

ПОЧВЕННЫЕ ЛИПИДЫ В СИСТЕМЕ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Я. М. АММОСОВА, Д. С. ОРЛОВ, Л. К. САДОВНИКОВА

Исследования последних лет вновь подчеркнули огромную роль неспецифических составляющих почвенного гумуса в формировании почвенного плодородия и генезиса почв. К числу таких соединений относятся разнообразные физиологически активные вещества, углеводы, аминокислоты, различные пигменты [22, 1, 3, 2, 4].

Особое положение в этой группе занимают вещества, извлекаемые из почв экстракцией спирто-бензольной смесью. За этой группой до сих пор не закреплен общепризнанный термин, а ее положение в системе гумусовых веществ остается неясным.

Вещества, извлекаемые из почв спирто-бензольной смесью, в литературе называют «битумами» [5] (Тюрин, 1959), воскосмолами [6, 7], а во многих случаях о них просто говорят, как о группе соединений, извлекаемых спирто-бензольной смесью [8, 9], без употребления специального термина. В последнее время некоторые авторы стали употреблять термин липиды [24, 25, 26, 27]. Аналогичная терминологическая неопределенность существует и в геологической литературе, где, в частности, термин «битумы» обозначает смесь углеводородов и их производных, образовавшихся путем превращения восков, смол и жирных кислот в течение геологических периодов [10]. Почвенный гумус представляет собой сравнительно молодое образование и вещества спирто-бензольных экстрактов почв должны быть представлены малоизмененными соединениями, входящими в состав растительных остатков и микробных клеток, т. е. восками, смолами, глицеридами жирных кислот и жирными кислотами [6]. Это дает основание называть всю обсуждаемую группу веществ липидами. В настоящее время в биохимии растений термином липиды объединяется большая группа веществ. «...жиры и жироподные вещества (липоиды) объединяются общим термином липиды. Вещества этой группы растворяются в различных органических растворителях... К этой группе могут быть отнесены также и растворимые в жирах пигменты» (Кретович, 1971, стр. 98). В составе липидов обычно различают нейтральные жиры, воска и стероиды, фосфолипиды, гликолипиды и другие сложные липиды, а также ряд других соединений, включая кислоты, спирты, витамины, высшие углеводороды, в том числе каротины и каротиноиды и т. п.

Вероятно, в ряде случаев почвенные спирто-бензольные экстракты могут содержать и некоторые другие соединения; в частности, нельзя исключать попадания в эту группу гиматомелановой кислоты и спирторастворимых белков. Однако, исходя из вышеприведенных определений и на основании имеющихся данных по составу спирто-бензольных экстрактов, мы считаем возможным и более корректным называть указанную группу веществ почвенными липидами.

Липиды попадают в почву с растительными остатками, кроме того не исключена возможность синтеза липидов непосредственно в почве различными микроорганизмами, например, парафиноокисляющими

дрожжами *Candida lipolytica* [12]. Почвенные и растительные липиды имеют определенное сходство [29, 7, 25].

Оценивая значение липидов в биохимических системах, необходимо принять во внимание следующие положения: содержание этой группы веществ в почвенном гумусе составляет от 2 до 14% [6, 8], а по некоторым данным в условиях заторфованных почв, тундры, горных почв четко проявляется тенденция к повышенному накоплению этой группы до 20—24%, а иногда и более [6, 14, 13]. По химическому строению липиды резко отличаются от других групп гумусовых веществ, имея в своем составе значительную долю алифатических структур и гидрофобных групп. Последнее приводит к ряду специфических химических свойств. Особый интерес вызывает эта группа в связи с ее своеобразной «меченостью» [15] наличием такого рода скелетных форм, как парафин (жиры, воска), стероиды, терпены, каротиноиды, хлорофилл и другие порфириновые пигменты. Эти соединения сравнительно легко обнаруживаются по специфическим электронным или молекулярным спектрам, что дает возможность проследить пути и механизмы трансформации этих веществ в ходе гумификации и диагенеза.

Спирто-бензольные экстракты из почв представляют собой жидкости различного цвета, окраска которых меняется от светло-желтой (молочной) до буро-оранжевой и зависит от типа почвы и растительных ассоциаций.

После удаления растворителя остается желто-буря масса со слабым бальзамическим запахом, которая плавится при температуре от 63° до 87°. По литературным данным в составе липидов, помимо С и Н, содержится О, N, P, S и в долях процента многие макро- и микроэлементы. Примерное соотношение последних варьирует в значительных пределах в разных почвах (58—68% С, 8—10% Н; 22—32% О; 0,4—2,0% N) [6, 9].

Липиды почв и торфов состоят в основном из восков и смол, которые, в свою очередь, содержат свободные кислоты и омыляемые вещества, представленные типичными для восков эфирами и характерным для смол ангидридами [10]. В состав восков торфяного битума входит до 56% кислот, среди которых идентифицированы церотиновая $C_{25}H_{50}O_2$, карбоцериновая $C_{27}H_{54}O_2$ и оксикислота состава $C_{30}H_{60}O_3$. Кроме того, в составе восков содержится до 44% неомыляемых веществ; среди них определены предельные углеводороды — тритрианконтан $C_{33}H_{68}$ и пентатрианконтан $C_{35}H_{72}$, составляющие до 15%, также выделен предельный спирт — гектакозанол $C_{27}H_{56}O$ с температурой плавления 74—75°.

