

УДК 631.445.4:631.417

## О ПРОИСХОЖДЕНИИ ГУМУСОВОГО ПРОФИЛЯ ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ

Н. Ф. ГАНЖАРА

(Кафедра почвоведения)

Теория происхождения гумусового профиля черноземных почв, в основном отвечающая современным представлениям об этом процессе, впервые была представлена В. В. Докучаевым в 1883 г. в книге «Русский чернозем» [10]. В этой монографии ученый заострил внимание почвоведов на многих наиболее важных вопросах формирования чернозема, некоторые из них окончательно не решены и в настоящее время. К их числу относятся: роль миграционных процессов в формировании нижней части гумусового профиля; соответствие гумусового профиля факторам почвообразования; скорость трансформации органических веществ и формирования гумусового горизонта.

Разработанные В. В. Докучаевым положения о гумусообразовании в черноземах явились мощным стимулом для последующих исследований и были развиты П. С. Костычевым, В. Р. Вильямсом, И. В. Тюриным, М. М. Кононовой, Л. Н. Александровой и др.

Настоящее сообщение посвящено некоторым дискуссионным вопросам происхождения гумусового профиля черноземов.

В последние годы появилось много данных о режимах, составе и свойствах черноземов, которые обобщены в монографии [22]. В указанной монографии приводятся выдвинутые В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой новые теоретические положения о гумусообразовании, вновь поставившие на повестку дня вопрос об основном источнике гумуса в почвах черноземного типа. Эти положения были развиты теми же исследователями в последующей их работе [19]. Объясняя значительные масштабы сезонной динамики содержания гумуса и резкое увеличение с глубиной соотношения количества гумуса и корней, авторы приходят к следующему выводу: «...в образовании гумуса черноземов весьма значительная и может быть определяющая роль принадлежит прижизненным корневым выделениям степных трав» [19, с. 119]... и далее — «...гумус нижних слоев черноземов становится все в большей степени продуктом не корнепада, а водорастворимых продуктов, поступающих из верхней толщи почвы» [19, с. 121]. Хорошую растворимость в воде гуминовых кислот, связанных с кальцием, авторы также объясняют образованием их из корневых выделений.

Безусловно, нельзя отрицать определенной роли корневых выделений в гумусообразовании. Однако, как нам представляется, процесс

гумусообразования и гумусовое состояние черноземов прежде всего следует рассматривать с позиций классических исследований И. В. Тюрина, М. М. Кононовой и Л. Н. Александровой, показавших, что основным источником гумуса в черноземах является опад корней травянистой растительности.

На несоответствие запасов гумуса и запасов корней в нижней части гумусового профиля обращали внимание многие исследователи. Именно по этой причине В. В. Докучаев [10] допускал возможность миграции гумусовых веществ из верхней части гумусового профиля в нижнюю. В то же время П. С. Костычев [15], обобщив имеющиеся в то время данные, считал основным источником гумуса в профиле черноземов корневой опад, разлагающийся на месте. К настоящему времени накоплено достаточное количество новых данных, согласно которым вполне уверенно можно утверждать, что образование всей толщи гумусового профиля черноземов происходит в основном за счет разлагающихся на месте корней травянистой растительности.

Таблица 1

Вертикальное распределение С гумуса и корней, возраст гуминовых кислот и время возможного формирования различных слоев гумусового профиля типичного чернозема

Глубина, см	$C_{\text{гум}}$	$C_{\text{корн}}$	$\frac{C_{\text{гум}}}{C_{\text{корн}}}$	Возраст гуминовых кислот, лет	Т, лет
	т/га				
0—10	52	6,84	8	Не опр.	30
10—20	52	1,23	42	1680±80	173
20—30	38	0,95	40	Не опр.	158
30—40	38	0,59	64	»	253
40—50	32	0,68	47	»	188
50—60	32	0,32	100	2970±110	400
60—70	29	0,27	107	Не опр.	414
70—80	24	0,18	133	4020±90	600
80—90	21	0,18	113	Не опр.	525
90—100	12	0,14	86	»	300
100—110	11	0,09	122	»	550
110—120	11	0,14	180	Не опр.	275
120—130	6	0,09	66	6100±2000	300
130—140	5	0,09	55	Не опр.	250
140—150	5	0,05	100	»	500

