

УДК 631.872:631.46

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ СОЛОМЫ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ГУМИФИКАЦИИ

ИВАНОВА Б. И.

(Кафедра микробиологии)

Можно считать установленным, что пожнивные остатки и солома злаковых культур, поступающие в почву, сразу начинают разлагаться в основном под действием микроорганизмов, образуя гумусовые вещества [4, 5, 13].

Характер разложения растительных остатков впервые был детально изучен С. П. Кравковым [9, 10, 11]. В настоящее время накоплен большой материал по минерализации различных растительных остатков [1, 3, 13, 14].

Менее детально исследован вопрос о динамике химического состава растительных остатков и образовавшихся гумусовых веществ. Между тем исследования такого рода имеют большое значение для определения роли процессов превращения растительных остатков в создании положительного баланса гумуса в почве.

Нами была поставлена задача проследить за динамикой химических компонентов соломы и образованием гумусовых веществ в процессе ее минерализации.

Невозможность отделения обычными методами вновь образовавшихся гумусовых веществ от возникших ранее в результате разложения растительных остатков в почве препятствует изучению скорости и направления процессов гумификации. Поэтому для определения химических компонентов соломы, с которыми связано образование гумусовых веществ, был поставлен модельный опыт в лабораторных условиях.

Объект и методы исследований

Объектом изучения была овсяная солома. Углерода в ней содержалось 65, азота — 0,65%. Отношение С : N равнялось 100 : 1. Опыт по разложению соломы был заложен в чашках Петри на гелевых пластинах в двух вариантах: 1 — солома без добавления азота и 2 — с добавлением минерального азота. Во втором варианте создавалось более узкое отношение С : N (25 : 1) добавлением раствора KNO_3 из расчета 26 мг азота на 1 г соломы.

При постановке опыта гелевые пластины пропитывали 3 мл минеральной среды Виноградского следующего состава (г на 200 мл дистиллированной воды): K_2HPO_4 — 1,0; $MgSO_4$ — 0,5; $NaCl$ — 0,5; $FeSO_4$ — 0,01; $Mn_2(SO_4)_3$ — 0,01. На поверхность пластин помещали навеску измельченной (до 3—5 мм) соломы из расчета 1 г абсолютно сухой массы на чашку. Затем солому увлажняли водой до 60% полной влагоемкости и добавляли 1 мл почвенной суспензии, содержащей 0,01 г дерново-подзолистой почвы (для внесения почвенной микрофлоры). Чашки с компостированной соломой помещали во влажную камеру и выдерживали при температуре 25°.

Во время компостирования периодически (через 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 210, 270, 360, 540 дней) брали по 6 чашек Петри каждого варианта опыта. Разлагающуюся солому снимали с гелевых пластин и подвергали биохимическому анализу по схеме, предложенной Кизелем в модификации Кононовой и Бельчиковой [6]. При этом разлагающуюся солому высушивали до воздушно-сухого состояния, затем размалывали и определяли содержание абсолютно сухого остатка, веществ, извлекаемых спиртобензольной смесью, целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и протенина. Так как по методу Кизеля в лигнинную фракцию попадают и гумусовые вещества, образующиеся в процессе гумификации растительной массы, для установления величины лигнинного остатка мы применяли способ, описанный Л. Н. Александровой с соавторами [1], по которому гумусовые вещества предварительно удаляются пиррофосфатным раствором. Для этого высушенную до воздушно-сухого состояния анализируемую массу сначала обрабатывают 1 М раствором пиррофосфата натрия ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) и после удаления гумусовых веществ подвергают анализу по схеме, указанной выше. Скорость минерализации общей массы соломы устанавливали по массе остатка компостируемого материала и выражали в процентах к исходному количеству вещества.

Новообразованные гумусовые вещества определяли по методу Тюрина. В связи с тем, что часть их диффундировала в гель, это вещество извлекали из геля (после снятия разлагающейся массы) 0,1 н. NaOH.

В опыте проводилось также определение элементного состава гуминовых кислот, были выделены их чистые препараты: фракцию гуминовой кислоты подвергали электродиализу, а затем чистый осадок выпаривали и высушивали в термостатированном шкафу при 38°. Элементный состав выделенных препаратов гуминовых кислот определяли микрометодами: содержание углерода и водорода по Прегелю в модификации Коршуновой с соавторами, азота по Дюма [8]; кислород вычисляли по разности.