Идентифицировано большое количество углеводородов: н-декан, н-ундекан, н-гексадекан, нафталин, метилнафталин, дифенил, аценафтен, флуорен [16]. Обнаружены стероиды и дубильные вещества [17].

Составная часть торфяных «битумов» представлена сложными эфирами циклических спиртов и циклических кислот, из которых выделены непредельные кислоты состава $C_{12}H_{22}O_2$ и $C_{14}H_{26}O_2$.

Кроме того, удалось идентифицировать тритерпеноиды (Голованов, 1969), которые весьма широко представлены в растительном мире.

Состав почвенных спирто-бензольных экстрактов пока мало исследован [6], хотя по данным ряда авторов [8, 9, 29, 22] здесь могут присутствовать жирные кислоты, жиры, воска, смоляные кислоты и их эфиры, стерины, тритерпеноиды, углеводороды и т. д.

Нами исследовались липидные фракции главнейших генетических типов почв. Липиды извлекали из воздушно-сухой навески почв, из которых предварительно отбирали корни, а также из подстилок свежего опада и листьев растений. Растворителем служила спирто-бензольная смесь (1:1), экстракцию осуществляли в аппаратах Сокслетта и Греффе [18]. Экстракция в аппарате Сокслетта протекает долго и не

обеспечивает полного выхода воско-смол. Интенсификация процесса экстракции с помощью аппарата Греффе—Зайченко значительно повышает извлекаемое из почвы количество воско-смол (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный выход липидов в аппаратах Греффе—Зайченко и Сокслетта

Почва, угодие	Гори-зонт	Глубина, см	Сокслетт		Греффе	
			содержание липидов, % к почве	содержание углерода липидов, % к общ. содержанию углерода	содержание липидов, % к почве	содержание углерода липидов, % к общ. содержанию углерода
Южный чернозем, пашня, Крым	A _{пах}	0—23	0,09	4,35	0,28	14,04
Чернозем шоколадный, пашня, Румыния	A _{пах}	0—20	0,10	0,71	0,12	12,32
Горно-луговая почва, та-волгово-рейгрессовый луг, Крым	A ₁	6—20	0,45	6,61	0,76	11,06
Горно-лесной бурозем, залежь, Крым	A ₁	1—18	0,07	6,24	0,21	19,56
Корковый солончак, выгон, Крым	B ₁	2—15	0,26	7,32	0,40	11,22

Существенное увеличение выхода веществ при экстракции их в аппарате Греффе может значительно изменить наши представления о роли этой фракции в биохимии почв. Еще предстоит выяснить, за счет какой из фракций образуется наблюдаемая разница. Можно пока предположить, что не определявшаяся ранее часть воско-смол входила в негидролизуемый остаток и составляла часть так называемого гумина, хотя не исключено их присутствие и в гуминовых кислотах.

В изученных почвах (табл. 2) содержание липидов колеблется от 0,02 до 0,50% к почве, от 2,0 до 80,0% к С органическому. В верхних гумусовых горизонтах многих автоморфных почв доля липидов составляет 2—10% от общего углерода (по экстракции в аппарате Сокслетта). Повышенное содержание липидов приурочено к почвам повышенного увлажнения (гидроморфным), торфянистым, тундровым, горным. Часто наблюдается относительное накопление их в более глубоких горизонтах. В некоторых почвах абсолютное содержание этой фракции остается постоянным по всей глубине почвенного профиля. С последним, видимо, связано относительное накопление липидов в горизонтах В и С.

Физические и химические характеристики липидов и связь этих показателей с экологическими условиями более подробно рассматриваются на примере отдельных почв: р. 106 — краснозем легкоглинистый, пылеватый; р. 127 — тот же краснозем под пашней; р. 123 — субтропический подзол, среднесуглинистый; р. 120 — желтозем легкоглинистый, песчано-пылеватый.

Поскольку преобладающим составом опада над разрезами 127 и 120 были листья чая и папоротника, то мы сочли необходимым проследить содержание и состав липидов в системе растение—подстилка—почва.

Липидная фракция легко разделяется на воски и смолы экстракцией последних ацетоном. Содержание восков и смол в липидах варьирует в широких пределах. В горизонтах A₁ или A_{пах} субтропического подзола в красноземе на плакоре и склоне содержится до 33—38% смол, в составе липидов желтозема под залежью и пашней смолы являются преобладающей группой органических соединений (табл. 2). В липидах из различных подстилок преобладает смолистая часть, составляющая в них 58—68%.