В табл. 1 приведены данные Е. А. Афанасьевой по запасам гумуса ( $C_{\text{гум}}$ , т/га) и корней ( $C_{\text{корн}}$ , т/га) в профиле черноземов Стрелецкой степи, которые обсуждались в работах [18, 19], данные И. П. Герасимова и Ф. Ф. Давитая [8] по радиоуглеродному датированию гуминовых кислот этих же почв и рассчитанное нами время возможного формирования гумусового профиля (Т) за счет разлагающейся массы корней:

$$T = C_{\text{гум}} / 0,25 C_{\text{корн}}$$

При расчетах мы исходили из того, что коэффициент гумификации растительных остатков в пределах почвенного профиля составляет согласно литературным данным [1, 4, 5] в среднем 0,25. Такое допущение весьма приближенное, поскольку условия гумусообразования на разной глубине почвенного профиля довольно существенно различаются, причем можно предположить, что с глубиной коэффициент гумификации повышается. Кроме того, он не постоянен во времени [5]. Тем не менее сделанное нами допущение не изменяет основных выводов, вытекающих из табл. 1. Абсолютный возраст гумуса значительно (в 9—22 раза) больше времени возможного формирования различных слоев гумусового профиля: т. е. количество корней, поступающее в почву за время гумусообразования, достаточно для формирования запасов гумуса, намного превышающих его содержание в профиле черноземов в настоящее время.

Таким образом, вполне допустимо объяснять увеличение отношения запасов гумуса к запасам корней с глубиной по профилю черноземов изменением условий гумусообразования (консервацией гумуса в нижней части гумусового профиля), а не наличием дополнительных источников гумуса.

В 1975 г. нами на территории Центрально-Черноземного государственного заповедника им. В. В. Алехина на залежном участке был оставлен опыт с целью изучения скорости разложения растительных остатков на разной глубине почвенного профиля черноземов типичных. Навески измельченной надземной части злаково-разнотравной растительности в капроновых мешочках помещали в ниши, сделанные на разных глубинах почвенного разреза, повторность 6-кратная. Толщина слоя растительных остатков в мешочках не превышала 0,5 см. Мешочки укладывали горизонтально. О скорости разложения растительных остатков судили по потере их массы. В образцах, взятых из данного разреза в августе 1975 г., определяли: содержание гумуса — по Тюрину, запасы корней — отмывкой на ситах, численность основных групп микроорганизмов — по методике, принятой на кафедре микробиологии Тимирязевской академии.

Через год после закладки опыта растительные остатки разложились на 60—70 % только на поверхности. Через два года на глубине 20 см они потемнели, а ниже — их цвет даже не изменился. В дальнейшем растительные остатки разложились частично по всей глубине, но вниз по профилю скорость разложения существенно снижалась. На основании полученных данных можно лишь приблизительно судить о скорости разложения корней лугово-степной растительности и гумуса, поскольку использованные в эксперименте растительные остатки отличаются от них по составу и свойствам и имеют различную устойчивость к микробиологическому разложению. Кроме того, в прикорневой зоне по сравнению со всей массой почвы численность микрофлоры значительно выше. Тем не менее, как видно из табл. 2, условия гумусообразования на разной глубине существенно различаются, вниз по профилю резко снижается биологическая активность, а следовательно, и скорость разложения органических веществ.

Т а б л и ц а 2

Скорость разложения растительных остатков (% к исходной массе) по профилю черноземов типичных (опыт заложен в августе 1975 г.)