Изменение общей массы и состава соломы при ее разложении

Данные исследований, приведенные в табл. 1—3 и на рис. 1, свидетельствуют о неравномерности разложения соломы и ее химических компонентов во времени. Так, за первые 1,5 мес разложилось от 54,7 до 65% всей массы соломы. В последующие 2,5 мес (от 45-го до 120-го дня) разложилось 16,3—17,0% общей массы соломы. Затем до конца опыта в течение 14 мес — всего 12—17%. Как видно из табл. 2, интенсивность разложения, весьма высокая в первые полтора месяца, резко падала в последующие периоды. При этом в варианте с добавлением азота она всегда была выше, чем в варианте без азота.

Легкодоступные для микроорганизмов вещества (целлюлоза, гемицеллюлозы и растворимые в спирто-бензоле) составляли около 62%

Таблица 1
Динамика разложения соломы
при разных условиях компостирования

Сроки разложения, сут	Вариант без азота		Вариант с азотом	
	исходное количество соломы, г	% к исходному	исходное количество соломы, г	% к исходному
При закладке опыта	1	100	1	100
30	0,580	58,0	0,440	44,0
45	0,453	45,3	0,350	35,0
60	0,362	36,2	0,261	26,1
90	0,324	32,4	0,240	24,0
120	0,290	29,0	0,220	22,0
150	0,271	27,1	0,210	21,0
210	0,245	24,5	0,200	20,0
270	0,232	23,2	0,182	18,2
360	0,181	18,1	0,153	15,3
540	0,120	12,0	0,100	10,0

