

Кандидат с.-х. наук М.А. Надпорожская,  
кандидат хим. наук, Л.Б. Львова  
инженер Н.В. Ковш

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ

В серии лабораторных и полевых экспериментов определено, что в аэробных условиях лабораторного опыта относительные потери азота при разложении растительных остатков в контакте с безгумусовыми породами были значительно выше, чем при разложении чистого растительного материала или в смеси с материалом гумусового горизонта  $A_1$  (Надпорожская и др., 2000, Надпорожская и др., 2003). Целью данной работы было исследование особенностей динамики форм азота и окислительно-восстановительного потенциала (как интегрального показателя изменения качества среды) в условиях лабораторного опыта.

Компостирование растительных остатков клевера и хвой ели в смеси с образцами легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы горизонтов  $A_1$  и  $BC$ , и с кварцевым песком в соотношении 1:20, а также чистых растительных остатков проводили в темноте при комнатной температуре и оптимальной влажности (60% ПВ) в стеклянных сосудах. Изначально компосты увлажняли дистиллированной водой, инокулированной микроорганизмами подстилки смешанного леса (береза с елью). Продолжительность опыта составила 14 суток. Минеральные водорастворимые формы азота (нитратные и аммонийные) определяли в отфильтрованных водных вытяжках компостов с помощью ион-селективных электродов,  $pH_{H_2O}$  – потенциометрически на иономере pH-150. Окислительно-восстановительные условия изучали во влажных компостах с помощью точечных платиновых электродов марки ЭПЛ-02, окислительный потенциал  $Eh$  затем рассчитывали, прибавляя к измеренному значению э.д.с. величину стандартного потенциала хлорсеребряного электрода сравнения:  $Eh = \text{э.д.с.} + E^0_{Ag/AgCl} (+222 \text{ мВ})$ . В сухих компостах содержание валового азота определяли по Несслеру. Газообразные потери азота рассчитывали как разницу между начальным пулом азота в образце и его содержанием в сухом компосте в процентах к исходному.

Было отмечено существенное влияние гумусированности и механического состава минеральной составляющей компостов на скорость и направление процессов трансформации растительных остатков. Так, увеличение газообразных потерь азота на начальных стадиях разложения (за первые две недели) как клевера, так и хвой ели наблюдалось в ряду компостов: растительные остатки +  $A_1$  < растительные остатки +

BC << растительные остатки + кварцевый песок. Потери азота при компостировании клевера с материалом гумусового горизонта A1 в расчете на исходное содержание азота в смешанном компосте составили 6,9 % (рис. 1а).

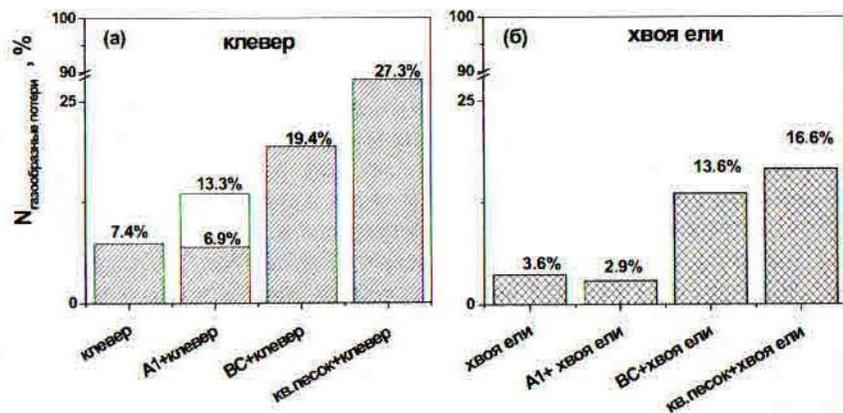


Рис. 1. Газообразные потери азота за 14 дней

Данные потери обусловлены, по нашему мнению, как потерями N из мобильного легкоразлагаемого материала клевера, так и потерями N из органического вещества (ОВ) A<sub>1</sub>. Нами были рассчитаны относительные потери азота только растительными остатками клевера в условиях компостирования с материалом A<sub>1</sub> по отношению к исходному количеству N в клевере, при допущении, что внесение органического материала растительных остатков не изменяет динамику разложения ОВ A<sub>1</sub>. Эта величина составила 13,3%. Предполагаем, что именно наличие гумусовых веществ уменьшает газообразные потери азота по сравнению с компостами с безгумусовыми материалами.

