

ФУНКЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ГЕНЕЗИСЕ И ПЛОДОРОДИИ ПОЧВ

А. И. КАРПУХИН

(Кафедра почвоведения)

Системное изучение органо-минеральных соединений комплексной природы предполагает определение функциональной нагрузки комплексов в процессах превращения вещества и энергии в почвах и других сопряженных с ними по ландшафту объектах.

На основании теоретических обобщений и экспериментальных данных сформулирована концепция функциональной нагрузки комплексных соединений в почвообразовании и питании растений. При этом расширены представления, объясняющие влияние естественных комплексов на рост и развитие растений.

Органические вещества почв и других сопряженных с ними по ландшафту объектов содержат функциональные группы, которые образуют комплексные и внутрикомплексные соединения с ионами металлов. Этот класс соединений широко распространен в природе и имеет существенное значение для генезиса почв и питания растений.

В настоящее время многие исследователи отводят значительную роль органо-минеральным соединениям комплексной природы в формировании почв элювиально-иллювиального профиля. Так, своеобразие биоклиматических условий в зоне распространения почв подзолистого типа определяет образование значительных количеств водорастворимых органических соединений, характеризующихся чрезвычайной неоднородностью компонентного состава. Наличие в их составе соединений кислот природы: низкомолекулярных органических кислот, полифенолов и их производных, химически агрессивных фракций гумусовых веществ, главным образом фульвокислот, — обуславливает высокую активность воздействия водорастворимых органических веществ на минеральную часть почвы. В результате происходят разрушение и трансформация минералов почвы с образованием органо-минеральных соединений, которым принадлежит ведущая роль в процессах как миграции, так и аккумуляции целого ряда биогенных элементов в виде комплексов [1, 2, 7, 10, 18, 20—25, 27—29].

В литературе накоплен обширный материал об образовании комплексных соединений органических веществ с ионами металлов [1—3, 7, 13, 15, 22, 27—29]. На кафедре почвоведения ТСХА разработана, апробирована на примере соединений гумусовых веществ система методов фиксации ионов железа, марганца и кальция по комплексному типу [3, 8, 13, 14, 17, 19, 26]. Исследованы состав и свойства комплексных соединений органических лиганд природных объектов с ионами металлов [1, 2, 7, 13—15, 18, 20, 22, 23, 24, 27—29].

Изучение природы, состава и свойств комплексных соединений приобретает первостепенное значение, так как самостоятельную роль в почвенных процессах могут играть соединения, обладающие достаточной устойчивостью в природной почвенной среде. Как показали исследования почвоведов Тимирязевской академии, только обладая достаточной термодинамической и биологической устойчивостью, комплексы могут существовать в условиях почвы в виде самостоятельных структурных единиц. Состав металлугумусовых соединений, прочность связи ионов металла с органическими веществами определяют их растворимость, области существования при разных внешних условиях, миграционную способность и доступность растениям [3—10, 13, 15—20, 22—29].

Для систематизированного изучения комплексных соединений необходимо последовательное исследование их природы, состава и свойств с помощью набора химических и физико-химических методов. Полное изучение комплексов предполагает также определение функциональной

нагрузки комплексов в процессах превращения вещества и энергии в почвах и других сопряженных с ними по ландшафту объектах.

Накопленные экспериментальные данные о составе, миграции и трансформации комплексных соединений позволили глубже понять суть некоторых почвообразовательных процессов. На примере подзолистых почв показано, что соединения гумуса с координационной связью широко представлены в природных объектах, характеризуются неоднородными составом и свойствами, принимают активное участие в разнообразных превращениях [4, 6, 7, 9]. На основании полученных материалов сформулирована концепция функциональной нагрузки комплексных соединений в почвообразовании и питании растений. Основные положения этой системы взглядов следующие:

1) комплексные соединения широко представлены в почвах и сопряженных с ними по ландшафту объектах;

2) природные комплексы гумусовых веществ имеют сложный состав и разнообразные свойства;

3) органические вещества активно участвуют в разрушении труднорастворимых образований с формированием координационных соединений;

4) органические лиганды оказывают влияние на сорбционные свойства почв;

5) миграция многих химических элементов происходит в форме координационных соединений;

6) комплексы оказывают существенное влияние на рост и развитие растений;

7) координационные соединения выполняют защитные функции почв и растений от загрязнения пестицидами, радиоактивными веществами и тяжелыми металлами.