Глубина, см	1976	1977	1979	1981	1982
0	61—72	74—88	100		
20	0	3—7	73	100	
60	0	0	49	82	89
100	0	0	27	64	70
150	0	0	18	47	58

При анализе количества микроорганизмов в почве мы использовали три показателя: их численность в расчете на 1 г сухой почвы, на 1 г гумуса и 1 г корней. Наиболее резкие различия в численности микроорганизмов по почвенному профилю наблюдались при расчете их количества на 1 г сухой почвы, менее резкие — при пересчете на 1 г гумуса и еще менее резкие — на 1 г корней. Так, численность гнилостных микроорганизмов, определяемых на МПА, и спорообразующих на МПА+СА при пересчете на 1 г корней оказалась почти одинаковой по всей глубине почвенного профиля. Количество актиномицетов, грибов и особенно микроорганизмов, развивающихся на бедных средах, существенно снижалось с глубиной даже при пересчете их на 1 г корней. Последняя группа микроорганизмов играет основную роль в разложении гумусовых веществ [20].

Распределение гумуса, корней и микроорганизмов по профилю чернозема типичного

Показатель	Глубина, см				
	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100
Гумус:					
%	8,4	5,6	4,1	2,7	2,2
т/га	168	134	107	72	59
Корни, т/га	15,3	4,2	2,6	1,3	0,5
Соотношение запасов гумуса и корней	11	31	41	55	118
Бактерии на МПА:					
на 1 г почвы, тыс.	4 130	520	240	130	45
» 1 г гумуса, тыс.	49 166	9 313	5832	4839	2059
» 1 г корней, млн.	540	297	240	268	243
Бактерии на МПА+СА:					
на 1 г гумуса, тыс.	1 670	910	320	120	41
» 1 г почвы, тыс.	19 881	16 298	7776	4467	1876
« 1 г корней, млн.	218	520	320	247	221
Актиномицеты на КАА:					
на 1 г почвы, тыс.	1 800	940	220	70	15
» 1 г гумуса, тыс.	21 429	16 836	5346	2605	686
» 1 г корней, млн.	235	537	220	144	81
Грибы на СА:					
на 1 г почвы, тыс.	43	29	11	65	0,1
» 1 г гумуса, тыс.	512	484	267	19	5
» 1 г корней, млн.	6	15	10	1	0,5
Микроорганизмы на НА:					
на 1 г почвы, тыс.	3 160	1 120	150	10	1
» 1 г гумуса, тыс.	37 619	21 851	3645	372	46
» 1 г корней, млн.	413	697	150	21	5

Полученные данные позволяют объяснить, чем же определяется предельный уровень накопления гумуса на разных глубинах профиля черноземов. Можно с большой вероятностью предположить, что накопление гумуса во времени идет до тех пор, пока численность различных групп микрофлоры и микрофауны, способных сохраняться в почвенном профиле в течение года, не достигает того значения, при котором минерализуется масса органических веществ (растительные остатки, водорастворимые органические и гумусовые вещества и т. д.), равная массе ежегодно поступающих источников гумуса. Увеличению численности микрофлоры и микрофауны и сохранению ее в течение года способствуют накапливающиеся гумусовые вещества [11]. В литературе отмечается [20], что даже в длительно парующей почве, в которую не поступают свежие источники гумуса, сохраняется высокая численность различных групп микроорганизмов. Сообщается также о наличии корреляции между запасами гумуса, корней и численностью микрофауны в профиле черноземов [9]. Очень важным условием, от которого зависит предельный уровень накопления гумуса в том или ином горизонте почв, является возможность его сохранения, определяемая, в свою очередь, условиями закрепления гумуса.

В общем процессе гумусообразования можно выделить два основных звена: гумификацию свежих органических веществ и закрепление гумусовых веществ минеральной частью почвы. Соответственно следует различать условия гумификации свежих органических веществ и условия закрепления образующегося гумуса. Последние решающим образом влияют на количество накапливающегося гумуса и его состав. Наглядным подтверждением этого положения является тот факт, что в свободном состоянии в природе гумус вообще не накапливается в значительных количествах в силу своей неустойчивости к процессам минерализации и выносу с растворами.

В. В. Пономарева [17], анализируя причины различий в почвах разных природных зон по содержанию гумуса, отмечала, что степень

использования растительного опада на образование гумуса, т. е. коэффициенты гумификации, неодинаковы в этих зонах. В черноземах они наибольшие, к югу и северу от них — уменьшаются. И. В. Тюрин [21] при анализе географических закономерностей гумусообразования впервые отметил, что там, где имеются условия для накопления гуминовых кислот, существуют благоприятные условия и для накопления гумуса в целом.