Для компостов с бедными азотом растительными остатками (хвои ели) газообразные потери после двух недель компостирования были меньше по сравнению с компостами клевера (Рис.1б). Расчет индивидуальных потерь N хвоей ели в смешанном компосте с материалом A<sub>1</sub> показал незначительные потери азота растительными остатками, видимо вследствие наличия существенного количества смолистых веществ, танинов и восков, которые являются консервантами и могут наряду с влиянием ОВ A<sub>1</sub> тормозить процесс разложения. Общая закономерность увеличения потерь азота компостами с безгумусовыми субстратами соблюдалась и при разложении бедного азотом растительного материала. Предполагаем, что именно наличие свободной минеральной поверхно-

сти, не связанной с комплексом увеличивающего буферность и стабильность почвенной системы ОВ, приводит к таким потерям. Количество потерянного азота дает представление о результате действия процессов минерализации органического вещества. Судить о лабильности соединений азота на момент снятия опыта можно по качественному составу водных вытяжек.

Результаты оценки относительного содержания водорастворимых форм азота по отношению к общему содержанию N в компостах представлены на Рис. 2. Растительные остатки клевера, характеризующиеся узким соотношением C/N=16, богатые легкодоступными микроорганизмам соединениями, быстро вовлекались в процесс разложения; в то время, как хвоя ели, имеющее высокое содержание лигнина и восков и менее богатая белками (C/N=37) разлагалась медленнее, что особенно хорошо наблюдалось в при имитации разложения «в подстилке» без контакта с минеральными материалами. Компосты клевера имели наибольшее содержание водорастворимых соединений азота: количество N, перешедшее в водную вытяжку составило 45% от общего азота, при этом около половины водорастворимого азота (25,3 % от общего азота) составляли минеральные формы, в основном аммонийные (Рис. 2а). В компостах хвои ели в водную вытяжку переходило только 6,7% валового азота, преобладали органические формы. Эти данные свидетельствуют об интенсивной минерализации клевера и замедленной хвои ели. Компосты с кварцевым песком (и клевера, и хвои ели) потеряли за 14 дней большие доли азота по сравнению с вариантами +A<sub>1</sub> и +BC, но содержат еще значительное количество лабильного азота, переходящего в водную вытяжку, органические формы преобладают. Низкое количество азота, извлекаемого водой из компостов с A<sub>1</sub> и BC, обусловлено не только газообразными потерями минерализованного азота, но и частичным поглощением минеральных, а возможно, и органических соединений азота легким сутлинком. Для уточнения степени адсорбции минеральных соединений азота провели следующий эксперимент. К навескам почвы приливали водные растворы  $2 \times 10^{-3}$  М NH<sub>4</sub>Cl и  $3 \times 10^{-3}$  М KNO<sub>3</sub>, концентрация которых была сопоставима с концентрацией минерального азота в водных вытяжках 14 дневных компостов. После 3-х минутного взбалтывания растворы фильтровали и определяли содержание минерального азота с помощью ион селективных электродов. Было установлено, что весь добавленный нитрат-ион остается в растворе. Ион аммония кварцевый песок не адсорбировал, после взаимодействия с A<sub>1</sub> содержание NH<sub>4</sub> уменьшилось на 26,8%, с BC – на 52%. По-видимому, адсорбция аммонийного азота, освобождающегося при разложении растительного материала, может влиять на реакции и процессы, происходящие в свободной жидкой фазе почвенного раствора.

