

УДК 631.445.2:631.417:631.51:631.8

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СРЕДНЕСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ СИСТЕМАХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И УДОБРЕНИЯ

А. И. ПУПОНИН, А. В. ЗАХАРЕНКО

(Кафедра земледелия и методики опытного дела)

Определены закономерности изменения биоэнергетического потенциала гумуса и микробной массы в пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под действием разных по интенсивности систем механической обработки и удобрения. При решении теоретических и практических вопросов совершенствования систем обработки предлагается оценивать их влияние на биоэнергетический потенциал органического вещества почвы по показателям энергopotенциала гумуса и основных групп гумусовых веществ и энергоемкости образования микробной массы.

Для теории и практики современного земледелия важное значение имеет разработка методов системного анализа естественных и антропогенных потоков энергии в агроландшафтах. Все возрастающие энергетические затраты на производство сельскохозяйственной продукции, истощаемость ископаемых видов топлива, опасность глобального загрязнения окружающей среды обуславливают необходимость фундаментальных исследований процессов энерго- и массообмена в агроэкосистемах, определения их биоэнергетических параметров. В свя-

зи с этим повышается роль разработки научно-методических подходов к оценке совокупного биоэнергетического потенциала почвы. По мнению В.Н. Сукачева [10], «...если конечной целью биогеоценологии является вскрытие всех закономерностей процессов превращения вещества и энергии в биогеоценозах и между ними в целях управления этими процессами в интересах человечества, то ясно, какое большое значение имеет в решении этого вопроса изучение почвы, особенно энергетической стороны процесса почвообразования».

Целью наших исследований была оценка действия разных по интенсивности систем механической обработки в сочетании с удобрением на биоэнергетический потенциал органического вещества дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в зернопропашном севообороте. В работе были поставлены следующие задачи:

— изучить влияние разных систем обработки и удобрения на энергосодержание гумуса, урожая сельскохозяйственных культур и пожнивно-корневых остатков в пахотном слое почвы;

— определить энергосодержание основных групп гумусовых веществ при разных системах обработки почвы;

— установить действие разных систем обработки и удобрения на энергосодержание микробной массы в пахотном слое почвы.

Методика

Исследования проводили в 1987—1993 гг. на экспериментальной базе ТСХА в учхозе «Михайловское» в 3-факторном полевом стационарном опыте $9 \times 7 \times 2$, заложенном в 1969 г. Б.А. Доспеховым. В опыте изучаются 9 систем обработки почвы и 7 вариантов удобрения. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая.

Подробное описание программ исследований и схем экспериментов приведено в уже опубликованных работах [8, 9].

Результаты

В среднем за ротацию (1987—1992 гг.) зернопропашного сево-

оборота энергосодержание гумуса в пахотном слое почвы при системах обработки с условными названиями фрезерная минимальная и фрезерная интенсивная было выше, чем при традиционной в Нечерноземной зоне России системе отвальной обработки почвы как на удобрённом фоне, так и на фоне полного минерального удобрения — 2NPK (табл. 1). При минимализации основной и предпосевной обработок почвы в агрофитоценозе наблюдалось четко выраженная тенденция увеличения энергосодержания пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур и растительных остатков сорняков. Характерно, что энергосодержание пожнивно-корневых остатков культур на фоне 2NPK было в 2—2,3 раза выше, чем на удобрённом, а энергосодержание растительных остатков сорняков оказалось значительно выше на удобрённом фоне.

Энергия ФАР наиболее эффективно использовалась посевами полевых культур при системах фрезерной интенсивной (коэффициент использования энергии ФАР 0,69) и фрезерной минимальной (0,69) обработок почвы на фоне 2NPK.

Таким образом, минимализация обработки дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы способствует увеличению биоэнергетического потенциала органического вещества почвы за счет увеличения энергосодержания гумуса, пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур и растительных остатков сорных растений.

