

УДК 631.879.25:631.95

UDC 631.879.25:631.95

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛЬНЫХ ОТХОДОВ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ КОМПОСТОВ**FEATURES OF MINERAL WASTE AND THE EXPEDIENCY OF THEIR USE IN THE FORMATION OF COMPLEX COMPOSTS**

Белюченко Иван Степанович
д.б.н., профессор
ФГБОУ «Кубанский государственный аграрный университет», Краснодар, Россия

Belyuchenko Ivan Stepanovich
Dr.Sci.Biol., professor
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

Обобщены результаты изучения физических, химических и биологических характеристик минеральных отходов; проанализирована специфика его поведения при внесении в почву в чистом виде и в составе сложного компоста; показана возможность использования некоторых из них в качестве мелиоранта по улучшению плодородия чернозема обыкновенного в условиях степной зоны края

This article summarizes the results of the study of physical, chemical and biological characteristics of mineral waste; it analyzes the specific features of its behavior when applied to the soil in pure form and in complex compost; the possibility of using some of them as an ameliorant for improving the fertility of soil common in the steppe zone of the region

Ключевые слова: ФОСФОГИПС, СЛОЖНЫЙ КОМПОСТ, МЕЛИОРАНТ, ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВЫ, ОТХОДЫ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ, ЗОЛА

Keywords: PHOSPHOGYPSUM, COMPLICATED COMPOST, MELIORANT, SOIL FERTILITY, WASTE OF POTASH FERTILIZERS, ASH

Продуктом механической (дробление) и химической (экстракция P_2O_5 с использованием концентрированной серной кислоты) обработки природных Ковдорских апатитов Кольского полуострова является дигидратный фосфогипс Белореченского химзавода. При выполнении технологических процессов при экстракции фосфора из апатитов образовались отходы высокой дисперсности, кислой реакции среды (рН примерно 3,5), а также значительной концентрации серы и кальция при их низкой растворимости. Это обуславливает многолетний эффект воздействия минерального отхода на почвенный покров и его биологическую активность. Процессы добычи сырья – апатиты, калийные соли, цементная мука и т.д. – и их перемещение, дробление и экстракция соединений отходов, сопутствующих элементов, перекачка этих отходов в шламонакопители и другие мероприятия существенно повлияли как на физические, так и на химические свойства отхода весьма непростого химического производства [5, 6, 7]. Обобщая данные наших опытов, по оценке минеральных отходов с результатами исследований других авторов, в настоящем сообщении мы анализируем их экологические особенности и возможности использования в сельском хозяйстве [1, 8, 10].

Основным содержанием настоящей публикации является анализ механизмов поддержания почвенного плодородия при внесении фосфогипса и других минеральных отходов (галиты, сильвиниты, цементная мука, зола подсолнечника, древесная зола).

Экологические свойства минеральных отходов. Для минеральных отходов свойственна большая гетерогенность гранулометрического состава, отличающегося физической и химической стабильностью и длительным сохранением физико-химических свойств, вследствие слабой его растворимости. Химическая и физическая стабильность минеральных отходов и их способность длительное время (десятилетия) сохранять свои свойства является итогом длительного геологического периода формирования минералов из группы осадочных пород, что обусловило определенное

соотношение реакционно-активных и относительно инертных элементов, находящихся в малорастворимых соединениях породного состава [2, 11, 25].

Дигидратный фосфогипс включает механически разрушенную горную породу (апатиты), обработанную серной кислотой с добавлением после экстракции P_2O_5 известкового раствора; отличается значительным содержанием в составе продукта нерастворимых соединений (CaO , S , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , MgO); растворимых соединений в фосфогипсе чрезвычайно мало (не более 0,2 %). Поскольку нерастворимые компоненты фосфогипса гидратированы мало и в своем составе они лишены органических соединений, их взаимной коагуляции не происходит и структурные агрегаты в чистом виде не образуются, что и определяет сходство свойств фосфогипса независимо от производства, а различия зависят от специфики химического состава породы и технологии экстракции фосфорной кислоты.

По физико-химической характеристике дигидратный фосфогипс – нетоксичный пастообразный высокодисперсный сульфат кальция ($CaSO_4 \times 2H_2O$) с примесью неразложившегося фосфата, фосфорнокислых солей и силикатов. Высокая дисперсность фосфогипса обусловлена специфичностью его физического состава, представленного системой тонко размолотых частиц коллоидного вещества, распределенных в однородной среде; его коллоиды отличаются малой скоростью диффузии, не проникают через тонкопористые мембраны клеточных структур и характеризуются неравновесной растворимостью [22].

Изучение физических характеристик фосфогипса в сравнении с другими дисперсными системами представляет значительный интерес для установления возможностей их совмещения и использования в сельском хозяйстве с целью улучшения физических, химических и биологических свойств почвы. Физика различных типов и разновидностей почв в литературе освещена хорошо, однако подобные свойства перегноя и фосфогипса изучены мало. Фосфогипс представляет собой твердые промышленные отходы химического производства, доля которых весьма значительна по сравнению с основным продуктом: на 1 т P_2O_5 образуется 4,25–4,27 т фосфогипса, представляющего собой дигидрат сульфата кальция с наличием в нем различных примесей. Таким образом, фосфогипс – это природный конгломерат всех элементов земной коры, которые при её естественной эволюции в прошлом в разном соотношении по зонам составили минеральную часть почвы (до 90 % и выше), а переработанные микроорганизмами отмершие растения и животные определили её органическое вещество (до 10 %).

Из физических структур в фосфогипсе преобладают фракции, относящиеся к физическому песку (до 80 %). Долевое участие тонкодисперсной физической глины, обуславливающей процессы коагуляции субстрата, колеблется от 20 до 23 %. Основу физического песка составляют соединения кремния, который широко используется растительными и животными организмами для построения оболочек клеток, прочных тканей и скелета; его средняя концентрация в наземной растительности составляет примерно 0,5% на сухое вещество. В организме человека его содержание незначительное – всего около 20 грамм. Его биологическая роль до конца не выяснена. Установлено, что этот элемент влияет на метаболизм липидов и участвует в образовании эпителиальных (поверхностных) слоев кожи и внутренних органов (в основном дыхательных путей).

Фосфогипс Белореченского химзавода является нетоксичным пастообразным высокодисперсным сульфатом кальция с примесью неразложившегося фосфата, фосфорнокислых солей, многочисленных силикатов, а также недосмытых серной и фосфорной кислот и незначительных включений редкоземельных элементов. Относительно высокая дисперсность фосфогипса определяется специфичностью его физического состояния в виде смеси тонко размолотых частиц коллоидного вещества, распределенных в однородной среде; его коллоиды отличаются малой скоростью диффузии, не проникают через

тонкопористые мембраны клеточных структур живых организмов и характеризуются неравновесной растворимостью. Очень важным свойством анализируемой дисперсной системы является способность молекулярного взаимодействия её частиц, в составе которых значительное место занимают ионы Ca^{2+} , Si^{2+} , Fe^{3+} , S^{2-} и других элементов, что определяет их способность агрегироваться с органическими (навоз, перегной) и органоминеральными веществами (почва) в хлопья и давать студнеобразные, а затем и твердые коагуляционные структуры.

В фосфогипсе Белореченского химзавода твердая фаза сульфата кальция представлена дигидратом ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Отделение фосфорной кислоты от кристаллического осадка CaSO_4 осуществляется в процессе её фильтрации. Кристаллы фосфогипса по форме весьма разнообразны: волокнистые, игольчатые, пластинчатые, столбчатые. В своих исследованиях мы выделили и определили доленое участие наиболее представленных форм в общей массе фосфогипса: волокнистые – до 0,01 мм, игольчатые – до 0,01 мм, пластинчатые – до 0,4 мм длины и столбчатые – до 0,2 мм высоты, на долю которых в свежем фосфогипсе приходится соответственно 5, 8, 73 и 14 %. Пылеватые мелкие частицы в чистом виде практически не встречаются, а адсорбированы продолговатыми и столбчатыми формами.

По данным различных авторов в состав фосфогипса входит до 95 % дигидрата сульфата кальция, до 3–4 % фосфорных соединений, до 1,5 % примесей (микроэлементов, тяжелых металлов и неметаллов). В процессе производства для экстракции фосфорных соединений на производстве применяется серная кислота, определяющая весьма сильноокислую реакцию фосфогипса (рН около 3,0). Технологии, внедренные в последние годы на Белореченском химзаводе, позволили повысить рН (понизить кислотность) фосфогипса до 5,5.

Фосфогипс имеет слоистую кристаллическую решетку, в которой молекулами воды отделяются слои кальция (Ca^{2+}) и сульфата (SO_4^{2-}). На структуру фосфогипса большое влияние оказывает также содержание в нем различных физических и химических примесей. Физико-механические свойства фосфогипса определяются полидисперсностью различных фосфоритов серо-белого цвета, представляющих агрегаты частиц и комки с межагрегатными пустотами. Фосфогипс Воскресенского ПО «Минудобрения» составлен призматическими друзами (до 1 мм) и сростками (до 0,2 мм). Поскольку на частицах кристалликах оседает большое количество мелкой пыли, то по окраске они различаются оттенками – от прозрачной до матовой, а размеры частиц варьируют от 0,05 до 1,6 мм.