Целью настоящего сообщения является обсуждение функциональной роли органо-минеральных комплексов в генезисе почв и питании растений, а также определение перспектив использования данных о составе и свойствах этого класса соединений при разработке мелиоративных мероприятий и для прогнозов загрязнения почв тяжелыми металлами.

Значение комплексных соединений в почвообразовании и питании растений

Состав и свойства комплексных соединений, их миграция и трансформация определяются природными условиями (факторами) почвообразования и развитием культурного почвообразовательного процесса.

При изучении состава органо-минеральных комплексов подзолистых почв Архангельской области установлена зависимость содержания в них металлов от условий почвообразования. Общее содержание Al, Fe, Mn, Ca и Mg в составе комплексных соединений определяется сельскохозяйственным использованием и степенью гидроморфности изучаемых почв. Так, в пахотных почвах содержание этих металлов в 2 раза выше, чем в верхних горизонтах целинных почв, что объясняется особенностями биологического круговорота веществ при освоении, в том числе в значительной степени обогащением почв Ca и Mg при известковании. При анализе металлофульватных соединений, выделенных из образцов иллювиальных горизонтов, обнаружена их более высокая насыщенность металлами по сравнению с органо-минеральными комплексами верхних горизонтов. Это происходит за счет возрастания содержания Ca и обусловлено карбонатностью материнской породы. В таких условиях образуются пересыщенные металлами органо-минеральные соединения. В иллювиальном горизонте подзолистой почвы на пашне обнаружено почти в 3 раза больше Ca, Mg, Al, Fe и Mn в составе органо-минеральных соединений комплексной природы, чем в образцах аналогичных лесных почв.

В исследованиях с применением метода меченых атомов установлено, что сорбция и миграция комплексных соединений определяются ге-

Состав и свойства железофульватных соединений некоторых типов почв

Число комплексов	Состав и устойчивость				Миграционная способность		Фракционный состав железа, % от внесенного		
	Ионный обмен		Изотопный обмен		X ₁ , см	R _f	Свободное	Органо-минеральное	Аморфное
	R _f	pK	Константа г, с ⁻¹	pK					
Дерново-подзолистая почва									
1	0,155	6,5	1,6 · 10 ⁻³	1,0	6,0	0,286	2,7	78,6	18,7
2	0,282	12,5	1,7 · 10 ⁻⁴	10,0					
3	0,563	24,5	8,4 · 10 ⁻⁵	14,3					
4	Нет	Нет	5,7 · 10 ⁻⁶	27,1					
Чернозем									
1	0,148	6,0	4,6 · 10 ⁻³	4,0	3,1	0,075	0,5	79,3	20,2
2	0,348	15,5	1,7 · 10 ⁻⁴	10,0					
3	Нет	Нет	1,2 · 10 ⁻⁵	22,1					
Краснозем									
1	0,155	6,5	1,6 · 10 ⁻³	1,0	5,3	0,131	1,2	83,6	15,2
2	0,326	14,5	1,7 · 10 ⁻⁴	10,0					
3	0,607	26,5	9,2 · 10 ⁻⁵	13,2					
4	Нет	Нет	5,0 · 10 ⁻⁶	28,1					

нетическими особенностями изучаемых почв. С помощью ⁵⁹Fe проведено сравнительное изучение миграционной способности металла из состава органо-минеральных комплексов. В модельных опытах (табл. 1) методом колоночной хроматографии установлена высокая подвижность железа ($R_f=0,29$) в профиле подзолистой почвы; в черноземах миграционная способность этого металла резко снижается ($R_f=0,075$).