Таблица 2. Выход и состав спирто-бензольных экстрактов

Объект	Горизонт	Глубина, см	Углерод липидов		Воска, %	Смолы, %
			% к навеске	% к С общ.		
Листья чая, р. 127	—	—	22,78	—	29,12	70,78
Листья папоротника, р. 120	—	—	7,65	—	80,21	19,79
Лесн. подстилка, р. 106	A ₀	—	4,36	—	33,06	66,94
Чайн. подст. р. 127	A ₀	—	2,92	—	42,44	57,56
Чайн. подст. р. 120	A ₀	—	4,90	—	31,99	68,01
Лесная подст. р. 123	A ₀	—	5,18	—	37,50	62,50
Краснозем легкоглинистый, пылеватый, р. 106	A ₁	0—14	0,39	8,5	61,11	38,89
	AB	14—26	0,09	11,3	66,92	33,08
	B ₁	26—52	0,14	36,8	67,50	32,50
	B ₂	52—76	0,11	38,0	60,24	39,76
	C ₁	76—140	0,09	53,0	58,46	41,54
	C ₂	140—190	0,14	77,7	55,26	44,74
Краснозем легкоглинистый, пылеватый, р. 127	A _{пах}	0—10	0,14	4,1	65,00	36,00
Желтозем легкоглинистый, Песчано-пылеватый	A ₁	0—15	0,18	9,5	36,73	63,27
Глееватый, р. 120	AB	15—36	0,19	36,1	32,59	67,41
	B ₁	36—57	0,02	5,7	29,69	70,31
	B ₂	57—115	0,23	76,7	28,26	71,74
	B	115—150	0,12	80,0	29,51	70,49
	BC	150—200	0,04	66,6	30,34	69,66
C	200—220	0,10	77,0	31,71	69,29	
Желтозем легкоглинистый, пылеватый, р. 120	A _{пах}	0—10	0,23	11,3	29,69	70,31
Субтропическая, подзол, среднесуглинистая, Крупнопылеватая, р. 123	A ₁	0—10	0,28	10,3	66,23	33,77
	A ₁ A ₂	10—20	0,12	14,5	50,00	50,00
	A ₂	20—34	0,02	20,0	49,00	51,00
	BC	34—57	0,06	24,0	37,75	62,25
	BC _I	57—100	0,14	93,4	38,00	62,00
	BC _{II}	100—120	0,06	75,0	36,00	64,00
	BC	120—140	0,21	87,6	35,58	64,42
Луговой чернозем	A ₁	3—21	0,22	2,69	24,6	75,4
Горно-лугов. (Теберда)	A ₁	2—10	0,59	7,40	44,8	55,2
Торфянисто-глеявая	A _T	0—33	3,05	13,10	65,1	34,9
Чернозем шоколадный	A _{пах}	0—20	0,079	6,71		
Южный чернозем	A _{пах}	0—23	0,0618	4,35		
	B ₂	48—69	0,0397	12,41		
Дерново-подзолистая	A _{пах}	0—17	0,0987	10,36		
	B ₁	45—62	0,0397	12,41		
Солонец	A	0—5	0,5033	12,88		
Корковый солончак	B ₁	2—15	0,1866	7,32		
Горно-луговая (Крым)	A ₁	6—20	0,3252	6,61		
Бурая лесная	A _{пах}	0—28	0,0497	4,68		
	B ₁	54—84	0,0439	11,26		

Изучение состава липидов из листьев папоротника и чая говорит о различном характере составляющих их соединений. В составе липидов из листьев папоротника преобладают воска (80%), в липидах из листьев чая содержатся большей частью смолы (71%). Но уже в подстилке осуществляются процессы, связанные с усложнением структуры липидов, в результате чего во всех подстилках преобладают смолистые, более высокомолекулярные компоненты.

Характер распределения восков и смол по генетическим горизонтам различен. В желтоземе воска и смолы распределены равномерно по профилю, в нем не наблюдается тенденции к накоплению или обеднению той или иной группы. В субтропическом подзоле, напротив, содержание смол с глубиной возрастает: 34% в горизонте A₁, 50% в горизонте A₁A₂, 64 в горизонте BC_{II}. В красноземе смолы несколько накапливаются вниз по профилю (от 39% в горизонте A₁ до 45% в горизонте C₂), но преобладающей группой в этой почве являются воска.

Такая особенность связана, вероятно, с интенсивными микробиологическими процессами разложения компонентов гумуса, в результате чего воска, как более инертная группа, накапливаются в профиле краснозема.

Это положение подтверждается при анализе мощного чернозема, горно-луговой и торфянисто-глеевой почв. В черноземе, характеризующимся одним из наиболее высоких уровней биологической активности, доля смол достигает 75%, тогда как в торфянисто-глеевой почве она не превышает 35%. Таким образом, уровень биологической активности почв отражается не только на общем содержании липидов, но и на их качественном составе.

Данные элементного анализа некоторых липидов показывают весьма высокое содержание углерода: от 63% в липидной фракции из листьев чая до 67% в липидах из чайной подстилки почвы, что согласуется с литературными данными (табл. 3). Содержание водорода варьируется от 4 до 10%, кислорода — от 22 до 25%. Исследованные фракции содержат довольно много азота. По-видимому, увеличение содержания азота в некоторых липидах обусловлено характером растительных остатков, в составе которых могут содержаться гетероциклические соединения типа пиррола и его производных, как, например, хлофилл, экстрагирующиеся спирто-бензолом.

