

УДК 631.879.42

UDC 631.879.42

КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ ОТХОДОВ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДСТВ И ИХ РОЛЬ В ФОРМИРОВАНИИ СЛОЖНОГО КОМПоста**COLLOIDAL SYSTEMS OF WASTES OF DIFFERENT PRODUCTION AND THEIR ROLE 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

Установлено, что в процессах взаимодействия органических отходов (осадки сточных вод, фекалии, куриный помет и прочие) с различными отходами минерального сырья (фосфогипс, известковая мука, галиты и др.) важную роль играют коллоидально диспергированные частицы относящиеся к положительным коллоидам

Dispersed colloidal particles pertaining to positive colloids is played important role in the process of the interaction of organic wastes (sewage sludge, defecation mud, chicken manure, etc.) with various wastes of mineral raw materials (phosphogypsum, lime powder, halite, etc.)

Ключевые слова: ОСАДКИ СТОЧНЫХ ВОД, ФОСФОГИПС, ГАЛИТЫ, ДЕФЕКАТ, КУРИНЫЙ ПОМЕТ, ПОЛУПЕРЕПРЕВШИЙ НАВОЗ

Keywords: SEWAGE SLUDGE, PHOSPHOGYPSUM, HALITE, DEFECATION MUD, CHICKEN MANURE, CATTLE MANURE

Коллоидные образования в системе отходов. Дисперсные системы различных отходов (природных, производственных, бытовых), используемых для создания сложных компостов, в целом состоят из комплекса компонентов, один из которых представляет дисперсионную среду, а другие – дисперсные фазы, диспергированные в дисперсионной среде. Если дисперсная фаза какого-либо отхода представлена отдельными молекулами и ионами, то дисперсная система гомогенная, а если представлена крупными агрегатами (до 0,1 мм), тогда система гетерогенная и отделена от дисперсионной среды условной фазовой границей [1,2,3].

Анализируя дисперсные системы и состав коллоидов в отходах быта, природы и производства, можно подчеркнуть их важную роль в развитии региональных экосистем, а также повседневной жизни людей с учетом их глобальной сущности. Объективно наша Земля не может существовать без воды и воздуха, горных пород и минералов и многих других дисперсных образований. Остановимся на краткой характеристике основных формирований [4,6, 15,17], объединяющих сочетание большого многообразия дисперсных систем различных отходов быта, промышленного и сельскохозяй-

ственного производства (взвеси эмульсии, суспензии, аэрозоли, золи, гели, истинные растворы).

Взвеси представляют собой дисперсные системы отходов с размером частиц более 100 нм, которые можно оценивать уже невооруженным глазом; их дисперсная фаза и дисперсионная среда легко разделяются отстаиванием. В числе взвесей выделяют: *эмульсии* (нерастворимые друг в друге жидкости) – молоко, водоэмульсионные краски и т. д.; *суспензии* (среда – жидкость, фаза – нерастворимое в ней твердое вещество) – строительные растворы («известковое молоко» для побелки), взвешенный в воде речной и морской ил, планктон – живая взвесь микроскопических живых организмов в морской воде, которыми питаются рыбы; *аэрозоли* – взвеси в газе, воздухе, мелкие частицы жидкостей или твердых веществ, включая пыли, дымы, туманы [14,21,28,38].

Аэрозоли играют важную роль в природе, быту и производственной деятельности человека. Скопления облаков, обработка полей химикатами, нанесение лакокрасочных покрытий при помощи пульверизатора, распыление топлива, выработка сухих молочных продуктов, лечение ингаляцией дыхательных путей – примеры тех явлений и процессов, где аэрозоли имеют важное значение. Аэрозоли в виде туманов над морем, вблизи водопадов и фонтанов доставляют людям удовольствие и облегчают жизнь. Аэрозоли типа пыли и дыма представляют собой взвеси твердых частиц в газе (более крупные частицы в пыли), а типа туманов – взвеси мелких капелек жидкости в газе [9,10,20]. Природные аэрозоли, включая туман и грозовые тучи, представляют взвесь в воздухе капелек воды, а в дыме – твердых мелких частиц. Смог, висящий над крупнейшими городами мира, представляет собой аэрозоль с твердой и жидкой дисперсными фазами. Население вблизи цементных заводов страдает от всегда висящей в воздухе тонкой цементной пыли, образующейся при размоле цементного сырья и продуктов его обжига – клинкера и др. Вредные аэрозоли пыли имеются

также в городах с металлургическими производствами: дым заводских труб, смоги. Капельки слюны, представляющие собой аэрозоли, вылетающие изо рта больного гриппом человека, являются вредными и инфекционно опасными [13,30,32,33].

Большое значение для жизни человека имеют дисперсные системы, в которых дисперсионной средой является вода и жидкие растворы. Природная вода всегда содержит растворенные вещества, которые активно участвуют в процессах почвообразования и снабжают растения питательными веществами. Сложные процессы, происходящие в организмах человека и животных, всегда протекают в растворах. Многие технологические процессы в химической и других отраслях промышленности (например, получение кислот, металлов, бумаги, удобрений и других продуктов) протекают в основном в растворах различных соединений, которые представляют собой тонкодисперсные системы, в которых дисперсная фаза и дисперсионная среда через отстаивание разделяются с большим трудом, и их подразделяют на золи (коллоидные растворы) и гели (студни).

Золи представляют собой коллоидные растворы, в основном жидкости живой клетки (цитоплазма, ядерный сок – кариоплазма, содержимое органоидов и вакуолей) и живого организма в целом (кровь, лимфа, тканевая жидкость, пищеварительные соки, гуморальные жидкости и т. д.), содержащие крахмал, белки, жиры и другие полимеры. Например, в сложном компосте можно получить коллоидный раствор кремневой кислоты в процессе химических реакций взаимодействия, например, отходов, содержащих растворы силикатов калия или натрия («растворимого стекла») с раствором кремниевой кислоты.

