

## ОПТИЧЕСКАЯ ПЛОТНОСТЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ МЕХАНИЗМА ГУМУСООБРАЗОВАНИЯ

© 2015 Ю.В. Симонов

Самарский государственный экономический университет

Статья поступила в редакцию 14.11.2014

Предпринята попытка на основании динамики показателей оптической плотности гумусовых веществ, образованных в условиях модельных микроекосистем с участием различных биоагентов деструкции растительного опада, объяснить механизм формирования макромолекул гумусовых кислот.

*Ключевые слова:* гумус, гуминовые и фульвокислоты, оптическая плотность.

Поступающие в почву органические остатки подвергаются различным биохимическим и физико-химическим превращениям, в результате которых большая часть органического вещества окисляется до конечных продуктов, преимущественно  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и простых солей (минерализация), а меньшая, пройдя сложные превращения, называемые в совокупности гумификацией, включается в состав специфических гумусовых веществ почвы.

Некоторые авторы [1, 2, 3] понятие «гумификация» рассматривают более широко, включая в него не только процессы образования гумусовых веществ, но и их дальнейшую трансформацию и деградацию до полной минерализации.

Биохимия трансформации различных компонентов растительных остатков при гумусообразовании изучена недостаточно, поэтому существующие схемы этого процесса носят гипотетический характер: конденсационная (полимеризационная) концепция [7, 16, 20], концепция биохимического окисления [3, 17], биологическая концепция гумусообразования [4], интегративная концепция [8, 9] и т.д.

Все перечисленные взгляды на образование гумусовых веществ рассматривают гумификацию от исходных веществ до формирования зрелой системы гумусовых соединений. Между тем, как показали эксперименты с мечеными  $^{14}\text{C}$  растительными остатками, в современных нормально функционирующих почвах (гумусовый профиль которых уже сформировался), включение продуктов разложения свежих растительных остатков в состав гумусовых веществ наряду с образованием новых молекул специфических соединений происходит в значительной мере по типу, названному фрагментарным обновлением гумуса.

Наши исследования [10], показали значительную роль в процессах минерализации и гумификации почвообитающих беспозвоночных. Основными параметрами оценки роли тех или иных организмов в

*Симонов Юрий Владимирович, кандидат биологических наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности. E-mail: yuriisimonov@bk.ru*

гумификации были выход и накопление гумусовых веществ, оптическая их плотность, соотношение  $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}}$  и коэффициент цветности.

Могут ли данные параметры исследований в почвенной зоологии характеризовать молекулярную природу продуктов гумусообразования?

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Микроекосистема для исследования элементарных почвообразовательных процессов представляет собой стеклянные сосуды объемом 1 л, в которых создана подстилка из опавших листьев с подстилающим их чистым песком, заселенная определенным набором видов почвообитающих организмов. Контролем служит вариант деструкции опада с участием только микроорганизмов, а опытным вариантом являются сосуды с различным набором беспозвоночных, участвующих в трансформации растительного опада совместно с микроорганизмами. Наши неоднократные исследования [10] показали эффективность данного подхода в модельных почвенно-зоологических исследованиях.

При анализе процесса гумусообразования (выход гумусовых веществ, выделение препаратов гуминовых и фульвокислот) применяли методику, разработанную сотрудниками Почвенного института имени В.В. Докучаева [6], в нашей модификации в связи с использованием вытяжек из растительных остатков. Нами установлено оптимальное количество воздушно-сухой навески опада в 3 г. Оптическую плотность вытяжек определяли на спектрофотометре СФ-26 ЛОМО в диапазоне длин волн от 465 до 726 нм.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами ранее многочисленные данные [сводка, 10] однозначно указывают на позитивную роль почвообитающих беспозвоночных в процессе трансформации органического вещества растительных остатков.

Для решения обозначенной во введении проблемы в качестве примера мы использовали ранее

полученные нами данные по участию в гумификации микроартропод и представителей мезофауны в модельных микроэкосистемах [11, 12].

Во всех экспериментах поглощение света гумусовыми кислотами, образованными в варианте с микроорганизмами, в видимой области спектра монотонно убывает по мере увеличения длины волны, что лишает спектры специфичности (рис. 1, 2, 3, 4).