Нами сделана попытка более детально определить условия образования и прочного закрепления (накопления) гуминовых кислот в почвах на основе специальных исследований [4—7] и литературных данных [1, 11—14, 16, 17, 20, 21]. Степень изученности того или иного условия образования и накопления гуминовых кислот различна и требует специального рассмотрения. Отметим лишь, что наименее изучено влияние контрастности режима влажности на закрепление гуминовых кислот. Действие этого фактора впервые отмечено И. В. Тюриным [21] после тщательного анализа географических закономерностей гумусообразования. Впоследствии на большое его значение указывали многие ведущие исследователи гумуса почв [1, 11, 14].

К оптимальным для образования гуминовых кислот относятся следующие условия:

- нейтральная и близкая к нейтральной реакция среды;
- умеренная биологическая активность;
- насыщенность среды кальцием и азотом;
- благоприятный биохимический состав источников гумуса.

Оптимальными для прочного закрепления и накопления гуминовых кислот условиями являются:

наличие свободной от гумуса поверхности ила и минеральных коллоидов;

насыщенность ППК кальцием и магнием (наличие их избытка для связывания гуминовых кислот);

контрастность режима влажности при непромывном и периодически промывном водных режимах (включая аэрацию и ОВ-условия).

К ограничивающим образование гуминовых кислот условиям относятся: кислая и щелочная реакция среды;

низкая и высокая биологическая активность;

неблагоприятный биохимический состав источников гумуса;

воздействие пептизаторов.

Прочное закрепление и накопление гуминовых кислот ограничивают:

избыточное увлажнение при промывном водном режиме и постоянная влажность выше ВРК;

отсутствие свободной от гумуса поверхности ила и минеральных коллоидов;

недостаток обменных форм кальция и магния для связывания гуминовых кислот;

высокое содержание обменных форм водорода и алюминия или натрия и калия;

воздействие пептизаторов.

При сочетании оптимальных условий гумификации и закрепления гуминовых кислот в процессе формирования гумусового горизонта коэффициенты гумификации повышаются, что способствует накоплению гуминовых кислот и гумуса в целом. Резкое проявление любого из ограничивающих факторов приводит к обратному конечному результату. При отсутствии в почвах благоприятного режима для образования гуминовых кислот и резкой выраженности условий, оптимальных для их закрепления, в значительных количествах могут накапливаться фульвокислоты.

В почвах черноземного типа складываются наиболее оптимальные условия и для образования и прочного закрепления гуминовых кислот, но в пределах всего почвенного профиля они неодинаковы. Расширение отношения запасов гумуса к запасам корней с глубиной связано как

со снижением численности микроорганизмов, минерализующих гумусовые вещества (табл. 3), так и с улучшением условий закрепления гумуса. Последние обуславливаются постоянным притоком соединений кальция в среднюю и нижнюю части гумусового профиля [2], меньшей насыщенностью гумусом ила и минеральных коллоидов.

Различный качественный состав гумуса по глубине профиля черноземов также определяется местными условиями его формирования. Максимальное относительное количество гуминовых кислот в составе гумуса в верхней и средней частях профиля (0—80 см) связано с особенностями водного режима [3]. Именно в верхней метровой толще типичного чернозема наиболее четко выражена контрастность режима влажности, ниже эта контрастность уменьшается. Процесс гумусообразования в данной части профиля протекает, хотя и при низкой, но постоянной влажности, что препятствует полимеризации гумусовых веществ и усложнению их структуры. В результате в нижней части гумусового профиля черноземов в составе гумуса преобладают фульвокислоты.

Каково же место прижизненных корневых выделений травянистых растений и миграционных процессов в формировании гумусового профиля черноземов? По данным В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой [19], корневые выделения за период вегетации могут достигать 10 % общего количества биомассы, что составляет примерно 2,0—2,5 т сухого вещества на 1 га. Если учесть, что они поступают в наиболее населенную микроорганизмами ризосферу, то вряд ли можно ожидать их существенного вклада в образование гумуса, особенно в нижней части профиля.

