 2015 году наибольшая урожайность сформировалась при внесении ФГ в дозе 1,0 т/га – 34,6 т/га, прибавка к фону составила 5,7 т/га, или 19,7%, дальнейшее увеличение дозы мелиоранта не обеспечило адекватного роста урожая клубней: при внесении фосфогипса в дозе 1,5 т/га прибавка составила 4,7 т/га, или 16,3%, на фоне 3,0 т/га ФГ – 3,6 т/га, или 12,5%. Прибавка урожая при максимальной дозе ФГ 3,0 т/га была сравнима с дозой 0,5 т/га (табл. 11). Выявлено также положительное влияние ФГ на товарность клубней: в фоновом варианте доля товарных клубней (>40 мм в диаметре) составила 84,8%, при внесении в возрастающих дозах ФГ, соответственно, 88,2-89,9%.

Таблица 11. Урожайность и товарность клубней картофеля, 2015 год

Доза ФГ, т/га	Урожай, т/га	Прибавка урожая		Товарность, %
		т/га	%	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>180</sub> –фон	28,9	-	-	84,8
Фон +0,5 т/га ФГ	32,0	3,1	10,7	89,4
Фон +1,0 т/га ФГ	34,6	5,7	19,7	88,2
Фон +1,5 т/га ФГ	33,6	4,7	16,3	89,9
Фон + 3,0 т/га ФГ	32,5	3,6	12,5	88,9
НСР <sub>05</sub> , т/га	3,0	3,0	-	-

Оценивая эффективность фосфогипса установлено, что в сумме за 3 года исследований применение ФГ в дозах 1,0, 1,5 и 3,0 т/га обеспечило увеличение продуктивности звена севооборота картофель – ячмень – картофель на 30,2-38,1 ц/га з. е., или на 19,3-24,4%.



