

Агроэкологическая оценка применения фосфогипса в специализированном севообороте с картофелем на дерново-подзолистой почве

Федотова Л.С., Князева Е.В. и Тимошина Н.А.

В стационарном полевом опыте (2013-2015 гг.) продемонстрировано положительное влияние фосфогипса на плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы. Не отмечено негативного влияния данного мелиоранта на кислотность почвы, а также на эколого-токсикологические показатели почвы и растений. По комплексу хозяйственно-ценных признаков установлен наилучший вариант – внесение фосфогипса в дозе 1.5 т/га совместно с NPK-удобрениями.

Экстенсивное использование пашни в Нечерноземной зоне без надлежащего применения минеральных и органических удобрений ведет к получению низких урожаев картофеля и существенному снижению плодородия дерново-подзолистых почв, особенно легкого гранулометрического состава. В среднем с 1 т клубней картофеля с учетом побочной продукции (ботвы) из почвы выносятся: 5 кг N, 2 кг P₂O₅, 10 кг K₂O, 3.8 кг CaO, 1.6 кг MgO и 0.5 кг S. Так, при урожае клубней 30 т/га с учетом побочной продукции из почвы выносятся 140-150 кг N/га, 40-60 кг P₂O₅/га, 250-300 кг K₂O/га, 80-90 кг CaO/га, 40-50 кг MgO/га и 10-15 кг S/га (Федотова и Зеленев, 2007). Повышенная потребность картофеля в элементах питания объясняется биологическими особенностями данной культуры – накоплением в растительных органах значительных количеств минеральных элементов и относительно слабым развитием корневой системы в первый период вегетации.

Для получения высоких урожаев картофеля показатели плодородия дерново-подзолистых почв должны находиться в следующем оптимальном диапазоне: гумус – 2.5-3.5%, рН_{KCl} – 5.5-6.0, гидролитическая кислотность – 1-3 ммоль (экв)/100 г почвы, подвижный фосфор (метод Кирсанова) – 300-400 мг P₂O₅/кг почвы, подвижный калий (метод Кирсанова) – 300-400 мг K₂O/кг почвы, обменный магний – более 250-300 мг MgO/кг почвы (Федотова и Зеленев, 2007). Подобные уровни плодородия достигаются за счет комплексного окультуривания дерново-подзолистых почв, включая интенсивное применение минеральных и органических удобрений на фоне опережающего известкования.

Как известно, применение серосодержащих удобрений при недостаточной обеспеченности почв доступной растениям серой повышает урожайность картофеля, товарность и качество продукции – содержание сухих веществ, крахмала, витамина С, а также улучшает кулинарные характеристики и снижает общие потери при хранении (Смирнов, 1985; Бусыгин, 1986).

В Нечерноземной зоне рекомендуется применение такого мелиоранта как фосфогипс (ФГ) совместно с фосфоритной мукой, а также с известковыми материалами (Аканова, 2013). Целью настоящей работы было изучение влияния ФГ на плодородие дерново-подзолистой почвы, эколого-токсикологи-

ческие показатели почвы и растений, а также на продуктивность картофеля и его качество.

Стационарный полевой опыт был проведен в 2013-2015 гг. на территории научно-экспериментальной базы «Коренево» ВНИИ картофельного хозяйства в Люберецком районе Московской области. Изучалось прямое действие (2013 г.) и последствие (2014 и 2015 гг.) возрастающих доз ФГ – 0.5, 1.0, 1.5 и 3.0 т/га на продуктивность культур звена картофельного севооборота: картофель (2013 г.) – яровой ячмень (2014 г.) – картофель (2015 г.). ФГ вносился весной 2013 г. под культивацию. Повторность опыта – трехкратная, площадь делянок – 60 м². Схема посадки картофеля – 75 x 30 см (в предварительно нарезанные гребни). Использовалась стандартная агротехника выращивания. В опыте возделывались сорта картофеля Любава (2013 г.) и Гала (2015 г.), а также сорт ярового ячменя Московский 86. Минеральные удобрения вносились ежегодно под весеннюю культивацию почвы: N90P90K180 – под картофель и N90P90K90 – под ячмень.

ФГ для сельского хозяйства выпускается по ТУ 113-08-418-94 и представляет собой побочный продукт производства экстракционной фосфорной кислоты, получаемой при сернокислотном разложении фосфатного сырья. Как видно из табл. 1, ФГ содержит не менее 21% кальция (Ca), 17% серы (S) и до 1% общего фосфора (P₂O₅), то есть представляет собой агрохимически ценный продукт.

В данном исследовании определялись следующие агрохимические показатели почвенного плодородия для слоя 0-20 см, согласно гостированным методикам: рН_{KCl}, гумус (метод Тюрина), подвижные фосфор и калий (метод Кирсанова), гидролитиче-

Таблица 1. Качественный и количественный состав «Фосфогипса для сельского хозяйства» (ТУ 113-08-418-94).

Компонент	Массовая доля, %	
	1-й сорт	2-й сорт
Гипс (CaSO ₄ ·2H ₂ O), не менее	92	
Ca, не менее	21*	
S, не менее	17*	
P (общий), не более (P ₂ O ₅)	1*	
F (водорастворимый), не более	0.4	0.3
H ₂ O (гигроскопическая), не более	6	20
* Данные показатели не входят в таблицу обязательных требований ТУ 113-08-418-94.		

