

УДК 631.423.4

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА МОБИЛЬНЫХ ФОРМ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВАХ

Н. Ф. ГАНЖАРА, Б. А. БОРИСОВ, А. В. ШЕВЧЕНКО, В. А. ДЕРЕВЯГИН  
(Кафедра почвоведения)

В статье предлагается разработанная авторами методика выделения и количественного определения мобильных форм органических веществ почв, к которым они относят свежие органические вещества и детрит. В основу метода положен принцип разделения веществ, различающихся по плотности, в тяжелых жидкостях. В качестве тяжелой жидкости использован раствор NaI плотностью 1,8 г/см<sup>3</sup>. Определение содержания мобильных форм органических веществ в почвах и содержания азота в составе мобильных органических веществ позволяет рассчитать запасы азота, высвобождающегося в результате их минерализации. Последние используются в качестве критерия оптимизации уровня содержания мобильных форм органических веществ и отношения в их составе C : N.

Органическое вещество почвы — это сложная система органических соединений, включающих гумусовые вещества специфической природы и соединения индивидуальной природы. Термин «гумус» употребляется со времен древних римлян [2], однако до настоящего времени нет общепринятого его определения. Так, Ф. Дюшофур [6] пишет: «Слово «гумус» употребляется в двух разных смыслах, что часто вызывает недоразумения: в научном языке под гумусом имеют в виду гумифицированную фракцию, преобразованную биологическим путем и имеющую коллоидную природу. В обычном понимании гумусом называют органическое вещество почвы в целом; в этом именно смысле мы употребляем понятие «грубый гумус», т. е. гумус, который не полностью гумифицирован». Остатки растительного и животного происхождения различной степени гумификации называют также предгумусовой фракцией органических веществ [4], или детритом [10]. Представляется целесообразным эту группу веществ отдельно выделять в составе органического вещества почв наряду с гумусом и свежими органическими соединениями.

По свойствам и способности к трансформации предгумусовая фракция ближе к свежим органическим веществам, чем к гумусовым. Если скорость обновления последних измеряется сотнями и даже тысячами лет [11], то скорость обновления детрита — десятками лет, а иногда годами [4, 9].

Учитывая, что свежие органические вещества и детрит мало различаются по способности к трансформации, их можно отнести к мобильным формам органических веществ почв (МОВ). В отличие от мобильных форм гумуса, которые включают только гумусовые вещества, МОВ включают свежие растительные остатки и органические удобрения. Классическим примером МОВ являются лесные подстилки.

Выделение предгумусовой фракции органических веществ (детрита) в самостоятельную группу хорошо согласуется с классификациями типов гумуса Ф. Дюшофура [6] и типов органо профиля Л. А. Гришиной [5], в которых к особым генетическим типам относится органическое вещество, содержащее повышенное количество детрита.

Детрит обладает повышенной способностью к минерализации, при которой высвобождаются элементы питания для растений, а образующийся из него гумус принимает участие в формировании агрономически ценной структуры почвы. Последнее положение, детально разработанное В. Р. Вильямсом, стало одним из основополагающих принципов травопольной системы земледелия. В. Р. Вильямс четко разграничивал понятия «деятельный» и «недеятельный» перегной [3]. К первому он относил новообразованные гумусовые вещества и подчеркивал неоднократно, что они способны создавать агрономически ценную структуру только один раз. В. Р. Вильямс писал: «Не следует забывать, что, разрушая механически структуру почвы, мы переводим часть деятельного перегноя в состояние недейтельного перегноя, восстановить свойства которого мы еще не умеем».

Ученые зарубежных стран, в частности ГДР, большое внимание уделяют изучению «воспроизводимого» органического вещества, т. е. способного быстро обновляться. Разработаны рекомендации по поддержанию бездефицитного и положительного баланса этого вещества на оптимальном уровне для различных сельскохозяйственных культур [7].