Золь образуется также в процессе гидролиза хлорида железа в горячей воде. Внешне коллоидные образования в сложном компосте напоминают истинные растворы, но они обычно не оседают даже при длительном хранении и не слипаются при сближении друг с другом из-за наличия на их

поверхности одноименных электрических зарядов [18,8,35,40]. При благоприятных условиях (высокая температура, умеренная влажность) в сложном компосте может происходить процесс коагуляции, для которого характерна нейтрализация зарядов частиц, когда в коллоидный раствор поступает дополнительное вещество в виде электролита и он превращается в гель или даже в суспензию. Некоторые органические коллоиды в составе осадков сточных вод коагулируют при нагревании (например, белковые соединения) или при изменении кислотно-щелочной среды раствора (например, с усилением щелочности).

Гели в сложном компосте с повышенной дозой полуперепревшего навоза КРС, свиней, куриного помёта, осадков сточных вод и других органических отходов представляют собой студенистые осадки в случае коагуляции зелей. В эту группу можно отнести желатинообразные формирования различных животных отходов, включая мышечную ткань и другие вещества. История развития коллоидного состояния различных веществ на Земле сравнима с историей эволюции жизни [36,37].

Истинные растворы в сложном компосте представляют собой многофазную гетерогенную систему, состоящую из большого числа элементов, представленных разнородным газом, жидкостью или твердым веществом, обусловленную размещением ряда веществ в массе других в виде молекул, атомов, ионов с размером частиц менее 1 нм. Растворителем считается вещество, агрегатное состояние которого не изменяется при образовании раствора, – в основном это вода. Если раствор образовался при смешении газа с газом, жидкости с жидкостью или твердого вещества с твердым, растворителем считается компонент, которого больше всего в растворе. Например, воздух – растворитель кислорода и газов, а азот – растворитель углекислого газа. Выделяют растворы молекулярные – водные растворы органических веществ: спирта, глюкозы и т. д.; молекулярно-ионные – растворы слабых электролитов: азотистой, сероводородной кис-

лот и др.; ионные – растворы сильных электролитов (щелочей, солей, кислот: NaOH, K₂SO₄, HNO₃, HClO₄).

Коллоидно-дисперсные системы отдельных веществ в сложном компосте формируются различными комбинациями дисперсионной среды (обычно вода) и дисперсной фазы (твердые органические и минеральные вещества), имеющих важное значение. Особые их свойства обусловлены мелкими размерами различных веществ и большой удельной поверхностью их коллоидных частиц [5,21,22,23]. Твердые природные вещества (фосфогипс, галиты, сильвиниты и др.) характеризуются определенной кристаллохимической структурой, а их ионы, атомы и группы атомов внутри вещества находятся в равновесном состоянии. При их измельчении удельная поверхность возрастает и значительно повышается эффект воздействия поверхностных ионов [7,16].

Структура коллоидов сложных компостов комплексная, поскольку кристаллохимическое строение тонкодисперсных минералов (например, мела, фосфогипса, галита и др.) и поглощение ионов различной валентности отличается определенной спецификой. Частицы одного вещества (например, фосфогипса), попадающие в коллоидный раствор, обладают одинаковым зарядом и потому отталкиваются друг от друга. При создании условий для взаимного притяжения частиц образуются агрегаты из нескольких частиц (органические коллоиды навоза и минеральные коллоиды фосфогипса) и вещества в состоянии коллоидного раствора выпадают в виде рыхлого осадка (геля). Гели широко распространены в природе, особенно в почве и в сложном компосте, в которых с их наличием связаны многие свойства. В силу высокой дисперсности гели поглощают из раствора ионы различных элементов, зачастую не образуя при этом устойчивых химических соединений.

На поверхности коллоидных частиц размещаются способные к обмену катионы: в сложном компосте одновалентные катионы вызывают образо-

вание золь, а поглощение двух- и трехвалентных катионов является основной формирования гелей. Коллоидные свойства у разных агрегатных частиц при смешивании разных отходов проявляются при относительно крупных размерах – от 0,001 мм и больше.

Высокодисперсные частицы дфеката, гумуса, осадков сточных вод и куриного помета чаще заряжены отрицательно и в связи с этим активно сорбируют катионы. Обменные основания входят в диффузный слой мицеллы: в коллоидах фосфогипса и галитов чаще встречается кальций и реже магний. При влиянии нейтральной соли (например, KCl) высокодисперсные частицы многих отходов выделяют оснований меньше, чем поглощают. При действии на высокодисперсную часть сложного компоста раствором CaSO_4 образуется серная кислота (обменная кислотность) в результате обмена ионов Ca^{2+} из раствора на ионы водорода, поглощенные тонкодисперсными частицами [28,41].

Ионы водорода, связанные при обмене с катионами нейтральной соли, полностью не выделяются. При действии гидролитической соли на коллоиды (сильное основание и слабая кислота) можно вытеснить значительную часть поглощенных ионов водорода. Поглотительная способность коллоидов у сложных компостов имеет большое значение для гумусовых веществ дфеката и почвы, растительных отходов и осадков сточных вод.

Коллоидность отходов. Коллоиды отдельных отходов представляют собой дисперсные системы из мелко раздробленных частиц в однородной жидкой среде. Коллоидные частицы (особенно органические), перемещаясь в растворе сложного компоста, довольно часто склеиваются с минеральными частицами коллоидов, что обусловлено стабилизирующим характером электрических зарядов в разнотипных коллоидных системах (органических и минеральных). В дисперсной системе одного отхода (например, природного) частицы заряжены однотипными зарядами – положительными или отрицательными с учетом природы их коллоидов [11,25]. В

таких смесях, как сложный компост с включением осадков сточных вод, дефеката, куриного помета и перегноя, большинство органических коллоидов имеют отрицательный заряд. В процессах взаимодействия органических отходов с различными минеральными отходами (фосфогипс, известковая мука, галиты, зола подсолнечниковой лузги и др.) важную роль играют коллоидально распыленные частички, относящиеся к положительным коллоидам [12].

Формирование сложного компоста с включением навоза, дефеката, осадков сточных вод, перегноя и других органических дисперсных систем определяется свойствами их коллоидов, которые являются основой образования более крупных структур с потерей седиментационной устойчивости их частиц, между которыми силы притяжения начинают превышать силы взаимного отталкивания одноименных зарядов, находящихся ниже критического потенциала их коагуляции. Золи таких отходов переходят в коагели с образованием хлопьев, а частицы структурируются в агрегаты [26,27,29].