Таблица 1

Энергосодержание ($\times 10^3$ МДж/га) гумуса, урожая сельскохозяйственных культур и растительных остатков сорняков при разных системах обработки почвы по фону без удобрения (числитель) и 2NPK (знаменатель) за 1987—1992 гг.

Система обработки почвы	Гумус	Урожай	Пожнивно-корневые остатки культур	Растительные остатки сорняков	Коэффициент использования энергии ФАР*, %
Отвальная (контроль)	723	25,5	7,5	5,0	0,26
	827	64,1	17,1	2,8	0,64
Фрезерная минимальная	863	27,0	8,9	7,3	0,27
	1008	68,2	21,0	4,9	0,69
Фрезерная интенсивная	843	30,1	9,9	5,2	0,30
	1019	68,6	20,1	3,8	0,69
Комбинированная	824	23,3	7,8	5,4	0,23
	836	64,4	20,4	2,6	0,65
Трехъярусная и отвальная с фрезерованием	703	29,2	9,4	6,1	0,29
	787	67,6	20,9	3,4	0,68

* При расчете использованы данные И.С. Шатилова, А.Г. Замараева (1992).

Характер и интенсивность протекающих в почве процессов энерго- и массообмена тесно связаны с запасами энергии, аккумулированной в таких функционально значимых органических компонентах почвы, как гумус и микробная масса. Биоэнергетический потенциал отдельных органических компонентов почвы оценивается по теплоте их сгорания [1, 7]. С.А. Алиевым [1] было доказано, что для расчета теплоты сгорания гумуса традиционный, весьма трудоемкий калориметрический метод — сжигание препарата в чистом виде или в смеси с бензойной кислотой в калориметрической бомбе — можно заменить определением элементного состава групп гумусовых веществ и дальнейшим расчетом теплоты их сгорания по следующей формуле:

$$Q = 90[C] + 34,4[H] - 50(0,84[O] - 4[N]), \quad (1)$$

где Q — теплота сгорания, кал/г; [C], [H], [O], [N] — содержание элемента в препарате, %.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что несмотря на разное содержание общего углерода в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, энергосодержание гумуса при системах ее обработки, включающих или приемы глубокой вспашки или трехъярусной обработки, в среднем по фону удобрений мало отличалось от энергосодержания при фрезерной минимальной обработке (табл. 2). Систематическое внесение полного минерального удобрения способствовало увеличению значения этого показателя в сравнении с неудобрен-

ным вариантом при всех системах обработки почвы, а применение навоза в сочетании с полным минеральным удобрением не обеспечило повышения энергосодержания гумуса, которое оставалось практически на уровне удобренного фона. Таким образом,

биоэнергетический потенциал гумуса существенно не зависит от интенсивности обработки почвы. Внесение навоза, несмотря на заметный рост содержания в почве общего углерода и гумуса, не приводит к увеличению его энергосодержания.

Т а б л и ц а 2

Биоэнергетический потенциал гумуса при разных системах обработки почвы и удобрения

Удобрение	C _{орг} , %	Энергосодержание				Запасы в слое почвы 0—20 см	
		гумуса, кал/г	в т.ч., кал на 1 г гумуса			гумуса, т/га	энергии в гумусе, x 10 ⁵ МДж/га
			гуминовых кислот	фульвокислот	негидролизуемого остатка + липиды		
<i>Отвальная система обработки почвы (контроль)</i>							
Без удобрений	0,76	4250	1130	1103	2017	39,9	7,1
2NPK	0,89	4338	2196	633	1509	47,0	8,6
2NPK + навоз	1,02	4279	1082	921	2276	49,1	8,8
<i>Фрезерная минимальная</i>							
Без удобрений	0,84	4273	1103	953	2217	45,8	8,2
2NPK	1,03	4347	2315	585	1447	55,1	10,1
2NPK + навоз	1,16	4277	1063	928	2286	64,4	11,6
<i>Трехъярусная и отвальная с фрезерованием</i>							
Без удобрений	0,74	4259	896	1034	2329	38,9	6,9
2NPK	0,85	4339	2281	628	1430	43,2	7,9
2NPK + навоз	0,96	4282	1192	902	2188	50,5	9,1

П р и м е ч а н и е. При расчете использованы данные И.М. Яшина по элементному составу гумуса.