Какой же принцип может быть положен в основу определения оптимального содержания МОВ? В ГДР оно устанавливается опытным путем [7]. Однако для нашей страны с ее большим многообразием природных условий такой подход вряд ли приемлем. Принцип «чем больше, тем лучше» также не подходит. Известно, что поступление в почву большого количества свежих органических веществ, в том числе неразложившегося навоза, может вызвать неблагоприятное их воздействие на растения, а превышение норм разложившихся органических удобрений нецелесообразно из-за их острого дефицита. Видимо, нижний предел оптимального количества МОВ нужно определять исходя из минимальных «критических» их концентраций, ниже которых ухудшаются свойства почвы и условия для роста и развития растений, снижается эффективность минеральных удобрений. Принцип достижения бездефицитного или положительного баланса не всегда приемлем, поскольку и тот и другой может быть при уровнях содержания МОВ, находящихся выше или ниже оптимальных значений. Следует помнить, что большое, а зачастую даже ведущее значение при определении оптимального уровня МОВ имеет их состав.

Нами предлагается в качестве критерия для определения оптимального содержания МОВ в почвах обеспеченность растений почвенным азотом. Известно, что при внесении минеральных удобрений примерно 50 % азота растения используют из почвы. Задача оптимизации сводится к тому, чтобы содержание и состав МОВ были такими, при которых обеспеченность азотом была бы достаточной для получения планируемого урожая. Предлагаемый нами метод контроля за содержанием и составом МОВ заключается в определении их содержания в почвах и азота в составе МОВ. А для оптимизации уровня МОВ рассчитываются количество возможного высвобождения азота под культуру текущего

года и потребность в органических и минеральных удобрениях на планируемый урожай. Следует отметить, что данная методика не заменяет существующих методов расчета норм удобрений на планируемый урожай, а является дополнением к ним. Необходим также поиск других критериев оптимизации с учетом воздействия МОВ на физико-химические, водно-физические, биологические и другие свойства почв.

В основу метода положен широко известный принцип разделения веществ, различающихся по плотности, в тяжелых жидкостях [12]. Перед нами стояла задача усовершенствовать методику, предложенную одним из авторов данной статьи [8], с тем чтобы ее можно было использовать в массовых анализах.

Необходимо было решить следующие вопросы:

— исключить из состава тяжелой жидкости йодистый кадмий, поскольку он токсичен;

— сравнить результаты определения содержания углерода МОВ, полученные разными методами: методом Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой, на анализаторе углерода, по потере от прокаливания, а также методом непосредственного определения и определения по разности в образцах почв без отделения и с отделением МОВ;

— выбрать оптимальную схему анализа с учетом возможности определения азота и других элементов питания при массовых анализах;

— изучить возможность определения содержания МОВ и мобильного гумуса в одной навеске.

После выполнения соответствующих исследований был выбран наиболее оптимальный вариант схемы анализа.

Навеску почвы 100 г доводили до воздушно-сухого состояния и растирали полностью вместе с корнями, пропустили через сито с круглыми отверстиями диаметром 1 мм. Труднорастираемые корни и неразложившиеся растительные остатки, оставшиеся на сите, промывали водой и этиловым спиртом и высушивали до воздушно-сухого состояния. Массу корней и неразложившихся растительных остатков рассчитывали в процентах к массе почвы и в дальнейшем приплюсовывали к массе МОВ. Из просеянной почвы отбирали навеску 20 г, помещали в центрифужную пробирку на 100 мл, заливали 50 мл тяжелой жидкости (раствор<sup>1</sup> NaI плотностью 1,8 г/см<sup>3</sup>) и тщательно перемешивали стеклянной палочкой с резиновым наконечником. Использование ультразвука для диспергирования почвы мы не рекомендуем, поскольку в этом случае в легкой фракции увеличивается содержание минеральных коллоидов и прочно связанных с ними гумусовых веществ. Центрифугировали при 6 тыс. об/мин в течение 5 мин, при 4 тыс. об/мин — 10 мин. Центрифугат сливали, осторожно

<sup>1</sup> Эффективность раствора NaI при выделении легкой фракции существенно не отличалась от эффективности смеси KJ+CdI<sub>2</sub>. Использование для данных целей KJ нежелательно, так как это препятствует определению содержания калия в составе легкой фракции.