Коллоиды (частицы 0,2-0,001 мкг) самых разных отходов обладают поглотительной способностью благодаря большой удельной поверхности их частиц. Это и обуславливает их высокую химическую активность. Часть минеральных коллоидов находится в кристаллическом состоянии (в основном минералы). Другая часть минеральных коллоидов представляет собой аморфные вещества: к ним относятся аллофаны, свежесозревшие гидраты полторных оксидов: $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mn}(\text{OH})_3$, гидраты кремнезема и их комплексные осадки (коагели). В почвах в основном преобладают минеральные коллоиды, на долю которых приходится весьма значительная их часть.

Кислоты и их соли (например, фосфогипса, калийных отходов и т.д.) считаются нестабилизированными факторами коллоида. Электролиты, представляющие раствор сложного компоста влияют на коллоидально рас-

пыленные частицы любого отхода, включаемого в структуру сложного компоста. Например, в фосфогипсе электролит CaSO_4 распадается на ион Ca^{+2} (катион), заряженный положительно, и серной кислоты SO_4^{-2} (анион), заряженный отрицательно. Положительно заряженный катион Ca^{++} нейтрализует отрицательно заряженные молекулы аммиака. Стабилизирующее влияние электрического заряда аммиака нейтрализуется и происходит его коагуляция. В агрегации коллоидов участвует только часть электролита – один из его ионов. При положительном заряде коллоида, если анион отрицательный, то катион участвуют в агрегации коллоидов. Чем выше валентность металла, тем сильнее его осаждающее действие. Например, Mg - двухвалентный металл и действует сильнее Na, а Fe – сильнее Mg и т.д.

Органические почвенные коллоиды представлены аморфными гумусовыми веществами, органоминеральными комплексами, клетками мелких водорослей и бактерий, грибов и актиномицетов. Физико-химическая адсорбция в смесях сложных отходов способствует поглощению отдельных ионов – катионов и анионов и связана с наличием на поверхности коллоидных частиц положительного или отрицательного зарядов. Наличие заряда на поверхности коллоида с кристаллическим строением (например, фосфогипса) вызвано их некомпенсированностью на поверхности твердой частицы или в силу диссоциации ионов поверхностного слоя [10].

Коллоидная мицелла состоит из ядра, слоя потенциалопределяющих ионов, неподвижного и диффузного слоя компенсирующих ионов [29]. Во многих отходах преобладают коллоиды, обладающие кислотными свойствами, с отрицательным зарядом и диссоциацией в раствор H^+ -ионов. Сюда относятся гумусовые кислоты, глинистые минералы, кремнекислота. Коллоиды с основными свойствами в сложном компосте находятся в небольшом количестве и диссоциируют в раствор OH^- -ионы: гидроксиды железа и алюминия, протеины, и их заряды зависят от реакции почвенного

раствора; в кислой среде они ведут себя как базоиды, а в щелочной – как ацидоиды [18].

Твердые студнеобразные системы (*гели* от *gelo* – застываю) образуются в коллоидных растворах (золях) веществ при постепенной коагуляции. Гели содержат до 99% воды. Природные гели, высыхающие постепенно (например, минерал агат), воды совсем не содержат (ксерогели). В связи с высокой дисперсностью большой поверхности в сложных компостах гели могут поглощать из раствора ионы различных химических элементов, не образуя при этом с ними химических соединений. Катионы любого раствора, поглощаясь коллоидными частицами, вытесняют ранее поглощенные катионы и поддерживают своеобразный физико-химический обмен химических элементов. Пористые гели (например, окись алюминия – алюмогель) являются поглотителями и используются в качестве адсорбентов, а также в качестве пористой основы для катализаторов. По механическим свойствам гели схожи с высокомолекулярными веществами – полимерами.

Агрегативная устойчивость отдельных веществ определяется как способность системы к сохранению дисперсности и индивидуальности частиц дисперсной фазы. Коллоидная фракция у различных отходов состоит в основном из кристаллических глинистых минералов. Имеются данные о химическом составе коллоидной части почв и некоторых отходов; получены различные сведения о природе связей между органическим веществом и минералами. Изучение илистой фракции, размеры частиц которой равны коллоидам, обогащенным монтмориллонитом, показывает, что любое вещество, доведенное до коллоидной дисперсии, заметно меняет свои свойства. Дисперсность и химический состав поверхностных соединений коллоидов различных органических и минеральных отходов играют большую роль, чем внутреннее строение коллоидной частицы. Связь минеральной части сложных компостов с органическими веществами и с фосфатами

обусловлена в основном дисперсностью и химизмом поверхности коллоидов, а не структурой [10,20].

Коагуляционные свойства отдельных дисперсных систем отходов обуславливаются взаимным действием тепла и холода, электромагнитных полей и жестких излучений, механического воздействия и химических агентов, приводящих к нарушению агрегативной устойчивости конкретного субстрата. На своей поверхности коллоидная частица способна разместить двухвалентные катионы кальция, магния и два одновалентных иона натрия, способных к обмену.

В состав поглощенных оснований отходов входят катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} . Высокая валентность поглощенного катиона прочнее связывает ионы с потенциалопределяющими ионами и сильнее нейтрализует заряд коллоидной частицы. Ослабление заряда обусловлено снижением силы отталкивания частиц друг от друга и вызывает их слипание и коагуляцию. Поглощение коллоидными частицами отходов одновалентных катионов способствует образованию золь, а поглощение двух- и трехвалентных катионов приводит к образованию гелей. Физическое состояние отходов зависит в значительной степени от состава поглощенных наиболее важных оснований: $\text{Na}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{H}^+ < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Ba}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$.

Насыщение сложного компоста двух- и трехвалентными катионами обуславливает устойчивость поглощающего комплекса, и его коллоиды находятся в виде водостойчивого геля, способного склеивать более крупные частицы. Такие сложные компосты обладают хорошей структурой. Насыщенные одновалентными катионами (особенно Na^+) сложные компосты легко подвергаются диспергирующему действию воды, а их коллоиды при увлажнении переходят в золь. Степень гидратации ионов и коллоидов у разных отходов различная, и они насыщены различными катионами, отличающимися по степени набухания [10,18, 20].

При внесении в почву сложного компоста насыщенного натрием, суб-

страт с увлажнением набухает, заплывает, делается воздухо- и водонепроницаемым, а с высушиванием уменьшается в объеме и вертикальными трещинами разделяется на отдельные блоки. Этого не наблюдается, если сложные компосты насыщены кальцием и магнием и особенно железом и алюминием.

