

ХИМИЯ И БИОХИМИЯ ПОЧВ

УДК 631.417.2

НГУЕН ТЫ СИЕМ, В. М. ФРИДЛАНД, Д. С. ОРЛОВ

**СОСТАВ И СВОЙСТВА ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ ГЛАВНЕЙШИХ
ПОЧВ СЕВЕРНОГО ВЬЕТНАМА**

В ряду почв Северного Вьетнама — темно-красные и красно-желтые ферраллитные, ферраллитно-маргалитные, болотная, аллювиальные кислые и нейтральная рисовые почвы — определен состав гумуса, изучены свойства гумусовых кислот, включая элементный состав, видимые и инфракрасные спектры, молекулярно-весовое распределение методом гель-хроматографии. Дано объяснение характера гумуса изученных почв, учитывающее различный уровень биологической активности, особенности состава минеральных компонентов и сельскохозяйственного использования территории.

Почвенный покров Северного Вьетнама разнообразен: на территории площадью 158 000 км² встречаются почти все типы почв, характерные для влажно-тропических районов. Разложение органического вещества и образование гумуса протекают здесь в условиях, резко отличающихся от условий умеренного климата, при повышенной влажности, температуре и интенсивном освещении, под влиянием обильной растительности. Исследование гумуса, формирующегося в таких условиях, представляет особый интерес для развития генетической и биохимической теории гумусообразования.

Изучая почвы Индокитая, Кастаньоль [23] высказал мнение о незначительной роли гумуса в генезисе и эволюции этих почв. Однако результаты, полученные другими исследователями, не подтвердили эти представления. По данным Фридланда [19], запасы гумуса в горных почвах Северного Вьетнама достигают 294—549 т/га и соответствуют запасам гумуса в темно-каштановых почвах и типичных черноземах умеренного климата. Изучение состава гумуса позволило Нью Цзи Вэню [11] и Фридланду [19] выявить существенные различия между типами почв в зависимости от условий их образования: для горных гумусо-ферраллитных и ферраллитных почв оказалось характерным преобладание фульвокислот (ФК) над гуминовыми кислотами (ГК), а в маргалитных почвах, наоборот, доминируют последние.

В настоящей статье рассматриваются результаты изучения состава гумуса главных почв Северного Вьетнама и дана подробная характеристика химических свойств и молекулярных параметров гумусовых кислот.

Территория Северного Вьетнама, где были взяты образцы почв, находится между 17° с. ш. и 23° с. ш. в зоне тропического муссонного климата. Среднегодовая температура колеблется от 23 до 25°, температура наиболее теплого месяца — от 26 до 30°, а наиболее холодного — от 15 до 18°. Годовые суммы осадков варьируют от 1400 до 3000 мм, коэффи-

циент увлажнения — от 1,7—2,4 до 4—5. Нами были исследованы типичные разрезы целинных и освоенных почв (табл. 1), которые можно условно разделить на 2 серии: почвы атмосферного увлажнения (разр. 23, 241, В, 439, 440, А, Вт, F, 1029) и затопляемые почвы (разр. 111, С, Н, G, J). Почвы атмосферного увлажнения распространены на холмистых территориях с высотами от 80 до 870 м над ур. м. Реакция почв от сильнокислой до кислой; отношение С:N находится в пределах 7,6—15,5, насыщенность основаниями невысокая, но в ферраллитно-маргалитных почвах достигает 88—98%. По реакции и насыщенности основаниями последние почвы резко отличаются от темно-красных и красно-желтых ферраллитных почв. Затопляемые аллювиальные и болотные почвы, в основном используемые под рис, расположены на низменности до высоты 18 м. Кроме аллювиальной почвы с нейтральной реакцией, рисовые почвы характеризуются реакцией от кислой до слабокислой, но насыщенность основаниями довольно высокая (60—90%), за исключением ферраллитной деградированной культурой риса почвы.

Содержание общего углерода в почвах определяли по Тюрину, а в разр. G и J дополнительно проверяли методом Кнопа — Сабанина*, содержание азота — методом Кьельдаля, емкость поглощения — по Бобко и Аскинази в модификации Грабарова и Уваровой, сумму обменных оснований — по Каппену — Гильковицу, содержание подвижного алюминия — по Соколову [2]. Определение состава гумуса и выделение препаратов гумусовых кислот проводили по схеме Тюрина [16]. Спектры поглощения в видимой области снимали на спектрофотометре СФ-14, а в ультрафиолетовой области — на Spectro-MOM203. Инфракрасные спектры снимали на приборах ИКС-14 с призмами LiF и NaCl. Содержание С и Н в препаратах найдено микрометодом Прегля, азота — микрометодом Дюма, кислород — по разности. Характер распределения гумусовых кислот по молекулярным весам получен методом гель-хроматографии на сефадексах Г-10, Г-50, Г-75 и Г-150 и на молселекте Г-25. Техника работы — по описанию Дубина [5].

Состав гумуса. В почвах Северного Вьетнама содержание органических веществ, извлекаемых спирто-бензольной смесью, составляет 1—10% от общего углерода почвы (табл. 2). Их содержание в среднем выше в затопляемых почвах, включая и разр. 439. Во всех спирто-бензольных экстрактах спектрофотометрически обнаружены хлорофиллоподобные вещества.

Количество веществ декальцината колеблется от 5 до 16% от общего углерода и в большинстве разрезов увеличивается с глубиной. Это может быть связано с вымыванием легкорастворимых веществ из верхнего горизонта. Затопляемые почвы зачастую содержат меньше веществ декальцината, чем почвы атмосферного увлажнения, что может быть обусловлено как их вымыванием, так и быстрым разрушением микроорганизмами.

В табл. 2 не приведено обычное обозначение фракций гумуса, а указаны количества ГК и ФК, перешедшие в различные вытяжки. Это позволяет показать часто более высокий выход ГК в непосредственную 0,1 N NaOH-вытяжку по сравнению с вытяжкой после декальцирования. Соответственно содержание ГК, предположительно связанных с Са, в таких образцах выражается отрицательными величинами. Подобное явление обнаруживается и при анализе кислых почв северных районов СССР. Более высокое содержание ГК в непосредственной вытяжке по сравнению с вытяжкой после декальцирования обусловлено, очевидно, несовершенством применявшегося метода. Можно допустить, что в непосредственную вытяжку переходит большое количество неспецифиче-

* Проверка подтвердила возможность определения гумуса методом Тюрина даже в гидроморфных и засоленных почвах Северного Вьетнама.