Таблица 2. Исходная агрохимическая характеристика почвы (0-20 см, весна 2013 г.).

pH _{KCl}	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Минеральный N	Подвижные			Степень насыщенности основаниями	Гумус
				P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	S		
				мг/кг почвы				
4.71	3.27	3.11	24.5	315	97	12.7	49	1.91

Таблица 3. Изменение кислотно-основных свойств почвы при внесении ФГ.

Доза ФГ, т/га	pH _{KCl}		Гидролитическая кислотность		Сумма обменных оснований		Степень насыщенности основаниями, %	
	ммоль (экв)/100 г почвы		ммоль (экв)/100 г почвы		ммоль (экв)/100 г почвы		%	
	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.
0	4.69	4.63	3.97	3.73	3.05	2.90	43	44
0.5	4.73	4.51	3.91	4.43	3.07	2.57	44	37
1.0	4.67	4.47	4.08	4.56	3.22	2.70	44	37
1.5	4.73	4.58	3.97	4.13	3.15	2.80	44	40
3.0	4.72	4.48	3.91	4.17	3.07	2.95	44	41
НСР _{0.05}	0.25		0.28		0.43		5	

Примечание (здесь и далее): фон – N₉₀P₉₀K₁₈₀ под картофель и N₉₀P₉₀K₉₀ под яровой ячмень.

ская кислотность (метод Каппена), сумма обменных оснований (метод Каппена-Гильковица), обменные кальций и магний (вытяжка хлорида натрия), подвижная сера (вытяжка хлорида калия). Мониторинг агрохимических параметров почвы по вариантам опыта проводился весной и осенью – после уборки картофеля. Содержание тяжелых металлов (ТМ) в ФГ, почве и клубнях картофеля, а также определение удельной активности радионуклидов в ФГ проводилось ФГУ ЦАС «Владимирский». Для извлечения подвижных форм ТМ из почвы использовался ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4.8.

Изучались следующие биохимические показатели клубней картофеля (Методика физиолого-биохимических исследований ..., 1989): содержание крахмала и сухих веществ (весовой метод), витамина С (метод Мурри), нитратов (ион-селективный метод). Комплекс кулинарных качеств картофеля оценивался по 9-ти бальной шкале, включая потемнение сырой мякоти, потемнение мякоти после варки и вкус вареного картофеля (Пшеченков и др., 2008). Учет пораженности клубней грибными болезнями проводили через месяц после уборки по 5-ти бальной шкале (Воловик и др., 1995).

Согласно исходной агрохимической характеристике, супесчаная дерново-подзолистая почва опытного участка характеризовалась удовлетворительной гумусированностью, высокой обменной и

гидролитической кислотностью, низкой суммой обменных оснований и степенью насыщенности ими, а также очень высокой обеспеченностью подвижным фосфором, средней – подвижным калием и высокой – подвижной серой (табл. 2).

Применение ФГ привело к изменениям некоторых кислотно-основных свойств почвы (табл. 3). В целом, не отмечено статистически достоверного влияния данного мелиоранта на обменную кислотность почвы (pH_{KCl}). К осени третьего года наблюдений (2015 г.) в вариантах с внесением минеральных удобрений в сочетании с малыми дозами ФГ (0.5 и 1.0 т/га) наблюдалось достоверное повышение гидролитической кислотности на 0.48-0.52 ммоль (экв)/100 г почвы и снижение суммы обменных оснований на 0.50-0.52 ммоль (экв)/100 г почвы. В вариантах с высокими дозами ФГ (1.5-3.0 т/га) величина гидролитической кислотности и сумма обменных оснований достоверно не изменялись. Таким образом, подкисляющего действия при внесении высоких доз ФГ в кислую дерново-подзолистую почву в течение трех лет не наблюдалось.

ФГ повышал содержание доступных форм питательных элементов в почве (табл. 5). При этом максимальные значения прироста подвижного фосфора в почве 72 и 40 мг/кг соответствовали вариантам с последствием максимальных доз ФГ (1.5 и 3.0 т/га). Следует отметить, что в составе ФГ в почву было

Таблица 4. Изменение содержания в почве подвижных форм фосфора, калия, серы и стронция (мг/кг почвы) при внесении ФГ.

Доза ФГ, т/га	Подвижный P (P ₂ O ₅)		Подвижный K (K ₂ O)		Подвижная сера (S)		Подвижный стронций (Sr), осень		
	ммоль (экв)/100 г почвы		ммоль (экв)/100 г почвы		ммоль (экв)/100 г почвы		%		
	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	Весна 2013 г.	Осень 2015 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
0	308	334	97	124	12.1	3.5	1.46	3.58	3.60
0.5	324	354	107	124	13.1	22.8	-	4.15	4.05
1.0	321	358	98	123	14.1	31.6	2.58	4.46	4.45
1.5	307	379	93	118	10.6	37.1	-	5.54	5.55
3.0	317	357	91	119	13.7	46.6	2.12	7.66	7.72
НСР _{0.05}	19		20		9.3		1.70		

Таблица 5. Изменение содержания в почве обменных форм кальция и магния (мг/кг почвы) при внесении ФГ.