Емкость катионного обмена сложного компоста (максимальное количество поглощенных катионов, способных к обмену на другие катионы) выражается в мг-экв/100 г и изменяется от 2 до 65 мг-экв/100 г субстрата. ЕКО сложного компоста определяется составом высокодисперсных частиц субстрата и их количеством. Представление о емкости катионного обмена наиболее распространенных компонентов высокодисперсной части сложного компоста (мг-экв/100 г вещества) можно получить из следующих данных. Емкость катионного обмена наиболее распространенных компонентов высокодисперсной части сложного компоста составляет в мг-экв/100 г вещества: каолинит - 20 мг-экв/100, гидрослюды - 20-50, монтмориллонит - 60-150, гумус - 100-200, ГК - 350-800, ФК - 800-1250. Кислые субстраты, у которых в ППК присутствует значительные количества поглощенного H^+ , не насыщены основаниями [13].

Ион H^+ не занимает определённого места в лиотропном ряду. В почвах он стоит перед Al^{3+} , тогда как в других соединениях (органических отходах) располагается в конце ряда. Особые свойства H^+ связаны со степенью диссоциации кислот, образующих фиксированные анионы. В сложных компостах, белковых соединениях и многих других объектах обменный комплекс образуется в результате диссоциации слабых кислот (например, гуминовых), отличающихся весьма прочной связью кислотного остатка с H^+ (водородная связь). Соли таких кислот хорошо диссоциированы, и поэтому H^+ легко вытесняет остальные катионы из внешней обкладки коллоидной мицеллы и в сложном компосте (при $pH=6,5$) занимает больше половины мест в обменном комплексе. Сильная связь свойственна слабо-

кислотным (карбоксильным) высокомолекулярным ионам органических дисперсных систем (например, перегной), а для ионов сильнокислотного типа минеральной дисперсной системы (например, фосфогипс) H^+ не обладает высокой энергией связи и расположен в конце ряда среди одновалентных катионов.

Многие золи (например, гидроокиси Al, Si, Fe, Mn) дисперсных систем сложного компоста характеризуются большим различием в упрочнении гидратных оболочек атомов, и потому коагуляция в субстратах при смешивании изучаемых веществ происходит с образованием рыхлых структурированных агрегатов [16].

Коллоидные частицы дисперсных систем сложного компоста с находящимися на их поверхности слоями ионов составляют коллоидные мицеллы, которые в водной среде отделяются друг от друга межмицеллярным раствором; внутренняя часть мицеллы представляет в химическом отношении сложный комплекс аморфного или кристаллического строения.

У минеральных коллоидов черноземов внутренняя часть мицеллы состоит из алюмомагниевого и других силикатов, кремнекислоты, окислов железа и алюминия. Минеральные коллоиды чернозема и особенно перегной весьма устойчивы и, по нашему мнению, сохраняются в течение весьма длительного времени (до трёх лет и больше). Органические коллоиды состоят в основном из гуминовых и фульвокислот, протеинов, клетчатки и других сложных веществ, но они менее устойчивы, разрушаются и снова создаются из продуктов разложения растений и животных.

Диффузный слой ионов существует во влажных средах сложного компоста, почве, перегное. Если сложный компост, почва или перегной высыхают, то ионы диффузного слоя переходят в неподвижный слой. Количество ионов в диффузном слое и толщина этого слоя зависят от многих причин, в частности, от химической природы молекул, находящихся на поверхности коллоидов, а также от диссоциации или распада их на ионы,

от реакции и влажности среды, в целом от концентрации почвенного раствора.

Большое влияние на свойства сложного субстрата (прежде всего сложного компоста, почвы и перегноя) оказывает даже незначительное количество катионов в диффузном слое. Чем больше диффузный слой, тем выше заряд коллоидных частиц и наоборот. Если заряд коллоидных частиц высокий, то они отталкиваются одна от другой и компост расплывается в воде, становится вязким и липким. Такие свойства характерны для малогумусного сложного компоста с содержанием органического вещества на уровне 3,5–4,0%. Структурность сложного компоста обычно имеет коллоидные частицы с относительно небольшим зарядом, что благоприятно влияет на его агрофизические свойства: внесенный в почву такой компост не заплывает, а тонкие фракции не передвигаются по профилю, вода легко проникает по порам между структурными агрегатами [18,25,28]. В такой почве и в сложном компосте коллоиды состоят из смеси различных химических соединений, включая органические (гуминовые кислоты, фульвокислоты, клетчатка и др.) и минеральные элементы (кальций и магний).

С внесением сложного компоста доля коллоидов в форме геля в почве является наиболее распространенной. В почве и в сложном компосте после их смешивания именно органические коллоиды преобладают преимущественно в состоянии геля; во влажных условиях лишь небольшая их часть находится в такой форме. Гели сложного компоста с участием минеральных коллоидов зола подсолнечника, фосфогипс, дефекаат и др. при подсыхании склеиваются с пылеватыми и иловатыми частицами навоза и остатками органических отходов, образуя структурные агрегаты разного размера и различных форм. Если гели сложного компоста не растворяются в воде и не переходят в состояние золя, образующиеся при их высыхании структурные отдельные части весьма водопрочные. Такой структурой обладают многие сложные компосты, составленные из смеси 8-10 отходов с уча-

ствием навоза КРС, свиней, осадков сточных вод, галитов, фосфогипса и некоторых других компонентов. Если гели сложного компоста в воде переходят в состояние золя, то почвенные агрегаты расплываются и почва становится бесструктурной, что наблюдается при низком содержании в них гумуса. Поэтому в сложном компосте доля органического вещества доводится до 4-5 уровней его почвенного содержания [11,16,21,22,23].

В сложных компостах при их формировании постоянно происходят изменения количества коллоидов и переход части их из одного состояния в другое. Наиболее быстрые вариации происходят с органическими коллоидами. Часть растительных остатков при разложении образуют гумус, который имеет коллоидную природу и служит источником обогащения ими сложного компоста. При внесении в смесь сложного компоста фосфогипса или других минеральных образований увеличивается число устойчивых коллоидов с последующим формированием гумуса, который активно обогащает почву высокодисперсными органическими и минеральными соединениями [25,38].