Таблица 3. Элементный состав органических веществ, растворимых в спирто-бензоле

Из какого объекта выделен	Элементный состав, % к беззольной сухой массе				Автор
	С	Н	О	N	
Листья чая под красноземом, р. 127	62,97	6,54	23,90	6,59	Наши данные
Чайная подстилка краснозема, р. 127	67,18	3,90	25,37	—	То же
Краснозем, р. 127, гор. Алаш	67,25	5,63	23,92	—	То же
Подзолистый суглинок, гор. А ₁	68,17	9,74	21,72	0,37	Л. Н. Александрова, 1970
Чернозем А ₁	66,27	8,71	24,32	0,70	То же
Дерново-подзолистая:					
а) лес	—	—	—	2,02	Н. Ф. Овчинникова, 1965
б) пар	—	—	—	0,41	
Мощный чернозем, степь	—	—	—	1,57	То же
Типичный серозем:					
а) травосмесь	—	—	—	1,33	То же
б) целина	—	—	—	0,22	

Числа кислотности липидов (табл. 4) варьируют от 1 до 12 мг-экв/г. Повышенное по сравнению с верхними горизонтами остальных почв содержание «свободных органических кислот» отмечается в липидах из желтоземов под залежью гор. А₁. Липиды из этого горизонта отличаются, кроме того, высокими числами эфирности (92) и иодным числом (21). Высокие числа эфирности и иодного числа характерны и для липидов чернозема. Минимальное значение числа эфирности в липидах из гор. А₁ краснозема, а также небольшое значение других характеристик (число кислотности — 1, иодное число — 6 мг-экв/г) объясняются преобладанием восков, несущих меньшее количество функциональных групп. Диапазон изменения иодного числа составляет 0,5—66 мг-экв/г.

В липидах красноземов обнаруживается некоторая отрицательная корреляция чисел эфирности и иодного: чем меньше ненасыщенных

Таблица 4. Химические характеристики липидов

Почва	Горизонт	Число кислотности, мг-экв/г	Число эфирности, мг-экв/г	Иодное число, мг-экв/г
Субтропический подзол, среднесугл., крупнопылеват., р. 123	A ₁ 0—10	4,55	52,60	10,39
	B 34—57	12,50	88,75	3,12
	BC ₁ 120—140	2,88	43,27	0,48
Желтозем легкоглинистый, песчано-пылеватый, глееватый, р. 120	A ₁ 0—15	10,20	92,45	21,35
	B ₁ 36—57	4,00	75,00	20,60
	C 200—220	3,66	95,12	2,44
Краснозем легкоглинистый, пылеватый, на збровидной глине, р. 106	A ₁ 0—14	0,93	6,48	6,02
	B ₁ 26—52	3,75	71,25	2,12
	C ₂ 140—190	1,32	67,11	0,52
Лист (чай)		—	—	2,23
Подстилка (чай), р. 127	A ₀	1,45	19,48	2,61
Краснозем легкоглинистый, пылев. на склоне, р. 127	A ₁ 0—10	2,70	71,25	17,00
Луговой чернозем	A ₁ 3—21	7,32	86,86	66
Торфянисто-глеевая	A ₁ 0—33	1,36	0,96	2
Горно-луговая	A ₁ 2—10	2,42	1,88	8
Тундра	A ₁ 3—10	2,45	7,07	2
Дерново-подзолистая	A ₁ 5—9	3,26	9,92	10

соединений, тем больше становится эфирных групп. Кроме того, существует зависимость между числами кислотности, эфирности, иодным и содержанием восков и смол. Наиболее высокими значениями чисел обладают липиды из гор. A₁ желтозема под залежью и из чернозема. В этих же почвах преобладает смолистая часть (табл. 2), следовательно, можно говорить о наиболее сложной структуре липидов в данной почве, т. е. все активные группы, характеризующиеся числами кислотности, эфирности, иодным, обусловлены преимущественно «смолами».

На пиролиз-газовых хроматограммах обнаружено от 7 до 22 и более пиков, которые предположительно относятся к следующим соединениям: CO, CH₄, N₂, CO₂, бензол, толуол, п-ксилол, фенол, пирокатехин, этил-бензол и т. д.

Липиды из листьев чая имеют в своем составе простые бензольные ядра, замещенные многочисленными алканами и несущие много функциональных групп кислой природы, дающих неопределенные продукты пиролиза (рис. 4). Наиболее сложной среди полученных хроматограмм является хроматограмма из чайной подстилки, в которой присутствуют как отдельные компоненты чайного листа, так и продукты их взаимодействия. Ароматических ядер простой природы в этой фракции мало, для нее характерна большая степень ароматичности. В составе липидов из чайной подстилки много функциональных заместителей, дающих при пиролизе неразделенные продукты: жирные кислоты, аминокислоты (рис. 1, б). Структура почвенных липидов из краснозема лабильная, «рыхлая», состоящая из большого числа бензольных ядер, соединенных мостиками —CH₂—C—O—; имеется большое число заместителей в виде нормальных и разветвленных алканов (рис. 1, в). Таким образом, по данным пиролиз-газовой хроматографии, наиболее простая структура присуща липидам из чайного листа; в подстилке происходит ее значительное усложнение. В почве происходят одновременные процессы распада и синтеза новых органических соединений, в результате чего почвенные липиды приобретают специфические черты.