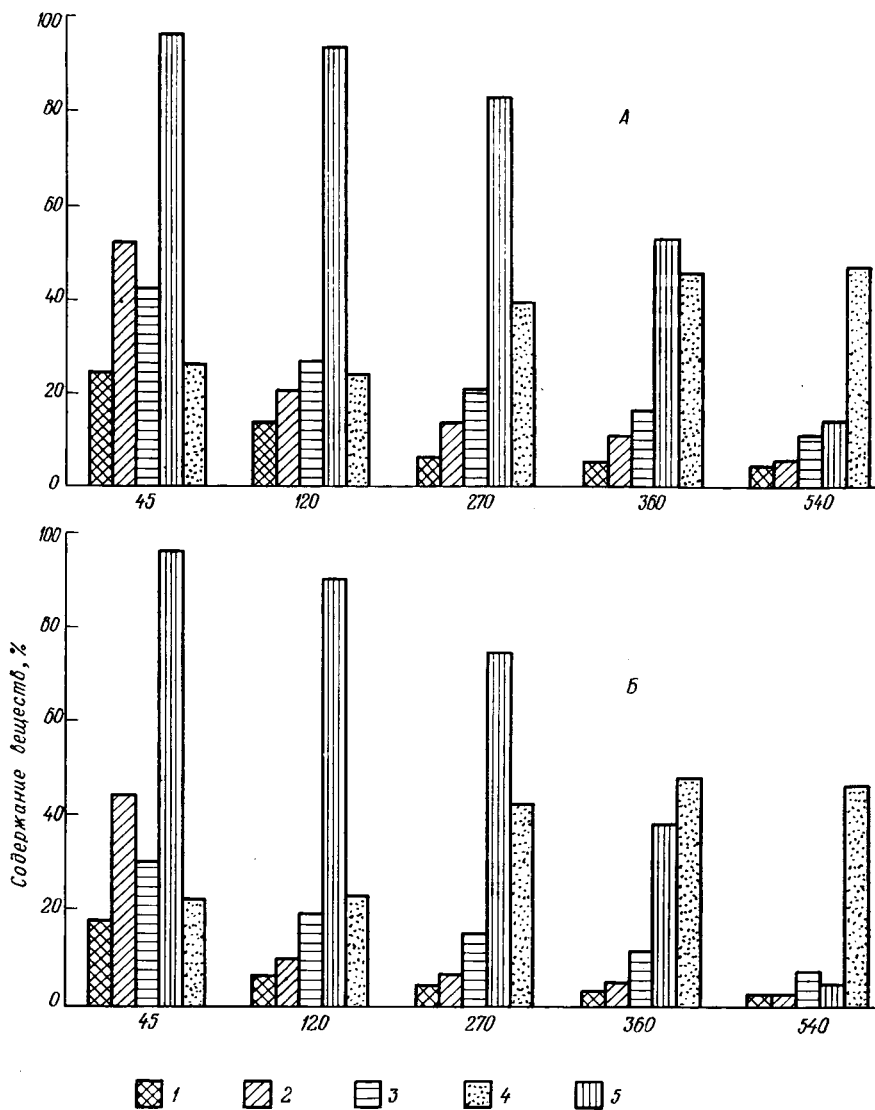


Рис. 1. Динамика химического состава овсяной соломы в процессе ее разложения на гелевых пластинах (% от первоначального количества). А — без азота; Б — с азотом; 1 — вещества, извлекаемые спирто-бензолом; 2 — гемицеллюлозы; 3 — целлюлоза; 4 — протеины; 5 — лигнин.

от всей массы соломы (табл. 3 и рис. 1). Основная масса их разлагалась в первые месяцы компостирования. По скорости этого процесса они располагаются в такой убывающей последовательности: вещества, растворимые в спирто-бензоле, целлюлоза и гемицеллюлозы.

Медленно разлагается лигнин, который к 270-м суткам компостирования составлял около 90,7—84,6% первоначального количества. Разложение его шло наиболее интенсивно во второй половине опыта (от 270-го до 540-го дня компостирования). Содержание протеинов постепенно увеличивалось в связи с иммобилизацией минеральных форм азота микроорганизмами.

Разложение соломы и всех ее компонентов усиливалось при добавлении к соломе минерального азота.

Образование гумусовых веществ в процессе разложения соломы

Данные, представленные на рис. 2, показывают, что содержание общего углерода гумусовых веществ, диффундировавших в гель, меняется во времени. Заметное количество его появлялось уже на 45-е сутки компостирования соломы. В варианте с азотом максимум общего

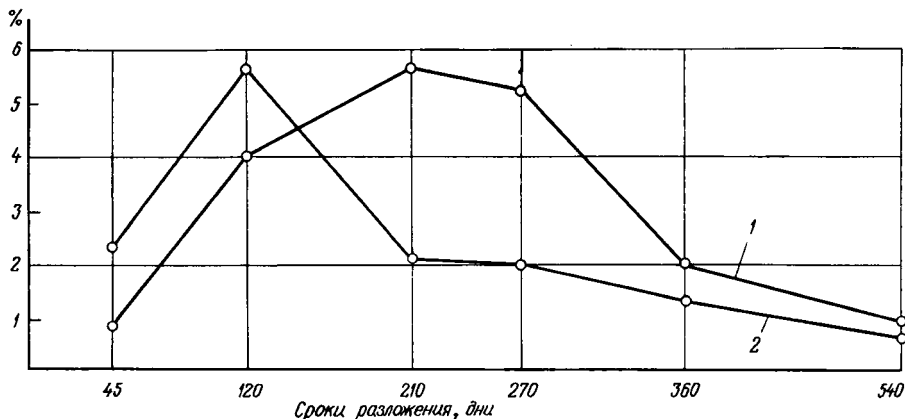


Рис. 2. Динамика углерода новообразованных гумусовых веществ, диффундировавших в гель при разложении соломы на гелевых пластинах (углерод гумусовых веществ, извлеченных 0,1 н. NaOH из геля, % от массы внесенной соломы).
1 — без азота; 2 — с азотом.

углерода гумусовых соединений отмечался через 4 мес компостирования (5,6% исходной массы); в варианте без азота — через 7 мес.

Спустя 5 мес компостирования количество углерода новообразованных гумусовых веществ в варианте с азотом начинало уменьшаться, а к 9 мес оно было меньше, чем в начале появления этих веществ (через 45 дней). В варианте без азота указанный процесс происходил значительно позже (через 9 мес компостирования), чем в варианте с азотом. Таким образом, при добавлении азота синтез и минерализация гумусовых веществ ускоряются.