Под влиянием периодического подсушивания почвы, её нагревания, увлажнения, промораживания, изменения реакции среды и других причин органические и минеральные коллоиды заметно изменяются в сторону ослабления их устойчивости. Установлено, что высушивание, нагревание и промораживание способствует переходу почвенных золь в гели. Некоторые органические соединения способствуют переходу в золи минеральных коллоидов. Например, при образовании органожелезистых соединений последние могут переноситься водой по почвенному профилю. Изменение в структуре поглощающего комплекса также сказывается на состоянии коллоидов. Так, насыщение поглощающего комплекса натрием способствует образованию золь, распылению почвы, увеличению заряда почвенных коллоидов и их гидратации. Замещение натрия кальцием, наоборот, способствует переходу золь в гели и образованию водопрочных структур.

Влияние условий на формирование сложного компоста. Положительно или отрицательно заряженные частицы (ионы), формируются при приобретении или потере атомами электронов: положительно заряженные и перемещающиеся к отрицательному полюсу – катионы (Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+}), а отрицательно заряженные и перемещающиеся к положительному полюсу – анионы (Cl^- , SO_4^{2-}). Дисперсные системы, состоящие из мелко раздробленных частиц вещества, равномерно распределены в однородной среде и поверхностных слоях на границах тел, где коллоиды отличаются весьма низкой скоростью диффузии, низким осмотическим давлением, неустойчивостью (особенно минеральных коллоидов с неравновесной растворимостью), не способные проникать через тонкопористые мембраны. Любое органическое вещество при малой растворимости переходит в коллоидное состояние. Свойства дисперсных систем в сложном компосте оцениваются молекулярным взаимодействием различных частиц в конкретной среде, что служит основой их неустойчивости и способности агрегироваться в хлопья, а также выпадать в осадок или переходить в гели – студнеобразные коагуляционные формирования [14,25, 27].

Живые организмы (бактерии, грибы, водоросли, актиномицеты) представляют собой сложные коллоидные структуры и составлены высокомолекулярными соединениями – белками, липидами и липоидами и их комплексами. Современные практические технологии основаны на представлениях о коллоидной химии, особо выделив обогащение и использование минеральных и органических отходов и их превращение в сложный компост и т.д. [8,9,18,28]

Состав и количество поглощенных катионов заметно влияет на физические и химические свойства сложного компоста, в структурообразовании которого особенно велика роль кальция и натрия. Кальций, являясь хорошим коагулятором, поступая в сложный компост с фосфогипсом и другими минеральными составляющими, где его содержится до 30%, спо-

способствует объединению различных коллоидов, их трансформации в гели и образованию водопрочных структурных агрегатов. Противоположное действие оказывает натрий (его в фосфогипсе содержится около 30 мг/кг). Ввиду того, что натрий диссоциирует от поверхности коллоидной частицы в большей степени, чем кальций, то в диффузном слое количество ионов натрия оказывается больше, чем кальция, магния и тем более калия. Поглощенный магний при небольшом содержании (до 15% от емкости поглощения) не оказывает негативного действия на свойства сложного компоста; в случае заметного увеличения поглощенного магния этот катион может усиливать солонцеватость смеси сложного компоста и почвы [29,31].

Особая роль принадлежит поглощенным ионам водорода и алюминия, катионы которых влияют на кислотность почвы. Подвижность ионов H^+ и Al^{3+} почти одинакова и при избытке Al^{3+} в сложном компосте и его смешивании с почвой эти ионы подавляют обмен двухвалентных катионов, что приводит к ухудшению условий для развития корневых систем растений. В черноземе H^+ нейтрализует реакцию почвенной среды, а Al^{3+} в некоторых случаях может снизить pH почвы. Поглощенного калия в сложном компосте обычно мало, но его избыток, по аналогии с натрием, может вызывать солонцеватость почв [29].

В сложном компосте в небольшом количестве встречается поглощенный аммоний, являющийся важным источником азотного питания для организмов и прежде всего одноклеточных водорослей. Высокое содержание аммония в сложном компосте указывает на недостаток кислорода и отмечается при заболачивании растений; временами он переходит в поглощающий комплекс и водой из почвы не вымывается. В сложном компосте в минеральных отходах имеется достаточное количество молибдена и марганца, которые ферментативно восстанавливают нитраты до нитритов и до перехода их в аммиак [2,29,32].

Фосфогипс, галит, сильвинит и другие горные породы, благодаря содержанию в них примесей многих элементов минерального питания, пополняют микроэлементами при их включении в сложный компост. Превращения азотистых веществ отражают особенности обеспечения организмов азотом в сложном компосте при нейтральной реакции среды. Почвы пшеничной зоны края редко имеют кислую среду, поэтому основу питания растений составляют аммонийные соли. Аммиачное питание усиливает положительное действие на растения при увеличении в питательном субстрате концентрации Ca, Mg и K, чему способствует внесение сложного компоста [9,12,27,30].

Поглощенные ионы кальция и магния, а также оксиды алюминия и железа препятствуют вымыванию из сложного компоста фосфорнокислых солей, так как образуют с фосфат-ионами малорастворимые и труднорастворимые соединения. Избыток ионов кальция и магния в поглощающем комплексе сложного компоста и в его растворе делает часть фосфатов трудноусвояемыми для растений, что следует учитывать при их комбинировании [16,23].

Заключение

При внесении в почву сложного компоста растения усваивают питательные вещества, находящиеся в форме солей в растворе, куда их ионы поступают из минералов, разложившихся остатков растений, животных и микроорганизмов. В твердой части сложного компоста имеется большой запас минеральных веществ, и лишь небольшая их часть находится в растворе, преимущественно в форме ионов кальция, магния, калия, натрия, аммония, иногда алюминия, железа, водорода и анионов ряда кислот – угольной, серной, азотной, соляной, фосфорной. Внесение в почву сложного компоста (от 60 до 70 т/га) способствует повышению в её составе доли коллоидных соединений и улучшению её физико-химических свойств [7].