Таблица 1

Характеристика изученных почв

Индекс разреза. Почва	Высота над ур. м., м	Растительность	Механический состав	Горизонт и глубина, см	pH солевой	Гумус, %	C:N	Степень насыщенности основаниями, %	Подвижный Al, мг-экв/100 г почвы
А. Темно-красная ферраллитная на базальте	80	Вторичный лес	Глинистый	A 0—15	4,6	3,45	14,3	13,2	2,6
Вг. То же	80	Кофе 27-летнего возраста		Af 30—50	4,2	1,72	13,0	32,1	Не опр.
241. Красно-желтая ферраллитная на сланцах	360	Вторичный лес	Пылевато-глинистый	A 0—10	4,6	3,84	12,3	42,5	1,1
				Af 40—50	4,4	1,72	11,0	30,3	0,7
В. То же на гнейсах	100	Вторичный лес	Суглинистый	A 1—5	3,8	5,72	12,0	40,5	4,7
				Cf 40—50	4,1	1,38	12,5	24,4	3,6
440. То же	100	Посев <i>Borelia latifolia</i>	Песчанисто-средне-суглинистый	A 0—5	4,0	3,22	10,4	25,3	1,0
				A 18—29	4,2	2,00	7,6	33,3	1,4
439. То же глеевая с горизонтом латерита	100	Поле	Суглинистый	A 0—10	4,2	1,90	10,0	52,9	Не опр.
				E _x 40—50	4,0	1,34	8,7		
23. Горная красно-желтая гумусо-ферраллитная	870	Вечнозеленый лес		A 0—10	3,3	1,67	9,6	57,0	6,5
				La 20—30	3,5	1,12	8,1	49,0	2,5
F. Ферраллитно-маргалитная на вулканическом туфе	130	Травы	Глинистый	A 5—8	3,0	10,86	14,0	21,3	13,9
				BCf 40—50	3,6	1,07	15,5	25,0	1,8
1029. То же, формирующаяся под влиянием жестких грунтовых вод	до 200	Злаки		A 0—13	6,8	5,74	13,9	88,2	Сл.
				AB 13—25	6,0	4,90	12,3	98,0	Не опр.
C. Ферраллитная, деградированная культура риса	80	Рис	Супесчаный	AB 0—20	6,0	3,30	12,5	95,5	0,1
				B 20—30	6,7	1,71	11,0	94,5	0,1
H. Аллювиальная кислая	7	Рис	Песчанисто-средне-суглинистый	A 0—17	4,3	0,66	5,3	20,0	3,0
				B 27—40	3,6	0,57	4,7		Не опр.
G. Аллювиальная нейтральная	18	Рис	Среднесуглинистый	A _{пах} 0—12	3,6	1,53	8,1	65,7	1,9
				B 25—31	5,0	0,48	7,0	63,6	0,3
111. Болотная	7	Рис	Песчанисто-средне-суглинистый	A _{пах} 0—12	7,5	1,16	7,4	94,4	0,0
				B 22—28	7,0	0,43	5,0	100	0,1
J. Засоленная кислая	2	Травы	Пылевато-тяжелосуглинистый	A _{пах} 0—10	5,0	3,69	15,3	63,7	0,2
				B 20—40	4,3	3,02	17,5	44,9	0,4
				A 0—10	3,0	3,05	12,5	66,6	2,6
				B 23—33	3,2	2,48	10,3	54,3	3,0

Таблица 2

Состав гумуса почв Северного Вьетнама, С фракции в % от общего углерода почвы

Индекс разреза	Глубина, см	Сорг. % к почве (по Тюриану)	Спирто-бензольный экстракт	Декальцинат	ГК			ФК			Негидролизуемый остаток	Сгк: Сфк	Сгк в непосредственной 0,1 л NaOH-вытяжке	ГК, условно связанные с Са
					0,1 л NaOH-вытяжка после декальцинация	попеременная обработка	сумма	0,1 л NaOH-вытяжка после декальцинация	попеременная обработка	сумма				
A	0-15	2,01	6,0	11,5	7,0	2,0	9,0	27,5	8,0	35,5	42,5	0,25	7,5	-0,5
	30-50	1,00	2,0	9,0	3,0	3,0	6,0	26,0	6,0	32,0	46,0	0,19	4,0	-1,0
Bт	0-10	2,24	2,3	7,2	10,4	3,6	14,0	19,8	4,1	23,9	47,3	0,58	11,3	-0,9
	40-50	1,00	1,0	1,0	9,0	4,0	13,0	19,0	5,0	24,0	49,0	0,54	8,0	+1,0
241	1-5	3,33	2,1	8,1	10,2	3,9	14,1	23,2	4,5	27,7	45,2	0,50	15,1	-4,9
	40-50	0,81	2,5	15,0	5,0	2,5	7,5	30,0	6,3	36,3	47,5	0,21	12,5	-7,5
B	0-5	1,87	3,7	10,7	4,3	1,6	5,9	26,6	5,4	32,0	41,2	0,18	10,7	-6,4
	18-29	1,17	4,3	17,2	2,6	2,6	5,2	19,8	6,9	26,7	48,3	0,19	7,8	-5,2
440	0-10	1,11	3,6	13,6	6,4	3,6	10,0	26,4	5,4	31,8	41,8	0,31	7,3	-0,9
	40-50	0,78	5,1	14,1	2,6	2,6	5,2	21,8	9,0	30,8	44,9	0,17	6,4	-3,8
439	0-10	0,97	6,2	15,6	8,3	3,1	11,4	20,8	5,2	26,0	36,5	0,44	9,5	-1,2
	20-30	0,65	9,2	16,9	7,7	3,1	10,8	16,9	7,7	24,6	38,5	0,43	7,7	0
23	5-8	6,32	7,1	8,1	11,6	3,2	14,8	14,8	4,4	19,2	34,2	0,77	15,6	-4,0
	40-50	0,62	4,8	24,2	3,2	1,6	4,8	27,4	6,4	33,8	45,4	0,14	3,2	0
F	0-13	3,34	1,2	4,8	26,1	4,8	30,9	15,9	3,0	18,9	43,8	1,63	15,9	+10,2
	13-25	2,85	1,1	4,2	19,0	4,9	23,9	18,0	3,5	21,5	41,9	1,11	15,1	+3,9
1029	0-20	1,92	2,8	5,1	17,6	6,8	24,4	9,7	2,8	12,5	57,1	1,95	3,4	+14,2
	20-30	0,99	4,0	5,1	20,2	3,0	23,2	12,1	3,0	15,1	53,5	1,53	1,0	+19,2
C	0-17	0,38	7,9	13,2	18,4	5,3	23,7	21,1	5,3	26,4	34,2	0,89	15,8	+2,6
	27-40	0,33	6,1	21,2	9,1	0,0	9,1	21,2	3,0	24,2	45,5	0,37	3,0	+6,1
H	0-12	0,89	6,7	9,0	11,2	2,3	13,5	15,7	3,4	19,1	47,2	0,70	7,8	+3,4
	25-31	0,28	3,6	10,7	14,3	3,6	17,9	21,4	3,6	25,0	42,9	0,71	3,6	+10,7
G	0-12	0,68	4,5	Не опр.	17,9	3,0	20,9	14,9	3,0	17,9	52,2	1,16	1,5	+16,4
	22-28	0,25	8,0	Не опр.	16,0	4,0	20,0	24,0	12,0	36,0	40,0	0,56	8,0	+8,0
111	0-10	2,15	10,8	6,1	21,0	4,7	25,7	12,2	3,7	15,9	35,9	1,61	13,6	+7,4
	20-40	1,76	7,4	5,7	22,9	4,6	27,5	13,7	3,4	17,1	34,9	1,60	21,7	+1,2
J	0-10	1,77	5,1	Не опр.	26,3	2,3	28,6	17,1	2,9	20,0	40,6	1,43	17,7	+8,6
	23-33	1,44	16,7	Не опр.	15,3	2,1	17,4	13,9	2,1	16,0	46,5	1,08	12,5	+2,8

ских органических веществ, включая углеводы и полипептиды, пептизируются и частично растворяются минеральные коллоиды. Последующее осаждение ГК в кислой среде влечет за собой и соосаждение неспецифических соединений, усиливаемое органо-минеральными взаимодействиями. В результате количество ГК оказывается завышенным, поскольку оно принимается равным количеству органического вещества в осадке. Декальцинация почвы вызывает противоположный результат; при обработке почвы кислотой растворяются и отмываются подвижные полуторные окислы, гидролизуются гемицеллюлозы и часть полипептидов, частично отщепляются и боковые алифатические структуры ГК.

