

УДК 622.233.3

СПОСОБ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВОДНО-СОЛЕВОГО БАЛАНСА ПОЧВ

© С.Л. Лазуткин, Н.А. Лазуткина

Ключевые слова: беструбчатый дренаж; кротовина; плотность грунта; тиксотропное разупрочнение; статико-динамическое нагружение; показатель статического воздействия.

Приведено описание способа восстановления водно-солевого баланса почв и обоснование количественной оценки рационального рабочего процесса машины с активным рабочим органом для формирования горизонтальных скважин в связных грунтах.

ВВЕДЕНИЕ

Успешное решение задач продовольственной безопасности страны в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и внешнем рынках обуславливает поиск и применение новых высокопроизводительных технологий. При этом достаточно большое внимание уделяется технологиям поливного земледелия. В этой связи восстановление плодородия поливных земель, подверженных засолению, приобретает особое значение, т. к. существует необходимость значительных объемов строительства дренажных систем.

Анализ способов создания беструбчатого дренажа [1–2] позволяет утверждать, что в имеющемся разнообразии конструкций машин и технологий, с помощью которых можно решать поставленные задачи, выявленные недостатки обуславливают возможность дальнейшего развития и совершенствования конструкции грунтопроходческой техники. Поэтому разработка теоретических предпосылок к созданию конструкции рабочего органа статико-динамического действия с учетом свойств обрабатываемой среды [3–4] следует считать актуальной задачей.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Результаты анализа строения и физико-механических свойств грунта и взаимодействия с ним инструмента рабочего органа [5–8] показывает, что плотность грунта в стенках кротовин будет зависеть от соотношения величины пластических деформаций, названных статическим и динамическим нагружением.

В этом смысле возможны разновидности режимов статико-динамического нагружения, а именно поджатие инструмента к грунтовому массиву в пределах упругих деформаций до удара и послеударное статическое нагружение в пределах упруго-пластических деформаций. Доля упруго-пластических деформаций от указанных нагрузок за один цикл работы ударного устройства будет различна. Это зависит от физико-механических свойств грунта, геометрии рабочего органа, выходных параметров ударного устройства и скорости передвижения базовой машины. При условии постоянства геометрических параметров инструмента активное влияние на изменение плотности грунта бу-

дут оказывать энергия, частота приложения ударной нагрузки и скорость перемещения базовой машины.

Динамическое внедрение инструмента в грунт сопровождается тиксотропным разупрочнением последнего. В таком состоянии грунта уменьшаются его вязкостные свойства, что обуславливает повышенную деформативную способность. Поэтому при последующем статическом проколе тиксотропно разупрочненной зоны реализуется большая часть пластических деформаций. Тем более что контактные напряжения будут формироваться инструментом с геометрией, обеспечивающей их максимальное значение.

ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕГО РЕЖИМА КРОТОДРЕНАЖНОЙ МАШИНЫ

Взаимодействие конического инструмента с грунтом сопровождается образованием перед его конической частью уплотненного ядра, из которого затем происходит формирование собственно стенки кротовины. Плотность грунта в стенках кротовины обуславливается состоянием грунтового полупространства в непосредственной близости от инструмента, которое соответствует наибольшим контактными напряжениями. Поэтому при взаимном перемещении твердых частиц грунта в зоне уплотненного ядра водно-коллоидные пленки рыхлосвязанной воды будут испытывать наибольшие нагрузки. Это приведет к тому, что относительно большее количество свободной воды будет «выжиматься» из зоны уплотненного ядра. Вместе с тем в точках наибольших напряжений водно-коллоидные пленки рыхлосвязной воды интенсивно уменьшаются, а в точках с меньшими напряжениями их толщина увеличивается [9–10]. Таким образом, перед динамическим взаимодействием грунт будет «подготовлен» к тиксотропному разупрочнению. Справедливость этих выводов подтверждается исследованиями Н.Я. Харху-ты [11], Е.А. Вознесенского [12], которыми установлено, что предварительное статическое нагружение грунта способствует тиксотропному разупрочнению при последующем вибрационным или импульсным нагружением.