В натуральных условиях при внесении водорастворимых комплексов на поверхность почв R_f изменяется от 0,019 до 0,12 в следующем ряду: подзолисто-глеевые — подзолисто-глееватые — подзолистые без следов оглеения — торфяно-подзолистые.

Комплексообразование в значительной мере определяет подвижность большинства макро- и микроэлементов, их поступление и передвижение по органам растений. Гумусовые соединения играют важную роль в биосфере. Благодаря своей комплексообразующей способности они регулируют поступление химических элементов в растения. Комплексы органических веществ с ионами металлов влияют на рост и развитие растений. Например, в вегетационных опытах выявлено положительное влияние фульвокислот и их комплексных соединений с Fe и Mn на прорастание семян кукурузы. В длительных вегетационных опытах железофульватные комплексы, вносимые в питательную смесь в возрастающих концентрациях (от 20 до 1000 мг на сосуд), оказывали положительное влияние на рост и развитие подсолнечника и фасоли [3—6]. Наибольшая прибавка получена при внесении 200 мг комплексных соединений, с повышением их дозы эффект снижался. Положительный эффект наблюдался и при опрыскивании растений растворами железофульватных соединений в возрастающих концентрациях (от 0,0001 до 0,1 %), особенно при обработке 0,001 % раствором. В радиовегетационных опытах с использованием ⁴⁵Ca показано, что фульвокислоты, внесенные в питательный раствор в дозе 40 мг/л, в большей мере влияли на рост и развитие подсолнечника, чем минеральные формы Ca.

На основании теоретических обобщений и экспериментальных данных было показано, что влияние естественных комплексов на рост и развитие растений объясняется:

- 1) переводом элементов питания в растворимое состояние;
- 2) влиянием на молекулярно-массовое распределение химических элементов в почвенных растворах;

Доступность подсолнечнику железоорганических комплексов (на 1 растение) при внесении Fe $1,7 \cdot 10^{-4}$ (1-й вариант) и $1,2 \cdot 10^{-3}$ мг/мл (2-й вариант)

Органические лиганды	1-й вариант		2-й вариант	
	поглощение Fe			
	мг · 10 ⁻²	% к Fe в растворе	мг · 10 ⁻²	% к Fe в растворе
Контроль (FeCl ₃)	6,2±0,3	61,7	0,55±0,2	78,1
Фульвокислоты почв:				
подзолистой	8,8±0,5	87,9	0,66±0,4	93,5
дерново-подзолистой	8,6±0,5	86,5	0,63±0,4	90,1
чернозема	8,4±0,4	83,5	0,61±0,2	86,7
краснозема	8,3±0,4	82,8	0,60±0,2	85,1
Водорастворимые органические вещества:				
подзолистой почвы	8,2±0,4	82,3	0,63±0,3	90,6
подзолисто-болотной почвы	8,1±0,3	80,6	0,62±0,2	88,3
лизиметрического раствора	8,5±0,5	84,6	0,63±0,3	89,8

3) регулированием поступления в растения органических и минеральных компонентов;

4) действием на дыхательную активность;

5) участием в фотосинтезе;

6) осуществлением фиксации молекулярного азота и других химических и биохимических процессов.

Фульвокислоты являются главным комплексоном природных поверхностных вод и почвенных растворов. Они влияют на ассоциацию и образование высокомолекулярных органо-минеральных агрегатов, а также активно воздействуют на поступление в растения минеральных элементов и органических веществ.

Поступление металлов в растения определяется составом и свойствами их комплексных соединений с органическими лигандами природных объектов. Радиовегетационные опыты показали, например, высокую доступность растениям Fe из состава железофульватных комплексов. При оптимальных концентрациях доступность железа этих комплексов не уступает доступности лимоннокислого железа (табл. 2). В опытах с использованием ⁵⁹Fe установлено, что железофульватные комплексы более доступны для корневого и некорневого питания фасоли и подсолнечника, чем ионные формы этого металла.