Все это снижает весовое содержание ГК в самой почве и уменьшает вероятность их последующего загрязнения путем соосаждения неспецифических соединений. Найденное количество ГК оказывается меньше истинного. Поэтому разность между содержанием ГК в двух вытяжках, которая обозначается как фракция ГК, предположительно связанных с Са, приобретает в ряде случаев отрицательное значение. Этот эффект от декальцинации почвы будет тем больше, чем меньше в почве ГК, связанных с Са, чем больше в ней содержится легкогидролизуемых и легкопептизуемых неспецифических органических соединений и минеральных коллоидов, соосаждаемых с ГК. Такие условия обычно складываются в кислых дерново-подзолистых почвах, они же характерны для темно-красных и красно-желтых ферраллитных почв.

В почвах Северного Вьетнама содержание ГК, предположительно связанных с Са (табл. 2, последний столбец), изменяется вполне закономерно. Все темно-красные и красно-желтые ферраллитные и гумусо-ферраллитные почвы практически лишены гумусовых веществ, связанных с Са; в ряде случаев содержание этой фракции меньше нуля. Это относится преимущественно к почвам, степень насыщенности основаниями которых меньше 50—55%. Очевидно, при малой степени насыщенности ос-

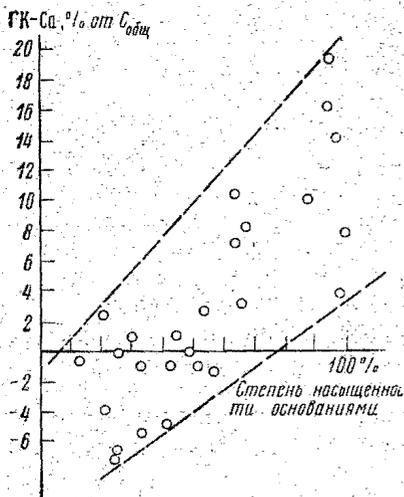


Рис. 1

Рис. 1. Зависимость между долей ГК, предположительно связанных с кальцием (ГК-Са), и степенью насыщенности почв основаниями

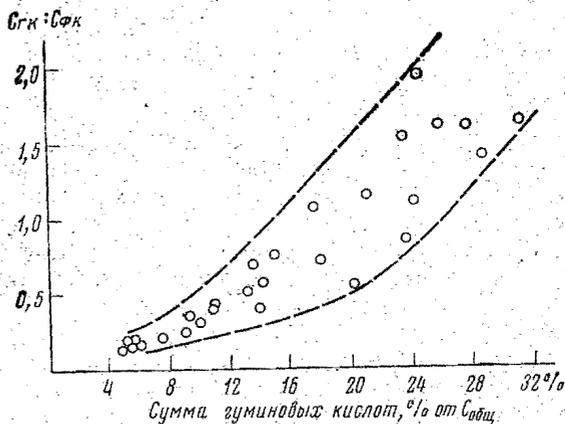


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость между отношением $C_{гк} : C_{фк}$ и суммарным содержанием ГК ($C_{гк}$) в составе гумуса

нованиями содержание гуматов кальция и магния очень мало (в среднем не более 5—8% от $C_{орг}$) и эффект декальцирования оказывает большее влияние на результат, чем наличие гуматов. С увеличением степени насыщенности основаниями доля этой фракции в составе гумуса быстро увеличивается (рис. 1). Корреляция между степенью насыщенности основаниями и количеством гуматов Са существенная, особенно если принять во внимание, что для построения графика использован набор почв, резко различающихся по составу и происхождению. Наличие эффекта декальцирования заставляет думать, что и в почвах, насыщенных основаниями, результаты определения фракции ГК-Са обычно занижены. Примерно та же зависимость, как и на рис. 1, обнаруживается при сопоставлении фракции ГК-Са с общей суммой ГК. Следовательно, высокая насыщенность почв основаниями благоприятна для накопления ГК и обуславливает присутствие в составе гумуса гуматов щелочноземельных катионов.

Количества ГК и ФК, извлекаемых из почв попеременной обработкой, невелики и практически не связаны с типом почвы. Таким образом, наибольшее значение для характеристики гумусового состояния почв Северного Вьетнама имеет соотношение свободных и предположительно связанных с Са ГК, так же как и классическое отношение $C_{гк} : C_{фк}$. Надо сказать, что последняя величина отчетливо связана с общей суммой ГК в составе гумуса (рис. 2). Практически поэтому можно было бы ограничиться просто суммой ГК, тем более что в ряде случаев она более выразительна. Но мы воспользуемся отношением $C_{гк} : C_{фк}$, поскольку, во-первых, оно более привычно и, во-вторых, не зависит от возможных

ошибок определения общего содержания гумуса в почве. Отношение Сгк:Сфк, как правило, уменьшается вниз по профилю.

В дальнейшем для характеристики типов и разновидностей почв мы ограничиваемся данными только для верхних гумусовых горизонтов. Судя по Сгк:Сфк, темно-красные и красно-желтые ферраллитные почвы имеют фульватный гумус. Подобные результаты были получены в ряде работ [4, 6, 19—22]. В этих почвах величины Сгк:Сфк колеблются от 0,18 до 0,77, причем изменения отношения вполне объяснимы конкретными особенностями почв. Повышение Сгк:Сфк от 0,25 в разр. А до 0,58 в разр. Вт, несомненно, обусловлено влиянием окультуривания. То же можно сказать о гумусе почв разр. В, 439 и 440. Резко возрастает отношение Сгк:Сфк в ферраллитно-маргалитных почвах, особенно формирующихся под влиянием жестких грунтовых вод. Среди рисовых почв отношение Сгк:Сфк наиболее низко в наиболее кислой почве разр. Н. Слишком высокое отношение Сгк:Сфк, экспериментально полученное для очень кислой и в то же время засоленной почвы разр. J, вызвано, по-видимому, специфическим составом ее минеральных компонентов.

Таким образом, состав гумуса вполне отчетливо увязывается с общими свойствами почв и условиями гумификации: величина отношения Сгк:Сфк, как и доля ГК, связанных с Са, закономерно увеличивается от горных кислых ферраллитных почв к затопляемым и ферраллитно-маргалитным почвам. Отчетливо прослеживается положительное влияние жестких почвенно-грунтовых вод, трав, окультуривания почвы, высокой степени насыщенности почв основаниями, т. е. всех тех факторов, которые способствуют интенсификации микробиологической деятельности в почве [19]. Вместе с тем следует подчеркнуть в целом ослабленный уровень гумификации для большинства почв. Интересно отметить, что во всех почвах атмосферного увлажнения в составе гумуса была обнаружена фракция P_g ГК (зеленый пигмент), которая очень характерна для дерново-подзолистых почв и многих луговых почв гумидных районов СССР; присутствие этого пигмента служит одним из показателей ослабленной биохимической активности почвы. В используемых под культуру риса, длительно затопляемых, интенсивно удобряемых и многократно

Таблица 3

Элементный состав гумусовых кислот почв Северного Вьетнама, % на абсолютно сухую беззольную навеску