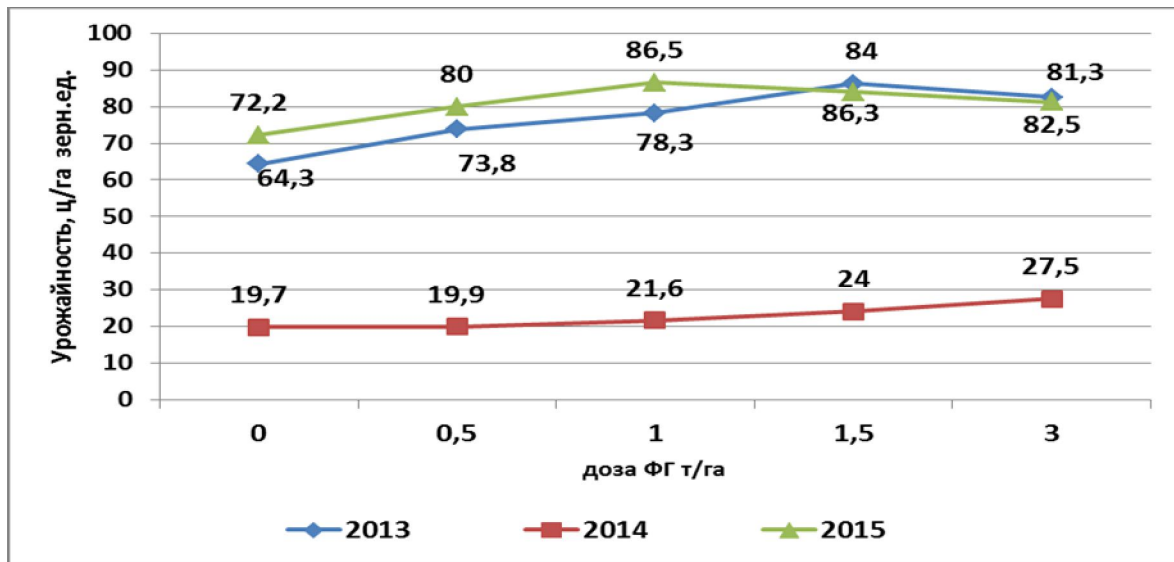


Рис. 1. Урожайность сельскохозяйственных культур

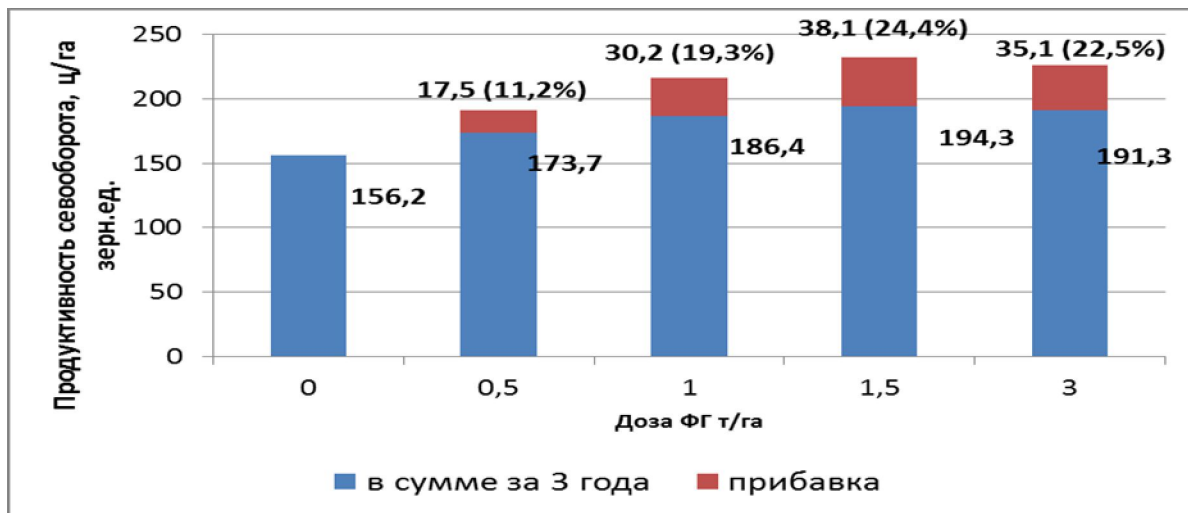


Рис. 2. Суммарная продуктивность звена севооборота

Наилучшим вариантом было внесение ФГ в дозе 1,5 т/га в сочетании с минеральными удобрениями. В этих условиях получена прибавка урожая 38,1 ц/га з. е. Снижение дозы ФГ до 1,0 т/га или повышение до 3,0 т/га было равнозначно, в этих вариантах получена прибавка урожая 30,2 и 35,1 ц/га з. е. соответственно. Отметим, что ни в одном варианте не установлено токсичного действия ФГ (рис. 2).

### Влияние фосфогипса на формирование качества клубней картофеля

В среднем за 2 года исследований выход крахмала в вариантах с внесением ФГ увеличился на 24-35%, а витамина С – на 22-29%. Наибольший выход крахмала 49,2 ц/га и витамина С – 6,6 кг/га получен при внесении ФГ в дозе 1,5 т/га (табл. 12). По содержанию сухого вещества существенной разницы не выявлено, однако в сравнении с контролем установлена достоверная прибавка в вариантах с ФГ в дозах 0,5-3,0 т/га. Внесение ФГ оказало достоверное влияние на содержание витамина С, наибольшие величины показателя отмечены в вариантах с вне-

сением 0,5-1,5 т/га. Применение ФГ не приводило к ухудшению качества клубней, в том числе не выявлено достоверного увеличения нитратов.

Таким образом, по сравнению с контролем в вариантах с внесением ФГ в возрастающих дозах выход сухого вещества увеличился на 29-38 %, крахмала – на 24-35%, витамина С – на 22-29%.

