

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 последствия 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 неодновременном 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

Таблица 1. Урожайность сельскохозяйственных культур (т к.е./га) на солонце корковом многонатриевом после разового и повторного внесения ФГ.

Тип использования	Разовое гипсование				Повторное гипсование				НСР _{0.05}
	Контроль	Доза ФГ, т/га			Фон	Доза ФГ, т/га			
		8	16	32		8	16	32	
Зерновые культуры (1986-1990 гг.)	0	0.44	0.71	0.81	0.30	0.79	0.98	1.04	2.20
Донник (1992-1993 гг.)	0	1.08	1.51	2.53	0	1.80	3.00	3.68	1.03
Многолетние травы (1996-2002 гг.)	0.013	0.96	1.37	1.83	0.16	1.91	1.94	2.10	0.48
Естественное залужение (2003-2005 гг.)	0	0.43	0.46	0.93	0	0.95	0.94	0.97	0.15

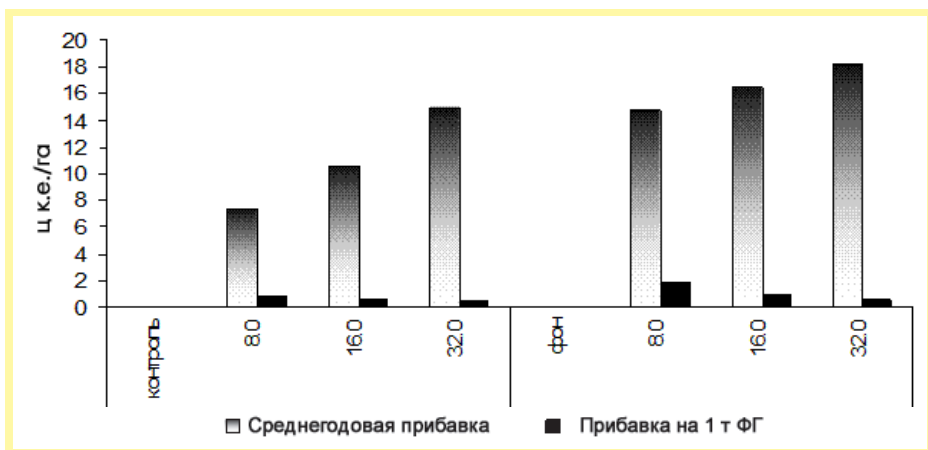


Рис. 1. Показатели эффективности внесения ФГ на солонце корковом многонатриевом (среднее за 1986-2005 гг.).

промышленности фосфорных удобрений сдерживается наличием в нем примесей фтора и стабильного стронция, цинка и других элементов, содержащихся в фосфорных агрудах (Братцева и Березин, 1996). Решать данную проблему за счет снижения нормы применения ФГ нельзя, так как она обусловлена составом обменных катионов, и в случае недостаточного внесения кальция не достигается существенного изменения ни водно-физических, ни физико-химических свойств мелиорируемого слоя почвы.

Изучение последствий внесения при мелиорации фтора показало, что в почвах он достаточно легко связывается в слаборастворимые формы и не вызывает значительного нарушения качества сельскохозяйственной продукции (Березин, 1987; Березин и др., 1988). Материалы по негативному влиянию примесей в мелиорантах валового (включая радиоактивный) стронция малочисленны. Особенно мало научных публикаций по оценке влияния химической мелиорации на качество получаемой продукции.

Исследования проводились¹ в 1970-2005 гг. в лесостепной зоне в центральной части Ишим-Иртышского междуречья в двух соседних муниципальных районах Омской области: Любинском и Тюкалинском.

Опыт на солонце корковом многонатриевом содового засоления был заложен на Голубковском стационаре Омского ГАУ при освоении целинного

¹ Кроме авторов статьи непосредственное участие в закладке и проведении опытов принимали участие на Голубковском стационаре: В.Е. Кушнаренко, З.И. Воропаева и А.И. Парфенов; на Малиновском стационаре: Т.М. Токарева, О.Б. Сабаева и Л.И. Братцева.

участка в 1970-1972 гг. Повторное гипсование в опыте проведено в 1985 г. Норма ФГ при первичном гипсовании (32 т/га – фон) определялась по дефициту кальция в пахотном слое почвы (Schoonover, 1952; Березин и др. 1971). При повторном гипсовании были внесены по фону возрастающие дозы ФГ: 8, 16 и 32 т/га. На первом этапе участок использовался для возделывания зерновых культур, с 1992 г. – донника. Во второй половине лета 1995 г. было проведено залужение многокомпонентной травосмесью (табл. 1).