Разрез	Кислоты	С	Н	О	N	Атомные отношения		Степень окисленности, ω	Зола, %
						Н:С	С:N		
А.	ГК	45,9	5,3	45,0	3,8	1,4	14,0	+0,08	18,2
	ФК	44,1	4,7	47,9	3,3	1,3	15,6	+0,32	4,2
23	ГК	52,5	5,1	37,0	5,4	1,2	11,3	-0,12	10,0
	ФК	49,1	3,7	44,5	2,7	0,9	21,2	+0,43	5,9
241	ГК	55,8	4,9	34,9	4,4	1,1	14,8	-0,13	9,2
	ФК	50,0	3,8	43,6	2,6	0,9	22,4	+0,38	5,1
В	ГК	56,0	4,9	34,2	4,9	1,1	13,3	-0,14	10,0
	ФК	47,5	4,0	46,0	2,5	1,0	22,2	+0,43	4,0
F	ГК	58,4	3,9	34,5	3,2	0,8	21,2	+0,07	7,8
	ФК	48,7	3,6	45,4	2,3	0,9	24,7	+0,49	4,8
С	ГК	58,0	5,5	30,9	5,6	1,1	12,1	-0,36	8,5
	ФК	47,7	4,5	43,5	4,3	1,1	12,9	+0,23	9,0
Н	ГК	57,8	5,0	32,0	5,2	1,0	12,9	-0,21	12,1
	ФК	48,2	4,4	43,5	3,9	1,1	14,3	+0,25	17,3
G	ГК	59,7	5,3	30,3	4,7	1,1	14,8	-0,31	2,7
	ФК	45,5	4,3	46,3	3,9	1,1	13,5	+0,38	5,6
111	ГК	61,1	5,2	29,7	4,0	1,0	17,8	-0,27	11,3
	ФК	50,1	3,9	42,2	3,8	0,9	15,4	+0,31	5,5
J	ГК	57,0	5,5	32,6	4,9	1,2	13,5	-0,30	4,8
	ФК	50,6	4,4	41,1	3,9	1,0	15,2	+0,17	7,8

обрабатываемых почвах Северного Вьетнама фракция Рg не обнаружена.

Состав и свойства гумусовых кислот. Многими исследователями показано закономерное изменение элементного состава гумусовых кислот почв умеренных широт [1, 3, 7, 13, 17]. Элементному составу гумусовых кислот почв тропиков уделено крайне мало внимания, и недостаточно данных, чтобы можно было выяснить закономерности распределения составных компонентов гумуса. По Нью Цзи Веню [11] ГК ферраллитных почв влажных тропиков Китая содержат около 59% С, а ФК—45%. Первые данные по элементному составу ГК почв ферраллитного типа Вьетнама получены Турски с соавт. [22]; по их данным ГК содержат 42—55% С, 4,3—5,7% Н, 38—47% О и 2,4—5,2% N.

По нашим данным, содержание углерода в ГК почв Северного Вьетнама составляет 46—61% (табл. 3). При переходе от почв атмосферного увлажнения к почвам, находящимся в режиме затопления при интенсивной обработке и удобрения, содержание С в ГК закономерно увеличивается, однако максимальная разница наблюдается между темно-красными ферраллитными и ферраллитно-маргалитными почвами. Величина содержания С в ГК не полностью коррелирует с содержанием гумуса в почвах, т. е. условия наибольшего накопления гумуса не всегда соответствуют условиям его максимального «созревания». ФК менее варьируют по содержанию углерода, и в ряду почв их изменение следует за изменением состава ГК.

Атомные отношения Н : С по Ван Кревелену [цит. по 16] часто используют как показатель степени конденсированности гумусовых кислот; для изученных препаратов они невелики и соответствуют преобладанию ароматических углеводов, если не принимать во внимание содержание в гумусовых кислотах кислорода. Высокое количество кислорода, однако, не позволяет в полной мере воспользоваться методом Ван Кревелена, поскольку неизвестны все кислородные функции. Если условно принять, что группы >C=O и >C-OH представлены в ГК и ФК поровну, то в этом случае каждый атом кислорода замещает в среднем один атом водорода. Тогда атомные отношения Н : С надо увеличить, чтобы можно было сопоставлять гумусовые кислоты с углеводородами; для ГК из разр. А отношение Н : С в таком исправленном виде становится равным 2,1, что по Ван Кревелену отвечает уже чистым парафинам. Даже в ГК с наибольшим содержанием углерода из разр. 111 отношение Н : С, исправленное на кислородные функции, не менее 1,45; это отвечает циклопарафинам или смеси из 30% ароматических углеводов и 70% парафинов. Таким образом, степень конденсированности («бензоидности») гумусовых кислот невелика и даже в препаратах с наибольшим содержанием С доля боковых периферических цепей составляет не менее 70% по весу.

Степень окисленности ГК в темно-красной ферраллитной и ферраллитно-маргалитной почвах близка к окисленности углеводов (табл. 3), а ГК остальных почв имеет даже отрицательные значения. Самые низкие значения окисленности обнаружены для ГК затопляемых почв. Судя по этому показателю и по содержанию углерода, ГК ферраллитно-маргалитных почв можно отнести к группе черных (серых) окисленных — (ЧГКО), а ГК остальных почв — к группе бурых восстановленных (БГКН) — терминология и классификация даны по работам Орлова [12, 13]. ФК свойственна высокая степень окисленности от +0,17 до +0,49, что характерно и для почв умеренных широт.

Спектры всех гумусовых кислот имеют общий характер в видимой и ультрафиолетовой областях спектра с максимальным поглощением при длинах волн ниже 230 нм. Различия между типами почв сводятся преимущественно к разной интенсивности поглощения света (рис. 3). ГК

ферралитно-маргалитных почв характеризуются наибольшей оптической плотностью; E-величины достигают 0,11. Такие значения известны для ГК черноземов и некоторых луговых почв. Соответственно коэффициент цветности $E_4 : E_6$ для ГК данной почвы наименьший. Наибольшие оптические плотности и высокое содержание углерода (табл. 3 и 4) указывают на обогащенность этой ГК фрагментами с сопряженными двойными связями, вероятно, ароматического характера и на относительно пониженное содержание в этом препарате боковых радикалов.

Такие свойства ГК хорошо согласуются со слабой кислотностью почвы, высокой степенью насыщенности почв основаниями, ничтожным ко-

Таблица 4

E-величины гумусовых кислот из верхних горизонтов почв в расчете на 0,001%-ный раствор сухого беззольного вещества

Индекс разреза. Почва	ГК		ФК	
	$E_{465,1}^{0,001\% \text{ ФК}}$ <i>см</i>	$E_4 : E_6$	$E_{465,1}^{0,001\% \text{ ГК}}$ <i>см</i>	$E_4 : E_6$
А. Темно-красная ферраллитная	0,042	6,1	0,009	10,0
23. Горная гумусо-ферраллитная	0,054	5,2	0,022	11,0
241. Красно-желтая ферраллитная	0,062	4,1	0,026	8,7
В. Красно-желтая ферраллитная	0,067	4,4	0,018	9,2
Г. Ферралитно-маргалитная	0,080	3,2	0,026	6,6
С. Ферраллитная деградированная	0,062	4,5	0,013	6,4
Н. Кислая аллювиальная	0,056	4,6	0,016	6,4
С. Нейтральная аллювиальная	0,052	3,7	0,012	6,0
111. Болотная	0,049	4,3	0,021	7,0
Ж. Кислая засоленная	0,054	4,4	0,022	6,3

личеством подвижного иона Al^{+++} ; в подобных условиях биологическая активность почвы должна быть высокой. В противоположность этому для гумусовых кислот темно-красных ферраллитных почв, в составе которых резко преобладают ФК и подвижные ГК, характерна наименьшая оптическая плотность, наибольшее значение $E_4 : E_6$ и наименьшее содержание углерода в ГК. Эти особенности гумуса вполне соответствуют кислой реакции почв, низкой насыщенности почв основаниями и значительному содержанию подвижного Al^{+++} , что неизбежно должно ослабить в этих почвах деятельность микрофлоры, особенно бактериальной. По элементному составу и оптическим свойствам ГК красно-желтых ферраллитных почв и горных гумусо-ферраллитных почв занимают промежуточное положение между двумя предыдущими почвами.