Туже закономерность мы обнаруживаем и при анализе оптической плотности гумусовых кислот, образованных при участии микроартропод (рис. 1,2). Однотипность спектров указывает на схожесть химического строения исследуемых соединений во всех вариантах наших экспериментов. Однако, спектры отличаются крутизной линий, что находит отражение в различном значении отношения  $C_{2k}/C_{fk}$  (табл. 1), которое не зависит от концентрации гуминовых веществ в вытяжках, а определяется структурой гумусовых веществ.

Поскольку в наших экспериментах можно вести речь только о новообразовании гумусовых веществ, можно с уверенностью сказать о том, что регулирующая и контролирующая функция микроартропод по отношению к бактериям и грифомицетам [13,14], сказывается на потере периферической части молекул гумусовых веществ, обогащенных полисахаридными и полипептидными фрагментами.. Общеизвестно,

что микроорганизмы не только синтезируют, но и разлагают гумусовые вещества. Происходит обуглероживания новообразованных гумусовых веществ в каркасной их части, что сказывается на их степени зрелости, показателем которой является крутизна падения оптической плотности и соотношение  $C_{2k}/C_{fk}$ .

Совершенно иная картина предстает нашему вниманию при анализе кривых оптической плотности гумусовых веществ, образованных при участии микроорганизмов, микроартропод и представителей почвенной мезофауны – мокриц и дождевых червей (рис. 3, 4).

В видимой области спектра оптическая плотность убывает по мере увеличения длины волны, но монотонность резко нарушается, и кривая приобретает характерный изгиб (рис. 3,4.). Очевидно, что совместная деятельность микроорганизмов, микро-и мезофауны резко меняет структуру молекул новообразованных гумусовых веществ, причем эти структурные изменения начинаются уже на начальных этапах деструкции растительного опада. Как показали наши исследования, структурные изменения новообразованных гумусовых веществ, если судить по кривым оптической плотности, происходят и в вариантах сочетания только микроорганизмов и представителей мезофауны, т.е. без участия микроартропод [12].