Определение совокупного энергетического потенциала гумуса по энергосодержанию основных групп гумусовых веществ свидетельствует о существенном влиянии удобрений на этот показатель. Так, в вариантах без удобрений совокупное энергосодержание гуминовых и фульвокислот было ниже, чем по фону 2NPK,

соответственно 49 и 66%. При этом энергосодержание фульвокислот, негидролизуемого остатка и липидов по фону 2NPK оказалось соответственно на 41 и 33% ниже, чем в вариантах без удобрений. Характерно, что при внесении навоза в сочетании с полным минеральным удобрением энергосодержание гуминовых

кислот было значительно меньше, чем по фону 2NPK.

Система фрезерной минимальной обработки почвы (предпосевное фрезерование на глубину 8—10 см под зерновые и бобово-злаковую смесь; предпосадочное фрезерование на 14—16 см под картофель) способствует большему накоплению гумуса и энергии в гумусе по сравнению с отвальной или трехъярусной обработками почвы.

Внесение навоза в сочетании с полным минеральным удобрением при всех системах обработки заметно увеличивало запасы гумуса и энергии в гумусе. Наиболее заметно эта тенденция проявилась при системе фрезерной минимальной обработки почвы, при которой энергосодержание гумуса в пахотном слое почвы на фоне 2NPK + навоз составило $11,6 \times 10^5$ МДж/га.

Результаты наших исследований не подтвердили предположения о возможном существенном влиянии обработки почвы на энергетический потенциал гумуса и основных групп гумусовых веществ.

Как известно, органическое вещество почвы является основным энергетическим источником для микроорганизмов. В почве накапливается огромное количество энергии не только в виде гумуса и растительных остатков, но и в виде микробной массы.

Один из основоположников теории экзотермического биологического синтеза, автор многочисленных работ по биоэнергетике микроорганизмов В.О. Таусон [11] писал, что «...выяснение зако-

номерностей, управляющих превращениями энергии в микробиологических процессах, характера и природы связи последних с превращениями веществ является основной задачей биоэнергетики микробов».

Микроорганизмы, как отмечает В.О. Таусон, при своем росте и развитии «...расходуют потенциальную энергию питательного вещества по двум основным направлениям: 1) на синтез веществ, образующих составные части его тела и по своему химическому потенциалу отличающихся от исходного; 2) на совершение всех тех работ, как внутриклеточных, так и внеклеточных, без которых он обойтись не может и которые связаны главным образом с процессами диссимиляции, распадом уже ассимилированных (и синтезированных) веществ».

Как отмечает С.А. Алиев [1] в научной литературе освещены лишь немногие вопросы энергетики почвенных микробиологических процессов. До настоящего времени недостаточно изучено биоэнергетическое значение микробной массы в процессах синтеза гумусовых соединений различных почв.

Анализ научных публикаций свидетельствует, что общее число бактерий в разных почвах неодинаково. Так, в горных черноземах степной и лесостепной зон в слое 0—25 см в 1 г почвы насчитывается 7800 млн бактерий, в каштановой почве — несколько меньше, 5410 млн [1].

В литературе различные авторы приводят неодинаковые значения средних размеров и массы микро-

организмов в почвах. И.В. Тюрин [12] указывал, что содержание живого вещества микроорганизмов в гумусе в среднем равно 0,3—0,4 т и не превышает 1,0 т сухого вещества на 1 га, что составляет 0,5—2,5% общего количества гумуса в почве, а средняя масса 1 млрд живых бактериальных клеток — 0,2—0,3 мг.

В работе Н.А. Красильникова [5] масса 1 млрд живых бактериальных клеток в зависимости от их средних размеров оценивается в 0,6—1,0 мг.