Как искусственные, так и естественные комплексоны, например фульвокислоты, снижали поступление марганца в кукурузу (табл. 3).

Практически полное совпадение отношений удельных активностей корней и надземной массы кукурузы в контроле и в варианте с низкомолекулярной фракцией фульвокислот (ММ=380) указывает на одинаковый характер поведения Mn в растениях обоих вариантов. Это позволяет предположить, что комплекс с такими фульвокислотами разруша-

Таблица 3

Поступление ⁵⁴Mn из комплексных соединений в надземную массу и корни кукурузы в условиях водной культуры

Вариант	ММ	рК	Mn, % от внесенного		Отношение удельных активностей корней и надземной массы	Mn в надземной массе, % от содержания в растении
			Листья	Корни		
Контроль (MnSO ₄)	151	2,28	16,5±0,5	16,5±0,4	1,8±0,3	50,0±2,1
ФК	380	5,48	4,1±0,2	4,6±0,3	1,8±0,2	47,2±1,4
«	10 000	15,46	0,3±0,1	0,6±0,1	3,8±0,4	31,0±1,1
НТУ	191,7	7,44	1,5±0,2	1,3±0,2	2,2±0,3	52,6±2,2
ЭДТА	292,3	14,07	0,5±0,1	0,7±0,1	2,5±0,4	43,5±2,0

Поглощение фульватов марганца листьями (в числителе)
и корнями (в знаменателе) кукурузы

Объект	ММ	Поступило в органы. % от внесенного		Отношение активностей $^{54}\text{Mn}/^{14}\text{C}$
		^{54}Mn	^{14}C	
Фульвокислоты	380	$3,25 \pm 0,30$	$1,80 \pm 0,20$	$7,32 \pm 0,60$
		$3,63 \pm 0,30$	$3,08 \pm 0,30$	$5,12 \pm 0,40$
«	>10000	$0,36 \pm 0,05$	$0,22 \pm 0,05$	$7,30 \pm 0,50$
		$0,80 \pm 0,10$	$0,79 \pm 0,10$	$4,39 \pm 0,40$
Раствор	—	—	—	$4,35 \pm 0,60$

ется на первом физиологическом барьере — внешней стороне мембраны клетки корня — и Mn поступает в клетку в виде иона. В противном случае необходимо допустить, что комплекс фульвокислот с этим металлом и Mn^{2+} поступает в корень и трансформируется с одинаковой скоростью. Значительные отклонения отношений удельных активностей корней и надземной массы у комплексов, образованных высокомолекулярной фракцией фульвокислот ($\text{ММ} > 10000$), НТУ и ЭДТА, от данного отношения в контроле позволяет предположить, что они поступают в клетки корня интактно. Комплексы входят целиком, а затем уже претерпевают различные превращения [4].

В опытах с двойной меткой (по ^{54}Mn и ^{14}C) установлено, что марганец в комплексе с высокомолекулярной фракцией фульвокислот ($\text{ММ} = 11200$) поступает в клетки корня кукурузы интактно (табл. 4). Фракция фульвокислот с $\text{ММ} = 380$ и марганец поступали из раствора независимо друг от друга. Скорость поступления Mn была выше, чем органического лиганда [11, 19].

Особенности поведения комплексных соединений при мелиорации (на примере некоторых подзолистых почв) и в условиях загрязнения почв

Органические вещества за счет комплексообразующей способности влияют на растворимость химических мелиорантов. В натуральных условиях с использованием ^{45}Ca показано, что внесение извести в виде суспензии с водорастворимыми органическими веществами природных вод более эффективно, чем внесение ее в виде порошка, в начальный период, а затем положительное влияние этого приема постепенно снижается и через 2 года он уступает способу внесения мелиоранта в виде порошка. В начальный период взаимодействия извести с почвой отмечается незначительное изменение фракционно-группового состава гумуса, молекулярно-массового распределения фульвокислот и органо-минеральных производных. Активное взаимодействие Ca извести с гумусовыми кислотами почв отмечается через 2,5 мес после мелиорации. В молекулярно-массовых фракциях происходит увеличение этого химического элемента. В составе гумуса возрастает доля фракции гуминовых кислот, связанных с Ca.