Анионы сильно поглощаются субстратом вследствие образования их труднорастворимых осадков с катионами, встречающимися в поглощающем комплексе, - кальцием, алюминием, железом или гидратами полуторных окислов. К этой группе относятся анионы фосфорной кислоты, которые в почвенном растворе могут находиться в форме H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} . Соотношение этих анионов меняется в зависимости от реакции среды [30]. Наиболее растворимы кислые соли: однозамещенный фосфорнокислый кальций, все соли натрия, аммония, а также калия. К относительно мало растворимым солям относится двузамещенный фосфорнокислый кальций. Мало растворяются трехзамещенный фосфорнокислый кальций, а также соли алюминия и железа. Переход более растворимых (кислых) форм фосфорных солей к менее растворимым (основным) следует считать одной из причин поглощения фосфатов. Благодаря образованию нерастворимых или малорастворимых солей фосфор почти не вымывается водой. Усвоение анионов Cl^- , NO_3^- , NO_2^- усиливается в кислой среде. Очень кислая среда ($\text{pH} < 4,0$) редко встречается в отходах края (например, фосфогипс), и эти анионы слабо взаимодействуют с поглощающим комплексом, в почвенном растворе находятся в свободном перемещении, где весьма в незначительной степени могут быть доступными для растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алифиров М.Д, Влияние посевов и органических удобрений на трансформацию азота в черноземе выщелоченном // М.Д. Алифиров, И.С. Белюченко, Г.В. Волошина, В.Н. Гукалов, В.В. Гукалов, А.О. Кобецкая, О.А. Мельник, А.Г. Фалин. – Тр. КубГАУ. – 2007. – №9. – 9. – С. 79-85.
2. Андреев В.А., Новиков М.Н., Лунин С.М. Использование навоза свиней на удобрение. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 94 с. ил.
3. Астафьева Л.С. Экологическая химия. М.: Издательский центр «Академия». – 2006. – 24 с.
4. Ахмедов М.А., Атакузиев Т.А. Фосфогипс. Исследование и применение Ташкент: Изд-во «Фан» УзССР, 1980 г. – 172 с.
5. Белюченко И.С. Зонирование территории Краснодарского края и особенности функционирования природных и техногенных систем // И.С. Белюченко – Экол. проблемы Кубани. – 2003. – № 20. – С. 4.
6. Белюченко И.С. К вопросу о решении пестицидной проблемы в регионе // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2005. – № 1. – С. 78.

7. Белюченко И.С. Региональный мониторинг – базовая основа для разработки экологических проектов по охране природы // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2006. – Т. 2. – № 1. – С. 25.
8. Белюченко И.С. Содержание тяжелых металлов в почвах ландшафтов, прилегающих к животноводческим комплексам // И.С. Белюченко, В.Н. Гукалов, М.М. Демченко, Ю.В. Пономарева, Я.В. Шерстюченко, М.В. Яценко – Экол. проблемы Кубани. – 2006. – № 32. – С. 106.
9. Белюченко И.С. Технология ускорения переработки жидкого свиного навоза и возможности его использования в качестве удобрения // И.С. Белюченко, А.П. Носаленко, Ю.П. Пономарева – Экол. проблемы Кубани. – 2007. – № 33. – С. 18.
10. Белюченко И.С. Динамика органического вещества и проблемы его трансформации в почвах агроландшафта степной зоны края // И.С. Белюченко, В.Н. Гукалов, О.А. Мельник. – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2007. – Т. 3. – № 1. – С. 5-
11. Белюченко И.С. Влияние фосфогипса на трансформацию азота в черноземе обыкновенном степной зоны Кубани // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 144-147.
12. Белюченко И.С. Влияние сжигания растительных остатков на агрономические свойства почв // И.С. Белюченко, В.Н. Гукалов. – Тр. КубГАУ, 2008 – № 10. – С. 57-61.
13. Белюченко И.С. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства почв // И.С. Белюченко, Е.И. Муравьев. – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2009. – Т. 5. – № 1. – С. 84-86.
14. Белюченко И.С. Проблемы рекультивации отходов быта и производства (по материалам I Всероссийской научной Конференции по проблемам рекультивации отходов) // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2009. – Т.5. – № 3. – С. 72-78.
15. Белюченко И.С. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства почв // И.С. Белюченко, Е.И. Муравьев – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2009. – Т. 5. – № 1. – С. 84-86.
16. Белюченко И.С. роль регионального мониторинга в управлении природно-хозяйственными системами края // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2010. – Т. 6. – № 4. – С. 3-16.
17. Белюченко И.С. К вопросу о формировании и свойствах органоминеральных компостов и реакции растений кукурузы на их внесение // Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2011в. Т. 7. № 4. С. 65-74.
18. Белюченко И.С. Практические основы использования отходов промышленности и сельского хозяйства в качестве мелиоранта чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, В.Н. Гукалов. – Тр. КубГАУ, 2011 – Т.1. –№ 31. – С. 152-153.
19. Белюченко И.С. К вопросу о роли леса в функциональном восстановлении бассейнов степных рек края // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2011. – Т. 7. – № 2. – С. 4-14.
20. Белюченко И.С. Влияние сложных компостов на свойства почвы и формирование почвенной биоты // И.С. Белюченко, Ю.Ю. Никифорова. – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2012. – Т. 8. – № 4. – С. 3-50.
21. Белюченко И.С. К вопросу о механизмах управления развитием сложных компостов // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа, 2012. – Т.8. – №3. – С.88-111.
22. Белюченко И.С. Использование отходов быта и производства для создания сложных компостов с целью повышения плодородия почв // И.С. Белюченко – Тр. КубГАУ. 2012. Т.1. –№ 38. – С. 68-72.
23. Белюченко И.С. Применение органических и минеральных отходов для подготовки сложных компостов с целью повышения плодородия почв // И.С. Белюченко. – Тр.