Опыт по мелиорации солонца мелкого малонатриевого слабого нейтрального засоления закладывался на Малиновском стационаре Сибирского НИИСХ в 1983-1984 гг. на старопахотном массиве, используемом в пашне свыше 100 лет. Норма внесения ФГ – 12 т/га. Через 7 лет в 1992 г. проводилось повторное гипсование поперек первичного, и одновременно на параллельных делянках вносился перегной по 40 т/га. Все годы участок использовался в системе короткоротационного четырехпольного зернопарового севооборота.

Все агротехнические мероприятия в опытах проводились в соответствии с зональной агротехнологией возделывания сельскохозяйственных культур. Основная обработка почвы при подготовке зяби осуществлялась безотвально на глубину 20-25 см; наблюдения и анализы почв – согласно действующим методическим рекомендациям (Доспехов, 1985; Аринушкина, 1970) в лаборатории рационального использования почв при кафедре почвоведения Омского ГАУ. Анализы растений по заказу Омского ГАУ проводились в специализированных лицензированных лабораториях Москвы и Санкт-Петербурга.

Многолетние наблюдения показали, что в равнинных условиях лесостепи Западной Сибири как на много-, так и на малонатриевом солонце гипсование обеспечивает длительный и достаточно устойчивый эффект даже при уровне грунтовых вод, водоупором которых являются подстилающие засоленные неогеновые породы, выше трех метров. Ни в одном из 40 полевых опытов по гипсованию солонцов, заложенных в условиях Среднего Прииртышья, не было установлено вторичного засоления. Данная особенность результатов мелиорации почв Сибири, по на-

Таблица 2. Изменение запаса солей (т/га) в солонце корковом многонариевом после внесения различных доз ФГ (1986-2005 гг.).

Слой почвы, см	Среднее за период на контроле	Разовое гипсование		Повторное гипсование			
		16	32	Доза ФГ, т/га			
				Фон	8	16	32
0-20	16.2	-7.5	-8.2	-4.5	-10.6	-11.6	-8.3
20-50	30.2	7.1	0.8	1.9	0.2	-2.5	-7.4
50-100	30.9	19.1	21.9	12.2	20.5	21.6	18.8
100-200	27.8	25.3	46.5	16.8	49.4	47.4	43.2
0-200	104.6	44.0	61.0	26.4	59.5	54.9	46.3

шему мнению, обусловлена действием криогенного фактора при глубоком промерзании и длительном оттаивании почв при коротком, но жарком вегетационном периоде (Березин, 2009). Однако на таком природном фоне изменения свойств разных почв после их гипсования, а главное – качества получаемой сельскохозяйственной продукции существенно различаются.

На солонце корковом многонариевом, вынужденно введенном в пашню вследствие залегания пятна среди лугово-черноземных почв, только однажды удалось получить минимальный урожай донника, и ни разу не был получен урожай зерновых культур (табл. 1). Но после однократного проведения химической мелиорации внесением ФГ в дозе, рассчитанной на мелиорацию слоя не менее 15 см, в течение первых 20 лет можно было получить урожай сельскохозяйственных культур на уровне 1.5 т/га кормовых единиц и 0.8 т/га зерна при среднегодовой прибавке урожая 0.05 т кормовых единиц на 1 тонну внесенного ФГ (рис. 1).

При повторном гипсовании оказалось возможным вносить дозу ФГ, сокращенную в 4 раза, но это было оправдано только при возделывании многолетних трав и донника. Лишь половинная доза мелиоранта на фоне ранее внесенной полной нормы для пахотного слоя почвы обеспечила удвоение урожайности трав и повышение урожайности зерновых культур в 1.5 раза (рис. 1).

Естественно, снижение дозы мелиоранта сразу же негативно сказалось на агрономическом и особенно на мелиоративном эффекте. В целях определения баланса солей в двухметровом профиле почвы (табл. 2) усредненная разница запасов солей за период с 1986 по 2005 гг. определялась при однократной мелиорации по сравнению с абсолютным контролем, а на повторно мелиорированном солонце – относительно фона и контроля. Суммарное засоление двухметрового почвенного профиля варьировало за период наблюдений на делянках абсолютного контроля от 80

до 120 т/га, причем в слое 20-200 см по почвенным горизонтам оно было сравнительно равным.

Корнеобитаемый улучшенный слой 0-20 см однократно мелиорированного солонца дозами ФГ 16 и 32 т/га за этот период подвергся опреснению на 7.5 и 8.2 т/га соответственно. Продукты обменных реакций аккумуляровались в слое 50-200 см. В итоге общие запасы солей в почвенном профиле относительно контроля возросли на 50-

70%. Они оказались выше расчетных на практически равную величину 27.4 и 27.7 т/га. Очевидно, помимо вторично-образованных солей и продуктов обмена, здесь обнаружилась часть естественно варьирующих запасов солей и в том числе сульфата натрия.