Совместное внесение CaCl_2 и CaCO_3 с навозом и торфом повышает в 2 раза подвижность ^{45}Ca в освоенных подзолистых почвах. Усиление миграции обусловлено возрастанием концентрации водорастворимых органических веществ в почвенном растворе.

При осушении повышается миграционная способность металлов в профиле почв и возрастает угроза закупорки дрен. Изучение кинетики сорбции железа осушенной почвой показало, что время установления сорбционного равновесия изменяется от 12 до 33 ч и определяется природой сорбтива и свойствами сорбента. Графико-математический способ разложения экспериментальных кинетических кривых позволил установить наличие двух сорбционно-кинетических групп с константами $\beta_1 =$

$= 1,1 \dots 8,3 \cdot 10^{-2}$ и $\beta_2 = 3,8 \dots 9,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$. Для групп соединений железа со значениями β_2 скорость сорбции обусловлена диффузией ионов металла внутрь почвенных частичек ($D = 4,7 \cdot 10^{-9} \dots 6,1 \cdot 10^{-10} \text{ см}^2/\text{с}$).

Исследование статике сорбции показало, что экспериментальные изотермы для генетических горизонтов имеют выпуклую и слабовыпуклую формы и удовлетворительно описываются уравнением Ленгмюра. Максимальная емкость сорбции ионов Fe осушенной почвой изменяется от 47 до 270 мг/г и определяется валентным состоянием металла и свойствами сорбента.

При сравнительном изучении динамики сорбции методом колоночной хроматографии и в натуральных условиях с использованием ^{59}Fe установлена более высокая подвижность закисного Fe по сравнению с окисными его формами в осушенной почве. Внесение Fe вместе с гуминовыми кислотами не способствует миграции Fe^{3+} и Fe^{2+} в колонках. При этом железоорганические формы составляют около 80 % внесенного Fe. Фенол и особенно фульвокислоты повышают миграционную способность как окисных, так и закисных форм Fe в осушенной почве. Максимальная подвижность обнаружена в варианте с внесением Fe^{3+} вместе с фульвокислотами. Глубина зоны насыщения достигала 17,0 см, ширина фронта — 20 см, максимальная глубина проникновения — 37 см.

В полевых опытах с ^{59}Fe выявлено влияние расстояний между дренами (испытывались расстояния 30, 24, 18 и 12 м) на миграционную способность окисных и закисных форм Fe. Она возрастала с уменьшением междреннего расстояния и достигала максимума при расстоянии между дренами 12 м.

Почва является важным звеном в техногенезе. В процессах закрепления и миграции тяжелых металлов решающая роль принадлежит гумусовым веществам. При этом особое значение приобретают вновь образующиеся металлоргумусовые соединения.

В наших исследованиях показано, что поступление в почву металлов, содержащихся в отходах горнодобывающего комбината, определяется расстоянием от карьера и преобладающим направлением ветров. В исследуемых почвах по сравнению с фоном значительно возрастало содержание Cu и Zn. Коэффициент накопления Cu изменялся от 2,5 для выщелоченного чернозема до 37 для образцов лугово-черноземной почвы, Zn — соответственно от 2,5 до 25. Накопление Pb незначительное. Проявилась тенденция к накоплению V, Co и Ni. Исследуемые почвы сильно загрязнены подвижными формами Cu и Zn. Коэффициент активного загрязнения почв Cu изменялся от 1,7 до 17,3, Zn — от 1,3 до 9,9 [12].

Комплексные соединения гумусовых веществ являются одной из основных форм аккумуляции тяжелых металлов во многих типах почв. Нами установлено неравномерное распределение по молекулярно-массовым фракциям гумусовых веществ металлов-загрязнителей горнодобывающего комбината. При этом, например, на Cu приходилось 50—90 % общего содержания металлов-загрязнителей в зависимости от степени загрязнения, типа почвы, генетического горизонта и молекулярной массы органических лиганд.