Таблица 12. Выход питательных веществ картофеля с единицы площади

Доза ФГ, т/га	Урожай товарной фракции, т/га		Выход					
			сухих веществ		крахмала		витамин С, кг/га	
	ц/га							
	2015 г.	в ср. за 2 года	2015 г.	в ср. за 2 года	2015 г	в ср. за 2 года	2015 г	в ср. за 2 года
0	24,5	22,3	56,4	50,0	42,4	36,5	6,6	5,1
0,5	28,6	27,4	66,9	64,7	50,3	45,2	7,9	6,2
1,0	30,5	29,1	69,8	67,0	52,8	47,3	8,3	6,4
1,5	30,2	30,2	68,8	69,1	51,3	49,2	8,0	6,6
3,0	28,9	28,7	65,3	67,0	48,6	46,2	7,3	6,0
НСР <sub>05</sub>			4,1		3,7		0,3	

В среднем за 2 года наилучшими кулинарными свойствами характеризовались клубни вариантов с внесением ФГ в дозах 1,0 и 1,5 т/га (баллы): хороший вкус (8), средняя развариваемость (5), отсутствие потемнения варёной (9) и небольшое потемнение мякоти сырой (5,7-6,0) и суммарная кулинарная оценка – 27,2-28,0 по сравнению с 25,8 на контроле (табл. 13). По результатам комплексной оценки влияния ФГ на формирование качества картофеля можно заключить, что наиболее благоприятными являются условия, где вносили ФГ в дозах 1,0 и 1,5 т/га: хороший вкус (8 баллов), средняя развариваемость (5 баллов), отсутствие потемнения вареной мякоти (9 баллов) и небольшое потемнение сырой мякоти (5,7-6,0 баллов) – суммарная кулинарная оценка 27,2-28,0 баллов.

Таблица 13. Влияние фосфогипса на формирование кулинарных качеств картофеля

№ варианта опыта	Показатель, балл									
	Вкус вареного картофеля		Развариваемость		Потемнение мякоти				Суммарная кулинарная оценка	
					вареной		сырой			
	через 24 часа									
2015	Ср. за 2 года	2015	Ср. за 2 года	2015	Ср. за 2 года	2015	Ср. за 2 года	2015	Ср. за 2 года	
1	8,3	7,3	7	4	9	9	4	5,5	28,3	25,8
2	9	8	3	2	9	9	4,3	5	25,3	24,0
3	9	8	9	5	9	9	5,7	5,7	31,7	27,2
4	9	8	5	5	9	9	5,0	6	28,0	28,0
5	9	8	5	4	9	9	5,0	5,6	28,0	26,6

## Влияние фосфогипса на содержание стронция и тяжелых металлов в клубнях картофеля

Применение ФГ в 2013 году обусловило повышение содержания кальция в клубнях картофеля пропорционально возрастающим дозам на 22,0, 35,0, 63,0 и 78,0 мг/кг сухого вещества соответственно (табл. 14). Содержание Sr в фоновом варианте составляло 3,29 мг/кг. При внесении ФГ во 2-м и 3-м вариантах способствовало повышению массы товарных клубней, что обеспечило ростовое разбавление, в результате концентрация Sr снизилась до 2,59-2,94 мг/кг. Соотношение Ca/Sr составило 198 на фоне применения минеральных удобрений, 176 – при внесении ФГ в дозе 1 т/га и 312 – при внесении 3 т/га ФГ.

Таблица 14. Изменение содержания кальция и стронция в почве и клубнях картофеля при внесении фосфогипса в возрастающих дозах

Доза ФГ, т/га	2013 г.					2015 г.				
	Содержание в клубнях, мг/кг		Ca:Sr		КД*	Содержание в клубнях, мг/кг		Ca:Sr		КД
	Ca	Sr	клуб-ни	почва		Ca	Sr	клуб-ни	почва	
0	1145	3,29	348	198	1,76	1190	4,57	260	87	2,99
0,5	1167	2,94	397	-	-	1280	2,72	470	103	4,56
1,0	1180	2,59	456	176	2,59	1364	3,43	398	111	3,58
1,5	1208	3,50	345	-	-	1700	7,27	234	100	2,34
3,0	1223	3,66	334	312	1,08	1625	4,86	334	86	3,88
НСР <sub>05</sub>	23	0,62				37	0,93			