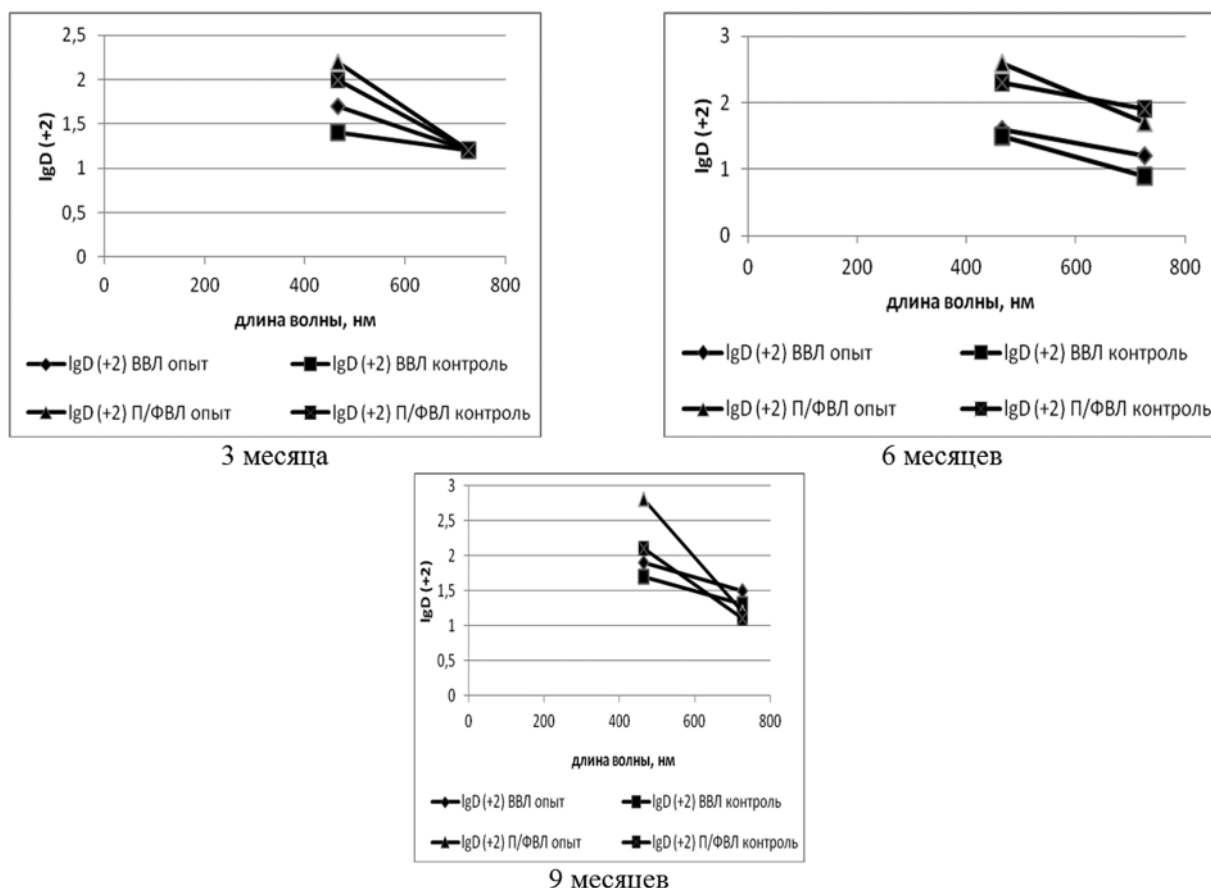
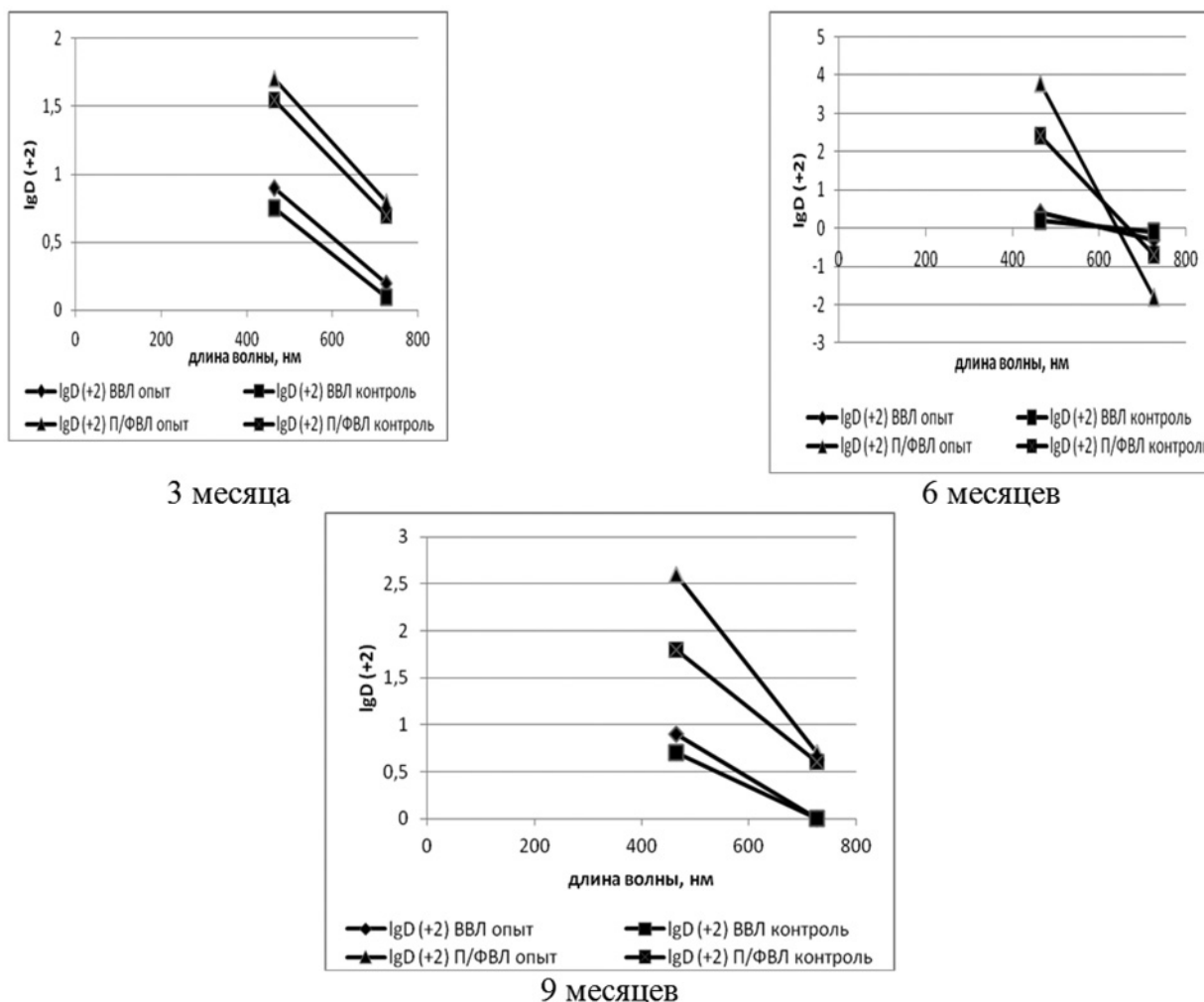