На первом этапе загрязнения фульвокислоты как наиболее активная часть гумусовых веществ в первую очередь реагируют на поступление тяжелых металлов и связывают их в комплексные соединения. Содержание тяжелых металлов в составе комплексных соединений может достигнуть свыше 70 мг на 1 г углерода и изменяться в зависимости от металла-комплексобразователя, степени загрязнения и генезиса почв.

Выводы

1. На основании теоретических обобщений и экспериментальных данных разработана концепция функциональной нагрузки комплексных соединений в почвообразовании и питании растений.

2. Расширены представления, объясняющие влияние естественных комплексонов на рост и развитие растений:

а) вещества фульвокислотной природы являются основными комплексонами почв, природных поверхностных вод и почвенных растворов, активно влияют на молекулярно-массовое распределение химических элементов и поступление их в растения;

б) показана высокая доступность растениям металла из состава органо-минеральных комплексов;

в) поступление металлов в растения определяется составом и свойствами их комплексных соединений;

г) естественные комплексоны образуют устойчивые соединения, прочность связи металла в которых не уступает таким органическим лигандам, как ЭДТА;

д) в зависимости от молекулярной массы и термодинамической устойчивости комплексы могут поступать в растения интактно или разрушаться на первом физиологическом барьере;

е) органо-минеральные комплексы оказывают существенное влияние на дыхательную активность почвы и растений.

3. Состав, свойства и поведение комплексов необходимо учитывать при разработке мелиоративных приемов, прогнозах загрязнения, оценке защитных функций почв и растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. — Л.: Наука, 1980. — 2. Аристовская Т. В. Микробиология процессов почвообразования. — Л.: Наука, 1980. — 3. Карпухин А. И. Применение изотопа железо-59 в изучении железоорганических соединений подзолистых почв. — Тез. докл. I Всесоюз. конфер. по с.-х. радиологии. — М.: ВНИИ с.-х. радиологии, 1979, с. 154. — 4. Карпухин А. И. Использование растениями железа из железоорганических комплексов. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 3, с. 89—95. — 5. Карпухин А. И. О физиологическом действии железоорганических соединений. — В сб.: Химия гумусовых кислот, их роль в природе и перспективы использования в народном хоз-ве. — Тюмень, 1981. — 6. Карпухин А. И. Влияние фульвокислот и их органо-минеральных производных на рост и развитие сельскохозяйственных растений. — В сб.: Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. — Днепропетровск, 1983, с. 65—68. — 7. Карпухин А. И. Состав и свойства, миграция, трансформация и доступность для питания растений железоорганических комплексов. — В сб.: Докучаевское почвоведение 100 лет на службе сельск. хоз-ва. — Л., 1983, с. 66—67. — 8. Карпухин А. И. Применение гелевой хроматографии в почвенных исследованиях. — М.: ТСХА, 1984. — 9. Карпухин А. И., Аронштейн Б. Н. Влияние фульвокислот и их органо-минеральных соединений на уровень дыхательного метаболизма корней. — Докл. ТСХА, 1979, вып. 253, с. 85—91. — 10. Карпухин А. И., Кауричев И. С., Чепурина Т. А. Кинетика и динамика сорбции железоорганических соединений подзолистыми почвами разного механического состава. — Изв. ТСХА, 1985, вып. 3, с. 98—103. — 11. Карпухин А. И., Кауричев И. С., Шестаков Е. И., Шкарин Б. И. Поступление комплексных Мп-органических соединений в растения. — Изв. ТСХА, 1984, вып. 3, с. 92—99. — 12. Карпухин А. И., Ломов Ф. В., Шестаков Е. И. Техногенное загрязнение некоторыми микроэлементами почв в зависимости от их генетических особенностей. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 1, с. 110—117. — 13. Карпухин А. И., Платонов И. Г. Взаимодействие ионов кальция с молекулярно-массовыми фракциями фульвокислот. — В сб.: Современ. процессы почвообразования и их регулирование в условиях интенсивного земледелия. — М.: ТСХА, 1985, с. 26—32. — 14. Карпухин А. И., Платонов И. Г., Шестаков Е. И. Органо-минеральные соединения подзолистых остаточно-карбонатных лесосуглинистых почв Архангельской области. — Почвоведение, 1982, № 3, с. 37—45. — 15. Карпухин А. И., Серегина И. Н. Кинетика образования органо-минеральных соединений железа. — В сб.: Органическое вещество и плодородие почв. — М.: ТСХА, 1983, с. 102—106. — 16. Карпухин А. И., Столба П. Л. Действие металлоорганических соединений на прорастание семян кукурузы. — В сб.: Актуальные вопр. генезиса и плодородия почв. — М.: ТСХА, 1983, с. 78—83. — 17. Карпухин А. И., Фокин А. Д. Применение гелевой хроматографии для изучения фульвокислот и железосульфатных соединений. — В сб.: Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв. — М.: ТСХА, 1977, с. 102—104. — 18. Карпухин А. И., Шестаков Е. И., Чепурина Т. А. Исследование миграции и трансформации железа в подзолистых почвах. — Докл. ТСХА, 1980, вып. 258, с. 49—54. — 19. Карпухин А. И., Шестаков Е. И., Шкарин Б. И. Методические особенности спектрофотометрических измерений абсолютной активности комплексных соединений марганца с двойной меткой по ^{54}Mn и ^{14}C . — Изв. ТСХА, 1983, вып. 2, с. 96—99. — 20. Карпухин А. И., Юдин С. А., Гладков А. А. Миграция и трансформация железоорганических соединений в подзолистых почвах (модельные опыты с применением ^{59}Fe). — Изв. ТСХА, 1984, вып. 4, с. 82—87. — 21. Кауричев И. С. Элювиально-глеевый процесс и его проявление в некоторых типах почв. — В сб.: Современные почвообразовательные процессы. — М.: ТСХА, 1974, с. 5—17. — 22. Кауричев И. С.,