По мнению С.А. Алиева [1], приведенные И.В. Тюриным [12] данные о средней массе бактериальных клеток несколько занижены, поскольку они относятся к почве, освобожденной от растительных остатков, вместе с которыми удаляется значительная часть микроорганизмов.

Е.Н. Мишустин [6], учитывая дополнительные источники питания для микроорганизмов в виде продуктов распада гумуса, наличие автотрофных микробов, обогащающих почву легкодоступными органическими веществами, пришел к заключению, что масса микроорганизмов в почве примерно в 2 раза больше указанной И.В. Тюриным.

Таким образом, большинство исследователей [1, 3, 5, 6] оценивают среднюю массу 1 млрд живых бактерий в 0,5 мг (сухих — в 0,1 мг). Масса других микроорганизмов, микроскопических грибов и актиномицетов составляет 5—10% массы бактерий [1, 5].

Для определения энергетического эквивалента микробной массы необходимо знать удельную теп-

лоту сгорания различных групп микроорганизмов:

$$E_{\mu} = M_b Q_b + M_a Q_a + M_r Q_r, \quad (2)$$

где E_{μ} — энергосодержание микробной массы, МДж/га; M_b , M_a , M_r — соответственно масса бактерий, актиномицетов и грибов, г/м²; Q_b , Q_a , Q_r — удельная теплота сгорания 1 г бактерий, актиномицетов и грибов, ккал.

В качестве стандартных показателей удельной теплоты сгорания различных микроорганизмов при расчетах мы использовали сведения из работ [1, 11].

На основе экспериментальных данных о количестве микроорганизмов рассчитана микробная масса и ее энергосодержание при разных по интенсивности и характеру воздействия на почву системах механической обработки (табл. 3). Биомасса микроорганизмов в пахотном слое дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в среднем при всех системах обработки составила 122,7 кг/га, в том числе при отвальной системе — 129,5, отвальной с фрезерованием — 108,0, фрезерной интенсивной — 122,0 кг/га. В варианте 2NPK + солома отмечалось значительное увеличение микробной массы по сравнению с вариантом 2NPK. При отвальной обработке внесение соломы способствовало увеличению массы микроорганизмов на 44,2 кг/га, при отвальной с фрезерованием — на 38,2, фрезерной интенсивной — на 5,2 кг/га. Доля бактерий в общей микробной массе в среднем по всем системам обработки почвы составила 91—94%.

Таблица 3

Энергосодержание микробной массы в пахотном слое (0—20 см) почвы при разных системах ее обработки по фону 2NPK (числитель) и 2NPK + солома (знаменатель)

Система обработки почвы	Микробная масса, кг/га			Энергосодержание микробной массы, МДж/га (E _μ)			Энергия, использованная на образование микробной массы, x 10 ³ МДж/га; (E _μ ⁰)
	всего	в т.ч.		бактериий	грибов и актиномицетов	всего	
		бактериий	грибов и актиномицетов				
Отвальная (контроль)	107,4	97,6	9,8	508,1	46,1	554,2	14,58
	151,6	141,6	10,0	737,2	47,0	784,2	20,64
Отвальная с фрезерованием	88,9	81,4	7,5	423,8	35,3	459,1	12,08
	127,1	116,9	10,2	608,6	47,9	656,5	17,28
Фрезерная минимальная	108,5	91,7	16,8	477,4	79,0	556,4	14,64
	149,0	139,1	9,9	724,2	46,5	770,7	20,28
Фрезерная интенсивная	119,4	109,6	9,8	570,6	46,1	616,7	16,23
	124,6	115,3	9,3	600,3	43,7	644,0	16,95
Трехъярусная и отвальная с фрезерованием	111,2	104,8	6,4	545,6	30,1	575,7	15,15
	139,7	126,2	13,5	657,0	63,5	720,5	18,96

Микробная масса пахотного слоя дерново-подзолистой средне-суглинистой почвы аккумулирует большое количество энергии: на фоне 2NPK + солома энергосодержание микробной массы в зависимости от системы обработки колебалось от 720,5 МДж/га (при трехъярусной и отвальной с фрезерованием) до 784,2 МДж/га (при отвальной), на фоне 2NPK энергосодержание микробной массы при отвальной системе было меньше, чем при системах фрезерной интенсивной и трехъярусной и отвальной обработки с фрезерованием.