В агрегатном составе фосфогипса Белореченского химзавода преобладают частицы менее 0,25 мм (от 62,1 до 68,3 %), тогда как в почве и в перегное доля этой группы частиц весьма незначительная – 2,2 и 1,3 % соответственно (табл. 1). В почвах и в перегное основу общей массы составляют фракции диаметром от 0,25 до 6,0 мм – 73,9 и 79,6% соответственно, а в фосфогипсе эти фракции составляют от 30,6 до 37,0 %. Оструктуренность перегноя из отходов КРС на 42 % выше, чем чернозема обыкновенного. Фосфогипс чисто формально можно считать слабооструктуренным (от 0,5 до 0,6 %). Однако именно фосфогипс содержит наибольшую массу коллоидных соединений с мощной коагуляционной способностью.

Исследуемые субстраты (дигидратный фосфогипс, почва и перегной) заметно различаются по содержанию физической глины (частицы $< 0,01$ мм). Установлено, что почва выделяется значительным содержанием глины (её доля в гранулометрическом составе в среднем составляет 47 % при колебании от 42 до 58 %); в фосфогипсе уровень глины заметно ниже (колеблется по образцам от 18,3 до 25,7 %). Внесение фосфогипса в почву существенно влияет на её физические свойства, поскольку добавляются значительные количества относительно крупных ($>0,01$ мм) частиц песка, доля которых в

этом субстрате составляет свыше 75 %. С внесением в почву фосфогипса повышается аэрация, порозность, инфильтрация, содержание кислорода и кремнийсодержащих веществ, обладающих мощной потенциальной способностью коагулировать с органическими соединениями почвы.

Таблица 1. Агрегированность фосфогипса, чернозема обыкновенного и перегной из отходов КРС

Диаметр агрегатов, мм	Содержание агрегатов, %			
	Фосфогипс прошлых лет	Фосфогипс свежий	Чернозем обыкновенный	Перегной
> 6	0,9	1,1	24,5	19,1
5-6	3,8	2,9	6,3	4,8
4-5	8,2	6,2	11,0	8,3
3,5-4	7,0	4,7	5,0	7,3
3-3,5	4,4	4,4	4,3	2,4
2,5-3	3,0	2,5	5,0	6,7
2-2,5	3,6	2,7	13,6	13,1
1-2	4,1	4,1	19,5	24,2
0,25-1	2,9	2,0	8,6	12,8
< 0,25	62,1	68,3	2,2	1,3
$\Sigma(>6 \text{ и } <0,25)$	63,0	69,4	26,7	20,4
$\Sigma(0,25-6)$	37,0	30,6	73,3	79,6
K_c	0,6	0,5	2,75	3,9

Удельная поверхность фосфогипса достаточно велика и в среднем составляет 3950 см²/г; определяется методом воздухопроницаемости на приборе ПСХ. Фосфогипс характеризуется определенной плотностью, которая зависит от его влажности, уплотнения и т.д. После измельчения и просеивания плотность фосфогипса определена пикнометрическим способом на уровне 2,2–2,4 г/см³.

В общепринятом понимании фосфогипс не является коллоидной системой, но в нем содержится масса сверхтонких частиц сульфата кальция, кремнефторидов, натрия и калия, фосфатов полутонких окислов, соединений серы, различных агрегатов, адсорбированных на поверхностях его различных частиц, проявляющих коагуляционные свойства при совмещении этого отхода с органическими субстратами – навозом (перегноем) и почвой.

В фосфогипсе большая масса приходится на кальций – в расчете на элемент от 25 (сырой фосфогипс) до 30 % (сухой фосфогипс). Большая доля в массе фосфогипса приходится на серу – от 21 % в сыром фосфогипсе и до 24,3 в сухом, на стронций приходится от 0,3 до 0,4%, на неразложившийся фосфат – от 1,3 до 4,2 %, примеси (микроэлементы, тяжелые металлы и другие соединения) составляют 0,3–0,35 %. Соотношение кальция и стронция в фосфогипсе производства Белореченского химзавода колеблется от 75 до 85. Соотношение кальция и стронция в почвах чернозема обыкновенного на Кубани составляет 120–150. При внесении в почву 5 т/га фосфогипса на 1 кг почвы пахотного слоя добавляется стронция от 6 до 8 мг/кг.

Состав дисперсных систем. Дигидратный фосфогипс представляет собой механически разрушенную горную породу (апатиты), обработанную серной кислотой с добавлением после экстракции Р₂О₅ известкового раствора; отличается значительным содержанием в составе продукта нерастворимых соединений (СаО, SO₃, Al₂O₃, Fe₂O₃, SiO₂, MgO). Поскольку нерастворимые компоненты фосфогипса гидратированы мало, то их взаимной коагуляции не происходит и структурные агрегаты в чистом виде не образуются, что, собственно, и определяет сходство свойств фосфогипса независимо от

производства, а различия зависят от специфики химического состава породы и технологии экстракции фосфорной кислоты. Высокая дисперсность фосфогипса обусловлена специфичностью его физического состава, важнейшими свойствами которого являются молекулярные взаимодействия его частиц с органическими компонентами и их совместная способность агрегироваться в хлопья и давать студнеобразные или твердые коагуляционные структуры. Фосфогипс в целом можно определить как минеральную дисперсную систему.

Свойства коллоидов. В фосфогипсе большая масса приходится на кальций – в расчете на элемент от 25 (сырой фосфогипс) до 30 % (сухой фосфогипс). Большая доля в массе фосфогипса приходится на серу – от 21 % в сыром фосфогипсе и до 24,3 в сухом, на стронций приходится от 0,3 до 0,4 %, на неразложившийся фосфат - от 1,3 до 4,2 %, примеси (микроэлементы, тяжелые металлы и другие соединения) составляют 0,3–0,35 %. Соотношение кальция и стронция в фосфогипсе производства Белореченского химзавода колеблется от 75 до 85. Соотношение кальция и стронция в почвах чернозема обыкновенного на Кубани составляет 120–150. При внесении в почву 5 т/га фосфогипса на 1 кг почвы пахотного слоя добавляется стронция от 6 до 8 мг. Содержание отдельных элементов в составе примесей сильно колеблется. Наибольшей массой в их составе выделяются: титан, железо, кремний, стронций, фтор, барий, марганец, хром, лантан и церий.

Влияние ионов на свойства субстратов. Фосфогипс выделяется специфичностью химического состава – высокой концентрацией кальция и серы, в умеренных дозах в нем содержатся фосфор и кремний, и в микроколичествах – остальные элементы земной коры. Фосфогипс оказывает существенное влияние на химические свойства почвы. Многие исследователи отмечают, что наибольший эффект фосфогипс дает в последующие годы. В вегетационных опытах мы изучали влияние фосфогипса на содержание подвижного фосфора, кальция и кислотность почвенной среды. При значительном количественном внесении фосфогипса содержание подвижного фосфора по сравнению с чистой почвой повышается на 7 мг/кг, понижается в субстрате содержание нитратов и уровень pH – от щелочной (8,2) до нейтральной (6,9). Изменение содержания подвижного фосфора и нитратов мы связываем с коагулирующей способностью фосфогипса и со снижением выщелачивания питательных веществ при их консервировании в агрегатах, а снижение pH - с воздействием кислотности фосфогипса и нейтрализацией таким образом почвенной среды.

Для ионитов сильнокислотного типа минеральной дисперсной системы (фосфогипс) H^+ не обладает высокой энергией связи и расположен в конце ряда среди одновалентных катионов. Многие золи (например, гидроокиси Al, Si, Fe, Mn) изучаемых дисперсных систем характеризуются большим различием в упрочнении гидратных оболочек атомов, и потому коагуляция в субстратах при смешивании происходит в основном с образованием рыхлых структурированных агрегатов.

Важнейшими свойствами фосфогипса являются молекулярные взаимодействия частиц с другими компонентами (например, навозом, перегноем и др.), определяющие их способность агрегироваться в хлопья и давать студнеобразные или твердые коагуляционные структуры. Фосфогипс выделяется высокой концентрацией кальция и серы, а в микроколичествах в нем объективно представлены все элементы таблицы Д.И. Менделеева.

Негативные особенности химического состава фосфогипса. Безусловно, наличие в фосфогипсе стронция, фтора, кадмия, свинца и других токсических элементов ставит перед экологами ряд вопросов, которые, безусловно, необходимо изучать системно, проследить их передвижение по цепям питания и их трансформацию с учетом изменения условий среды по сравнению с контролем в течение четырех-пяти лет. Исходя из

полученных результатов исследований, остановимся на проблемах, связанных с содержанием в фосфогипсе фтора, стронция, хлора и некоторых других.

Фтор относится к неметаллам и обладает большой реакционной способностью и биохимической активностью. В биосфере фтор встречается повсеместно и по распространению в земной коре занимает 13-е место. В фосфорных удобрениях фтора содержится до 4 %, в фосфогипсе – до 5 % от количества в сырье. В фосфогипсе Белореченского завода на долю F, по нашим определениям, приходится до 0,12 %, а по данным местной лаборатории – еще меньше. В фосфатном сырье, поставляемом Белореченскому химзаводу, фтора содержится в среднем 0,033 %.