Поскольку тиксотропные процессы накладывают определенные временные ограничения на характер взаимодействия инструмента с грунтом, то на режим

нагружения грунта будет оказывать большое влияние частота приложения нагрузки. Это объясняется тем, что после прекращения действия нагрузки начинается процесс восстановления нарушенных водно-коллоидных связей. Поэтому при определенной скорости осевой подачи рабочего органа необходимо обеспечивать соответствующую частоту ударов. При этом величина статического прокола после удара не должна превышать размеров тиксотропно разупрочненной зоны за время нахождения грунта в этом состоянии. Превышение этого предела приведет к трансформации статико-динамического формирования стенок кротовины в очередное приложение статики и динамики. Это выразится в падении плотности грунта в стенках кротовины. Аналогичное явление будет наблюдаться при относительном увеличении доли динамики за цикл. В этом случае происходит динамическое воздействие.

Таким образом, скорость осевой подачи инструмента в забой, определяемая скоростью перемещения базовой машины, влияет на процесс формирования стенок кротовины при статико-динамическом режиме нагружения грунта и его конечную плотность. Причем наибольшая плотность может быть получена при условии, когда за время цикла работы ударного устройства происходит процесс прокола тиксотропно разупрочненной зоны и статическое нагружение грунтового полупространства, подготавливающее грунт к следующему удару. Графическая интерпретация этих выводов представлена на рис. 1.

Пусть участок кривой АОВ соответствует диапазону скоростей, в котором наблюдается статико-динамическое формирование. При скорости, меньшей значения V_1 (кривая, левее точки А), – зона динамики, значения скорости больше V_2 (кривая, правее точки В) соответствуют преобладанию статики в процессе.

Участок кривой АО соответствует диапазону скоростей, отражающих различный характер статического поджатия, видоизменяющегося в зависимости от величины статического внедрения (в пределах упругих и упруго-пластических деформаций). При таких скоростях базовой машины происходит процесс предупредного статического нагружения до величин напряжений, близких к пределу прочности грунта. Затем наносится удар, и грунт деформируется за счет суммарных напряжений, возникающих в точках контакта инструмента с грунтом. Увеличение скорости осевой подачи инструмента приводит к тому, что за время между уда-

рами инструмент начинает статически нагружать грунт в пределах упруго-пластических деформаций, прокладывая тиксотропно разупрочненную зону и подготавливая грунтовой полупространство к следующему удару (скорость V'). Поскольку абсолютно точно такие скорости определить невозможно, то целесообразно определить некоторый скоростной диапазон, при котором будет формироваться кротовина с наиболее плотными стенками. Участок кривой ОВ соответствует скоростям базовой машины, при которых статико-динамическое нагружение постепенно трансформируется в процессе поочередного статического и динамического воздействия инструмента на грунт.

Обоснование рационализации взаимосвязи выходных параметров ударного устройства и базовой машины требует количественной оценки рассматриваемого процесса. В этой связи было бы целесообразным ввести количественный показатель, по которому можно было бы судить о характере наблюдаемого явления. При определении данной зависимости в качестве исходного было принято известное условие динамического формирования кротовин [7]:

$$V_{Б.М.} \leq n \cdot X_{дин} \leq \frac{1}{T_{ц}} \cdot X_{дин}, \quad (1)$$

где $V_{Б.М.}$ – скорость перемещения базовой машины; n , $T_{ц}$ – частота ударов и время цикла работы гидравлического ударного устройства.

Очевидно, что в случае строгого равенства левой и правой частей выражения (1) будет определяться максимальная скорость движения базовой машины, при которой осуществляется динамическое формирование кротовины. Примем ее за критическую скорость динамического формирования V_1 (рис. 1). Увеличение скорости базовой машины видоизменяет процесс, добавляя элемент статического воздействия. С учетом времени наступления тиксотропного разупрочнения и его продолжительности условие статико-динамического формирования кротовины примет вид:

$$t_{ст} \leq T_{тикс} + \Delta t_{тикс}, \quad (2)$$

где $t_{ст}$ – время статического нагружения; $T_{тикс}$ – время нахождения грунта в тиксотропно разупрочненном состоянии; $\Delta t_{тикс}$ – по данным ряда исследователей время запаздывания момента наступления этого состояния грунта для динамического нагружения с $\Delta t_{тикс} = 0$ [9–12].