**Количество послеуборочных остатков различных сельскохозяйственных культур (обобщенные литературные данные)**

Культура	Урожайность, ц/га	Послеуборочные остатки, ц/га
Оз. пшеница, оз. рожь, овес, ячмень, кормовые бобы на зерно	15—40	20—32
Клевер, клеверо-злаковые смеси на сено	30—100	40—70
Вейкоовсяная смесь на сено	15—70	20—40
Люпин на зеленую массу	250—450	20—30
Кукуруза на зеленую массу	100—450	15—40
Подсолнечник на зеленую массу	100—500	10—20
Вейкоовсяная смесь на зеленую массу	70—160	10—20
Горчица белая на зеленую массу	100—400	8—10
Рапс озимый на зеленую массу	60—400	10—30
Гречиха на зерно	5—12	18—20
Горох на зерно	12—25	15—25
Лен (солома)	15—30	14—16
Картофель	100—200	8—12
Сахарная свекла	200—300	10—15
Кормовая свекла	300—500	4—6

поворачивая пробирку для смыва органических остатков с ее стенок, не взмучивая при этом почву, на воронку с бумажным фильтром. Отфильтрованную жидкость сливали в отдельную колбу для повторного использования. Обработку почвы тяжелой жидкостью и центрифугирование проводили 3—4 раза до полного отделения легкой фракции МОВ, о чем судили по отсутствию органических остатков на поверхности тяжелой жидкости в центрифужной пробирке. После полного отделения МОВ их отмывали на фильтре водой и этиловым спиртом до потери реакции на йод. Затем легкую фракцию с фильтра количественно переносили в предварительно взвешенную фарфоровую чашку, смывая водой из промывалки. Воду в чашке выпаривали в сушильном шкафу и сушили легкую фракцию в чашке до постоянной массы при  $t 105^\circ$ . Взвешивали легкую фракцию в чашке, отбирали из нее пробы для определения азота МОВ по Кьельдалю и углерода МОВ по потере от прокаливании или методом Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой (для торфов), или на экспресс-анализаторе. Все три приема определения углерода МОВ дают сопоставимые результаты (табл. 1).

При определении углерода МОВ по потере от прокаливании значение потери при прокаливании умножали на 0,5 исходя из того, что в составе МОВ содержится в среднем 50 % углерода. Содержание углерода и азота рассчитывали в процентах к массе легкой фракции и к массе почвы, а также устанавливали их запасы в пахотном слое. В золе после прокаливании можно определять содержание калия, фосфора и других элементов питания растений.

При отношении C:N в составе МОВ менее 20 (25) необходимо оптимизировать только содержание МОВ. Для этого следует знать содержание и запасы МОВ в пахотном слое, содержание азота в составе МОВ и запасы азота МОВ в пахотном слое, среднегодовое количество поступающих в почву послеуборочных остатков и органических удобрений.

Таблица 1

**Содержание углерода в составе МОВ (% к массе легкой фракции), определенное разными методами**

Вариант	Содержание гумуса, %	Метод Тюрина	На экспресс-анализаторе	По потере от прокаливании
Дерново-подзолистая почва				
Контроль	3,1	23,2	24,5	25,7
	1,6	33,1	34,8	30,6
Навоз	3,1	24,7	24,2	25,1
	1,6	28,2	29,4	30,6
Чернозем выщелоченный				
Контроль	5,5	25,7	25,2	24,9
	3,5	24,2	24,4	22,9
Навоз	5,5	27,8	26,6	29,8
	3,5	29,3	28,4	34,2

Количество поступающих в почву послеуборочных остатков определяется приближенно по справочным данным (табл. 2), количество органических удобрений — по их фактическому внесению за последние 5 лет.

Особенно сложно определить количество азота, высвобождающегося из МОВ и органических удобрений, поскольку оно сильно варьирует по годам в зависимости от многих факторов: количества и вида обработок, погодных условий, вида органических удобрений и послеуборочных остатков и т. д. Поэтому данная величина определяется ориентировочно. Расчет можно производить для конкретного года и на ротацию севооборота. Если за последние 5 лет условия гумусообразования в почвах не подвергались резким изменениям, можно с известным допущением принять, что содержание МОВ и их состав приближаются к равновесному состоянию. В таком случае количество ежегодно минерализующихся органических веществ примерно равно среднегодовому количеству поступающих органических удобрений и послеуборочных остатков. Известно, что в течение первого года разлагается в среднем примерно 50 % внесенного навоза и послеуборочных остатков прошлого года, хотя в зависимости от вида последних, погодных условий и количества обработок возможно значительное варьирование данной величины (от 30 до 90 %). В связи с этим при расчетах в общее количество минерализующихся органических веществ включается 50 % массы органических веществ, посту-

пивших в прошлом году, и органических удобрений, внесенных перед посевом. Остальная часть минерализующихся органических веществ представлена МОВ прошлых лет.