Общий вид видимых спектров липидов из гор. A₁ субтропических почв, подстилок и растительности весьма специфичен. Спектры имеют четкие максимумы поглощения веществ группы порфиринов (в частности, феофитина, хлорофилла а и б) в области 418—420 нм и 668—670 нм, а также небольшие максимумы при 510 нм, 540 нм и 610 нм.

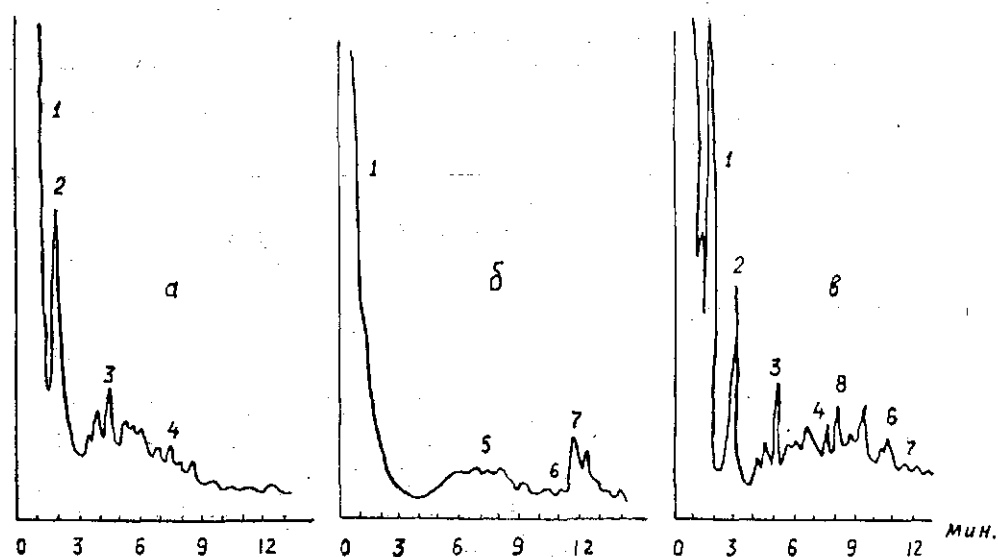


Рис. 1. Хроматограмма продуктов пиролиза липидов из:
а — чайного листа; *б* — чайной подстилки; *в* — краснозема под чаем; 1 — CO , CH_4N_2 , CO_2 ; 2 — бензол; 3 — толуол; 4 — *п*-ксилол; 5 — неразделенные продукты пиролиза (оксисоединения, жирные кислоты); 6 — фенол; 7 — пирокатехин; 8 — этилбензол.

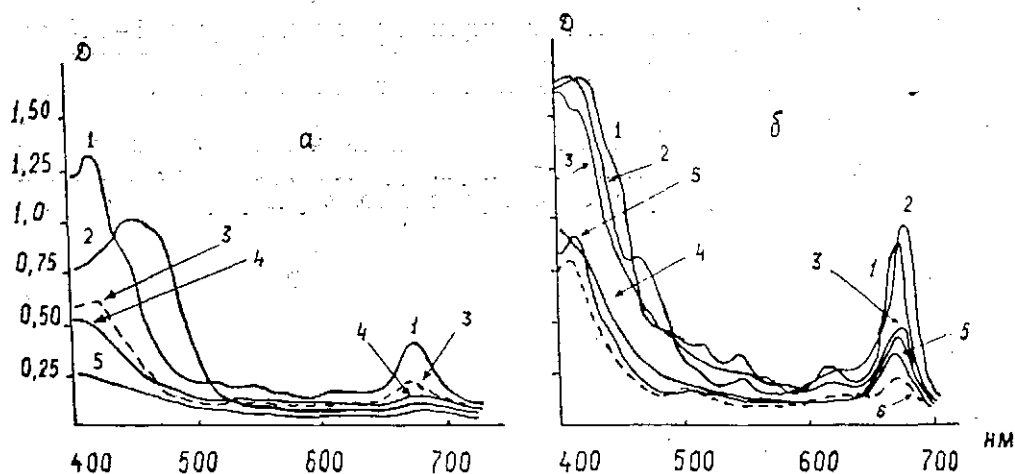


Рис. 2. Электронные спектры поглощения липидов:
а — из верхних горизонтов субтропических почв: 1 — краснозем на склоне; 2 — чернозем на планкоре; 3 — желтозем под залежью; 4 — субтропический подзол, гор. А; 5 — субтропический подзол, гор. В;
б — из подстилок и растительно: 1 — чайный лист; 2 — листья папоротника; 3 — лесная подстилка субтропического подзола; 4 — лесная подстилка краснозема на планкоре; 5 — чайная подстилка краснозема на склоне; 6 — чайная подстилка желтозема.

Следовательно, в липидах содержится хлорофилл и другие вещества порфириновой группы (рис. 2, *а*, 2, *б*) [20].

Коэффициенты экстинкции липидов из верхних горизонтов почв колеблются от 0,001 до 0,003.