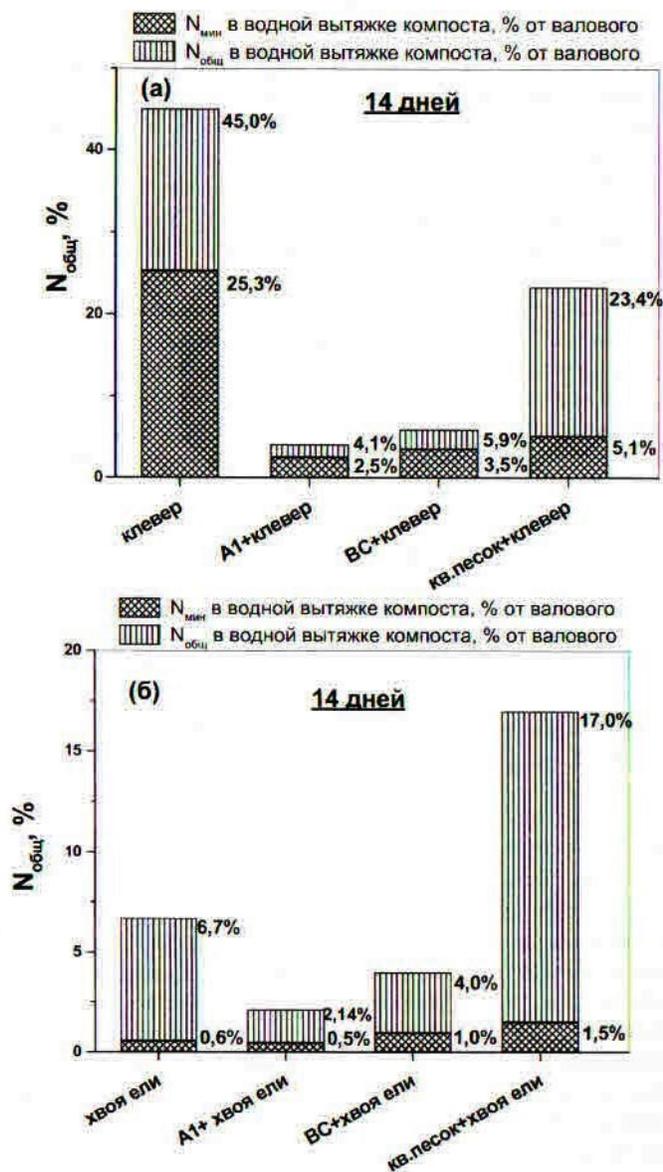


Рис. 2. Содержание водорастворимых веществ в компостах (15-й день компостирования)

Сравнительно высокое содержание соединений азота в вытяжках из растительных компостов и компостов с кварцевым песком свидетельствует о его потенциальной подвижности в лесных подстилках и при контакте растительной массы с грубодисперсным минеральным субстратом. В подобных условиях соединения азота могут быть легко вымыты атмосферными осадками, поглощены корнями растений или гифами грибов. Общий характер протекающих процессов и их направленность не зависели от качества растительных остатков и были в основном обусловлены влиянием абиогенного фактора – контактом с минеральными субстратами или его отсутствием.

Перед измерением величины Eh точечными платиновыми электродами срочного введения компосты перемешивали, что, в соответствии с данными работы (Булыгин, Байрак, 1991), позволяло считать, что производится оценка Ох-Red процессов в общей массе компоста (в межгагатном пространстве) и аэробных условиях. Полученные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-химические параметры компостов

Компост	$pH_{H_2O}$	Eh, мВ	Eh7*
A <sub>1</sub>	6,70	500	485
BC	6,50	686	551
Клевер	9,24	297	426
A <sub>1</sub> +клевер	7,46	482	510
BC+клевер	8,30	303	371
Кв.песок+клевер	9,33	269	403
Хвоя ели	5,90	520	450
A <sub>1</sub> +хвоя ели	6,08	541	485
BC+хвоя ели	5,63	513	429
Кв.песок+хвоя ели	6,20	541	498

\* Eh7(Ох-Red потенциал) влажных компостов (60% ПВ) в пересчете на pH=7, по Роуэлу, 1998.