Анализ группового состава гумусовых веществ (табл. 4), диффундировавших в гель, показывает, что вначале (через 45 дней) здесь об-

Т а б л и ц а 2

Интенсивность разложения соломы при разных условиях компостирования

Сроки разложения, сут	Остаток неразложившейся массы, % к исходной	Период разложения соломы, сут	Разложившаяся масса за указанный период, %	Интенсивность разложения соломы за месяц, %
Вариант без азота				
45	45,3	От 0 до 45-х	54,7	36,5
120	29,0	» 45-х до 120-х	16,3	6,5
270	23,2	» 120-х » 270-х	5,8	1,2
360	18,1	» 270-х » 360-х	5,1	1,2
540	12,0	» 360-х » 540-х	6,1	1,0
Вариант с азотом				
45	35,0	От 0 до 45-х	65,0	43,3
120	22,0	» 45-х » 120-х	17,0	5,2
270	18,2	» 120-х » 270-х	3,8	0,8
360	15,3	» 270-х » 360-х	2,9	0,9
540	10,0	» 360-х » 540-х	5,3	0,9

наруживались только фульвокислоты. При этом в варианте с азотом до 4 мес компостирования их было больше, чем в варианте без азота. В первом случае максимальное накопление фульвокислот отмечалось на 45-е сутки, затем происходило резкое снижение их количества, особенно значительное после 5 мес компостирования. В варианте без азота количество фульвокислот заметно увеличивалось только к 4 мес, но

Т а б л и ц а 3

Изменение химического состава соломы в процессе ее разложения

Сроки разложения, сут	Неразложившаяся масса соломы, % к исходной	Группы органических веществ				
		извлекаемые спирто-бензолом	гемицеллюлозы	целлюлоза	лигнинный остаток	протенны
Исходный материал	—	11,5 100	21,0 100	30,2 100	13,0 100	3,8 100
Б е з а з о т а						
45	45,3	2,8 24,3	9,6 45,7	12,8 42,4	12,6 96,9	0,95 25,0
120	29,0	1,5 13,0	4,1 19,5	8,0 26,5	12,1 93,0	0,91 24,0
270	23,2	0,7 6,2	2,6 12,5	6,1 20,1	10,6 81,5	1,44 38,0
360	18,1	0,5 4,6	1,1 10,1	4,7 15,6	6,7 51,5	1,67 44,0
540	12,0	0,4 3,7	0,9 4,6	3,1 10,3	1,0 7,7	1,71 45,0
С а з о т о м						
45	35,0	2,1 18,3	6,9 32,8	9,1 30,1	12,5 96,1	0,83 22,0
120	22,0	0,7 6,1	0,2 9,3	5,6 18,5	11,7 90,0	0,87 23,0
270	18,2	0,5 4,3	1,4 6,8	4,6 15,1	9,7 74,6	1,59 42,0
360	15,3	0,4 3,5	1,0 5,0	3,8 12,6	4,9 37,7	1,82 48,0
540	10,0	0,3 2,6	0,5 2,6	2,5 8,3	0,6 4,6	1,68 47,0

П р и м е ч а н и е. В числителе — % к исходной растительной массе; в знаменателе — % к первоначальному количеству вещества.

ненамного, и примерно с этого времени до 9 мес оно удерживалось на одном уровне, а после 12 мес компостирования отмечалось резкое их снижение.

Углерод гуминовых кислот в обоих вариантах в геле появлялся позже, после 2 мес компостирования. В последующий период динамика углерода гуминовых кислот в обоих вариантах (с азотом и без азота) была аналогична динамике углерода новообразованных гумусовых веществ.

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что добавление азота ускоряет процессы синтеза и минерализации гуминовых кислот и фульвокислот. В варианте с азотом $C_{г-к} : C_{ф-к}$ значительно выше, чем в варианте без азота. Последнее обуславливается, видимо, более быстрым разложением фульвокислот в присутствии минерального азота. То об-

стоятельство, что образовавшиеся гумусовые вещества при разложении соломы диффундируют в гель, показывает, что все их формы проходят водорастворимую фазу.

Накопление углерода новообразованных гумусовых веществ в разлагающейся массе соломы (табл. 5) в варианте без азота наблюдалось до 12 мес, в варианте с азотом до 7 мес, после чего происходило уменьшение его количества, особенно сильное в варианте с азотом. Различная динамика новообразованных гумусовых веществ в геле и в разлагающейся массе соломы объясняется, видимо, присутствием в последней зимогенной микрофлоры, препятствующей развитию представителей автохтонной группы, минерализующей гумусовые вещества [15].