На фоне, мелиорированном в 1970 г. дозой ФГ 32 т/га, в сравнении с контролем запасы солей в двухметровом слое за период наблюдений стали выше на 25%. При этом из пахотного слоя в нижние слои мигрировало 4.5 т/га солей. Основная масса вторично образованных солей равномерно распределилась в слоях 50-100 и 100-200 см. Суммарное увеличение солесодержания соответствует расчетному – 30.9 т/га (1.9 + 12.2 + 16.8).

При анализе динамики засоления почвы после повторной мелиорации дозами ФГ 8 и 16 т/га, прежде всего, обращает на себя внимание то, что максимум концентрации солей опустился во второй метр. Опреснительный эффект был выше, чем при однократном гипсовании в 1.5-2 раза, и за два тура гипсования из корнеобитаемого слоя 0-50 см выщелочено относительно абсолютного контроля 10.4 и 14.1 т/га солей соответственно, в том числе вследствие повторной мелиорации солесодержание этого слоя снизилось практически на треть. За счет вымывания во втором полуметре содержание солей увеличилось по сравнению с контролем на 20.5 и 21.6 т/га и стало равным по солесодержанию варианту однократного гипсования дозами 16 и 32 т/га.

Таким образом, только доза мелиоранта 32 т/га, рассчитанная на оптимизацию содержания иона кальция в составе обменных катионов, обеспечила стабильно высокое опреснение. За два тура гипсования удалено от общего количества 66.6 т/га (33.3 + 33.3) вторично образованных солей за пределы двухметровой толщи относительно контроля 20.3 т/га солей (66.6 - 46.3), что равно третьей части внесенных при мелиорации солей.

Следует отметить, что в результате применения химической мелиорации в верхнем горизонте профиля почвы уменьшилось не только общее количество, но и доля токсичных для растений солей (Березин и др., 1988). В варианте внесения 16 т/га ФГ их количество через 6 лет снизилось до 9.8 ммоль (экв)/100 г почвы, а на 20-й год после разового проведения мелиорации сократилось еще почти в два раза (табл. 3).

Таблица 3. Изменение количества токсичных солей (ммоль (экв)/100 г почвы) в пахотном слое солонца коркового многонариевого при длительном последствии мелиорации.

Годы	Однократное гипсование			Повторное гипсование		
	Контроль	16 т ФГ/га	32 т ФГ/га	Фон	16 т ФГ/га	32 т ФГ/га
1986	17.1	13.7	15.2	15.4	7.5	13.9
1993	16.7	9.8	4.0	8.9	4.7	3.4
2005	10.8	5.8	3.2	10.9	2.3	1.4

Таблица 4. Влияние приемов мелиорации на продуктивность (т/га зерна) агросолонца гидрометаморфического темного мелкого слабонатриевого (Березин, 2006).

Ротация (годы)	Вариант мелиоративного комплекса			
	Контроль	ФГ (1984 г.)	ФГ повторно (1984 г. + 1992 г.)	ФГ (1984 г.) + перегной (1992 г.)
Первая (1984-1987)	0.56	0.66	–	–
Вторая (1988-1991)	0.94	0.92	–	–
Третья (1992-1995)	0.48	0.62	0.70	0.73
Четвертая (1996-2000)	1.02	1.23	1.11	1.13
Пятая (2001-2005)	0.76	1.09	1.13	1.35
Среднее за учетный период	0.99	1.19	1.28	1.38

Примечание: продуктивность почвы определялась по уровню урожайности в среднем с площади севооборота, включая паровое поле.

Полная расчетная доза ФГ (32 т/га) обеспечила снижение содержания токсичных солей до практически безопасного уровня (4.0 ммоль (экв)/100 г почвы) уже через 5-6 лет.

Даже после прекращения интенсивной обработки почвы под посевами многолетних трав через 20 лет после повторного гипсования, несмотря на относительно высокий уровень минерализованных грунтовых вод (от 2 до 9 г/л), не обнаружилось вторичного засоления, причем в пахотном слое обнаруживались лишь следы токсичных солей.

На основании полученных данных по изменению солевого режима можно говорить о целесообразности проведения повторного гипсования солонца коркового многонатриевого содового засоления, так как дополнительно внесенный ФГ в условиях лесостепной зоны не вызывает повышения уровня засоления корнеобитаемого слоя и способствует ускоренному замещению натрия поглощающего комплекса почвы на кальций гипса. И чем выше доза, тем полнее идет процесс опреснения профиля мелиорированного солонца и удаления продуктов обмена за пределы метрового слоя мелиорированной почвы.