Доза ФГ, т/га	CaO				MgO				CaO : MgO			
	Весна 2013 г.	Осень			Весна 2013 г.	Осень			Весна 2013 г.	Осень		
		2013 г.	2014 г.	2015 г.		2013 г.	2014 г.	2015 г.		2013 г.	2014 г.	2015 г.
0	461	404	349	313	131	116	103	95	3.51	3.48	3.36	3.30
0.5	511	584	446	417	151	124	116	103	3.38	4.71	3.84	4.05
1.0	465	636	520	493	139	129	114	102	3.35	4.93	4.56	4.83
1.5	522	707	575	555	137	125	115	107	3.81	5.66	5.00	5.19
3.0	511	925	746	662	130	130	114	103	3.93	7.12	6.54	6.43
НСР _{0.05}		65				38						

дополнительно внесено до 30 кг P₂O₅/га (3 т ФГ/га), исходя из содержания общих фосфатов в мелиоранте, однако, положительный эффект от действия ФГ объясняется, скорее всего, взаимодействием в почве элементов, входящих в его состав: кальция, серы и фосфора. На третий год проведения опыта отмечено существенное повышение содержания подвижного калия в пахотном слое почвы по сравнению с исходным значением до закладки опыта весной 2013 г.: в контрольном (фоновом) варианте с внесением только НРК-удобрений – на 27 мг/кг, и в вариантах последействия высоких доз ФГ (от 1.0 до 3.0 т/га) – на 25-28 мг/кг.

При ежегодном внесении только НРК-удобрений в контрольном варианте к осени 2013 г. содержание подвижной серы снизилось на 4.3 мг/кг (-36%), к осени 2014 г. – на 6.2 мг/кг (-51%), к осени 2015 г. – на 8.6 мг/кг или на 71% к исходному значению. Ежегодное снижение запасов подвижной серы в пахотном слое почвы в контрольном варианте по годам составило: в 2013 г. – 12.9 кг/га, в 2014 г. – 5.7 кг/га и в 2015 г. – 7.2 кг/га или в среднем за год – около 8.6 кг на 1 гектар. В то время как ФГ в среднем за три года обогащал почву этим элементом в соответствии с внесенными дозами: 0.5 т/га ФГ – +35.1 кг S/га, 1.0 т/га ФГ – +57.6 кг S/га, 1.5 т/га ФГ – +79.8 кг S/га и 3.0 т/га ФГ – +105.6 кг S/га в год. Благодаря высокому содержанию серы в ФГ его использование привело к значительному повышению содержания подвижной серы в почве к концу вегетации картофеля в 2015 г. соответственно внесенным дозам мелиоранта – на 9.7, 17.5, 26.5 и 32.9 мг S/кг по сравнению с исходными значениями.

Содержание обменных форм кальция и магния в почве весной 2013 г. до внесения ФГ и удобрений колебалось в диапазонах 461-522 мг CaO/кг почвы и 130-151 мг MgO/кг почвы (табл. 5). Ежегодное снижение запасов обменного кальция в пахотном слое почвы в контрольном варианте по годам составило: в 2013 г. – 171 кг/га, в 2014 г. – 164 кг/га, в 2015 г. – 109 кг/га или в среднем за год – около 148 кг/га, что согласуется с проведенными ранее исследованиями (Федотова, 2004). Во все годы наблюдений присутствие ФГ в почве в количестве более 0.5 т/га обеспечило повышенное содержание обменного кальция по сравнению с исходными значениями. Осенью 2015 г. в почве варианта последействия максимальной дозы ФГ (3.0 т/га) содержание обменного кальция было выше на 151 мг/кг почвы по сравнению со значением весны 2013 г.

Если сравнивать содержание обменного кальция в почве осенью 2015 г. в вариантах с последействием ФГ с уровнем контрольного варианта, то отмечено существенное повышение содержания обменного кальция соответственно внесенным дозам – на 104, 180, 242 и 349 мг/кг почвы.

Заметное обеднение почвы обменным магнием к осени 2015 г. отмечено только в трех вариантах: контроль и последействие малых доз ФГ (0.5 и 1.0 т/га) – на 36-48 мг/кг почвы. Ежегодное снижение запасов обменного магния в пахотном слое почвы в контрольном варианте по годам составило: в 2013 г. – 45 кг/га, в 2014 г. – 39 кг/га, в 2015 г. – 24 кг/га или в среднем за год – около 36 кг/га.

Стронций, будучи близким к кальцию по химическим свойствам, резко отличается от него по своему биологическому действию. Избыточное содержание этого элемента в почвах, водах и продуктах питания вызывает «уровскую болезнь» или «стронциевый рахит» у человека и животных (по названию реки Уров в Восточном Забайкалье) – поражение костной ткани, печени и мозга, деформацию суставов, задержку роста и некоторые другие изменения. Поэтому важно рассмотреть динамику содержания подвижного (обменного) стронция в почве, а также динамику отношения Ca/Sr, поскольку данный показатель служит основным критерием при оценке возможного негативного влияния стронция на здоровье человека. По В.Г. Хоботьеву (1960), в питьевой воде и пищевых продуктах в «здоровой» местности величина отношения Ca/Sr в источниках водоснабжения составляет 130-920, в «больной» – находится в диапазоне 15-160. В работе В.В. Ковальского и Е.Ф. Засориной (1965) указывается ориентировочное пороговое значение величины отношения Ca/Sr, равное 140 в пищевом рационе.

Содержание обменного стронция в почве осенью 2013 г. в вариантах с внесением ФГ было в 1.4-1.7 раза выше по сравнению с контрольным вариантом, однако при этом не было выявлено четкой зависимости между приростом рассматриваемого показателя и дозой вносимого ФГ (табл. 4). Отношение Ca/Sr в почве осенью 2013 г. составило 198 при применении одних минеральных удобрений, 176 – при внесении 1 т ФГ/га и 312 – при внесении 3 т ФГ/га (табл. 6). На второй год последействия ФГ (осень 2014 г.) отношение Ca/Sr снизилось и в контрольном варианте составляло 97, в вариантах последействия 0.5, 1.0 и 1.5 т ФГ/га – 104-117, а в варианте с максимальной дозой 3.0 т ФГ/га было на уровне контроля – 97. На

Таблица 6. Влияние прямого действия (2013 г.) и последствия (2015 г.) различных доз ФГ на поступление кальция и стронция в клубни картофеля (мг/кг).