Рис. 1. Оптическая плотность гумусовых веществ в водной и пирофосфатной вытяжках из листьев ВВЛ – водная вытяжка из листьев; П\ФВЛ – пирофосфатная вытяжка из листьев



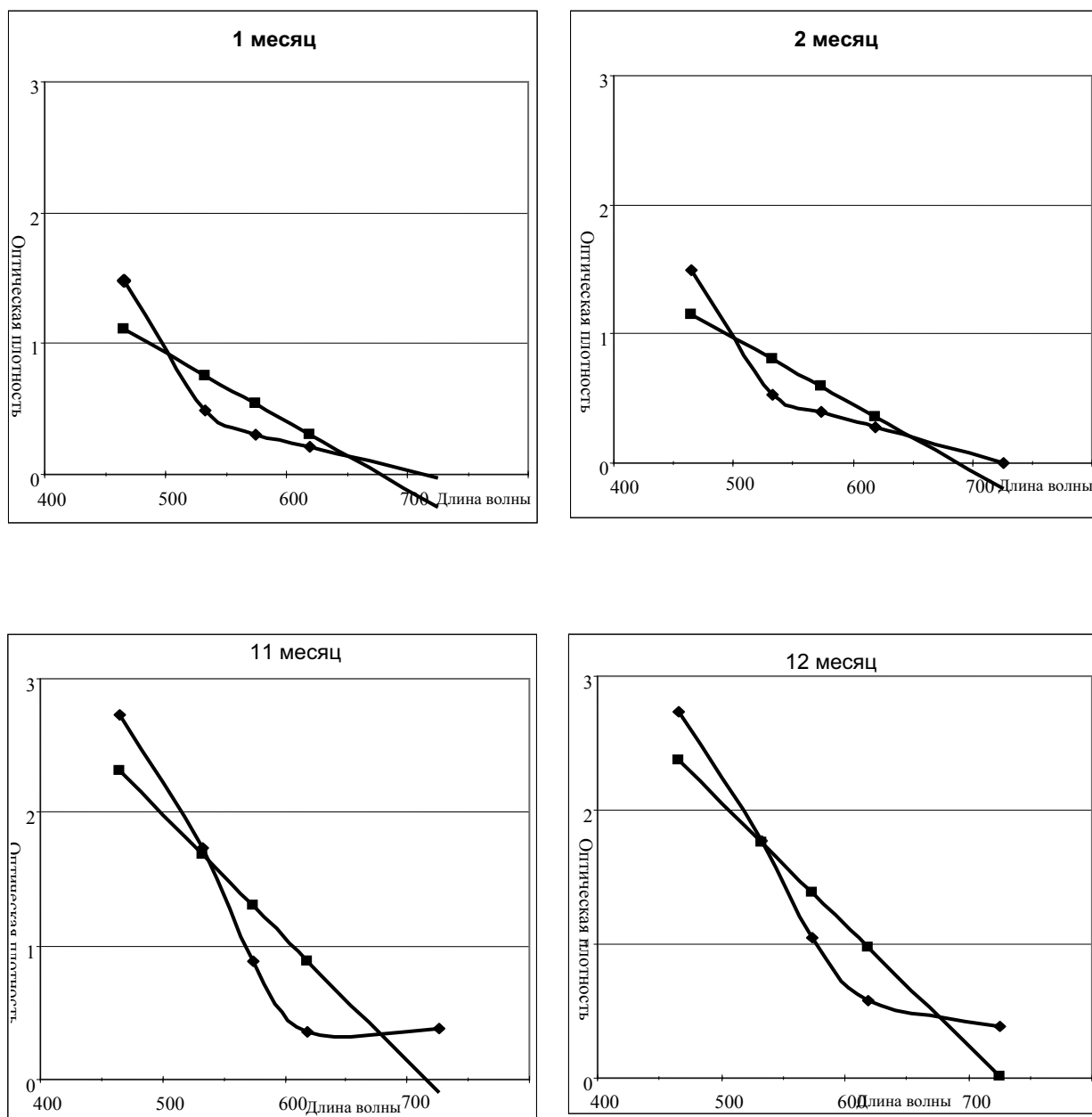
**Рис. 2.** Оптическая плотность гуминовых кислот водной и пирофосфатной вытяжек из листьев ВВЛ – водная вытяжка из листьев; П\ФВЛ – пирофосфатная вытяжка из листьев