Приведенные в табл. 6 данные об интенсивности накопления гумуса за соответствующие периоды разложения соломы свидетельствуют о том, что во всех вариантах накопление гумуса идет наиболее интенсивно в первые 1,5 мес разложения соломы, в период активного разложения углеводов (целлюлозы и гемицеллюлоз) и веществ, растворяющихся в спирто-бензоле. Полученные результаты подтверждают вывод М. М. Кононовой и И. В. Александровой [5, 7] о важной роли углеводов растительной ткани в образовании гумусовых веществ. Затем, по мере разложения углеводов и веществ, растворяемых спирто-бензолом, интенсивность накопления гумуса уменьшается. В период от 4 до 9 мес накопление гумуса составляло только десятые доли процента или гумус совсем не выявлялся (вариант с азотом в опыте на телевых пластинах).

В период активного разложения лигнина уже не наблюдалось накопления гумуса. Возможно, это объясняется тем, что процесс разло-

Таблица 4

Динамика углерода гуминовых кислот и фульвокислот, диффундировавших в гель при разложении соломы, извлеченных 0,1 н. NaOH

Сроки разложения, сут	Общего	Гуминовых кислот	Фульвокислот	С _{г.к.} :С _{ф.к.}
Без азота				
45	0,99	0	0,99	—
60	1,65	0,75	0,89	0,85
90	2,64	1,76	0,88	2,00
120	3,96	2,64	1,32	2,00
150	4,77	3,74	1,03	3,60
210	5,61	4,44	1,21	3,66
270	5,28	4,18	1,11	3,76
360	2,00	1,45	0,55	2,60
540	0,90	0,80	0,30	2,63
С азотом				
45	2,31	0	2,31	—
60	2,97	1,76	1,21	1,45
90	4,29	2,42	1,87	1,30
120	5,61	4,18	1,43	2,92
150	3,96	3,52	0,44	8,00
210	2,16	1,87	0,29	6,50
270	1,98	1,76	0,22	8,00
360	1,30	1,13	0,17	6,64
540	0,60	0,81	0,24	3,30

Таблица 5

Динамика углерода новообразованных гумусовых веществ при разложении соломы (% к исходной массе соломы)

Сроки разложения, сут	В варианте без азота			В варианте с азотом		
	извлеченный из геля 0,1 н. NaOH	извлеченный из компоста 1 м Na ₄ P ₂ O ₇	общее содержание	извлеченный из геля 0,1 н. NaOH	извлеченный из компоста 1 м Na ₄ P ₂ O ₇	общее содержание
45	0,99	2,21	3,20	2,31	2,01	4,32
120	3,96	2,27	6,23	5,61	2,89	8,50
210	5,61	2,29	7,90	2,16	3,45	5,61
270	5,28	2,40	7,68	1,98	3,02	5,00
360	2,00	2,60	4,60	1,30	1,50	2,80
540	0,90	1,30	2,20	0,60	0,70	1,30

Интенсивность накопления углерода новообразованных гумусовых веществ при разложении соломы на гелевых пластинах

Сроки разложения, сут	Общее количество углерода гумуса, % к исходной массе	Период разложения соломы, сут	Накопившийся за указанный период углерод, %	Интенсивность накопления углерода за 1 мес, %
Без азота				
45	3,20	От 0 до 45-х	3,20	2,13
120	6,23	» 45-х » 120-х	3,03	1,21
270	7,90	» 120-х » 210-х	1,67	0,55
С азотом				
45	4,32	От 0 до 45-х	4,32	2,88
120	8,50	» 45-х » 120-х	4,18	1,67

жения гумуса идет активнее, чем его синтез, и тем, что группа микроорганизмов, минерализующих гумусовые вещества, участвует и в разложении лигнина [15, 16].

Выводы

1. В разложении соломы отмечается ряд последовательных этапов. Вначале (до 120 сут) разлагаются вещества, растворимые спирто-бензолом, затем — целлюлозы и гемицеллюлозы. В последующий период (к 270 сут) разлагается лигнин.