\*Примечание: КД – коэффициент дискриминации ( $KD = [Ca/Sr \text{ клубни}] : [Ca/Sr \text{ почва}]$ )

На 2-й год возделывания картофеля соотношение Ca:Sr в почве составило 87 на контроле и 86 в варианте с максимальной дозой ФГ. Содержание Sr в клубнях в вариантах с внесением ФГ в дозах 1,5 и 3,0 т/га определялось на уровне 3,5-3,66 мг/кг, что существенно выше, чем в фоновом варианте и при внесении низких доз ФГ – 0,5-1,0 т/га. Одновременно возрастало содержание кальция в продукции, в связи с этим соотношение Ca:Sr в этих вариантах было достаточно широким - 345 и 334, что характеризует продукцию как экологически и гигиенически безопасную (см. табл.14).

Для оценки качества картофеля был произведен расчёт коэффициента дискриминации ( $KD = [Ca/Sr \text{ клубни}] : [Ca/Sr \text{ почва}]$ ). Независимо от сорта картофеля, во всех вариантах опыта наблюдалась дискриминация стронция кальцием: КД = 1,08-4,56. В фоновом варианте в клубнях КД = 2,99, что означает дискриминацию стронция, в вариантах с внесением ФГ в дозах 0,5 и 1,0 т/га КД=3,58-4,56 – сильная дискриминация стронция, в дозах 1,5 и 3,0 т/га КД=2,2-3,88 – также свидетельствует о дискриминации стронция.

Во всех вариантах опыта превышения МДУ ТМ не выявлено, содержание Cd в клубнях на контроле было 0,022 мг/кг, при внесении низких доз ФГ не выявлено изменения содержания Cd, а на фоне доз ФГ 1,5-3,0 т/га установлено увеличение содержания Cd до 0,027-0,028 мг/кг. Однако эти величины значи-

тельно ниже МДУ и разница не достоверна (табл. 15). Содержание Cu в клубнях колебалось от 0,69 до 0,87 мг/кг сырой массы картофеля, что в 6-7 раз меньше МДУ по меди. Содержание Zn в клубнях с возрастанием доз ФГ увеличивалось от 6,74 до 9,21 мг/кг сырой массы, что на 8-33% меньше МДУ. Наибольшее содержание марганца отмечено в клубнях в фоновом варианте – 3,14 мг/кг. Внесение ФГ, как кальцийсодержащего удобрения, вероятно, обусловило проявление антагонизма между кальцием и марганцем, вследствие чего поступление в клубни последнего значительно снизилось и определялось в зависимости от дозы ФГ на уровне 1,23-1,62 мг/кг, что практически в 2 и более раз меньше в сравнении с фоновым вариантом.

Таблица 15. Влияние фосфогипса на содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля

№ варианта опыта	Содержание, мг/кг сырой массы клубней									
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Mn	Co	Hg	As
1	0,72	6,74	0,022	0,17	0,52	0,65	3,14	0,11	<0.01	<0.2
2	0,79	9,3	0,022	0,9	0,61	0,57	1,50	0,12	<0.01	<0.2
3	0,87	8,23	0,027	0,19	0,79	0,58	1,28	0,17	<0.01	<0.2
4	0,74	7,22	0,028	0,12	0,66	0,45	1,23	0,14	<0.01	<0.2
5	0,69	9,21	0,028	0,11	0,74	0,56	1,62	0,10	<0.01	<0.2

На концентрацию никеля, хрома и кобальта в клубнях картофеля внесение ФГ достоверного влияния не оказало. Концентрация свинца в клубнях определялась на уровне 0,11-0,19 мг/кг, что в 2,6-4,5 раза меньше МДУ. Анализ качества клубней в 2015 году на 3-й год последствий ФГ показал, что даже на фоне дозы 3,0 т/га содержание тяжелых металлов не превышало МДУ ТМ для картофеля.