Вместе с тем время статического нагружения не должно превышать время цикла ударного устройства:

$$t_{ст} \leq T_{цикла}, \quad (3)$$

Если принять, что $t_{ст} = T_{цикла}$, то

$$T_{цикла} \leq T_{тикс}. \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что частота приложения динамической нагрузки должна обеспечивать условия, при которых статическое нагружение будет осуществляться в момент нахождения грунта в состоянии тиксотропного разупрочнения.

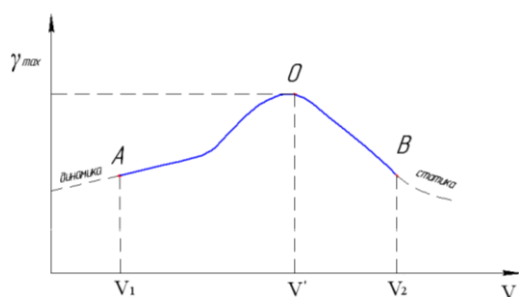


Рис. 1. Изменение плотности грунта в стенках кротовины от действительной скорости базовой машины: V_1 – критическая скорость при динамике; V_2 – критическая скорость при статико-динамике; V' – скорость, соответствующая получению максимальной плотности грунта в стенках кротовины

Если принять скорость осевой подачи инструмента в забой за постоянную величину, то условие (2) можно записать в виде:

$$X_{\text{ст}} \leq X_{\text{тикс}}, \quad (5)$$

где $X_{\text{ст}}$ – величина статического внедрения за один цикл работы ударного устройства; $X_{\text{тикс}}$ – длина зоны тиксотропного разупрочнения.

Таким образом, для получения наилучшего эффекта уплотнения грунта величина статического внедрения, определяемая скоростью базовой машины, не должна превышать размеров тиксотропной зоны. В соответствии с этим нарушение условия (5) приведет к относительному падению плотности грунта в стенках кротовины.

За количественный показатель процесса целесообразно принять показатель, учитывающий относительную долю статического воздействия за цикл:

$$K_{\text{ст}} = \frac{X_{\text{ст}}}{X_{\text{ст}} + X_{\text{дин}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{ст}}$ – показатель статического воздействия; $X_{\text{дин}}$ – единичное динамическое внедрение инструмента.

Анализируя выражение (6), имеем следующее: пусть $X_{\text{ст}} = 0$, т. е. в процессе работы не происходит статического поджатия, тогда $K_{\text{ст}} = 0$, т. е. процесс динамический. Если скорость осевой подачи рабочего органа такова, что единичное ударное внедрение инструмента не влияет на весь процесс, т. к. это воздействие компенсируется величиной статического внедрения, тогда $K_{\text{ст}} \rightarrow 1$, т. е. процесс с преобладанием статического воздействия. Значение $X_{\text{ст}}$ и $X_{\text{дин}}$ в данном случае определяются прочностными характеристиками грунта, и в этом смысле показатель $K_{\text{ст}}$ характеризует процесс нагружения грунта с позиции рассмотрения его физико-механических свойств. Однако при реализации заданного режима нагружения в процессе формирования кротовины целесообразнее осуществлять контроль над выходными параметрами базовой машины и гидравлического ударного устройства. Поэтому представляет интерес представление показателя $K_{\text{ст}}$ как характеристики процесса с точки зрения выходных параметров машины в целом. Рассмотрим работу кротодренажной машины как процесс относительного движения тела в подвижной системе координат (рис. 2), при этом за неподвижную систему координат ХОУ примем грунт, за подвижную систему координат Х'О'У' – базовую машину, тело – инструмент рабочего органа. При установившемся движении базовой машины за время внедрения инструмента на величину $X_{\text{дин}}$ (рис. 2) относительно неподвижной системы координат ХОУ, сама базовая машина (система Х'О'У') переместится на величину, равную:

$$\Delta X = V_{\text{б.м.}} \cdot T_{\text{уд}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{уд}}$ – время передачи энергии удара от бойка к инструменту.

Так как $T_{\text{уд}}$ несоизмеримо мало по сравнению со временем цикла, то величиной ΔX можно пренебречь. Затем, по окончании процесса динамического внедрения скорость инструмента относительно грунта (ХОУ)

становится равной нулю. При этом за время, необходимое для взвода и разгона бойка для нанесения по инструменту последующего удара, базовая машина перемещается на величину $X_{\text{дин}}$ и, воздействуя на инструмент через корпус дренаера, внедряет его на величину $X_{\text{ст}}$. После этого по инструменту наносится следующий удар, и цикл повторяется.