Внесение клевера приводило к подщелачиванию среды компостов и падению Ох-Red потенциала (Рис. 3), что соответствует ранее полученным данным (Кауричев, 1975). Как видно из Рис.3, высокая отрицательная корреляционная зависимость наблюдалась между величинами Eh и pH ( $R=-0,93$ ) на начальных этапах разложения растительных остатков, как для чистых, так и для смешанных компостов. Компосты клевера обладали щелочной реакцией (pH=9,24), при этом величина Eh составляла лишь 297 мВ. Буферные свойства гумусового горизонта A<sub>1</sub> снижали влияние клевера (pH=7,46; Eh=482 мВ), в то время, как компо-

сты клевера с материалом горизонта ВС и с кварцевым песком по своим физико-химическим характеристикам приближались к чистым компостам клевера. Хвоя ели не оказывала существенного влияния на реакцию среды и Ох-Red условия в смешанных компостах. (Табл.1, Рис.3). Причину наименьшего подщелачивающего действия хвои ели авторы работы (Кауричев и др., 1975) объясняют тем, что опад хвойных пород обычно продуцирует больше органических кислот, поэтому хвойные добавки уменьшают значения рН больше, чем лиственные.

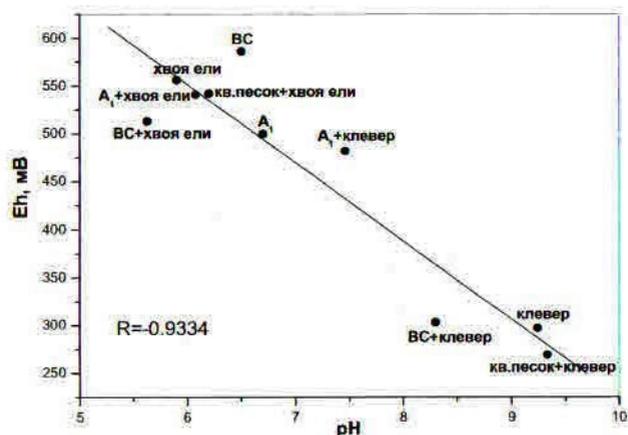


Рис. 3. Соотношение между рН и Ох-Red потенциалом

Ох-Red потенциал сложным образом зависит от водородного показателя среды, поскольку при участии в окислительно-восстановительных процессах ионов водорода их активность входит в уравнение Нернста и вносит вклад в величину Eh (Кауричев, Орлов, 1982). Это обстоятельство часто не позволяет сравнивать между собой системы, различные по величине рН, и судить о возможном ходе развития в них Ох-Red процессов. В связи с этим, имеет практическое значение приведение измеренных величин Eh к таким значениям окислительного потенциала  $Eh^7$ , которые могли бы иметь данные образцы при нейтральной реакции среды ( $pH=7$ ) (Роуэл, 1998). На Рис. 4 представлена корреляционная зависимость величин  $Eh^7$  от состава изученных компостов. Видно, что развитие умеренных восстановительных процессов (в соответствии с градацией развития окислительно-восстановительных условий, предложенной И.П. Сердобольским, цит. по Орлов, 1985) происходило при добавлении растительных остатков обоих типов (как клевера, так и хвои ели) к материалу горизонта ВС и к кварцевому песку

(только в случае клевера). Для чистых материалов гор. ВС и А<sub>1</sub>, а также компостов с гор. А<sub>1</sub> были характерны окислительные процессы.