**Пример 1.** По результатам анализа, содержание МОВ в пахотном слое составляет 0,2 т/га, их запасы — 5 т/га. Среднегодовое поступление послеуборочных остатков для данного севооборота равно 2 т/га, органические удобрения не вносятся. Следовательно, минерализуется в текущем году примерно 2 т органических веществ на 1 га. Из них 1 т послеуборочных остатков прошлого года и 1 т МОВ предыдущих лет. При содержании азота в составе МОВ 1,5 % ожидаемое его высвобождение составит 30 кг/га.

**Пример 2.** При тех же исходных условиях осенью был внесен подстилочный навоз из расчета 60 т/га (15 т сухого вещества). При содержании в нем азота 2 % от массы сухого вещества получим, что из внесенного навоза возможное высвобождение азота составит 150 кг/га. В сумме высвобождение азота на данном поле с уче-

том МОВ прошлых лет и послеуборочные остатки прошлого года будет равно 180 кг/га.

Если в составе МОВ, послеуборочных остатков или органических удобрений отношение С:N более 25, то недостаток азота должен компенсироваться азотом минеральных удобрений.

**Пример 3.** По данным анализа, содержание МОВ составляет 0,3 %, а их запасы в пахотном слое — 9 т/га. Запасы углерода и азота МОВ — соответственно 4,5 т/га и 150 кг/га; отношение С:N равно 30. Для доведения этого отношения до 20 требуется дополнительно внести 75 кг азота на 1 га ( $4500:20=225$  кг;  $225$  кг —  $150$  кг= $75$  кг). Такое количество азота необходимо, чтобы получить оптимальное отношение С:N для всего количества МОВ. Но поскольку в данном году минерализуется только часть МОВ прошлых лет (пример 1), азот следует вносить дробно, рассчитывая его дозы с учетом особенностей возделываемой культуры, зональных рекомендаций по срокам и нормам применения азотных удобрений и кор-

**Таблица 3**

**Содержание и состав МОВ в дерново-подзолистых и черноземных почвах вегетационно-полевых опытов и урожай зеленой массы кукурузы (среднее из 4 повторностей)**

Вариант	Содержание гумуса, %	Содержание МОВ, % к массе почвы	С:N в МОВ	Урожай* зеленой массы кукурузы, т/сосуд
<b>Дерново-подзолистая почва</b>				
Контроль	3,1	0,38	24,4	§15
	2,5	0,30	24,3	543
	1,9	0,26	23,3	454
NPK	1,6	0,18	22,3	410
	3,1	0,42	28,4	955
	2,5	0,36	22,0	876
Навоз, 8 т сухого вещества на 1 га	1,9	0,29	27,7	739
	1,6	0,26	26,6	592
	3,1	1,23	26,4	808
Растительные остатки, 8 т сухого вещества на 1 га	2,5	0,50	25,3	767
	1,9	0,88	24,3	782
	1,6	0,59	23,7	659
Растительные остатки, 8 т сухого вещества на 1 га	3,1	0,49	27,6	524
	2,5	0,41	33,0	502
	1,9	0,43	25,5	673
	1,6	0,39	22,7	576
<b>Чернозем выщелоченный</b>				
Контроль	5,5	0,18	25,6	359
	4,5	0,16	25,7	305
	3,5	0,17	19,5	281
Навоз, 8 т сухого вещества на 1 га	5,5	0,49	21,9	380
	4,5	0,49	25,9	395
	3,5	0,59	13,2	363
NPK	5,5	0,18	—	580
	4,5	0,12	—	473
	3,5	0,16	—	443
Растительные остатки, 8 т сухого вещества на 1 га	5,5	0,23	—	338
	4,5	0,28	—	257
	3,5	0,29	—	280

\* Для дерново-подзолистых почв  $r = 0,98$ ; для черноземов  $r = 0,41$ . При расчете корреляции варианты с NPK не учитывались.

ректируя рекомендуемые нормы на основе состава МОВ.