На солонцах мелких и корковых малонатриевых, которые занимают около 60% аналогичных видов солонцов, используемых в пашне, уровень естественного плодородия существенно выше. Но пятна и таких почв среди черноземов, вследствие проявления типичных для солонцов неблагоприятных водно-физических свойств, препятствуют своевременному проведению полевых работ и без гипсования не обеспечивают даже получения нормальных всходов, а в итоге – рентабельного и качественного урожая. После введения в пашню в результате ежегодного перепахивания солонцового и надсолонцового горизонтов такие почвы существенно изменяют все свои свойства. По этой причине, согласно новой классификации почв России (Шишов и др., 2004), они включаются в самостоятельный тип почв – агросолонцы темные в составе отдела щелочно-глинисто-дифференцированных почв. Тем не менее, в большинстве рекомендаций малонатриевые солонцы не включаются в объемы работ по химической мелиорации, так как стандартными методами по содержанию солей в почвенном профиле и вследствие низкого содержания обменного натрия и низкого количества воднопептизируемого ила для таких солонцов невозможно определить норму внесения гипса. По нашим рекомендациям, большинством специалистов

сибирского региона она определяется методом донасыщения, исходя из дефицита обменного кальция в составе почвенного поглощающего комплекса (Березин и др., 1971).

В контрольном варианте средняя урожайность зерновых культур с гектара севооборотной площади на этой почве низкого плодородия была около 1 т/га зерна при значительно большей средней урожайности на окружающей лугово-черноземной почве (по новой классификации России – агрочерноземе криогенно-мицеллярном гидрометаморфизованном), преобладающей в данных почвенных условиях, – 1.6-1.8 т/га.

Двадцатилетние наблюдения за последствием разового внесения ФГ показали, что в результате существенных положительных изменений свойств такой почвы в слое 0-40 см под влиянием гипсования в среднем за 5 ротаций севооборота урожайность в варианте длительного последствия гипсования повысилась на 20% (табл. 4).

Как показывают исследования, прибавка урожайности в пятой ротации зернопарового севооборота не снижается и находится практически на том же уровне, что и в первой ротации. При этом, в отличие от солонца многонатриевого, в варианте повторного гипсования за 13 лет наблюдений не обнаружилось существенной прибавки урожайности от дополнительно внесенного мелиоранта. Максимальная продуктивность севооборота на данном виде агросолонца (в среднем 1.4 т/га зерна) была достигнута лишь после комплексной мелиорации, предусматривающей применение органических удобрений на ранее загипсованном солонце.

Одновременное применение гипса и перегноя, как показали предшествующие исследования Н.В. Орловского (1943-1954), Ю.И. Бушухина (1964-1966) и Л.В. Березина (1970-1974), обеспечивает кратковременный эффект, а на солонцах многонатриевых содового засоления может дать даже негативный результат вследствие стимулирования содообразования (Орловский, 1955; Березин, 1974).

Проведенные многолетние исследования показали, что совершенно иное положение складывается при внесении органических удобрений в том случае, когда они вносятся в солонец с подавленной гипсом возможностью образования соды и созданными относительно благоприятными водно-воздушными свойствами для поглощения и фильтрации влаги вглубь почвы. Данный синергетический эффект

повышения с годами продуктивности мелиорированных земель говорит о положительном влиянии комплексной мелиорации почв солонцового ряда, объективно свидетельствующем о процессе окультуривания почвы.

Полученные в полевых опытах результаты показывают, что в неорошаемых условиях лесостепной зоны по существу нет никакой необходимости в повторном гипсовании агросолонца гидрометаморфического темного мелкого слабонатриевого. Для окультуривания таких почв и обеспечения устойчивого и качественного урожая на подобных почвенных комплексах целесообразно применять органические удобрения, которые оптимизируют микробиологический и питательный режим почв, но лишь после существенного улучшения гипсованием водно-физических свойств почв низкого плодородия в течение первых двух ротаций четырехпольного мелиоративного севооборота. Кроме того, необходимо при этом иметь ввиду и повышение рентабельности производства. Расчеты экономической эффективности окультуривания агросолонца гидрометаморфического темного мелкого слабонатриевого показали, что наибольший экономический эффект получен при применении перегноя на ранее загипсованной почве (табл. 5).