- КубГАУ. 2012. –Т.1 - № 39. – С. 63-68.
24. Белюченко И.С. Способ создания полидоминантных пастбищ в континентальных субтропиках // патент на изобретение RUS 2019947.
 25. Белюченко И.С. Влияние органоминерального компоста на плотность сложения и порозность чернозема обыкновенного // И.С. Белюченко, Д.А. Славгородская, В.Н. Гукалов. – Тр. КубГАУ. 2012. –Т. 1. – № 34. – С. 88-90.
 26. Белюченко И.С. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафта (на примере изучения агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края) // И.С. Белюченко В.Н. Гукалов, Л.Б. Попок, Ю.Н. Помазанова – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2013. – Т.9. – № 2. – С. 46-62.
 27. Белюченко И.С. Пути снижения объема отходов // И.С. Белюченко, С.В. Зайцев – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2013. – Т. 9. – № 2. – С. 86-88.
 28. Белюченко И.С. Дисперсные и коллоидные системы отходов и их коагуляционные свойства // И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2013. – Т. 9. – № 1. – С. 13-38.
 29. Горбунов Н.И. Почвенные коллоиды. М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1967. 147 с.
 30. Иваницкий В.В., Классен П.В., Новиков А.А. Фосфогипс и его использование. М., 1990.-224 с.
 31. Качинский Н. А. Почва, ее свойства и жизнь. - М.: Наука, 1975. - 294 с.
 32. Ковалёв Н.Г., Глазков И.К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. – 160 с.
 33. Короткевич В.А. Комплексная механизация в свиноводстве. — М.: Урожай, 1989. – 136 с.
 34. Любимова И.Н., Борисочкина Т.И. Влияние потенциально-опасных химических элементов, содержащихся в фосфогипсе на окружающую среду. Москва, 2007. – 46 с.
 35. Муравьев Е.И. Закономерности латерального и вертикального распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафта (на примере изучения агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края) // Е.И. Муравьев, Л.Б. Попок, Е.В. Попок, В.Н. Гукалов, И.С. Белюченко, – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2008. – Т. 4. – № 1. – С. 5-24.
 36. Муравьев Е.И. Влияние фосфогипса на развитие и продуктивность растений кукурузы в севообороте // Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко, В.В. Гукалов, В.Н. Гукалов, О.А. Мельник, Ю.Ю. Петух, Д.А. Славгородская – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 108.
 37. Муравьев Е.И. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства // Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко – Тр. КубГАУ. 2008. –№ 11. – С. 177-182.
 38. Муравьев Е.И. Свойства фосфогипса на возможность его использования в сельском хозяйстве // Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2008. – Т. 4. – № 2. – С. 5-17.
 39. Попова Т.В. Особенности распределения тяжелых металлов в корнеобитаемом слое чернозема обыкновенного в разных местообитаниях //Т.В. Попова, В.Н. Гукалов, И.С. Белюченко – Экол. Вестник Сев. Кавказа. 2010. – Т. 6. – № 1. – С. 24-26.
 40. Письменов В.Н. Получение и использование бесподстильного навоза. – М.: Колос, 1984. – 159 с
 41. Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии. – Л.: Химия, 1974 – 352 с.

REFERENCES

1. Alifirov M.D, Vliyanie posevov i organicheskikh udobreniy na transformatsiyu azota v chernozeme vyschelochennom // M.D. Alifirov, I.S. Belyuchenko, G.V. Voloshina, V.N. Gukalov, V.V. Gukalov, A.O. Kobetskaya, O.A. Mel'nik, A.G. Falin. – Tr. KubGAU. – 2007. – №9. – 9. – S. 79-85.
2. Andreev V.A., Novikov M.N., Lunin S.M. Ispol'zovanie navoza sviney na udobrenie. – M.: Rosagropromizdat, 1990. – 94 s. il.
3. Astaf'eva L..S. Ekologicheskaya himiya. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya». – 2006. – 24 s.
4. Ahmedov M.A., Atakuziev T.A. Fosfogips. Issledovanie i primenenie Tash-kent: Izd-vo «Fan» UzSSR, 1980 g. – 172 s.
5. Belyuchenko I.S. Zonirovanie territorii Krasnodarskogo kraya i osobennosti funkcionirovaniya prirodnyh i tehnogennyh sistem // I.S. Belyuchenko – Ekol. pro-blemy Kubani. – 2003. – № 20. – S. 4.
6. Belyuchenko I.S. K voprosu o reshenii pestitsidnoy problemy v regione // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2005. – № 1. – S. 78.
7. Belyuchenko I.S. Regional'nyj monitoring – bazovaya osnova dlya razrabotki ekologicheskikh proektov po ohrane prirody // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2006. – T. 2. – № 1. – S. 25.
8. Belyuchenko I.S. Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvah landshaftov, priliegayuschih k zhivotnovodcheskim kompleksam // I.S. Belyuchenko, V.N. Gukalov, M.M. Demchenko, Yu.V. Ponomareva, Ya.V. Sherstyuchenko, M.V. Yatsenko – Ekol. problemy Kubani. – 2006. – № 32. – S. 106.
9. Belyuchenko I.S. Tehnologiya uskoreniya pererabotki zhidkogo svinogo na-voza i vozmozhnosti ego ispol'zovaniya v kachestve udobreniya // I.S. Belyuchenko, A.P. Nosalenko, Yu.P. Ponomareva – Ekol. problemy Kubani. – 2007. – № 33. – S. 18.
10. Belyuchenko I.S. Dinamika organicheskogo veschestva i problemy ego transformatsii v pochvah agrolandshafta stepennoy zony kraya // I.S. Belyuchenko, V.N. Gukalov, O.A. Mel'nik. – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2007. – T. 3. – № 1. – S. 5-
11. Belyuchenko I.S. Vliyanie fosfogipsa na transformatsiyu azota v cherno-zeme obyknovennom stepnoy zony Kubani // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 2. – S. 144-147.
12. Belyuchenko I.S. Vliyanie szhiganiya rastitel'nyh ostatkov na agronomicheskie svoystva pochv // I.S. Belyuchenko, V.N. Gukalov. – Tr. KubGAU, 2008 – № 10. – S. 57-61.
13. Belyuchenko I.S. Vliyanie othodov promyshlennogo i sel'skohozyaystvennogo proizvodstva na fiziko-himicheskie svoystva pochv // I.S. Belyuchenko, E.I. Mu-rav'ev. – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2009. – T. 5. – № 1. – S. 84-86.
14. Belyuchenko I.S. Problemy rekul'tivatsii othodov byta i proizvodstva (po materialam I Vserossiyskoy nauchnoy Konferentsii po problemam rekul'tivatsii othodov) // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2009. – T. 5. – № 3. – S. 72-78.
15. Belyuchenko I.S. Vliyanie othodov promyshlennogo i sel'skohozyaystvennogo proizvodstva na fiziko-himicheskie svoystva pochv // I.S. Belyuchenko, E.I. Mu-rav'ev – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2009. – T. 5. – № 1. – S. 84-86.
16. Belyuchenko I.S. rol' regional'nogo monitoringa v upravlenii prirod-no-hozyaystvennymi sistemami kraya // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – T. 6. – № 4. – S. 3-16.
17. Belyuchenko I.S. K voprosu o formirovani i svoystvah organomineral'nykh kompostov i reaktsii rasteniy kukuruzy na ih vnesenie // Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. 2011v. T. 7. № 4. S. 65-74.
18. Belyuchenko I.S. Prakticheskie osnovy ispol'zovaniya othodov promyshlennosti i