Уровень содержания фтора в почвенном растворе зависит от доли глинистых минералов, уровня pH, концентрации кальция и фосфора; максимальная абсорбция фтора отмечена при pH от 6 до 7. В щелочной среде образуется CaF_2 и комплексы фтора с железом, алюминием и кремнием и потому его миграция весьма низкая. Подвижность фтора усиливается натрием. При внесении фосфогипса до 10 т/га опасность загрязнения почв и растений фтором не больше, чем от внесения в почву принятой нормы фосфорных удобрений, особенно в черноземе обыкновенном, где в почвенном растворе его уровень контролируется ионами кальция.

В растения фтор поступает в форме аниона и является антагонистом кальция, магния, калия, азота, но синергетиком по отношению к фосфору; в растении влияет на ферменты и катализаторы, из хлорофилла осаждает кальций и магний. К фтору чувствительна кукуруза, в её зерне содержание фтора не должно превышать 3, в корнеплодах – 23, в сене – 30, в траве – 15 мг/кг.

Нами определены уровни загрязнения фтором урожая трав вокруг отвалов фосфогипса в районе Белореченска (расстояние 10–20 м от отвала) и получены следующие результаты: разнотравье – 7,5–8,2 и злаки с C_4 -типом фотосинтеза (*Sorghum halepense*, *Setaria spp.*) – 8,4–9,1 мг/кг, а в поверхностном стоке его содержится до 7,2 мг/л, что примерно равно фоновому содержанию этого элемента. В 1 км от отвала фосфогипса фтора содержится в разнотравье – 7,3–7,6; у злаковых – 8,1–8,5 мг/кг; в воде отстойника – 7,0–7,2 и в колодце – 1,1 мг/л, что на 5,8% ниже, чем в зоне влияния хранилища фосфогипса. Содержание водорастворимого фтора в почве в радиусе 1 км от отвалов составило 10–13 мг/кг (при ПДК 10 мг/кг), в некоторых древесных содержание фтора в результате газопылевых выбросов предприятия доходит до 18 мг/кг, что превышает фон примерно в 1,8 раза, но заметно ниже принятой концентрации для кормов в США (30–50 мг/кг). При сухом складировании фосфогипса в воздух уходит примерно 0,12 % от содержащегося в нем фтора.

Вокруг завода наблюдается некоторое повышение содержания растворимых форм фтора в почве (примерно на 10–15 %) и в растениях (на 50–70 %), что, естественно, ухудшает экологическую обстановку вокруг отвалов, которые являются важным источником эмиссии фтористых веществ во все составляющие ландшафта, заметно увеличивая их загрязнение. Отвалы влияют на окружающие ландшафты через дождевые стоки с их поверхности, а также в связи с просачиванием через экран и с газо- и пылевой эмиссией. Из 1 т фосфогипса с поверхности отвала выделяется примерно 6–8 г фтора с пылевыми частицами и около 0,5 г в газовой фазе. Распространение пылевых частиц с ветровыми потоками осуществляется весьма активно в 1-ой зоне (до 1,5–2,0 км от отвалов) и ослабляется во 2-ой зоне (2–4 км от отвала) примерно в 2–3 раза по сравнению с первой.

За год дождями вымывается из отвалов до 12–15 % фтора, который с поверхностным стоком в районе Белореченска распространяется на площади свыше 2,5 км² вплоть до р. Белой, впадающей в реку Кубань. Нами проведено изучение содержания фтора от

отвала в сторону города на расстоянии 1, 10 и 100 м в 1 кг почвы в слое 0–20 см (табл. 2).

Таблица 2. Содержание водорастворимого фтора в почве и растениях, мг/кг

Расстояние от отвалов, м	На юго-запад			На северо-восток		
	слой почвы, см		травяной покров	слой почвы, см		травяной покров
	0-5	5-20		0-5	5-20	
1	14,1	10,8	27,9	12,8	10,1	22,7
10	11,9	9,7	22,4	10,9	9,3	16,9
100	8,7	8,3	15,7	8,2	7,8	13,9

Поскольку растения берут фтор из почвы, грунтовых вод и из воздуха, то его концентрация в растениях заметно выше, чем в почве. Содержание фтора в почве на расстоянии более 10 м от отвала превышает ПДК, но на расстоянии 100 м от наветренной и подветренной сторон его уровень (10 мг/кг) находится на уровне ПДК. В пределах 100 м от края отвала в листьях ивы концентрация фтора составила 270, в разнотравье – 257, в надземной массе кукурузы – 73 мг/кг. В полевых условиях под Краснодаром с внесением фосфогипса из расчета 3 т/га и 50 т/га перегноя содержание фтора в надземной массе кукурузы составило 13,2 мг/га, а с внесением NP – 9,7 мг/кг; в зерне соответственно 10,3 и 10,1 мг/кг, в зерне овса – 12,7 и в его соломе – 15,9 мг/кг.

Стронций. Содержание стронция в фосфогипсе высокое (на уровне фосфорных удобрений и даже выше), хотя по разным данным эти цифры сильно варьируют. По физхимии стронций является аналогом кальция; чем меньше доля кальция, особенно на кислых почвах, тем выше роль стронция в обмене веществ живых организмов, а это означает, что на кислых почвах применять чистый фосфогипс нельзя. В черноземе обыкновенном на Кубани соотношение кальция и стронция колеблется от 110 до 150; содержание валового и обменного стронция выше, чем в черноземе выщелоченном, но среднее соотношение кальция и стронция близкое во всех типах черноземов - от 120 до 200. Обменный стронций от общего составляет 15–20 %.

Внесение фосфорных удобрений повышает долю обменного стронция и весьма существенно. Коэффициент корреляции между дозами P_2O_5 и содержанием в почве стронция высокий и составляет $R=0,98$. Применение P_2O_5 с другими минеральными удобрениями, особенно с азотными, увеличивает содержание подвижного стронция в почве. В фосфогипсе многих месторождений содержание подвижного стронция доходит до 20 мг/кг; соотношение кальция и стронция в фосфогипсе завода составляет 75–80 и потому фосфогипс как источник загрязнения почв мало отличается от фосфорных удобрений.

Растения из фосфорных удобрений используют до 8 % стронция, из неудобренной почвы – 0,4 %, а из фосфогипса, где он находится в основном в связанной форме, - от 0,007 до 0,1 %. Стронций в фосфорных удобрениях содержится от 0,5 до 4,0 %. В черноземах содержание стронция в верхнем слое почвы составляет 0,04 %, а кальция – 4,36, и отношение кальция к стронцию составляет свыше 100. Относительно низкое накопление стронция в урожае характерно для злаков с C_3 -типом фотосинтеза (пшеница до 14,5 мг/кг зерна), злаки с C_4 -типом фотосинтеза стронция накапливают больше (кукуруза до 19,5 мг/кг зерна), еще больше концентрируют его свёкла – 44,5 мг/кг сухого вещества, горох – 57,4, подсолнечник - 65,6, его много накапливают также виноградные. Фосфогипс можно определить как минеральную высокодисперсную систему.

Зола – калийное и фосфорное удобрение; её богатство кальцием позволяет использовать для снижения кислотности почвы. Зола оценивается как минеральная дисперсная система калийно-кальциево-фосфорного направления. Стебли подсолнечника

содержат: K_2O – 30-35, P_2O_5 – 2,4, CaO – 18-20%; солома ржаная: K_2O – 10-14, P_2O_5 – 4-6, CaO – 8-10%; березовые дрова: K_2O – 10-12, P_2O_5 – 4-6, CaO – 35-40 %; сосновые дрова: K_2O – 6-8 %, P_2O_5 – 2-4, CaO – 35-40 %.

Галитовые отходы. На 1 т KCl образуется 3-4 т галитовых отходов, основным компонентом которых является $NaCl$; представляют собой осадочную горную породу и образуют плотную зернистую массу. В чистом виде галиты прозрачны и бесцветны, окрашены примесями в желтый, серый и красный цвета. В отходах также содержатся KCl , $MgCl_2$, $CaSO_4$, соединения брома. Отвал представляет зернистую сыпучую массу, в которой концентрируется до 10 % маточного раствора. После проведения флотации галитовые отходы перерабатывают на техническую и пищевую соль. При производстве калийных удобрений проблема ликвидации отходов, к сожалению, не решается. Значительная их часть применения не находит и накапливается в отвалах. Возможно надземное захоронение и их растворение с последующей перекачкой в подземные горизонты. Залегаёт в виде слоев осадочных пород вместе с гипсом, калийными и другими солями. Крупные его залежи приурочены к осадкам пермского периода в районах близ г. Соль-Илецка, в Соликамске, в Белоруссии и в других местах. Из этого отхода получают соду, хлор, едкий натрий, соляную кислоту и другие продукты.

При переработке сырья в калийной промышленности образуются ежегодно миллионы тонн твердых галитовых отходов и сотни тысяч тонн глинисто-галитовых шламов. Вместе с пустой породой солеотвалы калийных предприятий занимают площадь около 250 га и на шламохранилища приходится около 200 га.