Доза ФГ, т/га	2013 г.					2015 г.				
	Клубни			Ca/Sr в почве	КД	Клубни			Ca/Sr в почве	КД
	Ca	Sr	Ca/Sr			Ca	Sr	Ca/Sr		
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 _{0.05}	23	0.62				37	0.93			

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

третий год последствия ФГ (осень 2015 г.) отношение Ca/Sr в почве колебалось от 87 в контрольном варианте и 86 в варианте с последствием максимальной дозы до 111 в варианте с последствием 1.0 т ФГ/га.

Снижение соотношения Ca/Sr в осенних образцах почвы 2014 и 2015 гг. объясняется потерями кальция из почвы с инфильтрационными водами. Это отношение оставалось более безопасным в вариантах с последствием 0.5-1.5 т ФГ/га, чем в вариантах с применением одних НРК-удобрений и сочетанием НРК с высокой дозой ФГ (3.0 т/га).

В результате проведенного химического анализа

Таблица 7. Динамика валового содержания ТМ в почве (мг/кг почвы).

Доза ФГ, т/га	ТМ	Весна 2013 г.	Осень 2013 г.	Осень 2014 г.	Осень 2015 г.
0	Cu	14.8	14.3	21.9	18.2
	Zn	56.9	54.5	32.1	47.0
	Pb	8.33	5.38	9.16	6.27
	Cd	0.38	0.28	0.35	0.37
	Ni	5.90	4.94	9.30	10.30
	Mn	161.2	122.0	220.9	222.0
	Hg	0.09	0.08	0.04	0.06
	As	1.70	1.50	1.35	1.78
	1.0	Cu	16.2	15.5	19.8
Zn		64.3	63.5	29.3	47.2
Pb		8.39	5.82	6.32	4.75
Cd		0.32	0.37	0.23	0.25
Ni		6.40	5.42	9.40	11.5
Mn		161.4	148.0	228.2	205.0
Hg		0.10	0.11	0.06	0.09
As		1.78	2.05	1.50	1.78
3.0		Cu	15.8	16.5	15.2
	Zn	59.2	61.9	17.0	40.0
	Pb	7.58	6.95	1.44	1.55
	Cd	0.28	0.42	0.42	0.42
	Ni	6.63	5.60	6.29	10.4
	Mn	175.3	180.0	184.5	171.0
	Hg	0.09	0.09	0.05	0.09
	As	1.60	2.05	1.50	2.0

Примечания:

1. вытяжка 1 М HNO₃;
2. ПДК (мг/кг почвы): Cu – 33.0, Zn – 55.0, Pb – 32.0, Cd – 0.5, Ni – 20.0, Mn – 1500, Hg – 2.1, As – 2.0.

ФГ были получены следующие уровни содержания ТМ в данном мелиоранте (мг/кг): Cu – 15.7, Mn – 14.1, Pb – 5.8, Zn – 4.6, Co – 3.2, Ni – 2.1, Cr – 1.6, Cd – 0.7, Hg – 0.04, а As не был обнаружен. Это очень незначительное содержание ТМ с учетом вносимых доз мелиоранта. Измерение удельной активности радионуклидов в ФГ показало, что она не превышает допустимых значений: ¹³⁷Cs < 3.7 Бк/кг, ⁹⁰Sr < 28.3 Бк/кг.

Анализ динамики содержания валовых и подвижных форм ТМ в почве с весны по осень показал, что содержание и валовых, и подвижных форм ТМ ва-

Таблица 8. Динамика содержания подвижных форм ТМ в почве (мг/кг почвы).

Доза ФГ, т/га	ТМ	Весна 2013 г.	Осень 2013 г.	Осень 2014 г.	Осень 2015 г.
0	Cu	2.00	1.72	1.10	0.28
	Zn	9.65	11.84	12.80	1.21
	Pb	0.38	0.38	0.70	0.62
	Cd	0.09	0.10	0.05	0.10
	Ni	3.80	3.57	1.70	0.30
	Mn	8.77	14.13	13.90	30.60
	Cr	1.75	2.90	1.58	1.55
	Co	0.85	0.96	0.39	0.41
	1.0	Cu	1.58	1.83	1.51
Zn		10.80	12.36	11.90	1.00
Pb		0.39	0.54	0.42	0.46
Cd		0.09	0.11	0.10	0.19
Ni		3.68	3.38	2.50	0.53
Mn		8.97	11.70	10.20	29.7
Cr		2.20	3.65	2.05	1.90
Co		0.85	0.99	0.53	0.50
3.0		Cu	1.50	1.55	1.15
	Zn	10.40	8.76	7.20	0.77
	Pb	0.36	0.62	0.38	0.44
	Cd	0.13	0.08	0.16	0.13
	Ni	3.40	3.00	2.71	0.74
	Mn	6.65	7.90	5.00	26.20
	Cr	3.05	4.00	2.15	1.98
	Co	1.11	1.03	0.62	0.64

Примечания:

1. извлечение ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4.8;
2. ПДК (мг/кг почвы): Cu – 3.00, Zn – 23.0, Pb – 6.00, Cd – 0.50, Ni – 4.00, Mn – 60-100, Cr – 6.00, Co – 5.00.