2. Гумусовые вещества образуются в наибольшем количестве в период наиболее интенсивного разложения соломы (при разложении веществ, растворимых спирто-бензолом, целлюлозы и гемицеллюлоз).

3. Добавление азота ускоряет разложение соломы и ее отдельных химических компонентов, увеличивает выход гумусовых веществ, а также ускоряет процессы синтеза и минерализации последних.

4. Разложение белковых веществ растительных остатков сопровождается ресинтезом их микроорганизмами, вследствие чего убыли белков не происходит, а наоборот, в конце опыта содержание белковых веществ увеличивается за счет иммобилизации минерального азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова Л. Н. Гумусовые вещества почвы. «Зап. ЛСХИ», 1970, т. 142, с. 14—22. — 2. Кауричев И. С., Комаревцева Л. Г. Качественный состав гумуса почв под различной растительностью. «Изв. ТСХА», 1971, вып. 2, с. 91—97. — 3. Кауричев И. С., Теппер Е. З., Комаревцева Л. Г., Симакова И. С. Разложение растительных остатков и образование гумусовых веществ. «Изв. ТСХА», 1972, вып. 4, с. 97—107. — 4. Кольбе Г., Штумпе Г. Солома как удобрение. Пер. с немец. М., «Колос», 1972. — 5. Кононова М. М., Александрова И. В. Углеводные компоненты растительных тканей как источники гумусовых веществ. Тр. юбил. сессии, посвященной 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М., Изд-во АН СССР, 1949, с. 103—106. — 6.

Кононова М. М. Проблема почвенного гумуса и современные задачи его изучения. М., Изд-во АН СССР, 1951. — 7. Кононова М. М. Орган. вещество целинных и освоенных почв. М., «Наука», 1972. — 8. Коршун М. О., Гельман Н. Э. Определение углерода и водорода в быстром токе кислорода. В кн.: Основные микрометоды анализа орган. соединений. М., «Химия», 1967, с. 6. — 9. Кравков С. П. Материалы по изучению процессов разложения растительных остатков в почве. СПб, 1908. — 10. Кравков С. П. Исследования в области изучения роли мертвого растительного покрова в почвообразовании. СПб, 1911. — 11. Кравков С. П. Почвоведение. Курс. М.-Л., Сельхозгиз, 1934. — 12. Орлов Д. С., Розанова О. Н., Матюхина С. Г. Практикум по био-

химии гумуса. М., Изд-во МГУ, 1969.— 13. Теппер Е. З. Участие микроорганизмов в аэробном разложении яровой соломы и образование при этом гумусоподобных веществ. «Почвоведение», 1949, № 3, с. 175—182. — 14. Теппер Е. З. Динамика уроновых кислот при аэробном разложении корней клевера и тимофеевки. «Почвоведение», 1957, № 6, с. 95—99. — 15. Теппер Е. З. Угнетение роста микроорганизмов автохтонной микрофлоры отдельными представителями зимогенной микрофлоры. «Изв.

ТСХА», 1968, вып. 1, с. 40. — 16. Теппер Е. З., Бактерии, участвующие в разложении лигнина, его производных и гумусовых веществ. «Докл. ТСХА», 1961, вып. 70, с. 75—76. — 17. Теппер Е. З., Карягина Л. А. Использование проактиномицетами ряда ароматических соединений, попадающих в почву с растительными остатками и гумусовых веществ. «Докл. ТСХА», 1966, вып. 119, с. 14—15. — 18. Kamada K. "Soil. Sci. a. Plant Nutr.", 1965, vol. II, N 4, p. 32—37.

Статья поступила 30 октября 1977 г.

SUMMARY

The model experiment on gel plates for studying the decomposition of straw accompanied by the synthesis of humic substances has shown that decomposition of the substances which can be solved in spiritobenzene takes 120 days, then cellulose and hemicellulose are decomposed, and decomposition of lignin requires 270 days. Most of humic substances are formed in the period when the compounds belonging to the two first groups are being decomposed. Addition of nitrogen hastens decomposition of straw and some of its components, raises the yield of humic substances and increases the rate of the processes of synthesis and mineralization of the latter. All forms of newly formed humic substances pass the water-soluble phase, as they diffuse into gel. By the end of the experiment the amount of protein substances increased due to immobilization of mineral forms of nitrogen by microorganisms.