Таким образом, на фоне полного минерального удобрения наиболее высокое энергосодержание микробной массы обеспечивается при системе фрезерной интенсив-

ной обработки почвы. Внесение соломы в сочетании с полным минеральным удобрением приводит к существенному увеличению энергосодержания микробной массы в пахотном слое.

Одним из важных показателей, характеризующих биоэнергетический потенциал микрофлоры почвы, является энергия органического вещества почвы, использованная микроорганизмами на образование микробной массы. Для определения коэффициента использования энергии микроорганизмами Терруан (цит. по [12]) предложил следующую формулу:

$$K = \frac{Q^1}{Q - Q_R}, \quad (3)$$

где K — коэффициент использования энергии микроорганизма-

ми; Q^1 , Q и Q_R — соответственно энергосодержание микробной массы, исходного органического вещества и «остатков», т.е. использованного органического вещества.

К.Б. Горбунов [4] в исследованиях биохимического состава бактерий использовал показатели удельной теплоты сгорания микробной массы по [12] и рассчитал энергоемкость микробной массы аэробных бактерий и анаэробных целлюлозоразлагающих бактерий (соответственно 5385 и 4946 кал/г). При этом был экспериментально установлен трофический коэффициент использования энергии органического вещества почвы, который для бактерий изменялся в пределах 0,0369—0,0392 (в среднем 0,038). Изучив зависимость численности гетеротрофных микроорганизмов от поступления растительных корневых остатков, Г.А. Буяновский [2] предложил более низкий коэффициент использования энергии — 0,02. Однако, по мнению С.А. Алиева [1], с учетом запаса гумуса, который также может являться источником энергии для жизнедеятельности микроорганизмов, наиболее приемлемым средним коэффициентом использования энергии микроорганизмами является 0,038.

Таким образом, принимая во внимание, что в формуле Терруана разность $Q - Q_2$ можно интерпретировать как количество энергии, использованное на образование микробной массы (E_m°) при значении трофического коэффициента использования энергии 0,038, и после соответствующих

преобразований формула (3) примет следующий вид:

$$E_m^\circ = 26,316Q^1. \quad (4)$$

По данной упрощенной формуле и показателем энергосодержания микробной массы при разных системах обработки почвы установлено, что наибольшее количество энергии на образование микробной массы затрачивается при системах отвальной (20,64 10^3 МДж/га) и фрезерной минимальной (20,28 $\cdot 10^3$ МДж/га) обработки почвы на фоне 2NPK + солома (см.табл. 3). Внесение соломы в этом случае приводило к заметному увеличению энергоемкости образования микробной массы при всех системах обработки почвы, кроме фрезерной интенсивной, при которой эта тенденция была менее выраженной.

Таким образом, минимализация обработки почвы в сочетании с применением удобрений не приводит к существенному изменению биоэнергетических показателей микробной массы пахотного слоя дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. При внесении соломы на фоне полного минерального удобрения отмечено увеличение энергосодержания микробной массы и энергии, использованной на ее образование, по сравнению с этим показателем в варианте без соломы.

По нашему мнению, энергоемкость образования микробной массы (E_m°) является одним из важнейших составляющих в структуре совокупных энергозатрат, характеризующих интенсивность и направленность трансформации органического вещества в почве.

Экспериментальные данные о совокупном количестве энергии, аккумулированной в микробной массе, и количестве энергии, использованной на ее образование, имеют немаловажное теоретическое и практическое значение для адекватной оценки биоэнергетического потенциала почвы и познания процессов энерго-массообмена в агроэкосистемах с целью разработки экологически безопасных приемов управления этими процессами.