Расчеты свидетельствуют, что при гипсовании комплексных массивов с разной долей солонцов экономический эффект может быть достигнут лишь на комплексах с долей мелких солонцов, составляющей не более 30% площади массива. В первую очередь это касается массивов с участием солонцов многонариевых, тем более что в составе пахотных земель они встречаются достаточно редко (2-5% всех солонцов в пашне региона). На этом виде солонцов, отличающихся высоким дефицитом иона кальция, необходимо вносить высокие дозы гипса – более 30 т/га и предусматривать проведение повторного гипсования. Если практически возможно, то целесообразно вывести подобные массивы из пашни, проведя после первичной мелиорации залужение многокомпонентной травосмесью.

Технически выборочное гипсование в перспективе может стать достаточно легко осуществимым при освоении технологии «точного» (правильнее сказать, «точечного») земледелия. В этом случае задачей почвенно-агрохимической службы является обеспечение земледельцев оперативными, постоян-

но обновляющимися материалами дистанционного зондирования Земли. Начиная с 2016 г., в результате запуска Европейским космическим агентством космического аппарата Sentinel-2 стало бесплатно доступно любому землепользователю и специалисту агрохимической службы с периодичностью раз в 5 дней скачивать космическую информацию о состоянии любого земельного массива планеты по 4-м основным каналам с пространственным разрешением 10 метров в пикселе. А всего этот уникальный космический аппарат имеет 13 спектральных каналов, позволяющих значительно повысить информативность по сравнению с большинством космических аппаратов, снимки которых используются в сельском хозяйстве.

Даже при разрешении космических снимков 30 м в пикселе, а тем более при 10-метровом масштабе на любом поле тракторный агрегат, оснащенный скорректированным почвенным планом, может с ошибкой не более 2 метров обеспечить своевременное включение устройства для внесения в почву удобрений и мелиорантов.

Необходимость точного соблюдения нормы внесения мелиоранта диктуется не только экономическими, но и экологическими соображениями. Широкое использование химической мелиорации кислых почв и солонцов с помощью внесения кальциевых солей (соответственно, извести и гипса), с одной стороны, повышает продуктивность полей и рентабельность производства, но, с другой стороны, может вызывать ряд экологических проблем. Применяемый для химической мелиорации ФГ, помимо действующего вещества сульфата кальция, содержит, как отмечено выше, повышенное содержание фтора и стабильного стронция, которые, поступая в продукцию, являются потенциально токсичными элементами для здоровья человека и животных. В случае превышения ПДК они могут оказать существенное негативное влияние на экологически сбалансированный химический состав окружающей среды и выращенной продукции.

В первые годы применения ФГ в сельском хозяйстве основное внимание при экологических исследованиях уделялось фтору (Березин и др., 1988), но оказалось, что более важно после мелиорации изучать накопление стронция в почвах и продукции, так как повышенное содержание данного элемента характерно для тяжелых почвообразующих пород

Таблица 5. Экономическая эффективность окультуривания агросолонца гидрометаморфического темного мелкого слабонатриевого (1984-2005 гг.).

Показатель	Вариант			
	Контроль	ФГ (1984 г.)	ФГ повторно (1984 г. + 1992 г.)	ФГ (1984 г.) + перегной (1992 г.)
Урожайность зерна средняя, т/га	0.98	1.29	1.29	1.41
Стоимость товарной продукции, руб./га	21582	28402	28380	31108
Сумма затрат, руб./га	16241.7	21744.9	24194.5	24026.4
Себестоимость руб./т	1655.6	1684.3	1875.5	1699.2
Чистый доход, руб./га	5340.3	6657.1	4185.5	7081.7
Срок окупаемости затрат на мелиорацию, лет	–	4.3	8.6	4.5

Примечание: расчеты проведены по сумме урожая зерна за годы последствия мелиорации (цена реализации зерна – 2200 руб./т).

пониженных равнин, на которых формируются солонцовые почвы (Березин, 1974).

Повышая плодородие почв и урожайность возделываемых культур, вносимые мелиоранты (как гипс, так и известь) могут оказать существенное негативное влияние на кальциево-стронциевый баланс в окружающей среде. ФГ, как и сыромолотый гипс, содержит около 3% стабильного стронция при превышении Са над Sr только в 7-10 раз, тогда как безопасное для питания животных и человека соотношение данных элементов в продукции обеспечивается при превышении Са над Sr в 200-300 раз. Фактическое отношение данных элементов в ФГ значительно уже, чем в самих мелиорируемых почвах. Еще более значительное содержание стронция (до 10-16%) зафиксировано в мелиорантах, содержащих известь. Следовательно, нарушение кальциево-стронциевого баланса в окружающей среде и выращенной продукции может наблюдаться не только при улучшении малоплодородных солонцовых почв, но и после химической мелиорации широко распространенных во многих странах кислых почв подзолистого ряда.