рировало по вариантам опыта в пределах установленных ПДК (табл. 7 и 8). По результатам первого года исследований (2013 г.) было установлено, что применение ФГ перед посадкой картофеля не привело к превышению нормативных ПДК валовых форм ТМ (СанПиН 42-128-4433-87; ГН 2.1.7.2041-46) в осенних образцах почвы, взятых с делянок во время уборки картофеля. На второй и третий год проведения опыта (осень 2014 г. и 2015 г.) в вариантах последствия различных доз ФГ наблюдалась тенденция снижения валового содержания многих тяжелых металлов: меди, цинка, свинца и марганца. Так, в 2014-2015 гг. в почве варианта только с внесением НРК-удобрений валовое содержание свинца составляло 7.72 мг/кг, а в варианте последствия максимальной дозы ФГ – 1.50 мг/кг. При этом валовое содержание цинка составило соответственно 39.6 и 28.5 мг/кг. Такое закономерное снижение наблюдалось по каждому перечисленному выше элементу, что объясняется действием ФГ как мелиоранта с высоким содержанием кальция. В этом проявляется агроэкологическое значение ФГ для окружающей среды.

Содержание подвижных форм ТМ в осенних образцах почвы 2015 г. по вариантам опытов с внесением 0, 1.0 и 3.0 т ФГ/га было в десятки раз ниже соответствующих ПДК подвижных форм металлов для почв сельскохозяйственного назначения (ГН 2.1.7.2041-46; ГН 2.1.7. 2042-46):

- Cu – от 0.28 до 0.40 мг/кг почвы (в 7.5-10.7 раз < ПДК);
- Zn – от 0.77 до 1.21 мг/кг почвы (в 19-30 раз < ПДК);
- Cd – от 0.10 до 0.19 мг/кг почвы (в 2.6-5.0 раз < ПДК);
- Pb – от 0.44 до 0.62 мг/кг почвы (в 9.7-13.6 раза < ПДК);
- Ni – от 0.30 до 0.74 мг/кг почвы (в 5.4-13.3 раза < ПДК);
- Cr – от 1.55 до 1.98 мг/кг почвы (в 3.0-3.9 раза < ПДК);
- Mn – от 26.2 до 30.6 мг/кг почвы (в 2.6-3.1 раза < ПДК);
- Co – от 0.41 до 0.64 мг/кг почвы (в 7.8-12.2 раза < ПДК).

Вегетационный период 2013 г. характеризовался нестабильными условиями по распределению осадков – засуха сменялась переувлажнением. В целом, гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) составил 1.64, то есть год был относительно благоприятным для картофеля (оптимальный диапазон – 1.4-1.6, среднемноголетняя величина – 1.29). Средняя температура воздуха за май-август 2014 г. составила 18.4°C, что на 1.9°C выше климатической нормы; осадков выпало 206 мм или 79% от нормы; ГТК составил 0.93. Средняя температура воздуха за

май-август 2015 г. составила 17.1°C, осадков выпало 302 мм, что в 1.16 раза выше нормы; ГТК был равным 1.67.

Во все годы проведения опыта отмечена высокая эффективность прямого действия и последствия ФГ на урожайность культур севооборота (рис. 1). В сумме за три года исследований (2013-2015 гг.) внесение ФГ в количестве 1.0, 1.5 и 3.0 т/га способствовало росту продуктивности звена севооборота картофель – ячмень – картофель на 30-38 ц з.е./га или на 19-24% по сравнению с вариантом, где применялись одни НРК-удобрения (табл. 9).

Согласно полученным в 2013 г. данным, внесение ФГ в почву существенно повышало общую урожай-

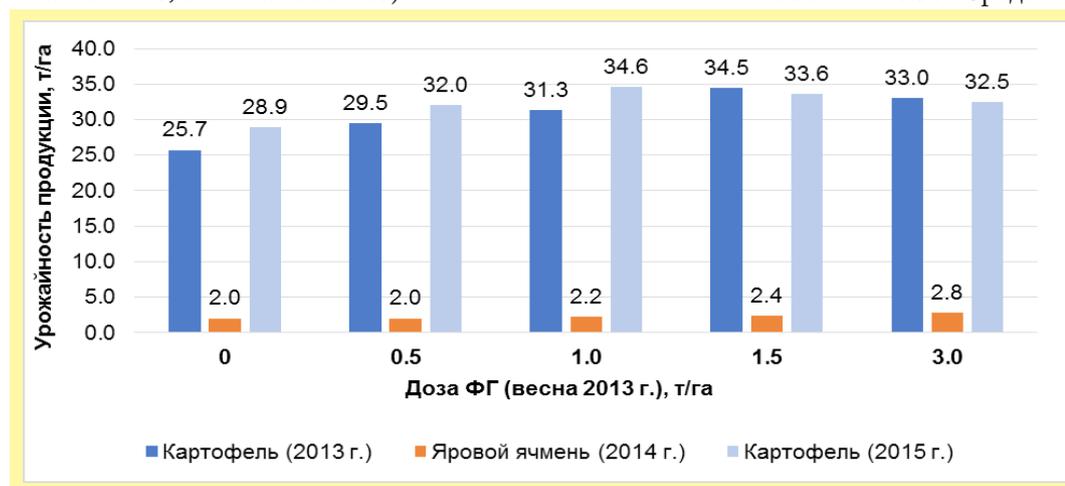


Рис. 1. Прямое действие (2013 г.) и последствие (2014-2015 гг.) различных доз ФГ на урожайность культур звена севооборота.