Таким образом, применение в системе удобрения картофеля фосфогипса в возрастающих дозах обеспечило получение экологически безопасной продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим требованиям, накопления тяжелых металлов в клубнях сверх установленных норм не обнаружено.

### Распространенность болезней на клубнях картофеля

Анализ клубней показал, что в фоновом варианте выявлена наибольшая распространенность болезней: фитофтороз – 3,6%, парша обыкновенная – 2,9%, ризоктониоз – 3,7%, по сравнению с соответствующими показателями в вариантах с внесением ФГ в возрастающих дозах 0,5 т/га - 2,1%, 0,9 и 1,7% соответственно, 1,0 т/га – 1,3, 0,5 и 0,2%.

В вариантах с внесением ФГ 1,5 и 3,0 т/га отмечено отсутствие ризоктониоза и наименьшее число клубней, пораженных фитофторозом (табл.16). Внесение ФГ способствовало улучшению всех показателей. В среднем за 2013- 2015 г. ис-

следований выявлено положительное влияние ФГ на устойчивость картофеля к грибным болезням – фитофторозу, парше обыкновенной и ризоктониозу.

Таблица 16. Влияние фосфогипса на заболеваемость клубней картофеля, (%)

Доза ФГ, т/га	фитофтороз			парша обыкновенная			ризоктониоз		
	2013	2015	сред- нее	2013	2015	сред- нее	2013	2015	сред- нее
0	1,9	5,2	3,6	3,8	2,1	2,9	1,5	5,9	3,7
0,5	1,2	3,1	2,1	1,2	0,7	0,9	0	3,3	1,7
1,0	0	2,7	1,3	1,0	0	0,5	0	0,3	0,2
1,5	0	1,3	0,7	2,3	0,6	1,5	0	0	0
3,0	0,9	0,5	0,7	1,2	1,5	1,3	0	0	0
НСР <sub>05</sub>	0,8	1,1	0,9	1,3	0,7	1,0	0,7	1,3	1,0

### Влияние фосфогипса на формирование урожая и качества зерна ярового ячменя

Учёт урожая зерна ячменя показал, что применение ФГ оказало существенное влияние на его формирование (табл.17).

Таблица 17. Влияние фосфогипса на формирование продуктивности ячменя

Варианты опыта	Показатели				
	Урожай зерна	Масса соломы	Зерно: солома	Масса 1000 зерен, г	Содержание белка, %
Н <sub>90</sub> Р <sub>90</sub> К <sub>90</sub> - Фон	19,7	40,6	1:2,06	43,8	14,4
Фон+ ФГ, 0,5т/га	19,9	44,0	1:2,21	45,2	14,5
Фон+ ФГ, 1,0 т/га	21,6	47,7	1:2,21	43,6	14,9
Фон+ ФГ, 1,5 т/га	24,0	52,3	1:2,18	43,3	14,7
Фон+ ФГ, 3,0 т/га	27,5	60,0	1:2,18	45,6	15,1
НСР <sub>05</sub>	1,3	1,7		0,9	0,6

В контрольном варианте урожайность ячменя составила 19,7 ц/га, биомасса соломы - 40,6 ц/га, при этом продукция характеризовалась относительно низкими показателями массы 1000 зерен и содержания белка. В варианте с внесением 0,5 т/га ФГ не выявлено преимуществ в формировании урожайности перед контролем, однако масса 1000 зерен была выше. При внесении 1,0-3,0 т/га ФГ (3-5 вар.) отмечено достоверное увеличение урожая, прибавка в зависимости от дозы ФГ составила от 1,9 ц/га, или 9,6% до 7,8 ц/га, или 39,6%, масса 1000 зерен увеличилась с 43,8 до 45,6 г, содержание белка в зерне с 14,4 до 15,1%. Наилучшие показатели получены в варианте с внесением ФГ в дозе 3,0 т/га: урожай зерна 27,5 ц/га, прибавка 7,8 ц/га, или 39,6%.