- sel'skogo hozyaystva v kachestve melioranta chernozema obyknovennogo // I.S. Belyuchenko, V.N. Gukalov. – Tr. KubGAU, 2011 – T.1. – № 31. – S. 152-153.
19. Belyuchenko I.S. K voprosu o roli lesa v funktsional'nom vosstanovle-nii basseynov stepnyh rek kraya // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2011. – T. 7. – № 2. – S. 4-14.
 20. Belyuchenko I.S. Vliyanie slozhnyh kompostov na svoystva pochvy i for-mirovanie pochvennoy bioty // I.S. Belyuchenko, Yu.Yu. Nikiforenko. – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – T. 8. – № 4. – S. 3-50.
 21. Belyuchenko I.S. K voprosu o mehanizmah upravleniya razvitiem slozhnyh kompostov // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2012. – T. 8. – № 3. – S. 88-111.
 22. Belyuchenko I.S. Ispol'zovanie othodov byta i proizvodstva dlya sozda-niya slozhnyh kompostov s tsel'yu povyshenie plodorodiya pochv // I.S. Belyuchenko – Tr. KubGAU. – 2012. T.1. – № 38. – S. 68-72.
 23. Belyuchenko I.S. Primenenie organicheskikh i mineral'nyh othodov dlya podgotovki slozhnyh kompostov s tsel'yu povysheniya plodorodiya pochv // I.S. Belyuchenko. – Tr. KubGAU. – 2012. – T.1 - № 39. – S. 63-68.
 24. Belyuchenko I.S. Sposob sozdaniya polidominantnyh pastbisch v kontinental'nyh subtropikah // patent na izobretenie RUS 2019947.
 25. Belyuchenko I.S. Vliyanie organomineral'nogo komposta na plotnost' slozheniya i poroznost' chernozema obyknovennogo // I.S. Belyuchenko, D.A. Slavgorod-skaya, V.N. Gukalov. – Tr. KubGAU. – 2012. – T. 1. – № 34. – S. 88-90.
 26. Belyuchenko I.S. Osobennosti raspredeleniya tyazhelyh metallov v pochvah agrolandshafta (na primere izucheniya agrolandshafta OAO «Zavety Il'icha» Lenin-gradskogo rayona Krasnodarskogo kraya) // I.S. Belyuchenko V.N. Gukalov, L.B. Popok, Yu.N. Pomazanova – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 2. – S. 46-62.
 27. Belyuchenko I.S. Puti snizheniya obema othodov // I.S. Belyuchenko, S.V. Zaytsev – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 2. – S. 86-88.
 28. Belyuchenko I.S. Dispersnye i kolloidnye sistemy othodov i ih koagu-lyatsionnye svoystva // I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2013. – T. 9. – № 1. – S. 13-38.
 29. Gorbunov N.I. Pochvennye kolloidy. M.: Izd-vo Akad. Nauk SSSR, 1967. 147 s.
 30. Ivanitskiy V.V., Klassen P.V., Novikov A.A. Fosfogips i ego ispol'zo-vanie. M., 1990.- 224 s.
 31. Kachinskiy N. A. Pochva, ee svoystva i zhizn'. - M.: Nauka, 1975. - 294 s.
 32. Kovalev N.G., Glazkov I.K. Proektirovanie sistem utilizatsii navoza na kompleksah. M.: Agropromizdat, 1989. – 160 s.
 33. Korotkevich V.A. Kompleksnaya mehanizatsiya v svinovodstve. — M.: Uro-zhay, 1989. – 136 s.
 34. Lyubimova I.N., Borisochkina T.I. Vliyanie potentsial'no-opasnyh hi-micheskikh elementov, soderzhaschihsya v fosfogipse na okruzhayuschuyu sredu. Moskva, 2007. – 46 s.
 35. Murav'ev E.I. Zakonomernosti lateral'nogo i vertikal'nogo raspredeleniya tyazhelyh metallov v pochvah agrolandshafta (na primere izucheniya agrolandshafta OAO «Zavety Il'icha» Leningradskogo rayona Krasnodarskogo kraya) // E.I. Murav'ev, L.B. Popok, E.V. Popok, V.N. Gukalov, I.S. Belyuchenko, – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 1. – S. 5-24.
 36. Murav'ev E.I. Vliyanie fosfogipsa na razvitie i produktivnost' raste-niy kukuruzy v sevooborote // E.I. Murav'ev, I.S. Belyuchenko, V.V. Gukalov, V.N. Gu-kalov, O.A. Mel'nik, Yu.Yu. Petuh, D.A. Slavgorodskaya – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 4. – S. 108.
 37. Murav'ev E.I. Kolloidnyj sostav i koagulyatsionnye svoystva dispers-nyh sistem pochvy i

- nekotoryh othodov promyshlennosti i zhitovnovodstva // E.I. Murav'ev, I.S. Belyuchenko – Tr. KubGAU. – 2008. – № 11. – S. 177-182.
38. Murav'ev E.I. Svoystva fosfogipsa na vozmozhnost' ego ispol'zovaniya v sel'skom hozyaystve // E.I. Murav'ev, I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2008. – T. 4. – № 2. – S. 5-17.
39. Popova T.V. Osobennosti raspredeleniya tyazhelyh metallov v korneobi-taemom sloe chernozema obyknovennogo v raznyh mestoobitaniyah //T.V. Popova, V.N. Gukalov, I.S. Belyuchenko – Ekol. Vestnik Sev. Kavkaza. – 2010. – T. 6. – № 1. – S. 24-26.
40. Pis'menov B.H. Poluchenie i ispol'zovanie bespodstilochnogo navoza. – M.: Kolos, 1984. – 159 s
41. Fridrihsberg D.A. Kurs kolloidnoy himii. – L.: Himiya, 1974 – 352 s.