Примечания:

- 1) дана общая урожайность клубней картофеля и урожайность зерна ярового ячменя;
- 2) ежегодно весной под культивацию вносилось: N90P90K180 под картофель и N90P90K90 под яровой ячмень.

Таблица 9. Продуктивность звена севооборота картофель – ячмень – картофель в зависимости от прямого действия (2013 г.) и последствия (2014-2015 гг.) различных доз ФГ.

Доза ФГ, т/га	Картофель (2013 г.)	Яровой ячмень (2014 г.)	Картофель (2015 г.)	Σ	Прибавка	
					ц з.е./га	%
0	64.3	19.7	72.2	156.2	-	-
0.5	73.8	19.9	80.0	173.7	17.5	11
1.0	78.3	21.6	86.5	186.4	30.2	19
1.5	86.3	24.0	84.0	194.3	38.1	24
3.0	82.5	27.5	81.3	191.3	35.1	23
НСР _{0.05}	7.5	1.3	7.0	5.3		

Таблица 10. Содержание полезных компонентов в клубнях картофеля в зависимости от доз ФГ.

Доза ФГ, т/га	Крахмал, %			Витамин С, мг%		
	2013 г.	2015 г.	Среднее	2013 г.	2015 г.	Среднее
0	15.2	17.3	16.3	17.7	26.8	22.3
0.5	15.3	17.6	16.5	16.8	27.7	22.3
1.0	15.1	17.3	16.2	16.8	27.1	22.0
1.5	15.5	17.0	16.3	17.4	26.6	22.0
3.0	15.4	16.8	16.1	16.9	25.4	21.1
НСР _{0.05}	0.3	0.4	0.4	1.3	1.4	1.4

Таблица 11. Прямое действие (2013 г.) и последствие (2015 г.) ФГ на кулинарные качества картофеля (баллы).

Доза ФГ, т/га	Вкус вареного картофеля			Потемнение сырой мякоти через 24 часа			Суммарная кулинарная оценка		
	2013 г.	2015 г.	Среднее	2013 г.	2015 г.	Среднее	2013 г.	2015 г.	Среднее
0	6.3	8.3	7.3	7.0	4.0	5.5	23.3	28.3	25.8
0.5	7.0	9.0	8.0	5.7	4.3	5.0	22.7	25.3	24.0
1.0	7.0	9.0	8.0	5.7	5.7	5.7	22.7	31.7	27.2
1.5	7.0	9.0	8.0	7.0	5.0	6.0	28.0	28.0	28.0
3.0	7.0	9.0	8.0	6.3	5.0	5.6	25.3	28.0	26.6
НСР _{0.05}	0.5	0.7	0.6	0.9	0.7	0.8	1.2	1.5	1.4

Таблица 12. Распространенность болезней на клубнях картофеля (%) в зависимости от доз ФГ.

Доза ФГ, т/га	Фитофтороз			Парша обыкновенная			Ризоктониоз		
	2013 г.	2015 г.	Среднее	2013 г.	2015 г.	Среднее	2013 г.	2015 г.	Среднее
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 _{0.05}	0.8	1.1	0.9	1.3	0.7	1.0	0.7	1.3	1.0

ность картофеля – с 25.7 до 29.5-34.5 т/га или на 15-34% (рис. 1). В 2013 г. максимальная урожайность картофеля 34.5 т/га (прибавка к фону – 8.8 т/га или 34%) и высокое качество клубней получены в варианте с внесением 1.5 т ФГ/га. Содержание крахмала в клубнях притом было на 0.3% выше по сравнению с контрольным вариантом (табл. 10).

В 2014 г. наилучшая урожайность зерна ярового ячменя получена в варианте последствия максимальной дозы ФГ (3.0 т/га) – 2.75 т/га, прибавка к контролю составила 0.78 т/га или 40% (рис. 1). При этом наблюдалось и улучшение качества зерна (содержание белка в зерне ячменя варианта с максимальной дозой ФГ составило 15.1% против 14.4% в контрольном варианте с одним НРК-удобрением).

На второй год последствия ФГ (2015 г.) максимальная прибавка урожайности картофеля по сравнению с контрольным вариантом (5.7 т/га или 20%) получена за счет внесения 1.0 т ФГ/га. Качественные показатели клубней при этом остались без изменений.

Выход питательно ценных компонентов в картофеле во все годы исследований возрастал в вариантах с применением ФГ (прямое действие 2013 г. и последствие 2015 г.) по сравнению с контролем. В среднем за два года выход крахмала увеличился на

24-35%, а витамина С – на 22-29% за счет внесения ФГ. Максимальный выход крахмала (4.9 т/га) и витамина С (6.6 кг/га) получен в варианте с прямым действием и последствием дозы ФГ, равной 1.5 т/га.

Интересно рассмотреть влияние ФГ на кулинарные качества клубней (табл. 11). В среднем за два года (прямое действие 2013 г. и последствие 2015 г.) наилучшими по комплексной оценке кулинарных свойств клубней были два варианта – с дозами 1.0 и 1.5 т ФГ/га: хороший вкус (8 баллов), средняя развариваемость (5 баллов), отсутствие потемнения варёной (9 баллов) и небольшое потемнение сырой мякоти (5.7-6.0 баллов) и суммарная кулинарная оценка – 27.2-28.0 баллов по сравнению с 25.8 балла в контроле.