Из сильвинитовых руд на 1 т KCl в виде отвала образуется 3-4 т галитовых отходов, содержащих до 89-90 % $NaCl$, 4,4-5,0 % KCl , 1,1 % $CaSO_4$, 0,1 $MgCl_2$ и 4,5 % нерастворимого остатка. Влажность галита в отвалы – 10-12 %, а в отвалах снижается до 5-8%. В России ведутся работы по снижению солевых отходов на земной поверхности (технология горных работ с сокращением выемки из шахт галита и пустой породы и возврат отходов флотации в выработанные пространства рудников).

Получаемые из сильвинитовых руд глинисто-солевые шламы, образующиеся при флотационной их переработке, представляют тонкодисперсные суспензии нерастворимого осадка в рассолах, солезадержание которых составляет 200 г/л. Взвесь шламовой пыли включает алюмосиликаты, сульфаты, карбонаты. Рассматривается как минеральная дисперсная система.

Глинистосолевые отходы. В процессе производства калийных удобрений образуются галитовые и глинистые шламы, солевые и сточные воды, минерализованные рассолы шламохранилищ, а также отходящие газы со стадии сушки. Глинистосолевые шламы представляют собой суспензию в минерализованном рассоле. Состав рассола (масс%): KCl – 10-11, $NaCl$ – 20-22. Твердая фаза состоит из мелкодисперсных частиц песка, глины и других включений. Ни один из методов утилизации шламов не применяется в промышленном масштабе. Главным препятствием является повышенная влажность отходов – 70-80 %, мелкодисперсность и высокая вязкость. Глинистосолевые шламы через гидротранспорт подаются в шламохранилища, которые обносят дамбами, углубляют на 20-40 м с целью экономии площадей, являющихся источником загрязнения окружающей среды. Метод освобождения сильвинита от шламов основан на ферромагнитных свойствах оксида железа Fe_2O_3 (5-7 %). Сухие глинистые шламы могут быть использованы в качестве калий-магниевых удобрений на песчаных почвах. Рассматривается как минеральная дисперсная система.

Сильвинит представляет собой осадочную горную породу из смеси галита и сильвина и некоторых примесей с плотным агрегатом его кристаллов (23-24 %) и других галоидных и сульфатных соединений; используется как калийное удобрение. Соотно-

шение хлоридов калия и натрия варьирует, в примесях присутствуют песок, гипс, глина; в воде хорошо растворим; минеральная дисперсная система.

Сильвин – минерал, хлористый калий KCl, сходный с каменной солью, но на вкус горький; содержит 52,5 % калия. Твердость 2,0–2,5, удельный вес 1,9–2,0. Крупнейшее мировое месторождение – Соликамское на Северном Урале; минеральная дисперсная система.

Минеральные отходы производства и потребления являются дисперсными и коллоидными системами, которые заметно различаются коллоидным состоянием, составом, коагуляционными и седиментационными свойствами, что обусловлено их физическими и химическими особенностями. Важное значение имеет минеральный состав и, прежде всего, соотношение между минеральными фракциями гранулометрического состава сложных компостов из монтмориллонита и гидрослюд, с одной стороны, и каолинита, с другой, различающихся дисперсностью и поглотительной способностью. Из всех составляющих сложного компоста тяжелые металлы сорбируются тяжелыми гранулометрическими фракциями.

Сорбция тяжелых металлов снижается при щелочной и слабощелочной реакции сложного компоста, и эти загрязнители переходят в слаборастворимые вещества и мало поступают в растения, а также в грунтовые воды. Основными соединениями, связывающими тяжелые металлы, являются силикаты, оксиды, гидроксиды, соли.

Переходу тяжелых металлов в слаборастворимые соединения способствует удобрение верхнего слоя почвы сложным компостом с содержанием органического вещества до 10 % и больше и высоким уровнем органических и минеральных коллоидов, сорбирующих тяжелые металлы; высокая емкость катионного обмена усиливает связывание тяжелых металлов; дренирование участка способствует окислению тяжелых металлов, ослаблению их миграции и использования растениями.

Сорбционные свойства минеральной части почвы обусловлены в основном глинистой фракцией, где господствуют каолиниты и вермикулиты. Их способность присоединять катионы тяжелых металлов свойственны монтмориллониту и вермикулиту. Ряд металлов осаждается с карбонатами, а также сорбируется на оксидах железа и марганца. С карбонатами легко осаждаются Mn, Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn. В составе фосфатов, включая фосфогипс, много тяжелых металлов: Cu, Zn, Pb, Mn, Cd, Ni. Органические вещества способствуют накоплению тяжелых металлов; фульвокислоты образуют комплексные соединения – фульваты тяжелых металлов [2, 3, 4, 5, 7].

Минеральные отходы представляют собой дисперсную систему, не образующую устойчивые коллоиды, поскольку их нерастворимые элементы гидратируются очень мало, не инициируют взаимной коагуляции или седиментации и структурные агрегаты не образуют. Органические отходы, переработанные микроорганизмами, представляют дисперсную систему, где в силу высокой её гидратации в процессе взаимной коагуляции органических и минеральных коллоидов формируются гелеобразные структуры, являющиеся носителями увлажнения и плодородия.

Совмещение дисперсных систем различных отходов со своими специфическими коагуляционными свойствами, дополняющими друг друга и создающими весьма устойчивые агрегаты, заметно улучшает физические (аэрация, инфильтрация и др.), химические (обогащение органическими веществами, Ca, S, Si и микроэлементами) и биологические (увеличение количества и численности популяций бактерий, грибов, актиномицетов и одноклеточных водорослей) свойства почвы [20, 21, 22, 23, 24].

Почва, обогащенная с внесением сложного компоста органическими и минеральными коллоидными системами, отличается взаимной коагуляцией и седиментацией положительно заряженных частиц с отрицательно заряженными гуматами и кремнием, на основе которых формируются структурируемые коагели, составляющие основу её

плодородия. Рациональное использование отходов основных направлений производства и потребления будет способствовать высвобождению земельных территорий и практической выгоде при их использовании под посевы сельскохозяйственных культур.

Создание сложных компостов с включением бытовых, сельскохозяйственных и промышленных отходов на основе варьирования их типов и соотношений определяет специфику дисперсности и коллоидальных характеристик химического и биологического многообразия, расширяет экологические ниши и существенно корректирует агрономическое качество верхнего слоя почвы в течение 5–6 лет.

Минеральные отходы осуществляют физическую и химическую стабилизацию органического вещества почвы через снижение в нем влаги и инактивацию редуцентов, размещающихся на поверхности микроагрегатов в связи с наличием и возможным образованием отдельных видов кислот. Наибольшая доля микроорганизмов свойственна внешней части микроагрегатов, внутри которых размещаются микрочастицы минеральных отходов, имеющие силикатную основу и образующие гидрофобные зоны. Поскольку в навозе, дефекаате, осадках сточных вод и в других органических отходах органические вещества представлены в основном биохимически лабильными материалами, то они активнее поддаются физической и химической стабилизации [11, 12, 13]. Важным направлением стабилизации органического вещества в почве является агрегация её частиц.

Основным центром аккумуляции органического углерода и азота являются микроагрегаты, представляющие вторичные комплексы минеральных коллоидов различных отходов с органическими частицами почвы или органических отходов. Агрегаты формируются в процессе перестройки органических частиц и их осаждения на минеральных коллоидах. Предстоит еще много исследовать по выяснению механизма агрегирования органических и минеральных коллоидов. Ядром формирующихся агрегатов при внесении в почву минеральных отходов, на наш взгляд, выступает не почва, а коллоидные частицы отходов, поскольку именно они выполняют основную роль в поддержании стабильности микроагрегатов, создающих своего рода физико-химические барьеры для сообществ микроорганизмов, влияющих на трофические связи, состояние минеральных элементов, накопление воды и т.д. [14, 15, 16, 17].

Основной механизм агрегирования при внесении минеральных коллоидов, на наш взгляд, определяется образованием органоминеральных комплексов через связывание лабильных органических веществ с достаточно устойчивыми агрегирующими образованиями (прежде всего гуминовыми веществами) с микрочастицами коллоидов различных минеральных отходов, что легко заметить при увлажнении и перемешивании отходов и почвы. Образование микроагрегатов с участием минеральных отходов наблюдается уже на 2-3-й день после перемешивания этих субстратов с накоплением органических веществ на поверхности частиц минеральных коллоидов. По разным причинам с внесением в почву сложного компоста интенсивность разложения органического вещества в ней снижается, и период полураспада гумуса повышается. Проблемы агрегирования почвы и сложного компоста представляют большой научный и практический интерес, и их исследования весьма важны. Рассмотрим наиболее важные свойства минеральных [18, 19, 20, 21].

Гранулометрический состав минеральных веществ. Изучение гранулометрического состава минеральных отходов, показало их отличие от почвы в том, что доля частиц меньше 0,25 мм в минеральных отходах весьма высокая и колеблется от 62 до 70 %, а меньше 0,1 мм составляет 36–41 % (табл. 3).