**Таблица 1.** Динамика содержания гумусовых веществ в вытяжках из песка и листьев (мгС/г сухого опада) по [15]

вытяжки	срок (мес)	опыт				контроль			
		Сорг	Сгк	Сфк	Сгк:Сфк	Сорг	Сгк	Сфк	Сгк:Сфк
водная вытяжка из песка	3	2,25	1,08	1,17	0,93	1,73	0,78	0,95	0,82
	6	2,55	1,55	1,00	1,50	1,60	0,82	0,78	1,04
	9	2,40	1,55	0,85	1,80	1,60	0,93	0,67	1,40
водная вытяжка из листьев	3	5,75	2,85	2,90	0,98	4,42	1,98	2,44	0,81
	6	6,50	4,40	2,10	2,10	4,33	2,60	1,73	1,50
	9	6,00	4,50	1,50	3,00	4,00	2,80	1,20	2,33
пирофосфатная вытяжка из песка	3	1,50	0,85	0,65	1,30	1,16	0,61	0,55	1,10
	6	3,00	2,02	0,98	2,06	2,00	1,30	0,70	1,70
	9	5,50	3,95	1,55	2,50	3,44	2,34	1,10	2,11
пирофосфатная вытяжка из листьев	3	8,55	6,15	2,40	2,60	6,58	4,50	2,08	2,16
	6	7,55	5,75	1,80	3,08	5,03	3,60	1,43	2,52
	9	16,2	12,6	3,60	3,50	10,13	7,60	2,53	3,01

Флуктуация структурных изменений молекул в опытных вариантах (рис. 6) очень значительна по сравнению с общим процессом образования и накопления новообразованных гумусовых веществ (рис. 5), причем четко видны различия в деятельности мокриц и дождевых червей: карбо- и нитролиберантов соответственно.

Более эффективная по сравнению с мокрицами деятельность дождевых червей связана с процессами трансформации органического вещества в кишечнике червей, где происходит полимеризация низкомолекулярных соединений в более усложненные и зрелые формы гумусовых веществ, однако не исключен распад гумусовых



**Рис. 3.** Оптическая плотность пирофосфатной вытяжки из листьев – микроорганизмы+микроартроподы+мокрицы

Примечание: ■ – микроорганизмы; ◆ – микроартроподы + мокрицы

вещств в кишечнике червей за счет стимуляции определенных групп микроорганизмов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенно очевидно, что атомный и фрагментарный состав почвенного гумуса постоянно обновляется за счет новых поступлений органического материала. При этом периферические фрагменты обновляются в несколько раз быстрее, чем ядерные, каркасные. Иначе говоря, сформированный почвенный гумус как бы регулирует свое не только количественное, но и качественное воспроизводство, действуя как своеобразная матрица. Это отчасти объясняет относительную стабильность в качественном составе гумуса,

которую очень трудно удастся изменить путем воздействия через внешние факторы.

Состав гумуса будет зависеть от состава микробов его «производящих» благодаря своей ферментативной деятельности, от состава детрита (разлагающихся органических остатков) и той минеральной части почвы, где эти процессы происходят.