Внесение ФГ, кроме того, способствовало повышению устойчивости картофеля к грибным болезням (табл. 12). Обследование клубней через месяц после уборки в первый (2013 г.) и третий год (2015 г.) исследований продемонстрировало положительное влияние ФГ на устойчивость картофеля к основным грибным болезням клубней – фитофторозу, парше обыкновенной и ризоктониозу. Это можно объяснить хорошей обеспеченностью растений картофеля кальцием и серой в вариантах с применением ФГ. Наибольшая распространенность грибных болезней

Таблица 13. Содержание тяжелых металлов в клубнях картофеля (мг/кг сырой массы).

Доза ФГ, т/га	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Cr	Mn	Co	Hg	As
2013 г. (сорт Любава)										
0	0.72	6.74	0.022	0.17	0.52	0.65	3.14	0.11		
0.5	0.79	9.13	0.022	0.19	0.61	0.57	1.50	0.12		
1.0	0.87	8.23	0.027	0.19	0.79	0.58	1.28	0.17	< 0.01	< 0.2
1.5	0.74	7.22	0.028	0.12	0.66	0.45	1.23	0.14		
3.0	0.69	9.21	0.028	0.11	0.74	0.56	1.62	0.10		
2015 г. (сорт Гала)										
0	2.88	11.45	0.030	0.22	0.17	1.02	1.83	0.93		
0.5	3.15	10.60	0.035	0.18	0.22	1.56	1.89	0.89		
1.0	2.30	9.40	0.025	0.22	0.20	1.55	1.80	0.76	< 0.01	< 0.2
1.5	2.10	6.80	0.035	0.24	0.23	0.85	1.63	0.82		
3.0	2.90	9.80	0.035	0.20	0.46	2.15	1.70	0.92		
МДУ ТМ: картофель (СанПиН 2.3.2.560-96; СанПиН 2.3.2.1078-01)	5.0	10.0	0.03	0.5		Не нормируется			0.02	0.2

была характерна для контрольного варианта, где ФГ не вносился: фитофтороз – 3.6%, парша обыкновенная – 2.9%, ризоктониоз – 3.7%. В вариантах с внесением ФГ данные показатели были существенно ниже (с достоверным снижением в большинстве случаев): 0.7-2.1%, 0.5-1.5 и 0-1.7% соответственно.

Расчёт коэффициента дискриминации (КД = [Ca/Sr клубни] : [Ca/Sr почва]) для картофеля сорта Любава (2013 г.) и сорта Гала (2015 г.) показал, что во всех изученных вариантах опыта в оба года исследований наблюдалась дискриминация стронция кальцием: КД = 1.08-4.56 (табл. 6). Поступление кальция в зерно ячменя по сравнению со стронцием происходило еще более интенсивно: в вариантах опыта с внесением 0.5-3.0 т ФГ/га в 2014 г. величина КД для ячменя составила 6.01-8.45.

Не установлено влияния изученных доз ФГ на накопление ТМ (Cu, Mn, Pb, Zn, Co, Ni, Cr, Cd, Hg и As) в клубнях картофеля (табл. 13), а также и в зерне ячменя сверх установленных норм. Через 2 года после внесения высокой дозы ФГ (3 т/га) наблюдалось большее накопление никеля и хрома в клубнях по сравнению с другими вариантами, однако содержание данных элементов в продукции не нормируется. В первый год после применения ФГ было отмечено достоверное снижение накопления марганца клубнями (в 2 и более раз) за счет антагонизма между ионами Ca²⁺ и Mn²⁺, так как ФГ – кальцийсодержащий мелиорант.

Таким образом, экспериментальные данные 2013-2015 гг. убедительно показывают значимость агрохимиката «Фосфогипс для сельского хозяйства» как ценного минерального удобрения, способного в течение трех лет существенно повышать плодородие супесчаной дерново-подзолистой почвы (содержание подвижных форм фосфора и серы, обменного кальция) и, соответственно, продуктивность культур звена специализированного картофельного севооборота (на 19-24%) без вреда для окружающей среды.

Внесение ФГ в почву весной перед посадкой картофеля в дозах от 0.5 до 3.0 т/га обеспечило получение в течение трех лет экологически безопасной продукции во всех вариантах опыта, включая вариант с

максимальной дозой (3.0 т ФГ/га). Накопления тяжелых металлов в клубнях картофеля (2013 и 2015 гг.) и зерне ячменя (2014 г.) сверх установленных норм (МДУ ТМ согласно СанПиН 2.3.2.560-96; СанПиН 2.3.2.1078-01) не установлено.

По комплексу хозяйственно-ценных признаков культур севооборота (урожайность, структура и качество продукции) и показателям плодородия почвы для изученных почвенно-климатических условий можно рекомендовать применение ФГ в дозе 1.5 т/га совместно с минеральными удобрениями.

Федотова Л.С. – заведующая отделом, профессор, доктор сельскохозяйственных наук; e-mail: fedotova@vniikh.com.

Князева Е.В. – младший научный сотрудник; e-mail: elenak-73@rambler.ru.

Тимошина Н.А. – ведущий научный сотрудник, кандидат сельскохозяйственных наук, e-mail: timnatali@rambler.ru.

Отдел агрохимии и биохимии ВНИИ картофельного хозяйства (п. Красково Московской обл.).

Авторы признательны региональному директору по югу и востоку России Международного института питания растений, кандидату биологических наук Носову В.В. за помощь при подготовке данной статьи.