При внесении минеральных отходов в почву основная масса их частиц <0,1 мм покрывается сверху массой мелких органических или органоминеральных образований почвы и формируются макроагрегаты (размерами более 1 мм) и достаточно устойчивые

микроагрегаты в диаметре частиц фосфогипса до 1 мм (рис. 3). Своего рода особенность совмещения органической части почвы и минеральных отходов благоприятствует улучшению аэрации субстрата, обогащению почвы кислородом, повышению её пористости и понижению плотности, активному поглощению и более экономному расходованию влаги и т.д. [16, 21].

Таблица 3. Гранулометрический состав изучаемых субстратов

Субстрат	Размер элементарных частиц (мм) и их содержание (%)						Физическая глина, %
	1 – 0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,01	0,01 – 0,005	0,005 – 0,001	< 0,001	
Почва	1,14	10,33	34,91	3,08	12,9	37,64	53,62
Фосфогипс	22,3	55,04	1,33	0,32	5,14	15,87	21,33
Полуперепревший навоз КРС	5,23	13,19	40,08	6,68	13,33	21,49	41,50
Почва + фосфогипс	3,43	22,17	17,39	12,26	27,32	17,43	57,01
Почва + полуперепревший навоз + фосфогипс	3,73	16,13	16,12	7,05	32,99	23,97	64,02

Приведем пример гранулометрического состава почв и некоторых отходов.

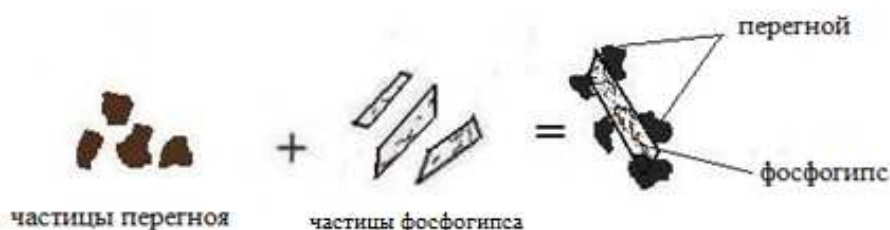


Рис.1. Взаимодействие органического отхода (полуперепревший навоз КРС) и минерального - фосфогипса

Валовый состав минеральных отходов. Изучаемые отходы минерального производства содержат в различных соотношениях оксиды, составляющие основу земной коры (CaO, Fe₂O₃, FeO, MgO, TiO₂, MnO₂, Cr₂O₃, CuO, SiO₂, BaO₂), запасы которых в настоящее время в почвах сократились в связи с выносом с урожаем, выветриванием и выщелачиванием, что, естественно, отражается на плодородии почвы, а также количестве и качестве урожая сельскохозяйственных культур. Поступление в почву этих веществ в малых дозах способствует её обогащению и благоприятствует развитию растений и образованию ими качественного урожая. Внесение в почву минеральных коллоидов способствует её обогащению кальцием, серой и другими элементами [8, 9].

С внесением минеральных отходов в почве повышается содержание минеральных коллоидов, усиливается её агрегирование, улучшается аэрация, больше накапливается и сохраняется влаги, экономнее расходуются органические вещества и азот, интенсивнее разлагаются стерневые остатки кукурузы, подсолнечника, суданской травы и других трудноразлагаемых растительных отходов. В зерне озимой пшеницы повышается содержание белков, углеводов, провитамина А, витаминов группы В, аминокислот, растворимых полисахаридов, биотина, бетаглюкана и минеральных элементов Mg, Ti, Mn, Ca, S, P, Si, Fe, K, Cr, Cu, Ba, Zn и др. [10, 11, 12, 13].

Растворимость минеральных отходов. В лабораторных условиях было установлено, что растворимость минеральных отходов в режиме попеременного увлажнения и высушивания на первом этапе составила у фосфогипса около 0,35 %, а у галитов

– до 0,44 % (рис. 2). В последующем этот показатель существенно снижался и за 5 этапов растворимость фосфогипса в эксперименте составила в сумме около 0,7 %, а галита – 1,3 %. Мы также оценили растворимость фосфогипса в почве, где она существенно увеличилась по сравнению с лабораторной. В почве в течение года может раствориться фосфогипса до 10–12 %, а галита больше 15 %. По всей видимости, с уменьшением размеров частиц минеральных отходов его растворимость в почве увеличивается. По нашим расчетам, действие фосфогипса будет проявляться в почве достаточно активно от 5 до 7 лет в связи с низкой растворимостью и постепенным переходом его растворимых веществ в ППК. Дальше его влияние на ППК почвы также будет проявляться, но значительно меньше и для поддержания валового состава почвы необходимо его новое внесение. Примерно такие же подвижки с растворимостью получены и для галита.

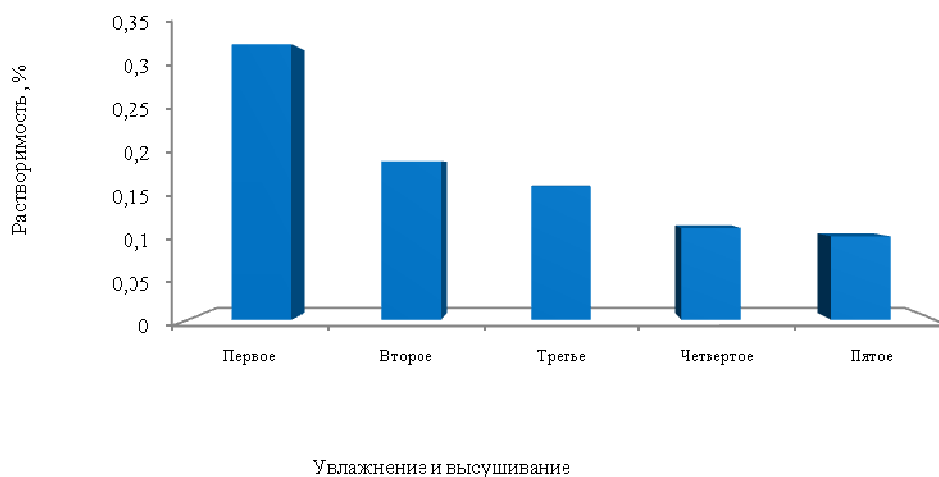


Рис. 2. Растворимость фосфогипса

Компостирование минеральных и органических отходов. С внесением минеральных отходов в почву после увлажнения субстрата активно образуются достаточно устойчивые микро- и макроагрегаты [16, 21]. Известно, что органическое вещество (гумус) в различных типах почв отличается по срокам развития, но, в общем, выделяется относительно коротким жизненным периодом. Внесение минеральных отходов в почву способствует образованию в ней микро- и макроагрегатов органоминерального комплекса. Агрегация органических и минеральных частиц является важнейшей основой физической стабильности органического вещества, а сами агрегаты выполняют роль главного хранителя в почве органического углерода. Образующиеся с минеральными отходами агрегаты различаются по форме, размеру, механизму агрегации. Вообще, организатором и ядром агрегатов в почве является органическое вещество. В случае внесения минеральных отходов организатором также выступает органическое вещество, но ядром образующихся агрегатов являются минеральные частицы менее 0,1 мм, на которые «наклеивается» масса органических (гуминовые вещества, белки и др. образования) и мелких минеральных частиц (алюмосиликаты).

Предварительная оценка продолжительности периода полураспада гумуса в черноземе обыкновенном в условиях Кубани колеблется, по нашим расчетам, от 1,5 до 2,5 лет, т.е. период расщепления органического вещества в макроагрегатах в среднем составляет 15–25 лет. Исследования в этом направлении весьма перспективны, поскольку внесение минеральных отходов и усиление в почве агрегирования (микро- и макро-) способствует защите её органического вещества и благоприятствует его компостированию с органическими отходами (полуперепревший навоз, дефекация, птичий помет, осадки сточных вод и т.д.). Это способствует удлинению активной функции минеральных

отходов и органических веществ в почве до 5 лет и больше благодаря их экономному расходованию [20, 23, 24].

Минеральные отходы и расходование органического и минерального азота. Экономия расхода органического азота в почве определяется защитой и снижением скорости разложения её органического вещества. Экономия минерального (внесенного с удобрениями) азота, на наш взгляд, связана с частичным его переходом в макро- и микроагрегаты, что снижает активность окислительно-восстановительных процессов, особенно нитрификации и денитрификации микроорганизмами и уменьшает его вынос инфильтрационным стоком, а также выделение в атмосферу молекулярного азота (рис. 3).



Рис. 3. Влияние минеральных отходов на динамику азота и органического вещества в компосте

Например, компостирование фосфогипса и органических отходов (рис. 4) способствует диссоциации сернокислого кальция (CaSO_4) и взаимодействию его кислотного остатка (SO_4^-) с ионом аммония и образованием сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Внесение в почву сложного компоста (органические удобрения + минеральные отходы) позволяет сократить дозу чистого азота до 40 кг/га под озимую пшеницу без ущерба для урожая и его качества.