Отрицательная роль избытка стабильного стронция общеизвестна, он является аналогом и в связи с этим – антагонистом кальция в организме животных и человека. Кроме мелиорантов, первоисточником избыточного поступления стронция являются грунтовые воды, залегающие в районах распространения солонцовых почв Западной Сибири чаще всего на глубине 1.5-2.5 м. Содержание стабильного стронция в них достигает 13 мг/л, а в отдельных случаях доходит до 27 мг/л при отношении кальция к стронцию в пределах от 30 до 50, что также значительно меньше оптимального (Березин, 2006).

Проведенное выборочное обследование комплексных почвенных массивов в степной зоне, а также в южной и северной части лесостепной зоны Прииртышья показало, что в растениях, выращенных на гидроморфных солонцах, где грунтовые воды расположены выше 3 м, весьма часто наблюдается дисбаланс между кальцием и стабильным стронцием по сравнению с растениями, выращенными на плодородных зональных почвах.

В то же время обследование растений, отобранных с научных и производственных опытов, свидетельствует, что далеко не всегда наблюдаются заметные негативные изменения в экологически сбалансированном химическом составе растений. Обнаружилось, что негативные последствия мелиорации опасны не столько на самих солонцах, в которых отношение указанных элементов весьма узкое и находится в пределах от 30 до 60, сколько при попадании ФГ на плодородные агрочерноземы, практически не содержащие подвижных соединений стронция (Березин, 1974 и 2006).

В зерновых культурах содержание стронция и его равновесие с кальцием зависит от сложного взаимодействия факторов среды и накопления растениями всего комплекса химических элементов. Анализ соотношения компонентов химического состава растений на мелиорированном агросолонце гидроме-

таморфическом темном мелком слабонатриевом в северной части лесостепной зоны показал, что накопление стронция в них происходит главным образом не вследствие прямого влияния химического состава мелиорантов на почвенный раствор, а опосредствовано. Увеличение поступления стронция в растения в результате мелиорации происходит в основном благодаря повышению влагообеспеченности и в итоге – улучшению условий питания растений. Вследствие этих же причин в растениях на мелиорированных ФГ почвах могут одновременно проявляться и нежелательные изменения в содержании свинца и кадмия, которые не являются типичными для химического состава мелиорантов.

Определение экологически сбалансированного химического состава зерновых культур по 16-ти макро- и микроэлементам в различных условиях влагообеспеченности растений, выращенных по всем компонентам ландшафтного комплекса почв, показало, что зависимость кальциево-стронциевого равновесия от изменения факторов среды и накопления в растениях других компонентов химического состава выражается неодинаково:

Засушливый вегетационный период

$$\text{Ca/Sr} = 48.1 + \text{K} \cdot 0.004^{***} - \\ - \text{Cl} \cdot 0.0016^{**} - \text{П} \cdot 8.5^* - \text{Уд} \cdot 2.2$$

при R = 0,84**;

Влажный вегетационный период

$$\text{Ca/Sr} = 74.0 - \text{П} \cdot 12^{***} + \text{K} \cdot 0.002^{**} - \\ - \text{P} \cdot 0.006^* - \text{Кул} \cdot 0.37^* + \text{Уд} \cdot 2.1^* - \text{Cl} \cdot 0.001$$

при R = 0.80**;

где: П – ранг типа почвы (1-4), Кул – ранг культуры (овес, ячмень), Уд – азотно-фосфорные удобрения раздельно и совместно.

Различия достоверны:

* – при P 0.95; ** – при P > 0.99; *** – при P > 0.999.

Следовательно, достоверное изменение экологически сбалансированного химического состава растений в части накопления кальция и его соотношения со стронцием обусловлено в основном изменением доли макроэлементов: калия и фосфора, а в засоленных почвах – и хлора. При этом более определяющими оказались различия почв и биологические особенности возделываемых культур, чем фактор химической мелиорации. Особенности культур, типа почвы и условий влагообеспечения оказывают прямое влияние на химический состав растений, который определяется различным соотношением доступных растениям макро- и микроэлементов.