О наличии водорастворимых органических веществ в профиле черноземов лесостепной зоны свидетельствуют результаты лизиметрических исследований. По данным, полученным методом хроматографических лизиметрических колонок [13], количество водорастворимых органических веществ, мигрирующих на глубину 50—70 см, в черноземах составляет 4—5 г/м<sup>2</sup>, или 80—100 кг сухого вещества на 1 га. Значения такого же порядка получены нами и при пересчете данных [19] о содержании водорастворимых органических веществ в лизиметрических водах.

В то же время ежегодное поступление корней в слое 50—100 см (табл. 1 и 3) составляет около 2 т/га. Это позволяет считать основным источником гумуса в профиле черноземов корневой опад травянистой растительности, разлагающийся на месте.

### Заключение

Абсолютный возраст гумуса во всех слоях гумусового профиля черноземов значительно больше времени возможного формирования имеющих запасов гумуса из корневого опада, разлагающегося в этих слоях. С глубиной существенно снижается биологическая активность, что не сказывается на скорости разложения корней из-за повышенной биологической активности микрофлоры в ризосфере, но проявляется в замедленном разложении гумуса. Это согласуется с вертикальным распределением различных групп микрофлоры по профилю почв. Численность микроорганизмов, разлагающих свежие органические вещества, в пересчете на 1 г корней практически одинакова почти во всех слоях гумусового профиля. Численность микроорганизмов, разлагающих гумус, резко снижается с глубиной. По мере накопления гумуса во всех слоях увеличивается численность всех групп микроорганизмов до определенного уровня, соответствующего равновесному состоянию. Консервации гумусовых веществ в нижней части профиля способствуют избыток соединений кальция и невысокая насыщенность минеральной части гумусом.

Преобладание фульвокислот в составе гумуса в нижней части профиля объясняется отсутствием здесь контрастности режима влажности.

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980.
2. Афанасьева Е. А. Солевой профиль черноземов и пути его формирования. — В кн.: Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974, с. 145.
3. Афанасьева Е. А. Водный и температурный режим черноземов. — Там же, с. 187.
4. Ганжара Н. Ф. О гумусообразовании в почвах черноземного типа. — Почвоведение, № 7, 1974, с. 39.
5. Ганжара Н. Ф. О коэффициенте гумификации и методическом подходе к определению гумусового баланса в почвах. — Почвоведение, 1979, № 4, с. 139.
6. Ганжара Н. Ф., Кауричев И. С., Рассохина В. В. Влияние поглощенных катионов на процесс гумусообразования. — В сб.: Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв. М.: ТСХА, 1977, с. 51.
7. Ганжара Н. Ф., Смоленцева Н. Л., Шевченко А. В. Качественный состав гумуса, образующегося из различных видов растительных остатков. — Изв. ТСХА, 1979, вып. 6, с. 170.
8. Герасимов И. П., Давитая Ф. Ф. Субэральное происхождение покровных отложений. — Изв. АН СССР, сер. геогр., № 3, 1973.
9. Гиляров М. С. Почвенная фауна черноземов. — В кн.: Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974.
10. Докучаев В. В. Русский чернозем. Т. 3. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1949.
11. Звягинцев Д. Г. Основные принципы функционирования комплекса почвенных микробов. — В кн.: Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978.
12. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970.
13. Кауричев И. С. Особенности генезиса почв временного избыточного увлажнения. — Автореф. докт. дис. М., 1965.
14. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М.: Изд-во АН СССР, 1963.
15. Костычев П. А. Почвы черноземной области России. М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1949.
16. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почвы. М.: Изд-во МГУ, 1974.
17. Пономарева В. В. Теория подзолообразовательного процесса. М.: Наука, 1964.
18. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумусовый профиль. — В кн.: Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974.
19. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование. Л.: Наука, 1980.
20. Теппер Е. З. Микроорганизмы рода Нокардия и разложение гумуса. М.: Наука, 1976.
21. Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965.
22. Черноземы СССР. Т. 1. М.: Колос, 1974.

*Статья поступила 10 июня 1983 г.*