Исследования спирто-бензольных экстрактов из листьев чая, чайной подстилки и краснозема позволяют говорить о некотором сходстве их строения (рис. 3, *в*). В составе чайного листа содержатся различные вещества (табл. 5), значительная часть которых будет переходить в спирто-бензольный экстракт. В спиртовой фракции из липидов чайного листа содержатся, вероятно, алкалоиды (кофеин), для которых характерны максимумы поглощения при 212 и 286 нм. В подстилке и почве

Таблица 5. Химический состав чайного листа
(По Скобелевой и Бокучава)

Вещества в составе чая		Примерное содержание, % от сухого вещества
А. Фенольные вещества	1. Дубильные вещества: танины, производные многоатомных фенолов.	2
	2. Флавонолы-гликозиды дифенилпропанового ядра.	1—2
Б. Нефенольные вещества	1. Углеводы	0,2
	2. Пектиновые вещества	3
	3. Алкалоиды (кофеин теофиллин, теобромин)	3—5
	4. Белковые вещества и аминокислоты (есть спирторастворимые белки)	30
	5. Хлорофилл и сопутствующие ему пигменты (каротин и ксантофил)	до 1
	6. Органические кислоты	
	7. Смолистые вещества (смоляные кислоты)	7—8
	8. Витамины	
	9. Минеральные вещества	4—5
В. Вещества, обуславливающие аромат чая	Эфирные масла	1
Г. Ферменты		

эти максимумы отсутствуют. Максимумы поглощения при 205—210 нм соответствуют ненасыщенным органическим кислотам. Дубильным веществам соответствуют слабые максимумы в области 267, 337 и 420 нм (рис. 3, а).

В хлороформенной вытяжке из липидов чайного листа и подстилки также весьма четко идентифицируются дубильные вещества (танин и катехины) — рис. 3, б. Кроме того, в ультрафиолетовой об-

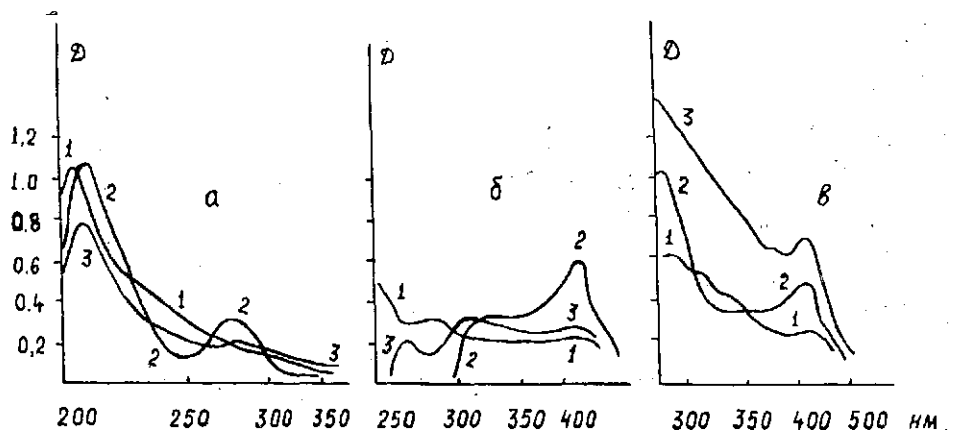


Рис. 3. Ультрафиолетовые спектры:

а — спиртовой вытяжки из липидов; б — хлороформенной вытяжки из липидов; в — самого липида (спиртобензольный экстракт); 1 — красноезем; 2 — чайный лист; 3 — чайная подстилка.

ласти обнаруживается поглощение каротиноидов и витаминов группы А₁. Каротиноиды поглощают в области 338 и 454 нм, витамин А₁ — 326 нм; витамин А₂ — 287 и 351 нм (рис. 3, а). Таким образом, УФ-спектры исследованных липидов имеют разнородный характер.

Анализ ИК-спектров подтвердил данные химического анализа видимой и ультрафиолетовой спектроскопии (рис. 4). Полосы ИК-спектров липидов узкие, четко очерченные, с определенными миниму-