При статистическом анализе дисбаланса химического состава растений пшеницы методом главных компонент было установлено, что при оптимальном увлажнении накопление растениями стронция и изменение его равновесия с кальцием оказалось обусловленным не столько дозой ФГ, сколько скоррелированным балансом ряда макро- и микроэлементов,

который можно выразить уравнениями множественной регрессии:

$$\text{Sr} = 103.7 - \text{K} \cdot 0.005^{**} + \text{S} \cdot 0.016^{**} + \\ + \text{Cl} \cdot 0.014^* + \text{Cu} \cdot 2.5 - \text{Mn} \cdot 0.54,$$

при $R = 0.98$, $F_{\text{факт.}} = 19.1$, $F_{\text{теор.}} 0.99 = 7.8$;

$$\text{Ca/Sr} = 17.3 - \text{S} \cdot 0.01^* - \text{Cu} \cdot 2.5^* + \\ + \text{Mn} \cdot 1.1 + \text{K} \cdot 0.003 - \text{Zn} \cdot 0.8 - \text{ДозаФГ} \cdot 0.4,$$

при $R = 0.96$, $F_{\text{факт.}} = 5.6$, $F_{\text{теор.}} 0.99 = 3.4$.

Различия достоверны:

* – при $P > 0.95$; ** – при $P > 0.99$.

Тем не менее, негативная роль повышенной дозы вносимого ФГ обнаруживается в составе совокупного влияния ряда природных и антропогенных факторов по величине кальциево-стронциевого отношения. Но статистически существенное влияние ФГ на изменение кальциево-стронциевого отношения в растениях обнаруживалось обычно в годы с недостаточным увлажнением и было более значительным не для зерна, а лишь для зеленой массы относительно влаголюбивых культур и, в частности, овса.

Наиболее рельефно негативные изменения в химическом составе растений обнаруживались при попадании ФГ на плодородные компоненты ландшафтного комплекса. Учитывая нежелательные изменения в химическом составе растений на плодородных компонентах почвенного покрова после внесения ФГ на мелиорируемые поля, при решении вопроса о проведении химической мелиорации солонцов специалисты всех уровней должны в первую очередь решать вопрос о возможности применения выборочного гипсования. Особенно остро вопросы предупреждения негативных последствий химической мелиорации солонцов встают при ее повторном проведении. В районах распространения солонцовых комплексов необходимо шире применять технологию выборочного поконтурного гипсования. В современных условиях, когда многими специализированными фирмами освоена технология «точечного» земледелия с навигационной спутниковой привязкой местоположения агрегата, выборочность работ по пятнам малоплодородных почв уже не представляет технической сложности.

В заключение следует отметить и региональные особенности действия ФГ как эффективного дополнительного источника улучшения фосфатного питания растений. Проведенные нами исследования на гидроморфных солонцах лесостепи Западной Сибири показали, что в отличие от автоморфных солонцов Северного Кавказа, Поволжья и Казахстана далеко не всегда проявляется положительное влияние фосфора, который содержится в ФГ. При средней дозе ФГ в Западной Сибири на поля вносится до 120 кг/га этого самого дефицитного элемента питания растений. В гидроморфных условиях формирования солонцов региона внесенный с мелиорантом фосфор уже через 2-3 года связывается в малоподвижные формы соединениями Al и Fe. В результате и на фоне применения ФГ

необходимо дополнительно вносить фосфорные удобрения для обеспечения оптимизации питания возделываемых культур в соответствии с их потребностями.

Все мелиоративные мероприятия должны быть не столько коренными, сколько приспособительными. Только в том случае человек получает ожидаемый результат от своего вмешательства в природные процессы, когда он не стоит на их пути, а приспосабливается к ним, ускоряет или частично замедляет, включая в природные взаимосвязи новые компоненты и проводя при этом мониторинговые наблюдения за этими процессами. На примере гипсования солонцов видно, что вместо часто рекомендуемого неоднократного «повторного» гипсования через каждые 5-10 лет, в результате которого неизбежно изменяется экологически сбалансированный состав окружающей среды, можно достигать положительного эффекта либо за счет сокращения дозы мелиоранта, либо за счет частичной замены химических мелиорантов органическими удобрениями. При этом необходим дальнейший поиск инновационных технологий мелиорации.

Березин Л.В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения; e-mail: docberезin@yandex.ru.

Гиндемит А.М. – кандидат биологических наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения; e-mail: am.gindemit@omgau.org.

Троценко И.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры природообустройства, водопользования и охраны водных ресурсов; e-mail: ia.trotsenko@omgau.org.

Омский государственный аграрный университет (г. Омск).