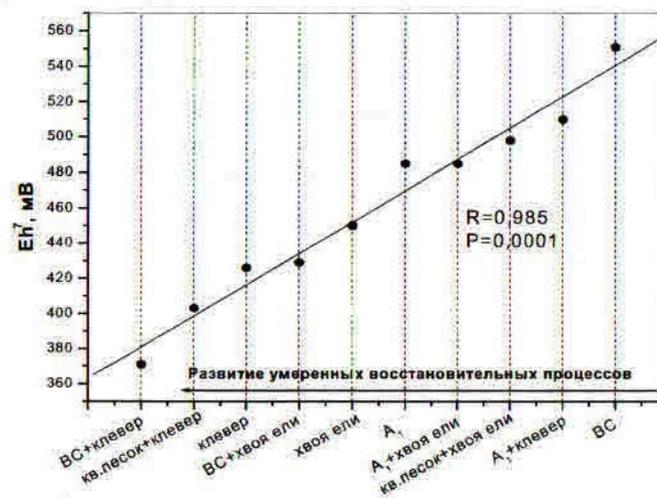


Рис. 4. Величины  $Eh^7$  в изученных компостах

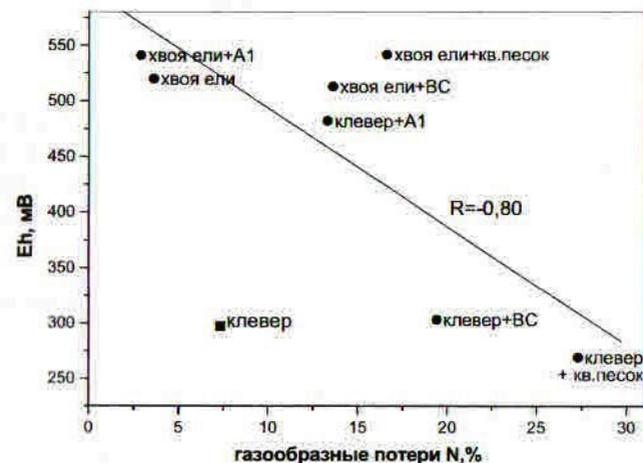


Рис. 5. Соотношение между Ох-Red потенциалом и относительным количеством газообразных потерь азота компостами

В соответствии с рис.5, очевидна взаимосвязь величины  $E_h$  с относительным количеством газообразных потерь азота на начальных стадиях разложения растительных остатков. Коэффициент корреляции зависимости  $E_h$  - газообразные потери N составляет  $R=-0,80$ . Исключения составляют чистые компосты быстро разлагаемых растительных остатков клевера, динамика и направление процессов трансформации азота в которых отличается от таковой для органоминеральных смешанных компостов. Таким образом, величина окислительно-восстановительного потенциала может служить для оценки общего направления процессов трансформации азота.

### Выводы

Динамика и механизм разложения растительных остатков без контакта с почвообразующей породой (при имитации разложения опада в подстилке) существенным образом отличаются от таковых для органоминеральных компостов, при этом существенное значение имеет тип и свойства растительных остатков.

Для смешанных органоминеральных компостов выявлено существенное влияние природы минеральной составляющей компостов на скорость и направление процессов трансформации растительных остатков. Увеличение газообразных потерь азота на начальных стадиях разложения обоих типов растительных остатков наблюдалось в ряду: растительные остатки +  $A_1$  < растительные остатки +  $BC$   $\ll$  растительные остатки + кварцевый песок. Наличие материала гумусового горизонта  $A_1$  сокращало потери азота.

Ввиду выявленной взаимосвязью величины  $E_h$  с относительным количеством газообразных потерь азота компостами на начальных стадиях разложения растительных остатков, окислительно-восстановительный потенциал может служить для оценки общего направления процессов трансформации азота.

*Работа осуществлена при частичной финансовой поддержке проектов ИНТАС 2001-0512 и 2001-0633*

### Литература

1. Булыгин С.Ю., Байрак Н.В. Методы определения окислительно-восстановительного потенциала в почве // Почвоведение. 1991. №3. С.131-137.
2. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982.

**Министерство сельского хозяйства  
Российской Федерации**  
**Санкт-Петербургский  
Государственный аграрный университет**

**Гумус  
И  
Почвообразование**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**Санкт-Петербург  
2003**