Увеличение содержания кальция в зерне было пропорционально возрастающим дозам ФГ и составляло 867 мг/кг, 900, 918 и 923 мг/кг, прирост по от-

ношению к контролю составил +22, +55, +73 и +78 мг/кг. Одновременно увеличилось содержание Sr в зерне до 0,95, 1,28, 1,3 и 1,3 мг/кг (табл. 18).

Таблица 18. Содержание стронция и кальция в зерне ячменя (2014 г.)

Варианты опыта	Содержание в зерне, мг/кг		Ca /Sr зерно	Ca /Sr почва	КД
	Ca	Sr			
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> - Фон	845	0,83	1018	97	10,49
Фон+ ФГ, 0,5т/га	867	0,95	913	108	8,45
Фон+ ФГ, 1,0 т/га	900	1,28	703	117	6,01
Фон+ ФГ, 1,5 т/га	918	1,30	706	104	6,79
Фон+ ФГ, 3,0 т/га	923	1,30	710	97	7,32
НСР05	34	0,15			

В зависимости от дозы ФГ (0,5-3,0 т/га) величина КД составил 6,01-8,45. Зерно характеризовалось преимущественной концентрацией кальция (КД >1).

Определение содержания тяжелых металлов в зерне ячменя также не выявило превышения допустимых норм (табл.19). Включение ФГ в систему питания ячменя, обеспечило не только повышение урожайности, но и получение продукции, соответствующей по качеству санитарно-гигиеническим нормам.

Таблица 19. Содержание тяжелых металлов в зерне ячменя, мг/кг

№ варианта опыта	Содержание, мг/кг в зерне ячменя								
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Mn	Co	As
1	3,04	23,8	0,094	0,23	0,22	0,95	1,50	0,87	н.п.о.
2	3,43	22,8	0,087	0,18	0,19	1,37	1,54	0,81	н.п.о.
3	2,14	21,7	0,072	0,22	0,18	1,52	1,43	0,74	н.п.о.
4	2,18	19,0	0,078	0,23	0,22	0,78	1,24	0,79	н.п.о.
5	3,0	22,0	0,068	0,20	0,42	1,28	1,48	0,88	н.п.о.
НСР05	0,13	1,14	0,009	0,05	0,09	0,11	0,14	0,10	

### Выводы

1. Результаты исследований позволяют оценить ФГ (АО «Апатит») как ценное кальций-фосфорно-серное удобрение, способствующее повышению урожайности картофеля в зависимости от дозы фосфогипса на 14,8-34,6%, прибавка к фону N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>180</sub> составила 10,7-19,7%. Наилучшие показатели получены на фоне доз фосфогипса 1,0-1,5 т/га.
2. Применение ФГ обеспечило увеличение урожая зерна ячменя в зависимости от дозы с 19,7 до 21,6-27,5 ц/га, или на 9,6-39,6% без нарушения экологической безопасности. Наибольшие показатели получены при внесении фосфогипса в дозе 3,0 т/га.
3. Внесение ФГ в дозах 1,0, 1,5 и 3,0 т/га способствовало увеличению продуктивности звена севооборота (картофель-ячмень-картофель) в сумме за три года на 30,2-38,1 ц/га з. е., или на 19,3-24,4% в зависимости от дозы ФГ.