Выводы

1. Минимализация обработки дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы способствует увеличению ее биоэнергетического потенциала за счет большего накопления энергии в пожнивнокорневых остатках полевых культур и растительных остатках сорных растений.

2. Энергетический потенциал гумуса при всех системах механической обработки был практически одинаковым (4289—4299 кал/г) и не зависел от уровня их интенсивности и характера воздействия на почву. Применение полного минерального удобрения способствовало увеличению энергопотенциала гумуса по отношению к неудобренному фону.

3. Определены закономерности изменения энергетического потенциала основных групп гумусовых веществ (гуминовые кислоты, фульвокислоты, негидролизуемый остаток + липиды) под действием многолетнего применения разных по интенсивности систем обработки почвы и удобрения:

— минимализация основной и

предпосевной обработки почвы не оказывает заметного влияния на энергосодержание основных групп гумусовых веществ;

— на фоне полного минерального удобрения в среднем по системам обработки почвы энергетический потенциал гуминовых и фульвокислот был выше, чем на неудобренном фоне (соответственно 66 и 49% к совокупному энергопотенциалу гумуса);

— при внесении навоза в сочетании с полным минеральным удобрением энергетический потенциал гуминовых кислот был на 50% ниже, чем в аналогичном варианте без навоза.

4. Минимализация обработки почвы в сочетании с применением удобрений не оказывает заметного влияния на биоэнергетический потенциал микробной массы пахотного слоя почвы. Наиболее высокая энергоемкость образования микробной массы отмечена при системах отвальной и фрезерной минимальной обработок почвы на фоне полного минерального удобрения в сочетании с соломой.

5. При решении теоретических и практических вопросов совершенствования систем обработки почвы предлагается оценивать их влияние на биоэнергетический потенциал органического вещества по показателям энергопотенциала гумуса и основных групп гумусовых веществ и энергоемкости образования микробной массы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев С.А. Экология и энергетика биохимических процессов

превращения органического вещества почв. Баку: Изд-во ЭЛМ, 1978, с. 79—86. — 2. *Буяновский Г.А.* Влияние биологических процессов на подвижные компоненты минеральной части почв Кура-Араксинской низменности. Баку: Изд-во ЭЛМ, 1972, с. 37. — 3. *Волобуев В.Р.* Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука, 1974. — 4. *Горбунов К.Б.* Экономический коэффициент при аэробном и анаэробном разложении клетчатки. — Микробиология, 1962, т. 31, вып. 4, с. 15. — 5. *Красильников Н.А.* Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. — 6. *Мишустин Е.Н.* Географические факторы и распределение почвенных микроорганизмов. — Сер. биол. наук. М.: Изд-во АН СССР, № 2, с. 102—104. — 7. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая

теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990, с. 72—83. — 8. *Пупонин А.И.* Обработка почвы в интенсивном земледелии Нечерноземной зоны. М.: Колос, 1984. — 9. *Пупонин А.И., Захаренко А.В., Дебердеев К.Ш.* Влияние разных систем обработки почвы, удобрений и гербицидов на засоренность посевов и урожайность полевых культур. — Изв. ТСХА, 1991, вып. 6, с. 13—24. — 10. *Сукачев В.Н.* Соотношение понятий биогеоценоз, экосистема и фацна. — Почвоведение, 1960, № 6, с. 5. — 11. *Тausон В.О.* Основные положения растительной биоэнергетики. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1950, с. 202—216. — 12. *Тюрин И.В.* О количественном участии живого вещества в составе органической части почвы. — Почвоведение, 1946, № 1, с. 7—13.

Статья поступила 28 октября 1997 г.

SUMMARY

Regularities of changes in bioenergetic potential of humus and microbial mass in arable layer of soddy-podzolic medium-textured clay loam under the effect of systems of mechanical treatment with different intensiveness and of fertilizers have been determined. To solve theoretical and practical problems of improving treatment systems it is suggested to estimate their effect on bioenergetic potential of soil organic matter by indices of humus energy potential and of principal groups of humic substances and energy-intensiveness of microbial mass formation.