Кинетическая теория гумификации Д.С. Орлова [8, 9] объясняет принцип «отбора» наиболее устойчивых органических соединений в процессе гумификации. Глубина гумификации – степень преобразования растительных остатков в гумусовые вещества – характеризуется отношением  $C_{гк}:C_{фк}$ . Она тесно связана с периодом биологической активности. Однако в наших экспериментах

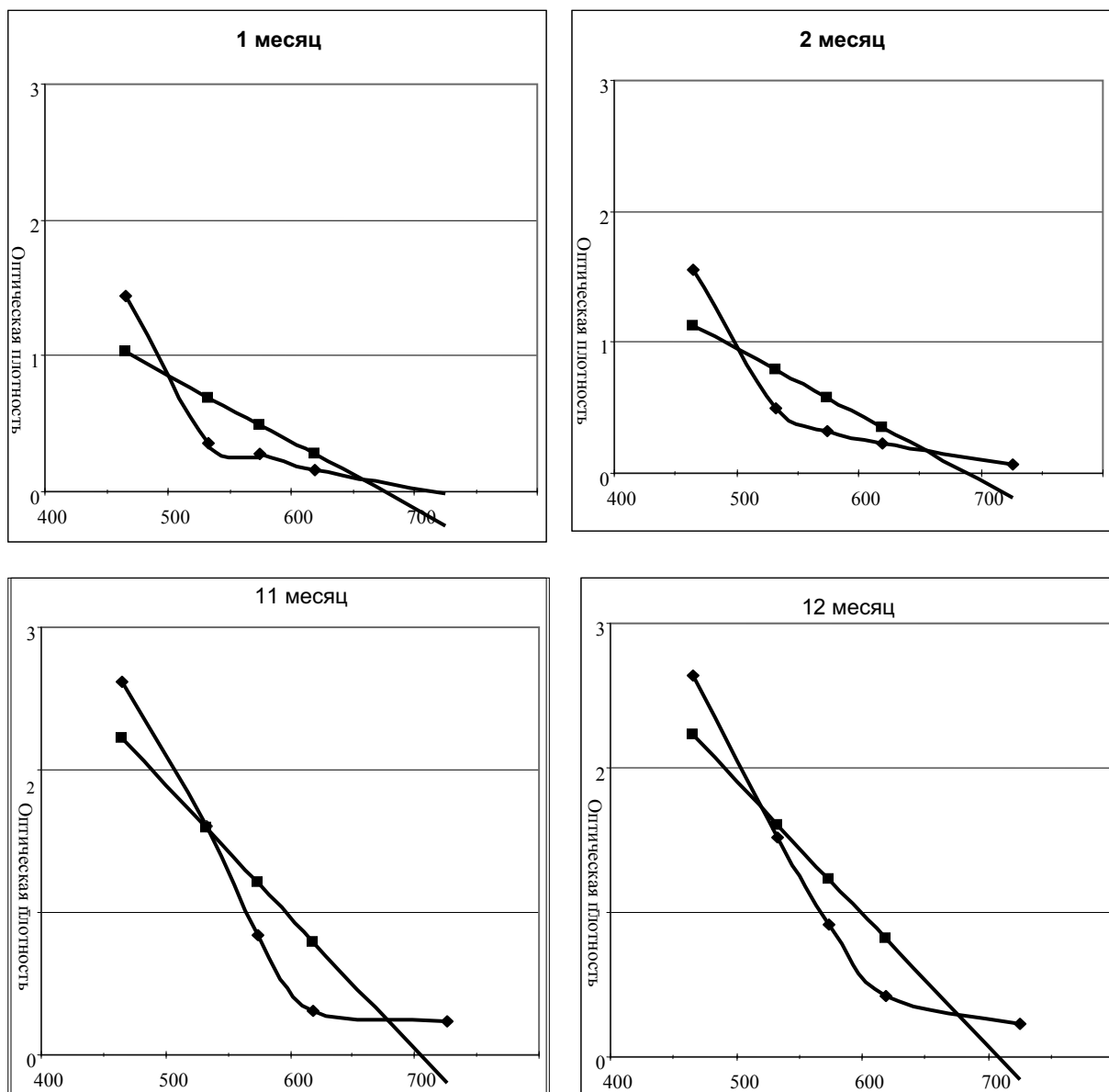


Рис. 4. Оптическая плотность пирофосфатной вытяжки из листьев – микроорганизмы+микроартроподы+черви

Примечание: ■ – микроорганизмы; ◆ – микроартроподы + дождевые черви

такой корреляции не наблюдается – происходит запаздывание периодов гумусонакопления и созревания по отношению к периодам увеличения численности мелких членистоногих и активной потери веса опадом, т.е. периодам биологической активности [10]. Очевидно, что существует так называемая «скрытая» биологическая активность, которая интенсифицирует выход темноокрашенных гумусоподобных веществ из клеток микроорганизмов и включение их в процессы образования и созревания гумусовых веществ. Инициаторами такой «скрытой» активности, судя по нашим данным, являются микроартроподы [10].