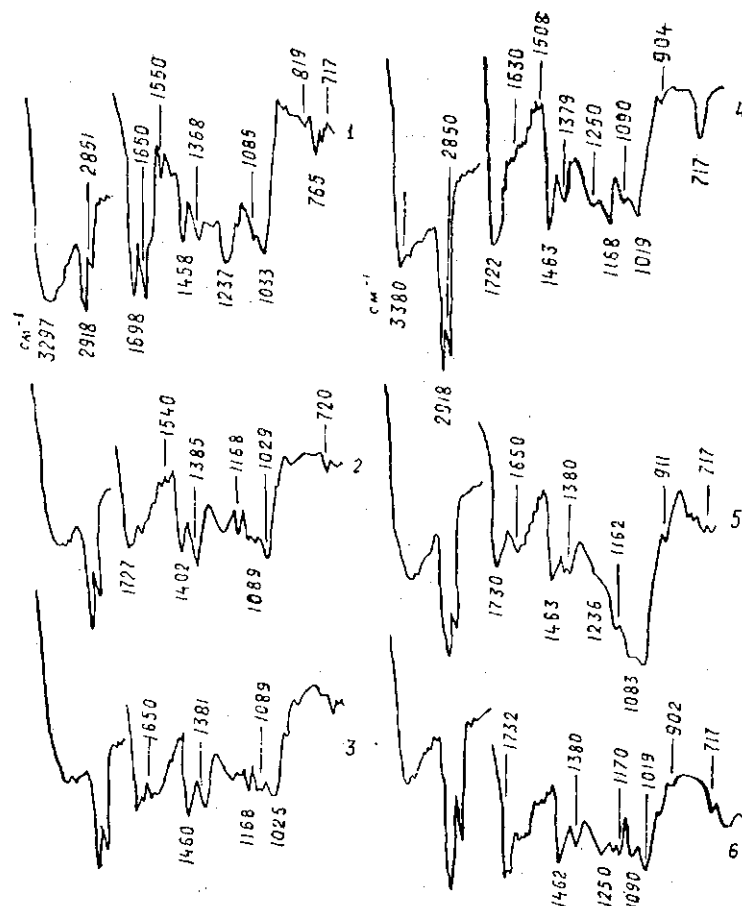


Рис. 4. ИК-спектры (таблетки с КВч) спирто-бензольных экстрактов из: 1 — листьев чая; 2 — чайной подстилки; 3 — краснозема на склоне; 4 — краснозема на плато, гор. А; 5 — краснозема на плато, гор. В; 6 — краснозема на плато, гор. С.

мами поглощения. Широкая полоса в области $3100\text{--}3400\text{ см}^{-1}$ отвечает колебаниям OH -группы. Серия полос в диапазоне $2918\text{--}2850\text{ см}^{-1}$, 1480 , $1400\text{--}1380\text{ см}^{-1}$ соответствует колебаниям CH -группы. Серия полос в диапазоне $2918\text{--}2850\text{ см}^{-1}$, 1480 , $1400\text{--}1380\text{ см}^{-1}$ обусловлена симметричными колебаниями CH_2 и CH_3 , входящих в состав насыщенных и ненасыщенных углеводородов. Кроме того, характерная полоса в области 720 см^{-1} соответствует колебаниям концевых $(\text{CH}_2)_n$, где $n > 4$ (рис. 4). Для всех спектров характерны интенсивные полосы $1710\text{--}1730\text{ см}^{-1}$, лежащие в области поглощения карбоксильных групп. Поскольку числа кислотности в исследованных липидах, как правило, невелики, колебания при $1710\text{--}1730\text{ см}^{-1}$ могут быть обусловлены CO -группами альдегидов и кетонов, входящих в состав различных соединений (алкалоидов, эфирных масел и др.). В интервале $1010\text{--}1030\text{ см}^{-1}$ наблюдаются интенсивные полосы спиртовых гидроксидов и простых эфиров; последние проявляются также в диапазоне $1100\text{--}1250\text{ см}^{-1}$. Спектр липидов из чая отличается наличием интенсивных четких полос $1698\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, свойственных $\text{C}=\text{C}$ -связям в сопряженных сложных структурах типа тритерпеноидов. Максимумы в области $1650\text{--}1557\text{ см}^{-1}$ обусловлены частично содержанием ароматических соединений. Особенностью ИК-спектра липидной фракции из листьев чая являются четкие полосы $745\text{--}765\text{ см}^{-1}$, относимые, вероятно, за счет $\gamma\text{-CH}$ при пиррольном кольце в порфиринах, и 819--

862 см^{-1} за счет $\delta\text{-СН}$ ди- и три-замещенных в ароматических соединениях; 1490—1550 см^{-1} колебания пиррольного кольца.

Сравнение ИК-спектров липидов из верхних горизонтов (A_1) краснозема, желтозема и субтропического подзола показывает преобладание СН_2 - и СН_3 -групп в красноземе и субтропическом подзоле, что подтверждается большим содержанием восков (больше 60%). Интересно отметить увеличение интенсивности полосы 1000—1100 см^{-1} в липидах из нижних горизонтов по сравнению с верхними, что можно объяснить реакциями деметилирования с образованием оксигруппы. Кроме того, не исключено попадание тонкодисперсной кремнекислоты в составе липидной фракции.

Особенностью ИК-спектров липидов из нижних горизонтов является увеличение ширины полосы 3000—3400 см^{-1} (водородные связи), что говорит об изменении первичной молекулярной структуры с глубиной. Судя по ИК-спектрам, препараты липидов представлены смесью насыщенных и ненасыщенных углеводов и спиртов с участием ароматических соединений кислот и альдегидов и продуктов их взаимодействия, что согласуется с их химическими и спектральными характеристиками. В то же время ряд полос в спектрах спирто-бензольных экстрактов из листьев чая, подстилки и почвы может быть отнесен частично за счет порфириновых колец или производных пиррола.

ВЫВОДЫ

1. Использование аппарата Греффе при экстракции вместо прибора Сокслетта позволяет увеличить выход липидной фракции в 2—3 раза.

2. Содержание липидов, минимальное в лугово-степных и степных почвах, увеличивается в почвах повышенного увлажнения (гидроморфных) — подзолистых, тундровых, горных и достигает максимума в торфяниках.