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

Литература

- Семендяева Н.В. и Добротворская Н.И. 2005. Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири: монография. Новосибирск. 156 с.
- Березин Л.В. 2006. Мелиорация и использование солонцов Сибири: монография. Омск: Изд-во ОмГАУ. 208 с.
- Братцева Л.И. и Березин Л.В. 1996. Оценка экологических последствий мелиорации солонцовых почв. Тезисы докл. II съезда Общества почвоведов (27-30.06.1996 г., Санкт-Петербург). Кн. 2. РАН. С. 264-265.
- Березин Л.В. 1987. Фтор в солонцах после химической мелиорации. Химия в сельском хозяйстве, 2: 49-50.
- Березин Л.В., Токарева Т.М. и Кахнович З.Н. 1988. Влияние мелиорации солонцов фосфогипсом на загрязнение почв. Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, 42:

- Schoonover W.R. 1952. *Examination of soil for alkali*. Univ. of California Extension Service. Berkeley, California.
- Березин Л.В., Градобоев Н.Д., Градобоева В.Ф. и др. 1971. *Определение доз гипса для мелиорации солонцов методом донасыщения*. *Химия в сельском хозяйстве*, 7: 72-74.
- Доспехов Б.А. 1985. *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. М.: Агропромиздат, 352 с.
- Аринушкина Е.В. 1970. *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Изд-во МГУ, 488 с.
- Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и Герасимова М.И. 2004. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск: Ойкумена. 341 с.
- Березин Л.В. 2009. *Особенности мелиорации сезонно-промерзающих почв черноземно-солонцовых комплексов Ишимской лесостепи*. Доклады Омского отделения Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Том 6, вып. 4 (8). Омск: МАНЭБ. С. 41-55.
- Орловский Н.В. 1955. *Исследования по генезису, солевому режиму и мелиорации солонцов и других засоленных почв Барабинской низменности*. В кн.: *Материалы по изучению засоленных почв*. Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева, 47: 266-409.
- Березин Л.В. 1974. *Эффективность способов химической мелиорации солонцов*. В кн.: *Генезис солонцов и влияние удобрений на величину и качество урожая*. Науч. тр. Омского СХИ им. С.М. Кирова, 125: 49-55.
- Худеев С.А. 2007. *Закономерности распределения стронция в почвообразующих породах и почвах юга Обь-Иртышского междуречья*. *Сибирский экологический журнал*, 5: 809-816.
- Березин Л.В. и Брюханов И.Б. 1995. *Изменение содержания тяжелых металлов и отношения кальция к стронцию в почвах лугового солонцового комплекса при их химической мелиорации*. *Агрохимия*, 1: 100-105.
- Березин Л.В., Токарева Т.М. и Сабаева О.Б. 1991. *Исследование накопления фтора и стабильного стронция в растениях в связи с мелиорацией солонцовых почв*. *Сибирский биологический журнал*, 3: 52-58.

Конкурс научных работ студентов и аспирантов Scholar Award - 2018

Международный институт питания растений ежегодно проводит конкурс научных работ студентов и аспирантов в области питания растений в основных сельскохозяйственных регионах мира. С 2009 года конкурс проводится в России, Украине и Казахстане в рамках программы института по Восточной Европе и Центральной Азии.



О конкурсе

Премия в размере 2000\$ присуждается студентам старших курсов и аспирантам за научные работы в области питания растений, разработки систем применения удобрений и в смежных областях.

Премия выплачивается студентам и аспирантам. Никаких специальных требований к участникам не предъявляется.

Премия присуждается независимо от получения других выплат.

Участники

К участию в конкурсе допускаются студенты, магистранты и аспиранты (кроме аспирантов, закончивших обучение на момент подачи документов вне зависимости от сроков защиты), обучающиеся в ВУЗах России, Беларуси, Казахстана, Украины, Узбекистана и других стран СНГ. После получения магистерской и кандидатской степени участие в конкурсе не допускается. Среди аспирантов предпочтение отдается тем, у кого до окончания срока обучения остается как минимум один год.

Приоритет отдается исследованиям, которые соответствуют миссии IPNI. Принимаются работы по

следующим дисциплинам: агрохимия, агрономия, растениеводство, плодовоовощеводство, экология, почвоведение, химия почв, физиология растений, а также из смежных с питанием растений областей.

Победители не могут повторно участвовать в конкурсе; премия присуждается только один раз.

Что необходимо для заполнения заявки:

Для подачи заявки на конкурс необходимо предоставить следующие документы (и информацию):

1. Отсканированные документы об образовании, имеющиеся на момент подачи заявки на конкурс (зачетная книжка, диплом и вкладыш с оценками, удостоверение о сдаче кандидатских минимумов). При заполнении анкеты обязательно указывается средний балл.

2. Три (3) отсканированные рецензии на конкурсную работу, одна из которых – от научного руководителя. Письма-рецензии должны быть оформлены на официальном бланке организации и подписаны рецензентом. Необходимо указать электронный адрес и телефон рецензента.

3. Краткое описание работы, позволяющее оценить ее оригинальность, глубину, информативность, новизну и соответствие целям IPNI. Крайне жела-