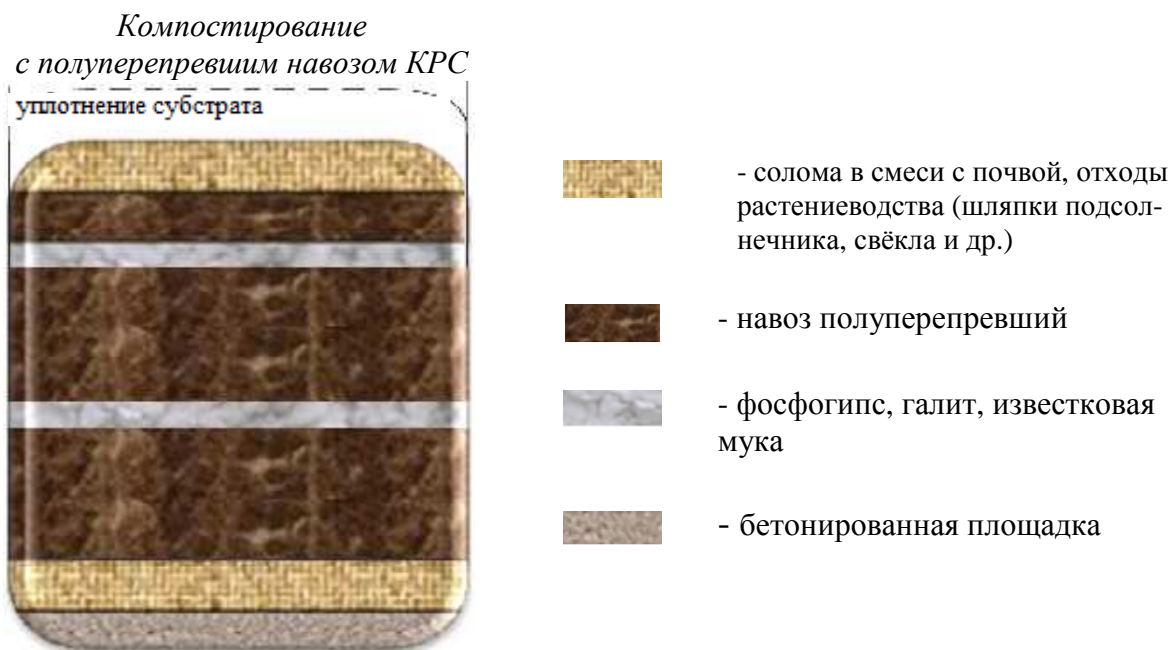


Рис. 4. Совместное компостирование минеральных и органических отходов

Реакция раствора минерального отхода. Кислотность Белореченского отхода с использованием для его нейтрализации известкового молока составляет около рН 5,0 и обу-

словливается действием фосфорно-кислой соли кальция природного минерала ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ и $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$), а также влиянием остатков серной кислоты (H_2SO_4) в технологическом процессе при экстракции из апатита P_2O_5 . С учетом этой особенности фосфогипс представляет интерес для использования в качестве мелиоранта на засоленных почвах, что заметно влияет не только на pH их среды, но и на урожай сельскохозяйственных культур и его качество.

Кислая реакция фосфогипса создает благоприятные условия для разрушения таких органических соединений, как ПАВы, углеводороды и другие вещества, что позволяет компостировать его с отходами, содержащими такие вещества как осадки бытовых стоков, опилки мебельных производств, а также различные виды навоза, птичьего помета и получать качественное безопасное органоминеральное удобрение [11].

Минеральные коллоиды отходов. В фосфогипсе доля минеральных коллоидов сравнительно невысокая (менее 0,5 %), но с учетом многолетнего распада этого отхода их доля, по нашим расчетам, сохранится на этом уровне до 6–7 лет, что будет способствовать поддержанию минеральной части коллоидов в почве на значительном уровне, а также защите и снижению скорости разложения её органической части. Внесение фосфогипса в почву увеличивает емкость катионного обмена (табл. 4) и тем самым улучшает её плодородие.

Таблица 4. Емкость катионного обмена

Вариант опыта	ЕКО, ммоль/100 г
Почва	21,00
Почва + полуперепревший навоз КРС (50 т/га)	28,00
Почва + полуперепревший навоз КРС + минеральные отходы (7 т/га)	33,00

Кальций, сера и другие элементы минеральных отходов. Многие элементы содержатся в фосфогипсе в весьма значительных количествах. Например, свыше 20 % приходится на долю кальция и серы в фосфогипсе (табл. 5). Черноземы обыкновенные бедны доступными формами этих элементов. Необходимость серы определяется её участием в повышении качества продукции сельскохозяйственных культур. Кальций является важной составной частью ППК почвы. Он обуславливает прочность структурных элементов, образуемых почвенными коллоидами, снижает активность солей фтора и тяжелых металлов (особенно стронция), а также хлоридов, усиливает устойчивость хлебов к полеганию и т.д. Кроме того, увеличение в ППК почвы содержания кальция положительно сказывается на активизации аммиачного питания растений [14, 15].

Таблица 5. Содержание кальция и серы (%) в фосфогипсе

Элемент	Фосфогипс	
	сухой	сырой
Ca (расчет на элемент)	30,00	25,40
S (расчет на элемент)	24,30	21,00

Влияние минеральных отходов на развитие растений. Улучшение физических свойств почвы и минерального питания комплексом микро- и мезоэлементов благоприятствует развитию корневых систем у злаков и корнеплодов (рис. 5, 6). Заметно активизируется также развитие боковых почек в зоне кущения у озимой пшеницы и усиливается её побегообразование, что позволяет при совершенствовании технологии применения удобрений снизить норму высева семенного материала до 20 %. При соблюдении предлагаемой технологии на каждые 1000 га посевов можно снизить расход семенного материала примерно на 40 тонн [8, 9].

Минеральные отходы и продуктивная влага в почве. Внесение минеральных отходов усиливает формирование микро- и макроагрегатов в почве, существенно ограничивает активность микроорганизмов, разрушающих органическое вещество, и сохраняет в метровом

слое почвы до 110 мм влаги и больше, при влагонакоплении на контроле – около 100 мм (табл. 6). Увеличение влагонакопления в варианте с фосфогипсом благоприятно сказывается на улучшении условий роста растений, удлинении продолжительности вегетации посевов озимой пшеницы примерно на 10–12 дней и способствует повышению её урожая.



А

Б

Рис. 5. Влияние фосфогипса на развитие растений пшеницы: А – без фосфогипса; Б – с фосфогипсом.



А

Б

Рис. 6. Влияние фосфогипса на развитие корнеплодов сахарной свеклы: А – без фосфогипса, Б – с фосфогипсом.

Таблица 6. Влияние фосфогипса на накопление продуктивной влаги в почве

Вариант	Содержание влаги, мм	Диапазон колебания, мм	Уровень влаги, %
Без фосфогипса	98	92-105	100
С фосфогипсом	112	107-116	112

Фосфогипс по сравнению с почвой характеризуется весьма интенсивным и быстрым влагонакоплением и относительно медленной влагоотдачей (рис. 7).

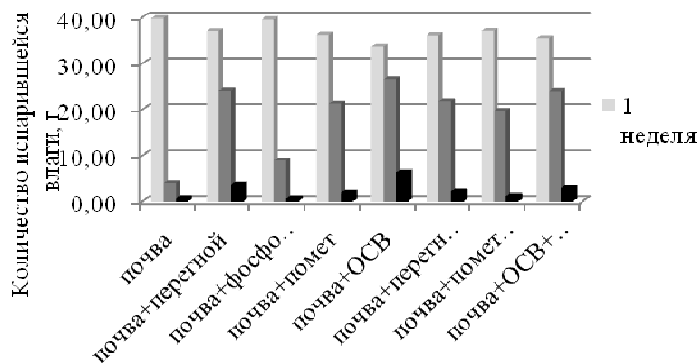


Рис. 7. Масса испарившейся влаги по неделям

Минеральные отходы и микро- и мезофауна почвы. В сложном компосте, где внесены минеральные отходы, при его внесении в почву, повышается содержание дождевых червей и энхитрид – важнейших производителей гумуса, что, на наш взгляд, связано с повышением в почве органического вещества, продуктивной влаги и более стабильного их содержания в течение вегетационного периода (рис. 8). Увеличение численности популяций дождевых червей говорит о благоприятных условиях их питания и развития при внесении в почву органоминеральных компостов с участием фосфогипса [2, 5, 7].

При компостировании различных видов органических отходов с минеральными удобрениями значительно улучшается санитарно-эпидемиологическая ситуация с развитием компоста, которая четко отмечается уже через месяц. В процессе взаимодействия минеральных отходов и полуперепревшего навоза формируются макроагрегаты (гранулы), при растворении которых в воде среда становится слабокислой, что негативно сказывается на развитии яиц гельминтов и приводит к их гибели. Например, при компостировании свиного навоза резко снижается численность яиц всех паразитов, а после двух месяцев компостирования сохраняются только отдельные яйца аскарид, которые к пятому месяцу в опытном варианте оставались на уровне 1 на 50 кг массы субстрата, тогда как на контроле их число составило 15 на каждые 10 кг массы. В процессе компостирования яйца паразитов, очевидно, теряют жизнеспособность в связи с мацерацией их оболочки реакционно-подкисленной средой. После пятимесячного компостирования свиного навоза и фосфогипса согласно разработанной технологии по основным параметрам оценки получаемая органоминеральная смесь относится к пятому классу опасности.