Для расчета планируемого урожая необходимо установить коэффициенты использования азота из МОВ.

Данные табл. 3 позволяют сопоставить содержание и состав МОВ в почвах вегетационно-полевого опыта [1] с уровнем урожайности ячменя.

Образцы для определения содержания и состава МОВ лучше отбирать весной, перед посевом, или осенью после уборки урожая лопатой или буром с рабочим стаканом диаметром 3—5 см. В остальном методика отбора образцов такая же, как и при массовых агрохимических анализах.

Определение содержания и состава МОВ Желательно сопровождать определением содержания мобильных форм гумуса, растворимых в мягких вытяжках, а также азота в составе этих форм гумуса. Наиболее перспективными для указанной цели представляются 0,1 н. NaOH или 0,1 М раствор пиррофосфата натрия, доведенный до pH 7. Сделанные нами попытки проведения анализа МОВ и мобильных форм

гумуса в одной навеске не дали положительных результатов из-за усложнения анализа и снижения его пригодности для массовых анализов. В перспективе предлагаемая методика может уточняться, особенно расчеты высвобождения азота из различных органических веществ. Для конкретного учета данных при программировании урожаев необходимо определение коэффициентов использования азота МОВ различными культурами на разных почвах опытным путем.

Предварительные исследования (табл. 3) показали, что при низком содержании МОВ (0,1 % от массы почвы) коэффициент использования азота МОВ сельскохозяйственными культурами больше, чем при высоком их содержании.

Оптимальные значения содержания МОВ для зерновых культур находятся в пределах 0,3—0,6 % от массы почвы, или 10—20 т/га в пахотном слое. При таком содержании МОВ с отношением C:N менее 55 урожай зерновых культур не лимитируется обеспеченностью почвенным азотом при средних дозах минеральных удобрений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Б. А. Влияние содержания гумуса на свойства дерново-подзолистых почв, черноземов выщелоченных и урожай сельскохозяйственных культур. — Автореф. канд. дис. М., 1986. — 2. Ваксман С. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. М.: Сельхозгиз, 1937. — 3. Вильямс В. Р. Земледелие с основами почвоведения. — М.: Сельхозгиз, 1949. — 4. Ганжаран Н. Ф. Сезонная динамика органических веществ в дерново-подзолистых почвах. — В сб.: Физико-химические свойства и плодородие почв. М.: ТСХА, 1983, с. 50—54. — 5. Гришина Л. А. Трансформация органического вещества и гумусное состояние почв. — Автореф. докт. дис. М., 1982. — 6. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. — М.: Прогресс, 1970. — 7. Михайлина В. И. Воспроизводство плодородия почв в ГДР. — Земледелие, 1986, № 2, с. 61—62. — 8. Практикум по почвоведению/И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Стратонович и др. М.: Агро-
9. Фокин А. Д. Главные составляющие гумусового баланса почв и их количественная оценка. — В сб.: Органич. вещество и плодородие почв. М.: ТСХА, 1983, с. 3—16. — 10. Чесняк Г. Я., Гаврилюк Ф. Я., Крупенников И. А. и др. Гумусовое состояние черноземов. — В кн.: Русский чернозем — 100 лет после Докучаева. М.: Наука, 1985, с. 176—185. — 11. Чичагова О. А., Черкинекий А. Е. Радиоуглеродные исследования органического вещества и возраста почв. — Науч. докл. высш. шк. Биол. науки, 1979, № 8, с. 5—8. — 12. Шаймухаметов М. Ш., Титова Н. А., Травникова Л. С., Лобанец Е. М. Применение физических методов фракционирования для характеристики органических веществ почв. — Почвоведение, 1984, № 8, с. 131—141.

*Статья поступила 17 сентября 1986 г.*

## SUMMARY

Authors propose the technique of isolation and quantitative evaluation of soil organic matter mobile forms (fresh organic substances and detritus). The technique is based on the principle of separating the substances differing in density in heavy liquids. As a heavy liquid NaI solution is used, its density being 1.8 g/cm<sup>3</sup>. Evaluation of the amount of mobile forms of organic substances in soils and of the amount of nitrogen in mobile organic substances allows to calculate supplies of nitrogen liberated as a result of their mineralization. This is additional technique to the existing methods of calculating fertilizers for the planned yield.