Таким образом, общее перемещение инструмента относительно грунта определяется:

$$\Sigma X = V_{\text{б.м.}} \cdot T_{\text{цикла}}. \quad (8)$$

Отсюда

$$X_{\text{ст}} = X - X_{\text{дин}} = V_{\text{б.м.}} \cdot T_{\text{цикла}} - X_{\text{дин}}. \quad (9)$$

Тогда формула (7) может быть представлена в следующем виде:

$$K_{\text{ст}} = 1 - \frac{X_{\text{дин}}}{V_{\text{б.м.}} \cdot T_{\text{цикла}}}. \quad (10)$$

Учитывая, что $T_{\text{цикла}} = \frac{1}{\text{нуу}}$, определим $V_{\text{б.м.}}$.

Тогда имеем:

$$V_{\text{б.м.}} = \text{нуу} \cdot X_{\text{дин}} / (1 - K_{\text{ст}}). \quad (11)$$

Формулы (10) и (11) показывают, что характеристика процесса статико-динамического формирования кротовины может быть получена с учетом прочностных свойств грунта, геометрии инструмента, скоростных и энергетических показателей базовой машины и ударного устройства

В процессе проведения полевых испытаний кротодренажной машины были получены данные, характеризующие процесс формирования кротовины и возможность реализации расчетного режима нагружения грунта.

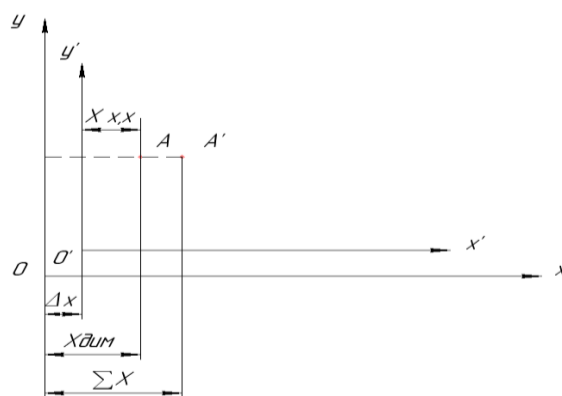


Рис. 2. Схема к определению показателя статического воздействия $K_{\text{ст}}$: ΔX – перемещение базовой машины за время ударного внедрения инструмента в грунт; $X_{\text{дин}}$ – динамическое внедрение инструмента; $xx.x$ – перемещение базовой машины за время взвода-разгона бойка ударного устройства; ΣX – общее перемещение инструмента; ХОУ, Х'О'У' – неподвижная и подвижная системы координат

Таблица 1

Способ формирования	Скорость движения базовой машины, с	Частота ударов n , Гц	Единичное ударное внедрение $X_{\text{дин}}$, м	Плотность стенок кротовины $\gamma_{\text{гр}}$, г/см ³	Коэффициент уплотнения, ϵ
Статический (ударное устройство выключено)	—	—	—	1,77	1,06
Динамический	0,245	17,5	0,014	1,86	1,11
Статико-динамический	1,24	17,5	0,014	2,06	1,236

Анализ этих результатов показывает, что наибольшая плотность стенок кротовины получена при формировании их статико-динамическим способом (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность работы кротового дренажа подтверждается проведенными ранее [7] испытаниями аналогичной конструкции, которые показали, что при поливах опытного участка дождевальным агрегатом ДДА-100МА кротовины начинают работать через 30...40 мин. после начала полива. При проведении поливов нормой 300...500 м³/Га при нижнем пороге предполивной влажности 70...75 % объемы стока по кротовинам достигали 5...15 % от поливной нормы. При этом снижение запасов солей (за период проведения вегетационных поливов) происходит до 0,015 % от веса почвы (рис. 3).

Кротодренажная машина статико-динамического действия может быть использована для прокладки устойчивого беструбчатого дренажа в минеральных грунтах I–IV категории на глубине до 1,0 м. Глубина прокладки дренажа зависит от мощности плодородного слоя.