Минеральные отходы и мелкие млекопитающие. На полях озимой пшеницы, где в состав сложного компоста вносился фосфогипс, численность мышевидных грызунов заметно была ниже, чем на контроле, и в целом эти посевы не требовали серьезной ручной обработки по травлению вредителей. По всей видимости, кислая среда, связанная с наличием серы в фосфогипсе негативно влияет на работу пищеварительного тракта грызунов. Благодаря медленной растворимости серы и поддержанию кислотности в зоне побегообразования растений пшеницы и на второй год после внесения фосфогипса численность мышевидных грызунов сравнительно невысокая по сравнению с обычными посевами. Даже вблизи лесополос число их семей в несколько раз было ниже, чем в середине контрольного поля.

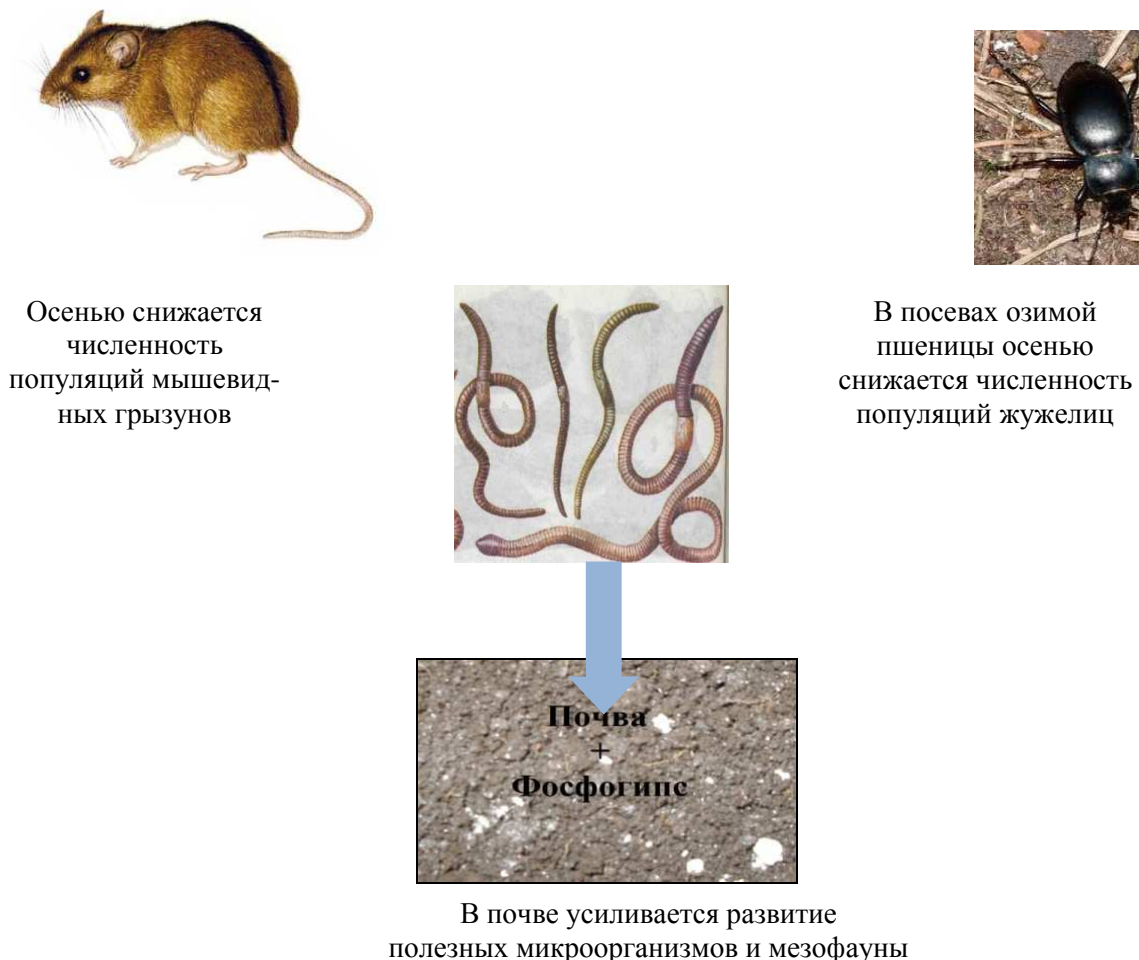


Рис. 8. Влияние сложного компоста на развитие мезо- и макрофауны в почве

Использование минеральных отходов в кормлении животных. Основательная работа в этом направлении проведена коллективом Белорусских ученых под руководством доктора сельскохозяйственных наук Н.В. Пилюк (1994, 1996, 1999), которые использовали фосфогипс, галит и другие отходы в качестве источника серы и кальция в рационах животных (коровы, молодняк, быки-производители, овцы) при свободном скармливании и в виде белково-витаминно-минеральной добавки. В опытах со скармливанием скоту фосфогипса в Белоруссии получены положительные результаты по переваримости кормов, повышению качества продукции, повышению соотношения мясо : костная ткань и другие.

Опыты, проведенные В.В. Гукаловым в ОАО «Заветы Ильича» в Ленинградском районе нашего края, показали, что добавление фосфогипса при силосовании кукурузы исключает присутствие в корме масляной кислоты. Безусловно, нужны более длительные и глубокие исследования применения минеральных отходов в животноводстве [17, 18].

Минеральные отходы – мелиорант для загрязненных нефтью почв. Проведенные исследования показали, что при среднем нефтяном загрязнении сельскохозяйственных земель (до 15–16 л нефти на 1 м²) очистку верхнего слоя почвы можно провести без его вывоза с использованием минеральных отходов и органических удобрений в течение 1 года. Концентрация нефтепродуктов за этот период снижается в 70–80 раз - до 1000 мг/кг и меньше (рис. 9). Бесспорно, что требуются серьезные производственные и научные испытания, поскольку сама деградация углеводов в почве и восстановление последней включают ряд биологических, химических и технологических приемов, которые нуждаются в основательном уточнении их количественных параметров, с учетом плодородия почвы, реакции (рН) её почвенного раствора, содержания гумуса, NPK, порозности, аэрации, количества и качества физической глины и т.д. [10].

Минеральные отходы и опасные загрязнители. В ряде минеральных отходов (например, фосфогипс, галиты и другие соединения) содержится ряд элементов, которые требуют их отслеживания (фтор, стронций и др.). В черноземе обыкновенном фтор активно вступает в реакции с органическими и органоминеральными соединениями с образованием трудно растворимых фторидов. Что касается стронция, то на большей территории края его дозы в почвах весьма умеренные, а содержание подвижного кальция в почвенном растворе с внесением фосфогипса повышается, потому активность загрязнителя – антагониста весьма заметно блокируется. Следует иметь в виду, что в почвенном биокосном комплексе поведение всех входящих в него веществ существенно меняется, как правило, в сторону снижения их активности по сравнению с их поведением в свободном состоянии.

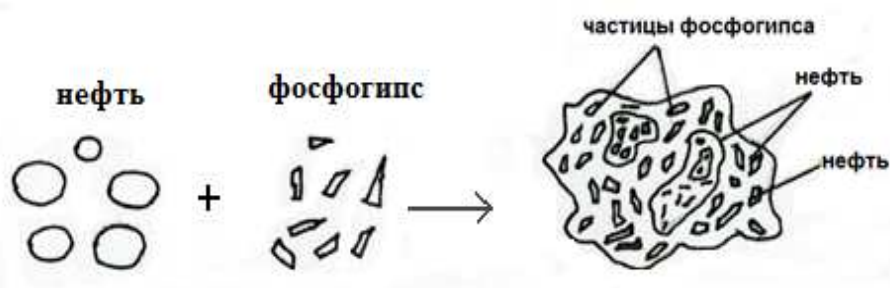


Рис. 9. Взаимодействие коллоидных частиц фосфогипса с нефтяными каплями

На основании обобщения результатов исследований можно сделать следующие выводы:

1. В целом минеральные отходы следует оценивать как многопрофильный мелиорант чернозема обыкновенного, весьма заметно улучшающий физические свойства почвы, благоприятствующий сохранению в ней органического вещества и азота, повышению её влажности и агрегированности.

2. Использование минеральных отходов при компостировании с различными органическими отходами ведет к активному разрушению органических загрязнителей (ПАВы, формальдегиды, углеводороды и т.д.), трансформации формальдегида и разрушению фенол-формальдегидных остатков, что способствует получению экологически безопасных и качественных органоминеральных удобрений.

3. Кислая реакция минеральных отходов, высокие содержания в них различных сульфатов, включая кальций и ряд других элементов, дает основание для их использования с целью мелиорации земель при сильном засолении и загрязнении нефтепродуктами.

4. Минеральные отходы, отличаясь многоэлементным составом и высоким содержанием кальция, серы, кремния и других отходов при компостировании с органическими удобрениями, внесение которых в почву весьма благоприятно сказывается на развитии растений (особенно злаковых культур) через усиление развития их корневых систем и подземного побегообразования, позволяет существенно снизить норму высева культур сплошного сева.