ГК затопляемых почв имеют почти одинаковые и низкие оптические плотности: E-величины равны 0,05—0,06, что соизмеримо с E-величинами ГК подзолистых и серых лесных почв. ФК всех изученных почв слабо поглощают свет в видимой области и по E-величинам близки к ФК почв умеренного климата.

По характеру инфракрасных спектров ГК почв Северного Вьетнама принципиально не отличаются от ГК почв умеренных широт (рис. 4). В спектрах всех препаратов имеется интенсивная и широкая полоса поглощения при $3000—3400 \text{ см}^{-1}$, обусловленная преимущественно валентными колебаниями ОН. Максимумы поглощения приходятся на $3340—3380 \text{ см}^{-1}$; у ГК из темно-красной ферраллитной почвы они смещены до 3410 см^{-1} , что указывает на менее прочную межмолекулярную водородную связь. Интенсивные полосы с хорошо выраженными максимумами при 2920 и 2840 см^{-1} говорят о высоком содержании метильных и метиленовых групп и значительной разветвленности молекул. Доля таких групп больше в ГК затопляемых почв, причем она значительно выше, чем это

обычно встречается в гумусовых кислотах почв умеренных широт. Велико содержание этих групп и в ФК.

Ранее одним из авторов статьи [14, 15] была показана необходимость использования только стандартизованных по зольности препаратов при изучении их инфракрасных спектров, поскольку кислотная и солевые формы имеют разный набор полос, особенно около $1400\text{--}1720\text{ см}^{-1}$. Кроме того, силикатные примеси могут значительно исказить область

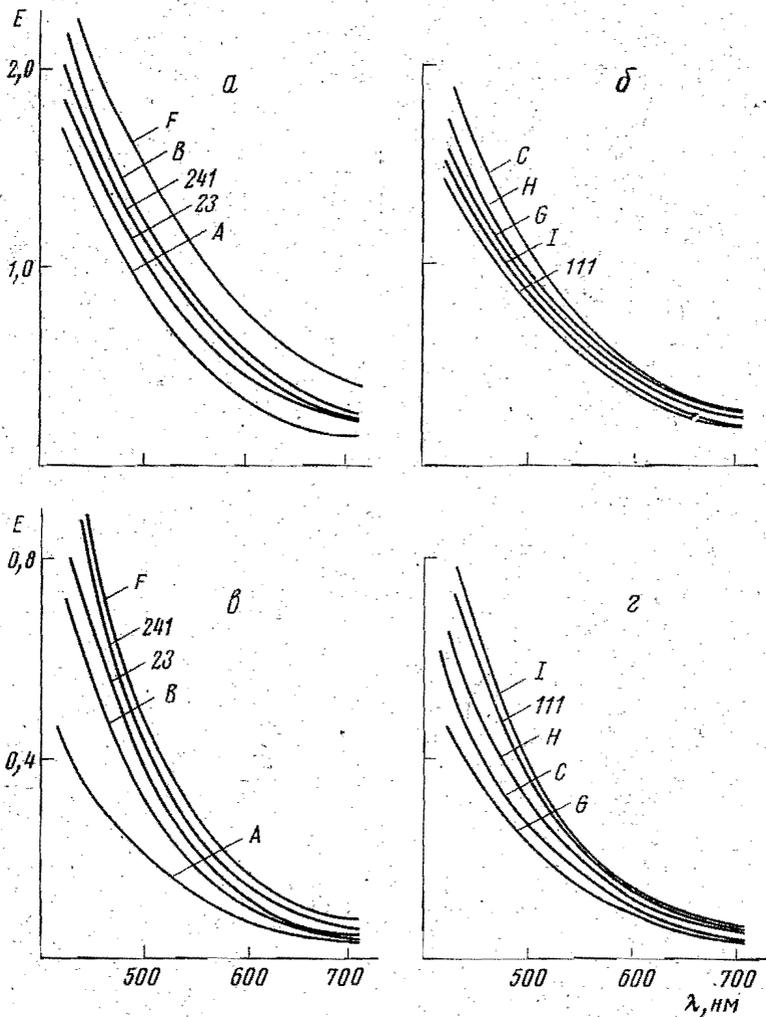


Рис. 3. Спектры поглощения растворов гумусовых кислот в видимой области. Обозначения кривых соответствуют номерам разрезов а, б — ГК; в, г — ФК

спектра вблизи 1000 см^{-1} , если их содержание достигает 10%. По этой причине мы не приводим спектры тех препаратов, где такие искажения могли иметь место, и особо оговариваем различия солевых и кислотных форм. Зольность остальных препаратов близка к рекомендованному нами уровню 5% [15].

Полоса $1725\text{--}1720\text{ см}^{-1}$, относимая обычно к карбонильным группам карбоксилов, слабо выражена почти у всех препаратов. В ряде случаев это могло быть связано с преобладанием солевой формы в препарате: при замещении водорода карбоксильной группы на металл вместо полосы 1720 см^{-1} появляются две новые полосы при 1590 и 1400 см^{-1} . Но