Диаметр формируемых кротовин 100...120 мм. Расстояние между кротовинами определяется в зависимости от количества отводимой по ним влаги, степени засоления и грунтовых условий. Прокладка кротовин осуществляется с боковой поверхности водоотводного канала или из заходного шурфа. Порядок работы выглядит следующим образом:

- определяется степень засоления участка поля, объем попадающей за сезон в грунт влаги на шаг нарезки кротовин;
- определяется уклон поля и отрывается водоотводный канал (если не имеется такового);
- на разных участках поля берутся пробы из подпочвенного слоя грунта, и определяется его гранулометрический состав, влажность; грунт подвергается испытанию ударником ДорНИИ, по результатам исследований определяется вид грунта;
- на основании полученных данных в соответствии с рекомендациями устанавливается скоростной режим движения базовой машины и производится регулировка блока управления гидроударного устройства таким образом, чтобы обеспечить условия статико-динамического формирования кротовины на этом грунте;
- производится прокладка кротовин, схема движения машины по полю в процессе работы показана на рис. 4.

Важным условием для достижения хорошего результата является соблюдение требований влажности

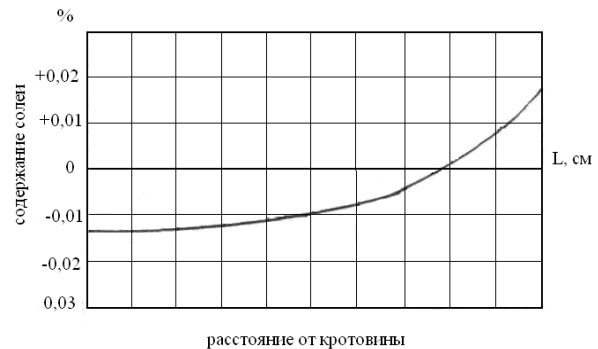


Рис. 3. Изменение исходных запасов солей в полуметровом слое почв после первого года испытаний кротовин

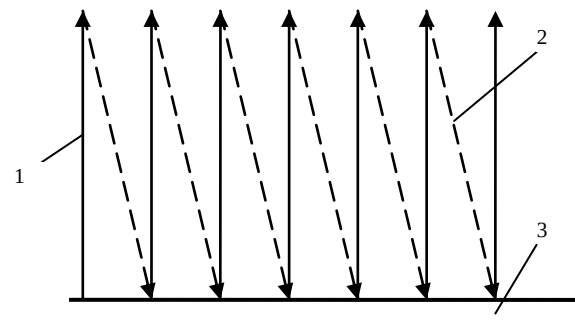


Рис. 4. Технологическая схема прокладки беструбчатого дренажа: 1 – рабочий ход машины; 2 – холостой ход; 3 – водоотводный канал

грунта. Для получения максимальной плотности грунта в стенках кротовин необходимо проводить работы в осенне-весенний период, т. к. влажность грунта должна быть близкой к оптимальной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов С.К. Подземный дренаж в промышленном и городском строительстве. М.: Стойиздат, 1967. 239 с.
2. Домин Е.Д. Бестраншейное строительство закрытого дренажа. М.: Колос, 1981. 240 с.
3. Лазуткина Н.А., Лазуткин С.Л. Комплексное представление системы «машина – обрабатываемый материал» // Вестник Пермского ГТУ. Пермь, 2011. Т. 13. № 2. С. 40-47.
4. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Обоснование параметров ударной системы адаптивного ударного устройства // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1 (8). С. 59-63.
5. Орлов В.Б. Исследование взаимодействия с грунтом конических штампов для образования горизонтальных скважин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1975.
6. Тимкин А.Ф. Разработка и определение параметров гидроневмодарного навесного копрового оборудования для обустройства ав-

- томобильных дорог: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Караганда, 1985.
7. Вернер А.О. Создание и исследование навесного гидронево-ударного оборудования для бестраншейной прокладки дренажа и подземных коммуникаций: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Караганда, 1984.
 8. Вазетдинов А.С. Исследование методов и оборудования подземной проходки при прокладке труб для кабелей связи: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М., 1959.
 9. Фрейндлих Г. Тиксотропия. М.: ГОНТИ, 1939. 47 с.
 10. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 287 с.
 11. Хархута Н.Я. [и др.] Тиксотропные процессы в грунтах при ударных и вибрационных воздействиях // Труды СоюзДорНИИ. М., 1971. Вып. 48.
 12. Гуменский Б.М. Основы физикохимии глинистых грунтов и их использование в строительстве. Москва; Ленинград: Стройиздат, 1965. 213 с.