Теория обновления гумусовых веществ, разработанная в 70-х годах А.Д. Фокиным [18, 19], также подтверждает наше положение о том, что увеличение *Sорг* связано с включением новообразо-

ванных гумусовых веществ в «старые» молекулы за счет конденсации сначала в периферические, а затем – в циклические структуры. Поскольку периферические фрагменты обновляются в несколько раз быстрее, чем ядерные, а значит и более доступные для микроорганизмов. Этим и объясняется постепенное накопление гуминовых кислот и увеличение показателя *Sгк/Сфк*.

Концептуальная модель гумусообразования Н.Ф. Ганжары [5], как нельзя лучше объясняет различия наших экспериментов в процессах гумусонакопления в разлагающихся листьях и подстиляющем их песке. Кроме образования гумусовых веществ при разложении растительных остатков, существует и взаимодействие гумусовых веществ с минеральной частью почвы и образование устойчивых органоминеральных соединений.

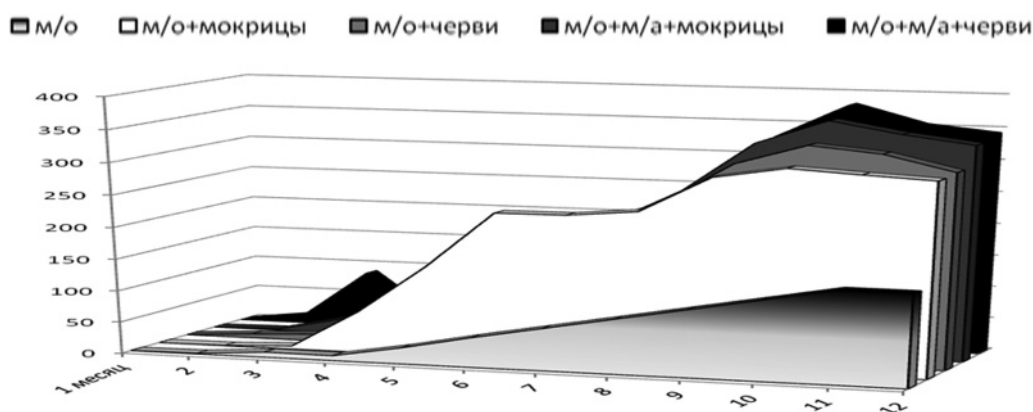


Рис. 5. Суммарное содержание органического углерода в пирофосфатной вытяжке из песка (мг  $C \times 10^{-6}$ /г сух. в-ва)

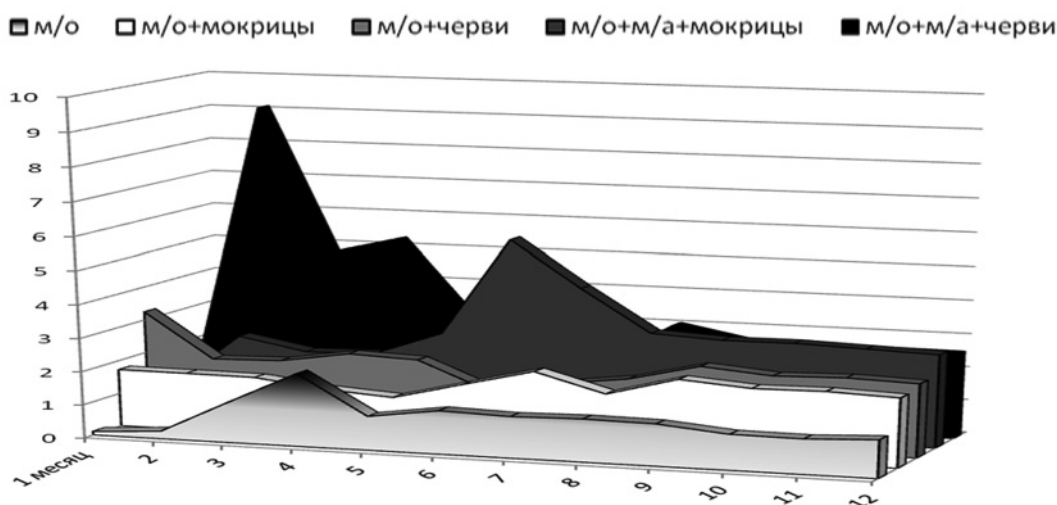


Рис. 6. Соотношение  $C_{гк}/C_{фк}$  в пирофосфатной вытяжке из листьев м/о – микроорганизмы, м/а – микроартроподы, м – мокрицы, ч – дождевые черви