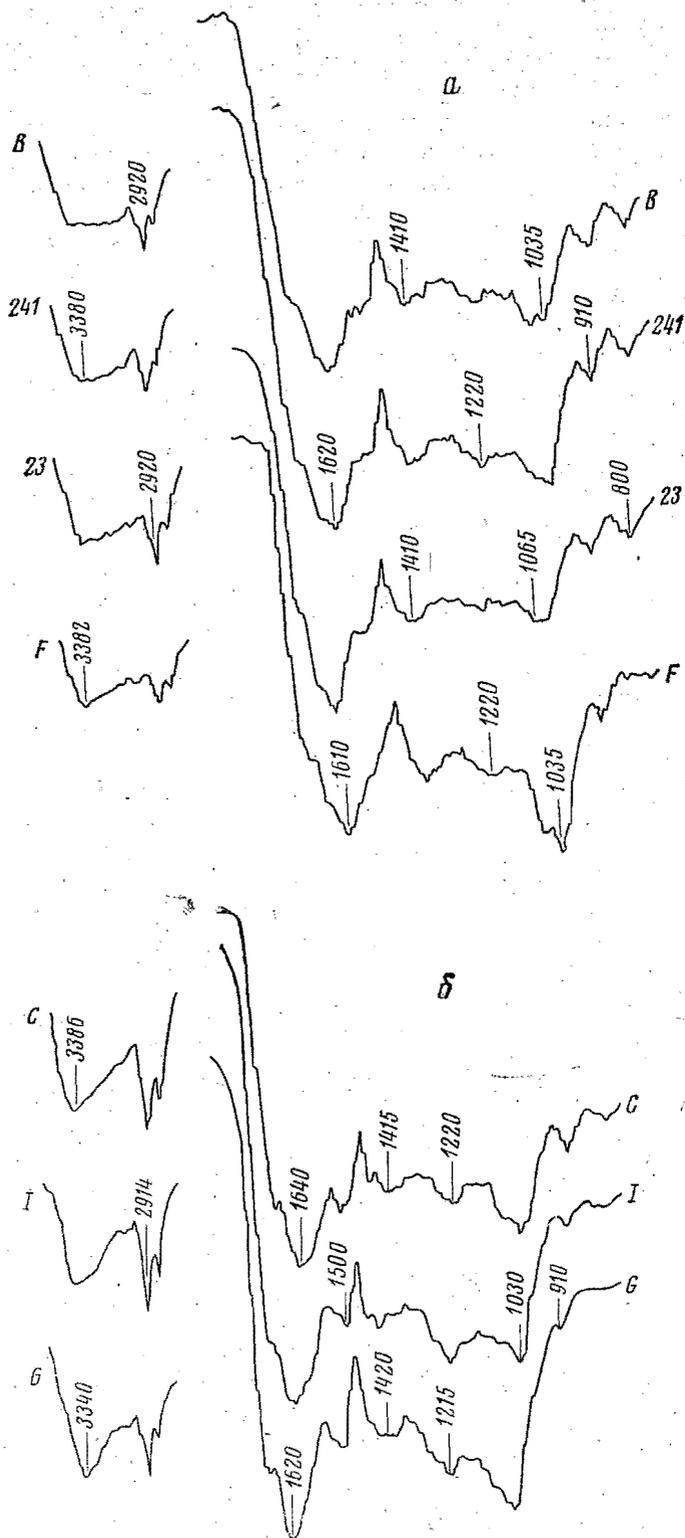


Рис. 4. Инфракрасные спектры гумусовых кислот. Обозначения на кривых соответствуют номерам разрезов
а, б — ГК

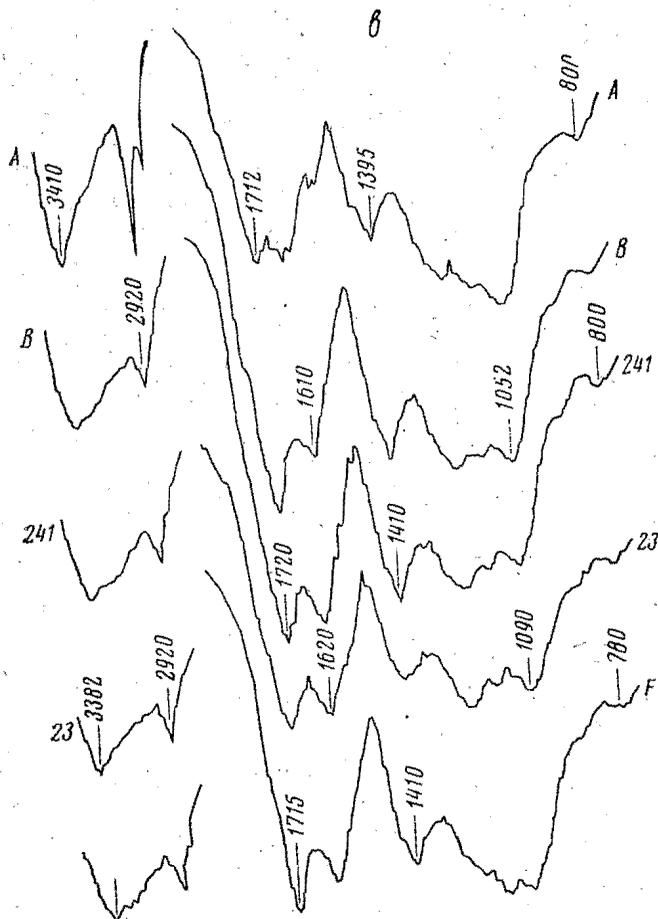


Рис. 4
в — ГК

все же во многих препаратах зольность была не столь велика, чтобы вызвать подобный эффект. Это позволяет предположить, что пониженное содержание карбоксильных групп при сравнительно высокой разветвленности молекул и обогащении их группами CH_3 и CH_2 — характерная черта изученных почв Вьетнама, а возможно, и других почв влажных тропиков.

В почвах атмосферного увлажнения следующей интенсивной полосой спектров ГК является полоса $1610\text{--}1620\text{ см}^{-1}$, а полоса 1650 см^{-1} выражена только как слабый уступ. Для ГК затопляемых почв более характерна сильная полоса около $1635\text{--}1650\text{ см}^{-1}$. Эта полоса обусловлена аминокислотными и полипептидными фрагментами, что подтверждается повышенным содержанием азота в гумусовых кислотах. В пользу этого говорит и более высокое содержание групп CH_2 и CH_3 .

Слабые полосы $1510\text{--}1500\text{ см}^{-1}$ отвечают $\text{C}=\text{C}$ связям ароматических компонентов, а поглощение в области $1560\text{--}1540\text{ см}^{-1}$ можно объяснить полосой Амид II. Полоса $1415\text{--}1410\text{ см}^{-1}$ по крайней мере частично вызвана ионизированной группой COO^- , что объясняет малую интенсивность полосы группы COOH . При $1220\text{--}1205\text{ см}^{-1}$ почти у всех препаратов обнаруживается полоса валентных колебаний C—O -связей карбоксильных групп карбоновых кислот. Ее интенсивность невелика и коррелирует с главной полосой карбоксила.

Инфракрасные спектры ФК (рис. 4, в, г) в целом характеризуются тем же набором полос. Существенно отметить несколько более низкую интенсивность полосы 2920 см^{-1} , а также высокую интенсивность полосы $1725\text{--}1700\text{ см}^{-1}$, что говорит о большом количестве карбоксильных групп

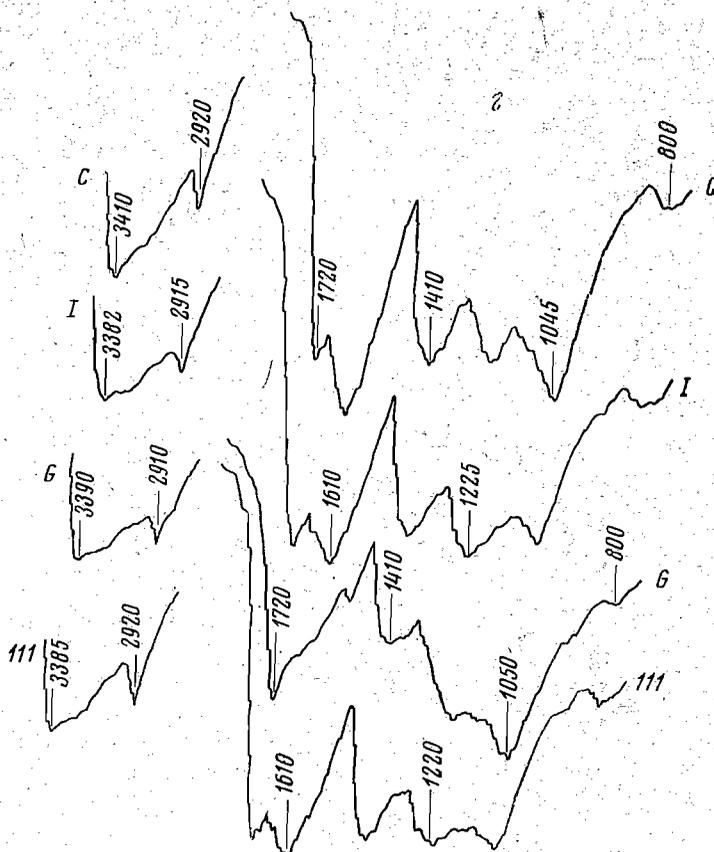


Рис. 4
 а — ФК

ароматических и алифатических кислот. Полоса 1640—1610 см^{-1} в спектрах ФК несколько менее интенсивна, чем в спектрах ГК, причем в спектрах ФК затопляемых почв эта полоса намного сильнее, чем полоса 1720 см^{-1} , а в случае почв атмосферного увлажнения, наоборот, последняя сильнее.