Карпухин А. И. Водорастворимые железоорганические соединения в почвах таежно-лесной зоны. — Почвоведение, 1986, № 3, с. 66—72. — 33. Кауричев И. С., Карпухин А. И., Степанова Л. П. Изучение состава и устойчивости водорастворимых железоорганических комплексов. — Почвоведение, 1979, № 2, с. 39—52. — 24. Кауричев И. С., Карпухин А. И., Шестаков Е. И. Превращение и миграция марганца в подзолистых почвах. — Изв. ТСХА, 1983, вып. 3, с. 82—87. — 25. Пономарева В. В. Теория подзолообразовательного процесса. — Л.: Наука, 1964. — 26. Фокин А. Д., Карпухин А. И. Метод изотопного обмена в исследованиях железоорга-

нических соединений почвы. — Изв. ТСХА, 1967, вып. 2, с. 128—134. — 27. Фокин А. Д., Карпухин А. И. Исследование состава комплексных соединений фульвокислот с железом. — Изв. ТСХА, 1972, вып. 1, с. 132—137. — 28. Фокин А. Д., Карпухин А. И. Исследование кинетики изотопного обмена железа, связанного с различными фракциями фульвокислот. — Изв. ТСХА, 1972, вып. 6, с. 148—151. — 29. Stevenson P. J. Humus chemistry. Genesis composition reaction. Copyright, 1982, p. 443.

Статья поступила 1 августа 1988 г.

SUMMARY

Systemic studying the organic-mineral compounds of complex nature assumes determining functional load on complexes in the processes of substance and energy transformation in soils and other landscape objects conjugated with them.

Based on theoretical generalizations and experimental data, the concept of functional load of complex compounds in soil formation and plant nutrition is formulated. The ideas accounting for the effect of natural complexes on plant growth and development are extended.