3. Накопление липидов идет в основном за счет восков, что обусловлено их сравнительной биохимической устойчивостью и инертностью.

Активные функциональные химические группы (характеризуемые числами эфирности, кислотности, иодным) обусловлены преимущественно «смолами», их содержание максимально в черноземе, характеризующемся одним из наиболее высоких уровней биологической активности. Таким образом, уровень биологической активности почв отражается как на общем содержании липидов, так и на их качественном составе.

4. Почвенные липиды по данным пиролиз-газовой хроматографии, электронным и инфракрасным спектрам поглощения имеют некоторые черты сходства и определенные отличия от липидов, выделяемых из растений и подстилки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Христова. О природе действия физиологически активных форм гумусовых кислот и других стимуляторов роста растений. Сб. «Гуминовые удобрения, теория и практика их применения», ч. III. Изд. «Урожай», Киев, 1968.

2. «Биохимия и плодородие почв». Тезисы докладов первой межвузовской конференции. Изд-во МГУ, 1967.

3. «Труды V международного биохимического конгресса», М., 1961.

4. «Микроорганизмы в сельском хозяйстве». Тезисы докладов. Изд-во МГУ, 1968.

5. С. А. Вакман. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. Изд. «Сельхозгиз», М., 1937.

6. И. В. Тюрин. Органическое вещество почв. Учение о почвенном гумусе. Изд. «Сельхозгиз», 1937.

7. С. С. Драгунов, П. Н. Высоцкая. Химическое исследование гуминовых веществ некоторых почв. «Почвоведение», М.—Л., № 4, 1953.

8. М. М. Кононова. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. Изд-во АН СССР, 1963.

9. *Л. Н. Александрова, О. А. Найденова.* Состав и природа гумусовых веществ почв. Сб. «Гумусовые вещества почвы». Записки Ленинградского сельскохозяйственного института, т. 142, 1970.
10. *Г. Л. Стадников.* Химия торфа. Госхимиздат, М.—Л., 1932.
11. *В. Л. Кретович.* Основы биохимии растений. Изд. «Высшая школа», 1971.
12. *Г. Ф. Лидеман, И. М. Юденцева.* Синтез липидов и жирных кислот парафиноокисляющими дрожжами. Микробный синтез, № 8, 1969.
13. *J. M. Ammosova, D. S. Orlov, L. K. Semënova.* «Investigation of alcohol—benzene soil extracts» — Studies about humus», Prague, 1971.
14. *Я. М. Аммосова, Л. К. Семенова.* К вопросу исследования природы «битумов» органического вещества почв. «Вестник МГУ», Серия биологическая, № 3, 1972.
15. *Н. Б. Вассоевич.* Источник нефти — биогенное углеродистое вещество. «Природа», № 3, 1971.
16. *А. В. Терехина.* Изучение спирто-бензольных экстрактов некоторых болгарских углей. Автореферат канд. диссерт., 1969.
17. *Н. Г. Голованов.* Стероиды растений и их превращения в процессе углеобразования. «Химия твердого топлива», № 1, 1970.
18. *К. Ф. Родионова.* «Современное состояние исследований органического вещества осадочных пород». Изд. «Недра», 1969.
19. *Н. Ф. Овчинникова.* Органические соединения азота в гумусовых веществах почвы. Автореферат кандидатской диссертации, Изд-во МГУ, 1965.
20. *Г. П. Гуринович, А. Н. Савченко, К. П. Соловьев.* Спектроскопия хлорофилла и родственных соединений. «Наука и техника», Минск, 1968.
21. *Н. И. Скобелева, Н. А. Бокучава.* Биохимия чая. Изд-во МГУ (в печати), 1973.
22. *W. Flaig.* «Organic compounds in Soil Sci. 1971, 111, N 1, 19—33.
23. «Studies about humus» transactional symposium. Humus et Planta Y, 1971.
24. *G. S. Bhandari, S. M. Maskina, N. Randhawa.* Characterisation of lipids in some soils and other humic acids formed under different agroclimatic conditions. «Sci and Cult», 35, N 2, 68—69, 1969.
25. *C. G. Kowalenko, R. B. Recher.* Phospholipid components extracted from sarkut-chewan soils. Can. J. Soil Sci, 51, N 8, 19—22, 1971.
26. *S. C. Wang Thomas, Hwang Pautsung, Chen Chang.* «Soil lipids under various crops». Soil Sci. Amer. Pros, 35, N 4, 584—587, 1971.
27. *G. Casaliceho, G. Terri.* «Ricerche sulla costituzione lipidica del suolo». Agrochimica; 15, N 4—5, 301—312, 1971.
28. *D. C. Joshi, S. N. Sanena.* «Distribution of organic matter fractions in some soils of Mewar». J. Indian Soc. Soil Sci, 19, N 1, 101—105, 1971.
29. *I. G. Jones.* «The origin and distribution of hydrocarbons an uplanct moorland soil and underlying shale». J. Soil Sci, 21, N 2, 330—339, 1970.
30. *Prusinkiewicz Zbigniew.* «Bituminy u prochnicy glebowej». Roczn. glebzn., 21, N 2, 525—530, 1970.

Лаборатория биохимии органического вещества
почв, МГУ