13. Лазуткин С.Л. Создание и исследование статико-динамического рабочего органа кротодренажной машины: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Караганда, 1994.

Поступила в редакцию 3 октября 2012 г.

Lazutkin S.L., Lazutkina N.A. A WAY TO RESTORE THE WATER-SALT BALANCE OF SOILS

The description of the method of restoration of water and salt balance of the soil and justification of quantitative evaluation of rational process of computer with an active working body for the formation of horizontal wells in cohesive soils is given.

Key words: without tube drainage; molehill; soil density; thixotropic softening; static and dynamic loading; rate of static effects.

УДК 631.41

РОЛЬ ЛИТОГЕННОЙ ОСНОВЫ В ПОЧВЕННОМ ЦИКЛЕ УГЛЕРОДА: ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

© А.Н. Мальцева, Д.Л. Пинский, Б.Н. Золотарева

Ключевые слова: минерализация; динамика гумификации; растительные остатки; минеральный субстрат; гуминовые вещества.

В лабораторных условиях изучена динамика трансформации растительных остатков кукурузы в песке и суглинке. Показано, что при постоянных температуре и влажности динамика гумификации определяется законами волнового развития микробного сообщества. Стабилизация углерода в гумусовом веществе с длительностью эксперимента снижается, а величина отношения $C_{ГК}/C_{ФК}$ увеличивается. Интенсивность и конечные результаты процесса зависят от состава и свойств минерального субстрата.

ВВЕДЕНИЕ

Трансформация *растительных остатков* (РО) в почвах происходит за счет двух противоположно направленных процессов – минерализации и гумификации *органического вещества* (ОВ). Эти процессы являются ключевыми в цикле углерода в наземных экосистемах. Образующиеся *гуминовые вещества* (ГВ), являясь устойчивой формой органических соединений углерода вне живых организмов, обеспечивают выполнение почвами глобальных функций в биосфере. Средняя интенсивность гумусообразования на суше составляет $2,5 \cdot 10^9$ т $C_{орг}$ в год [1]. Существуют различные точки зрения, касающиеся механизмов гумификации, но наиболее распространенными являются конденсационная гипотеза и гипотеза окислительного кислотообразования. Первая предполагает синтез *гуминовых кислот* (ГК) за счет процессов конденсации и полимеризации из мономеров, образующихся в процессе разложения растительных тканей, и продуктов метаболизма микроорганизмов [2–3]. Гипотеза окислительного кислотообразования включает три этапа: 1) новообразование гумусовых кислот за счет ферментативного окисления высокомолекулярных соединений, входящих в состав растительных остатков; 2) трансформация новообразованных гумусовых кислот через стадию приобретения наиболее характерных черт ГК (формирование «зрелых ГК») с одновременным гидролитическим расщеплением и окислением фульвокислот (ФК);

3) очень медленное «неизбежное» разрушение гумусовых кислот вплоть до полной минерализации [4]. Таким образом, гуминовые кислоты являются своеобразным промежуточным этапом трансформации органических остатков в процессе их минерализации. Эти гипотезы получили признание в нашей стране и за рубежом и лежат в основе современных представлений о путях и механизмах превращения неспецифических органических соединений в ГВ. Д.С. Орлов подвел итог этим исследованиям, показав, что оба пути гумификации, вероятно, осуществляются в почвах, а степень их участия в трансформации органического вещества зависит от условий почвообразования [1, 5].

На первом биологическом этапе, достаточно коротком, происходит образование «молодых» неустойчивых ГВ, которые в ходе дальнейшей гумификации стабилизируются, в т. ч. за счет образования связей с минеральной частью [4, 6].

К настоящему времени накоплен обширный материал о возможных типах связи между органическими и минеральными компонентами почвы [4, 7–8]. В последние годы появились теоретические и экспериментальные работы, подтверждающие матричную (каталитическую) функцию глинистых минералов в синтезе ГВ [9–12]. Осуществлен ферментативный синтез гумусоподобных веществ на минеральной матрице из простых продуктов разложения растительных остатков [13]. Целью данной работы является изучение влияния моно- и полиминерального субстратов на минерализа-