Анализ гель-хроматограмм (рис. 5) показал, что ГК различных почв отличаются высокой полидисперсностью, о чем говорят несимметричность кривых элюирования и наличие в низкомолекулярной области длинного шлейфа. Судя по этим признакам, ГК значительно более полидисперсны, чем ФК. Характер распределения ГК по молекулярным весам неодинаков. При фильтрации через сефадекс Г-50 происходит разделение ГК преимущественно на 2 фракции; первая имеет молекулярные веса более 36 000, вторая — от 4000 до 19 000 (табл. 5). Результаты фильтрации на Г-150 показали, что и первая фракция также неоднородна; молекулярные веса этой фракции ГК ферраллитных почв составляют около 90 000, а ферраллитно-маргалитных и затопляемых почв — до 150 000. Величины молекулярных весов второй фракции при делении на Г-150 в основном близки к величинам, полученным на сефадексе Г-50. В ГК из ферраллитно-маргалитной почвы, кроме того, заметно присутствие компонентов с молекулярным весом около 50 000. Низкомолекулярная фракция ГК с молекулярными весами 6000 и менее обнаруживается лишь в кислых, мало насыщенных основаниями почвах. ФК по характеру молекулярно-вещного распределения очень близки друг к другу. При элюировании через сефадексы Г-10, Г-25, Г-50, Г-75 не происходит деления на фракции. Сравнительно хорошо выраженная симмет-

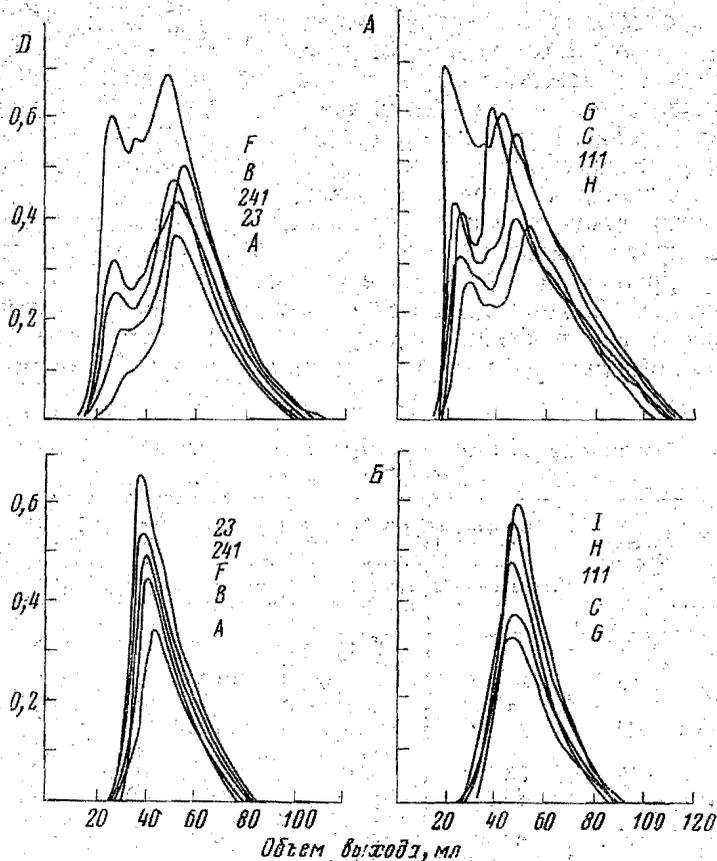


Рис. 5. Молекулярно-весовое распределение гумусовых кислот
 А — ГК на сефадексе Г-150; Б — ФК на сефадексе Г-50

ричность кривых элюирования, узкие пределы распределения по молекулярным весам и отсутствие деления на фракции указывают на значительно меньшую полидисперсность ФК по сравнению с ГК. Значения молекулярных весов, полученных на двух марках сефадексов Г-50 и Г-75, хорошо совпадают. ФК всех почв сравнительно низкомолекулярны, их средневесовые молекулярные веса находятся в узких пределах от 12 000 до 19 000.

В заключение нужно указать, что в рамках одной статьи невозможно привести все результаты комплексного изучения гумуса главнейших почв Северного Вьетнама. В ранее опубликованных материалах [8—10] часть затронутых вопросов была рассмотрена детально, а некоторые свойства гумуса охарактеризованы более подробно. При обсуждении общих закономерностей мы воспользовались указанными выше материалами. Представляло большой интерес сопоставить материалы по почвам влажно-тропических районов с почвами умеренных широт, поскольку для последних общие закономерности изменения содержания, запасов гумуса, состава групп и фракций, а также свойств гумусовых веществ изучены довольно подробно и увязаны с биоклиматическими условиями [7, 21]. Вместе с тем следует подчеркнуть, что все полученные экспериментальные данные хорошо согласуются с литературными, в частности с составом гумуса желтоземных почв [18], красноземов и некоторых ферраллитных и ферраллитно-маргалитных почв, исследованных Кононовой [21]. Комплексное изучение гумуса почв Северного Вьетнама подтвердило ряд установленных общих закономерностей, позволяющих считать, что

в целом процессы гумификации во влажнотропических районах характеризуются теми же основными чертами, что и в почвах умеренных широт. В почвах накапливаются значительные количества гумуса, оказывающего существенное влияние на почвообразовательный процесс и почвенное плодородие. В составе гумуса обнаруживаются те же важнейшие группы и фракции гумусовых веществ, соотношение между которыми не выходит за ранее установленные пределы.

По составу гумуса почвы Северного Вьетнама четко делятся на группы: темно-красные и красно-желтые ферраллитные почвы, с одной стороны, и ферраллитно-маргалитные и низинные затапливаемые рисовые почвы — с другой. Последние часто отличаются повышенным содержанием веществ спирто-бензольной фракции и высоким отношением Сгк : Сфк, что позволяет отнести их к почвам с гуматным типом гумифика-

Таблица 5

Молекулярные веса гумусовых кислот и их фракций по данным гель-хроматографии

Индекс разреза	Молекулярный вес фракций ГК		Молекулярный вес фракций ФК	
	сефадекс Г-50	сефадекс Г-150	сефадекс Г-50	сефадекс Г-75
A	19 000	90 000 17 500	13 000	12 000
23	36 000 4 000	90 000 30 000	18 000	16 000
241	36 000	90 000 10 000	13 000	12 000
B	36 000 14 000	90 000 17 500 4 000	19 000	16 000
F	36 000 8 000	150 000 50 000 10 000	19 000	16 000
C	Не опр.	90 000 6 000	Не опр.	Не опр.
H	36 000 5 700	150 000 6 000	13 000	12 000
G	36 000 10 000	150 000 30 000	18 000	16 000
111	36 000 10 000	150 000 17 500	18 000	16 000
J	36 000 14 000	150 000 17 500	13 000	16 000

ции. Некоторое исключение составляет аллювиальная кислая почва. Гуматный тип гумуса хорошо коррелирует со слабокислой реакцией этих почв, сравнительно высокой степенью насыщенности основаниями, невысоким содержанием подвижного алюминия. Еще более ярко эти свойства выражены у ферраллитно-маргалитных почв.