5. Способность минеральных отходов поддерживать влажность почвы и содержание в ней органического вещества благоприятствует развитию в ней важнейших гумусонакопителей – дождевых червей и энхитреидов, а его кислая среда сдерживает развитие популяций мышевидных грызунов.

Список литературы

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в черноземах Ростовской области // Тяжелые металлы и радионуклиды в агросистемах. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – С. 22-27.
2. Агафонов Д.Н. Влияние удобрений на урожай и качество ячменя на черноземе обыкновенном Юго-востока ЦУЗ. Автореф. дис. канд. с/х наук. Каменная степь, 1999. – 20 с.
3. Белюченко И.С. Введение в общую экологию. Краснодар. – 1997. – 544 с.
4. Белюченко И.С. Эволюционная экология. – Краснодар. – 2001. – 172 с.
5. Белюченко И.С. Зонирование территории Краснодарского края и особенности функционирования природных и техногенных систем // Экологические проблемы Кубани. – 2003. – № 20. – С. 4-19.
6. Белюченко И.С. Региональный мониторинг – научная основа сохранения природы // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25-40.
7. Белюченко И.С. К вопросу о процессе нитрификации в агроландшафтах степной зоны Краснодарского края // И.С. Белюченко. – Экол. проблемы Кубани. – 2007. – № 32. – С. 218-222.
8. Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на трансформацию азота в черноземе обыкновенном степной зоны Кубани // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 144-147.
9. Белюченко И.С. Введение в экологический мониторинг. – Краснодар. – 2011. – 297 с.
10. Белюченко И.С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всерос. научной Конфер. по проблемам рекультивации отходов) // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2009а. – Т. 5. – № 3. – С. 72-77.

11. Белюченко И.С. Использование фосфогипса для рекультивации чернозема обыкновенного в степной зоне Кубани // В сб. I Всерос. науч. конф. «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства». Краснодар, 2009б. – С. 54-59.
12. Белюченко И.С. Роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3-16.
13. Белюченко И.С. Экология Краснодарского края (региональная экология). – Краснодар. – 2010. – 354 с.
14. Белюченко И.С. Экологические проблемы степной зоны Кубани, причины их возникновения и пути решения // И.С. Белюченко. – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2011. – Т. 7. – № 3. – С. 47-64.
15. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2011. – Т. 7. – № 4. – С. 65-74.
16. Белюченко И.С. Влияние внесения органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, Д.А. Славгородская. – Тр. КубГАУ. 2011. –Т. 1. – № 32. – С. 69-71.
17. Белюченко И.С. Сложный компост и его роль в улучшении почв // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012а. – Т. 8. – № 2. – С. 75-86.
18. Белюченко И.С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012б. – Т. 8. – № 3. – С. 88-113.
19. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв // Тр. / КубГАУ. – Краснодар, 2012в. – № 39. – С. 63-68.
20. Белюченко И.С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв // И.С. Белюченко. – Тр. КубГАУ. 2012г. –Т. 1. – № 38. – С. 68-72.
21. Белюченко И.С. Влияние органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, Д.А. Славгородская, В.В. Гукалов. – Тр. КубГАУ. 2012д. –Т. 1. – № 34. – С. 88-90.
22. Белюченко И.С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 13-38.
23. Белюченко И.С., Славгородская Д.А. Изменение плотности и аэрации пахотного слоя чернозема обыкновенного под влиянием сложного компоста // Докл. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. –№ 2. – С. 40-42.
24. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов при подготовке сложных компостов для повышения плодородия почв // В сб.: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленности и сельскохозяйственного производства. – Краснодар. – 2013. –С. 46-62.
25. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. – М.: Почв. Ин-т им. В.В. Докучаева. – 2004. – №3. – С 22-26.

References

1. Alekseev Ju.V. Tjzhelye metally v chernozemah Rostovskoj oblasti // Tjzhelye metally i radionuklidy v agrosistemah. – М.: Izd-vo MGU, 1994. – S. 22-27.
2. Agafonov D.N. Vlijanie udobrenij na urozhaj i kachestvo jachmenja na chernozeme obyknovennom Jugo-vostoka CUZ. Avtoref. dis. kand. s/h nauk. Kamennaja step', 1999. – 20 s.
3. Beljuchenko I.S. Vvedenie v obshhuju jekologiju. Krasnodar. – 1997. – 544 s.

4. Beljuchenko I.S. Jevoljucionnaja jekologija. – Krasnodar. – 2001. – 172 s.
5. Beljuchenko I.S. Zonirovanie territorii Krasnodarskogo kraja i osobennosti funkcionirovanija prirodnyh i tehnogennyh sistem // Jekologicheskie problemy Kubani. – 2003. – № 20. – S. 4-19.
6. Beljuchenko I.S. Regional'nyj monitoring – nauchnaja osnova sohranjenja prirody // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2006. – T. 2. – № 1. – S. 25-40.
7. Beljuchenko I.S. K voprosu o processe nitrifikacii v agrolandshaftah stepnoj zony Krasnodarskogo kraja // I.S. Beljuchenko. – Jekol. problemy Kubani. – 2007. – № 32. – S. 218-222.
8. Beljuchenko I.S. Vlijanie fosfogipsa na transformaciju azota v chernozeme obyknovennom stepnoj zony Kubani // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 2. – S. 144-147.
9. Beljuchenko I.S. Vvedenie v jekologicheskij monitoring. – Krasnodar. – 2011. – 297 s.
10. Beljuchenko I.S. Problemy rekul'tivacii othodov byta i proizvodstva (po materialam I Vseros. nauchnoj Konfer. po problemam rekul'tivacii othodov) // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2009a. – T. 5. – № 3. – S. 72-77.
11. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie fosfogipsa dlja rekul'tivacii chernozema obyknovennogo v stepnoj zone Kubani // V sb. I Vseros. nauch. konf. «Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennogo i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva». Krasnodar, 2009b. – S. 54-59.
12. Beljuchenko I.S. Rol' regional'nogo monitoringa v upravlenii prirodnohozjajstvennymi sistemami kraja // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – T. 6. – № 4. – S. 3-16.
13. Beljuchenko I.S. Jekologija Krasnodarskogo kraja (regional'naja jekologija). – Krasnodar. – 2011. – S. 33-37.
14. Beljuchenko I.S. Jekologicheskie problemy stepnoj zony Kubani, prichiny ih voznikovenija i puti reshenija // I.S. Beljuchenko. – Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 3. – S. 47-64.
15. Beljuchenko I.S. K voprosu o formirovanii i svojstvah organomineral'nyh kompostov i reakcii rastenij kukuruzy na ih vnesenie // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 4. – S. 65-74.
16. Beljuchenko I.S. Vlijanie vnesenija organomineral'nogo komposta na plotnost' slozhenija i poroznost' chernozema obyknovennogo // I.S. Beljuchenko, D.A. Slavgorodskaja. – Tr. KubGAU. – 2011. – T. 1. – № 32. – S. 69-71.
17. Beljuchenko I.S. Slozhnyj kompost i ego rol' v uluchshenii pochv // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012a. – T. 8. – № 2. – S. 75-86.
18. Beljuchenko I.S. K voprosu o mehanizmah upravlenija razvitiem slozhnyh kompostov // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012b. – T. 8. – № 3. – S. 88-113.
19. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov dlja podgotovki slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // Tr. / KubGAU. – Krasnodar, 2012v. – № 39. – S. 63-68.
20. Beljuchenko I.S. Ispol'zovanie othodov byta i proizvodstva dlja sozdaniya slozhnyh kompostov s cel'ju povyshenija plodorodija pochv // I.S. Beljuchenko. – Tr. KubGAU. – 2012g. – T. 1. – № 38. – S. 68-72.
21. Beljuchenko I.S. Vlijanie organomineral'nogo komposta na plotnost' slozhenija i poroznost' chernozema obyknovennogo // I.S. Beljuchenko, D.A. Slavgorodskaja, V.V. Gukalov. – Tr. KubGAU. – 2012d. – T. 1. – № 34. – S. 88-90.
22. Beljuchenko I.S. Dispersnye i kolloidnye sistemy othodov i ih koaguljacionnye svojstva // Jekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 1. – S. 13-38.

23. Beljuchenko I.S., Slavgorodskaja D.A. Izmenenie plotnosti i ajeracii pahotnogo sloja chernozema obyknovenogo pod vlijaniem slozhnogo komposta // Dokl. Rossijskoj aka-demii sel'skohozjajstvennyh nauk. – 2013. – № 2. – S. 40-42.
24. Beljuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov pri podgotovke slozhnyh kompostov dlja povyshenija plodorodija pochv // V sb.: Problemy rekul'tivacii othodov byta, promyshlennosti i sel'skohozjajstvennogo proizvodstva. – Krasnodar. – 2013. – S. 46-62.
25. Vodjanickij Ju.N. Tjzhelye metally i metalloidy v pochvah. – M.: Pochv. In-t im. V.V. Dokuchaeva. – 2004. – №3. – S 22-26.