4. Внесение ФГ в дозах 0,5, 1,0, 1,5 и 3,0 т/га способствует повышению плодородия дерново-подзолистой почвы, увеличивается сумма обменных оснований на 7,3, 17,7, 18,5 и 41,4 мг-экв./100 г почвы соответственно, подвижного фосфора на 49-62 мг/кг и обменного калия на 32-51 мг/кг. Подкисляющего действия фосфогипса при внесении его в почву не установлено.
5. ФГ является полноценным серным удобрением, способствующим увеличению содержания серы в почве на 11,5, 19,2, 30,3 и 40,0 мг/кг соответственно возрастающим дозам от 0,5 до 3,0 т/га.
6. Внесение ФГ в дозах, не превышающих 3,0 т/га, как при прямом действии, так и в последствии, не приводит к загрязнению почвы тяжелыми металлами, как валовое содержание, так и концентрация подвижной формы тяжелых металлов не превышали допустимых норм (СанПиН 42-128-4433-87 и ГН 2.1.7.2041-06).
7. Внесение фосфогипса в почву в дозах 0,5-3,0 т/га обеспечивает получение качественной продукции (клубни картофеля и зерно ячменя), соответствующей санитарно-гигиеническим нормам, не выявлено накопления тяжелых металлов выше установленных норм.
8. Коэффициент дискриминации ( $K_D = [Ca/Sr \text{ клубни или зерно}] : [Ca/Sr \text{ почва}]$ ) в зависимости от дозы ФГ составляет 1,08-2,59 для картофеля и 6,01-8,45 для зерна ячменя, что характеризует качество продукции, как экологически безопасным и приоритетным является поглощение кальция.
9. Внесение ФГ не снижает качества продукции: в клубнях картофеля содержание сухого вещества 22,6-23,4%, крахмала 16,8-17,6%, витамина С 25,4-27,7 мг%, что практически не отличается от контроля, однако кулинарные качества клубней достоверно улучшаются при внесении фосфогипса в дозе 1,0-1,5 т/га. По уровню содержания нитратов в клубнях, продукция отвечала требованиям СанПиН 2.3.2.560-96 и СанПиН 2.3.2.1078-01.
10. Использование фосфогипса в системе удобрения способствует повышению устойчивости картофеля к грибным болезням: фитофторозу, парше обыкновенной и ризоктониозу.

### **Предложения производству**

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать следующие мероприятия:

1. С целью стабилизации плодородия дерново-подзолистых почв внесение фосфогипса в условиях полевого севооборота с картофелем следует проводить в дозе, не превышающей 1,5 т/га, лучше с осени или в конце лета.
2. Фосфогипс является эффективным мелиорантом и кальций-фосфорно-серным минеральным удобрением на дерново-подзолистых почвах Нечерноземной зоны. При внесении фосфогипса дозы фосфорных удобрений в последующие 3-4 года могут быть снижены не менее чем на 20%. Высокая агроэкономическая эффективность применения фосфогипса обусловлена содержанием в его составе 1,5-3,0%  $P_2O_5$  в усвояемой форме, до 21% серы, что в значительной

степени возмещает затраты сельского хозяйства на его транспортирование и внесение в почву.

### Список опубликованных работ

1. Косодуров, К.С. Эффективность применения фосфогипса в севообороте с картофелем/ **К.С. Косодуров**, Л.С. Федотова, Н.И. Аканова, Е.В. Князева, Н.А. Тимошина//Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. - №3(363). - С. 18-24.
2. Косодуров, К.С. Эффективность применения фосфогипса в полевом севообороте с ячменем/ **К.С. Косодуров**, Л.С. Федотова, Н.И. Аканова, Е.В. Князева, Н.А. Тимошина //Плодородие. - 2018. - №3. - С. 39-42.
3. Федотова, Л.С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистой почве в севообороте с картофелем/ Л.С. Федотова, Н.И. Аканова, **К.С. Косодуров** //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. - 2019.- №2.- С.41-50.
4. Косодуров, К.С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистых почвах/ **К.С. Косодуров**, М.С. Васильева //Сурский Вестник. Научный электронный журнал. 2018.- №2 (2).- С. 10-13. <https://surskiy-vestnik.pgau.ru>
5. Косодуров, К.С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистых почвах/ **К.С.Косодуров**, Н.И. Аканова //В сб. матер. V Международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию образования Майкопского государственного технологического университета «Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы», 2018. - С. 77-83.
6. Кучмасов, Д.Ю. / Д.Ю. Кучмасов, Б.В. Левин, А.А. Литус, И.С. Котельникова, **К.С. Косодуров**, Г.А. Макаров Эффективное и разностороннее применение фосфогипса в сельском хозяйстве//Сб. ст., конференции, посвященной 50-летию ВНИИ орошаемого земледелия «Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства». - Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. - С.109-124.