Перечисленные выше свойства обычно коррелируют с активной деятельностью микрофлоры и формированием более зрелого гумуса [7, 19]. Характерно, как отмечалось выше, что в затапливаемых почвах не встречается зеленый пигмент P_g, тогда как в почвах атмосферного увлажнения он распространен повсеместно. Накопление этого пигмента в почвах северных широт обычно приурочено к дерново-подзолистой зоне. Это обстоятельство, как и состав гумуса, указывает на сходство режимов гумификации в ферраллитных и лесных почвах северных широт. В то же время анализ спектров спирто-бензольных экстрактов практически во всех случаях указал на присутствие хлорофиллоподобных соединений [10], относительно накапливающихся обычно в почвах с пониженной биологической активностью.

Темно-красные и красно-желтые ферраллитные почвы имеют гумус фульватного типа; как прямые данные [19], так и данные о присутствии хлорофилла и пигмента Рg позволяют говорить о том, что гумификация в этих почвах протекает на фоне пониженной биологической активности почв (преимущественно пониженной микробиологической деятельности).

Среди других особенностей гумуса следует отметить преобладание предположительно свободных и связанных с подвижными полуторными окислами ГК. Эта особенность явно связана с низкой степенью насыщенности почв основаниями; лишь при повышении степени насыщенности постепенно увеличивается доля ГК, связанных с кальцием.

Те же закономерности выявляются и при рассмотрении свойств гумусовых кислот. В целом ГК и ФК почв Северного Вьетнама имеют все важные признаки, позволяющие считать их типичными представителями этого класса соединений. Следует особенно подчеркнуть сравнительную однородность и гомогенность ФК, что было ранее показано и для зонального ряда почв СССР. Все ФК, выделенные по Форситу, характеризуются сравнительно мало варьирующим составом, близки по спектральным показателям, а на кривых молекулярно-весового распределения образуют, как правило, один довольно симметричный максимум. Средневесовые молекулярные веса ФК составляют 12—19 тысяч, что близко к пределам, найденным для дерново-подзолистых почв и черноземов. В отличие от почв умеренных широт в ГК вьетнамских почв довольно значительно представлены группы C_2 и C_3 , тогда как количество карбоксильных групп явно понижено. Последнее также хорошо согласуется с ожидаемой невысокой биохимической активностью изученных почв и общей схемой гумификации, основанной на уровне биохимической активности почв [13]. ГК затапливаемых и интенсивно удобряемых и обрабатываемых почв, а также ферраллитно-маргалитных почв отличаются от ГК ферраллитных почв повышенным содержанием углерода, пониженной окисленностью, относительным обогащением метильными и метиленовыми группами. Судя по спектрам, в них больше и амидных групп, что подтверждается более высоким содержанием азота. В целом они близки к группе восстановленных бурых ГК.

Литература

1. Амиев С. А. Условия накопления и природа органического вещества почв Азербайджана. Изд. АН АзССР, 1966.
2. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Изд. МГУ, 1970.
3. Бельчикова Н. П. Некоторые закономерности содержания, состава гумуса и свойств гуминовых кислот в главнейших группах почв СССР. Тр. Почв. ин-та им. Докучаева, т. 38, 1951.
4. Денисов И. А. Основы почвоведения и земледелия в тропиках. М., «Колос», 1971.
5. Дубин В. Н. Применение сефадексов для фракционирования гумуса. Научн. докл. Высшей школы. Биол. науки, 1968, № 11.
6. Зонн С. В. и др. Некоторые вопросы генезиса и классификации тропических почв Китая. Почвоведение, 1958, № 9.
7. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. Изд. АН СССР, 1963.
8. Нгуен Ты Сиен. Содержание и состав гумуса главных почв Северного Вьетнама. 1. Красно-желтые ферраллитные почвы. Биол. науки, 1974, № 7.
9. Нгуен Ты Сиен. Содержание и состав гумуса главных почв Северного Вьетнама. 2. Темно-красные ферраллитные и ферраллитно-маргалитные почвы. Биол. науки, 1974, № 10.
10. Нгуен Ты Сиен, Орлов Д. С., Аммосова Я. М. Исследование спирто-бензольных экстрактов из главнейших почв Северного Вьетнама. Вестн. МГУ, 1975, № 3.
11. Нью Ци Вэнь. Природа гумуса почв тропиков и влажных субтропиков. Почвоведение, 1961, № 5.
12. Орлов Д. С. Элементный состав и степень окисленности гумусовых кислот. Научн. докл. Высшей школы. Биол. науки, 1970, № 1.
13. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв. Изд. МГУ, 1974.
14. Орлов Д. С., Пивоварова И. А. О необходимости стандартизации препаратов гумусовых кислот при спектроскопических и других исследованиях. Научн. докл. Высшей школы. Биол. науки, 1971, № 3.

15. Орлов Д. С. Современные химические и физические методы изучения природы и строения гумусовых веществ почвы. Почвоведение, 1972, № 7.
16. Орлов Д. С. и др. Практикум по биохимии гумуса. Изд. МГУ, 1969.
17. Тищенко В. В. и др. Опыт химического исследования гуминовых кислот различных типов почв. ДАН СССР, 1936, т. IV, вып. 3.
18. Тон Тхат Чьену, Аммосова Я. М., Орлов Д. С. Состав гумуса желтоземных почв Абхазии. Вестн. МГУ, 1972, № 1.
19. Фридланд В. М. Почвы и коры выветривания влажных тропиков. «Наука», 1964.
20. Чичагова О. А. Состав гумуса тропических почв Бразилии. В кн.: Генезис и география почв зарубежных стран по исследованиям советских почвоведов. Изд. АН СССР, 1964.
21. Кополова М. М. Humus of Virgin and Cultivated Soils. In «Soil Components. Vol. 1. Organic components», Ed. J. E. Gieseking, Springer-Verlag, New York, Inc., 1975.
22. TurSKI R., Ngo van Phu. The characteristics of humus compound of soils formed from solid calcareous rocks in various climatic zones. Polish. J. Soil. Sci., 1971, v. 4, № 2.
23. Castagnol E. M. Le sol. Imprimerie d'Extrême-Orient, Hanoi, 1942.

Факультет почвоведения
МГУ

Дата поступления
29.IX.1976 г.

NGUEN TY SIEM, V. M. FRIDLAND, D. S. ORLOV

COMPOSITION AND PROPERTIES OF HUMUS SUBSTANCES OF THE MAIN SOILS IN NORTHERN VIET-NAM

Humus composition in the main soils of Northern Viet-Nam has been studied. Characteristics of elementary composition, electron and infrared spectra and molecular-weight distribution of particles in humic acids of the soils studied are presented.

It has been found that humification processes in soils of humid-tropical areas are similar to those in soils of moderate latitudes. However, in contrast to soils of moderate latitudes the humic acids of Viet-Nam soils are characterized by a higher content of methyl and methylene groups and a lower content of carboxyls.