Мы не претендуем на концептуальность своих выводов, однако наши данные подтверждают мнение о том, что при образовании и созревании гумусовых веществ действует определенный интегративный механизм гумусообразования, а существующие концепции, скорее всего, объясняют стадийность данного процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова Л.Н. Процессы гумусообразования в почве. Л.: Тр. Ленингр. с-х. ин-та. 1970. Т. 142. С. 26-83.
2. Александрова Л.Н. О процессах дальнейших превращений новообразованных гуминовых кислот. Л.: Зап. Ленингр. с-х. ин-та. 1974. Т. 237. С. 23-29.
3. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. 287 с.
4. Вильямс В.Р. Почвоведение. М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1949. Т. 1. 446 с.
5. Ганжара Н.Ф. Концептуальная модель гумусообразования // Почвоведение. 1997. № 9. С. 1075-1080.
6. Дьяконова К.В. Методы исследования органических веществ в лизиметрических водах, почвенных растворах и других аналогичных природных объектах // Стационарные методы изучения почв. М.: 1977. С. 18-34.
7. Кононова М.М. Формирование гумуса в почве и его разложение // Успехи микробиологии, 1976, № 11. С. 149-151.
8. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почвы. М., 1974, 333 с.
9. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
10. Симонов Ю.В. Общие закономерности влияния микроартропод на трансформацию органического вещества почвы // Исследования в области биологии и методики ее преподавания: Межкафедральный сборник научных трудов. Вып. 1. Самара: Изд-во СГПУ, 2002. С. 113 - 119.
11. Симонов Ю.В. Сравнительная характеристика деятельности микроартропод и микроорганизмов в процессе гумификации лесного опада // Экология. № 4, 1989. С. 28-33.
12. Симонов Ю.В., Пинаева О.Н. Количественная оценка взаимоотношения микро- и мезофауны в деструкционных процессах // Исследования в области биологии и методики ее преподавания. Самара. Изд-во СГПУ. Вып.1. 2002. С. 120-129.
13. Симонов Ю.В., Добровольская Т.Г. Воздействие кол-

- лембол и орибатид на бактериальные клетки разлагающегося опада // Экология, № 5. 1994. С. 46-51.
14. *Симонов Ю.В., Борисова В.Н.* Экспериментальный анализ взаимоотношения микроартропод с гифомицетами лесной подстилки // Экология микроартропод лесных почв. М.: Наука, 1988. С. 115- 22.
15. *Симонов Ю.В.* Роль комплекса микроартропод в трансформации органического вещества лесной подстилки: дисс....соиск.уч.степ. канд.биол.наук. 1984. 125 с.
16. *Трусов А.Г.* Материалы к изучению почвенного гумуса. Процессы образования «гуминовой кислоты». СПб., 1917. 44 с.
17. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. М-Л.: Сельхозгиз, 1937. 268 с.
18. *Фокин А.Д.* Участие различных соединений растительных остатков в формировании и обновлении гумусовых веществ почвы // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 60-65.
19. *Фокин А.Д.* Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве: Автореф. дис. д-ра биол. наук. М., 1975. 28 с.
20. *Flaig, W.* Zur Umwandlung von Lignin in Humusstoff // Freiburger Forschungen. 1962. Ser. A. S. 254.

## THE OPTICAL DENSITY OF HUMIC SUBSTANCES AS AN INDICATOR OF THE MECHANISM OF HUMUS FORMATION

© 2015 Yu.V. Simonov

Samara State Economic University

Attempted on the basis of the dynamics of the parameters of the optical density of humic substances formed in the conditions of the model microecosystem with the participation of different bioagents decomposition of plant litter, to explain the mechanism of formation of macromolecules of humic acids.

*Keywords:* humus, humic and fulvic acids, the optical density.