Литература

- Федотова Л.С., Зеленов Н.А. 2007. Удобрение как фактор высокой продуктивности и качества картофеля. Москва, «С_Принт», 172 с.
- Смирнов Ю.А. 1985. Повышение урожая и качества сельскохозяйственной продукции при использовании серных удобрений. Москва, ВНИИТЭИСХ, 61 с.
- Бусыгин В.Н. 1986. Влияние новых форм калийных удобрений в гранулированном и крупнокристаллическом виде на урожай и качество картофеля. Автореф. дис. ... канд. с.-х.

- наук. Москва, 22 с.
- Аканова Н.И. 2013. Фосфогипс нейтрализованный – перспективное агрохимическое средство интенсификации земледелия. *Плодородие*, 1: 2-7.
- Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. 1989. Москва, НИИКХ, 142 с.
- Пшеченков К.А., Давыденкова О.Н., Седова В.И., Мальцев С.В. и Чулков Б.А. 2008. Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению, изд. 2-ое, перераб. и доп. Москва, ВНИИКХ, 39 с.
- Воловик А.С., Глѣз В.М., Зейрук В.Н., Алябьева А.В., Капустин Н.М., Лыкова В.Д., Трофимец Л.Н., Усков А.И., Бойко В.В., Князева В.П., Варицев Ю.А., Долягин А.Б., Синицин В.В., Тензина Т.В., Червонюк Г.Н., Ильичёва А.А. и Писаренко Э.А. 1995. Методика исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитету. Москва, изд-во ВНИИКХ РАСХН, 114 с.
- Хоботьев В.Г. 1960. Некоторые материалы и характеристика уровней биогеохимических провинций. *Тр. биогеохим. лабор. АН СССР*, XI: 31-48.
- Федотова Л.С. 2004. Динамика концентрации питательных веществ в лизиметрических водах и их потерь из корнеобитаемого слоя почвы под картофелем. *Лизиметрические исследования в России. Сб. научн. публикаций*. Москва, НИИСХ ЦРНЗ. С. 269-282.
- Ковальский В.В. и Засорина Е.Ф. 1965. К биогеохимии стронция. *Агрохимия*, 4: 78-88.
- Санитарные нормы СанПиН 42-128-4433-87 «Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве» (утв. заместителем Главного государственного санитарного врача СССР от 30 октября 1987 г. № 4433-87) по состоянию на 25 сентября 2006 г.
- Гигиенические нормативы «Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» ГН 2.1.17.2041-46.
- Гигиенические нормативы «Почва, очистка населенных мест, отходы производства и потребления, санитарная охрана почвы ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» ГН 2.1.17.2042-46.
- Санитарные нормы СанПиН 2.3.2. 560-96 «Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов» (утверждены постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 24 октября 1996 года № 27).
- Санитарные нормы СанПиН 2.3.2. 1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ от 31.05.2002 №18), действуют с 1 июля 2002 г.

Повторное гипсование солонцовых комплексов Западной Сибири

Березин Л.В., Гиндемит А.М. и Троценко И.А.

В условиях Западной Сибири, где в пашне широко распространены почвы солонцовых комплексов с участием пятен почв низкого плодородия, радикальное повышение их продуктивности достигается гипсованием, срок положительного последействия которого в лесостепной зоне составляет более 20 лет. Особого внимания требует контроль кальциево-стронциевого соотношения в почвах и растениях на всех компонентах почвенного покрова.

Солонцовые земли занимают третью часть сельскохозяйственных угодий Западно-Сибирского региона (почти 10 млн га), из которых около 2 млн га расположены в Омской области (Семендяева и Добротворская, 2005; Березин, 2006). В разных субъектах Российской Федерации от 30 до 50% из них используется в пашне, занимая от 15 до 28% ее площади. В их составе преобладают солонцы нейтральные, либо слабосолончаковатые малонатриевые, отличающиеся от типичных солонцов содового засоления низким содержанием обменного кальция (менее 40-50% от суммы обменных катионов).

Вывести эти почвы низкого плодородия из пашни практически невозможно, так как они непредсказуемо располагаются пятнами диаметром 30-50 метров среди плодородных почв черноземного ряда, занимая от 10 до 30, редко 40% площади почвенного комплекса. Эта особенность обусловлена микрорельефом Западно-Сибирской равнины.

Радикальный путь повышения плодородия практически любых солонцов – корковых и мелких, имеющих в целинном состоянии мощность надсолонцового горизонта до 10 см – это химическая

мелиорация (гипсование). Она позволяет поднять продуктивность сельскохозяйственных культур на пятнах любых солонцов (и мелких, и корковых) до 60-80% от уровня продуктивности окружающих плодородных почв и тем самым – продуктивность почвенных экосистем в целом. Особенность почвенного покрова Сибири и Северного Казахстана определяет необходимость выборочного гипсования массивов, что продиктовано не только и не столько снижением густоты всходов на пятнах корковых и мелких солонцов, сколько невозможностью своевременного проведения полевых работ. Причина заключается в одновременном наступлении физической спелости почв весной при посеве, а осенью при уборке урожая – в неравномерности наступления технической спелости возделываемых культур.

С 1980 г. в России, как и в странах Восточной Европы, Австралии и Канаде для химической мелиорации используется фосфогипс (ФГ) – побочный продукт производства фосфорных удобрений. По своим мелиоративным свойствам он не отличается от природного сыромолотого гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Широкое применение для мелиорации почв этого отхода