

МИНЕРАЛИЗАЦИЯ АЗОТА СТЕРНЕВОЙ МАССЫ В МЕРЗЛОТНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Г.П. Гамзиков, *акад. РАСХН, Новосибирский ГАУ, Л.В. Будажапов, к.б.н., Бурятская ГСХА*

Резюме. На основе микрополевого опыта с использованием ^{15}N представлена панорама статистических показателей минерализации азота стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве криолитозоны Забайкалья, на основе которой построены модели этого процесса и выведена региональная константа (k) скорости его минерализации и рассчитан период полураспада, стабилизации и полного распада..

В жестких эколого-почвенных режимах мерзлотного земледелия Забайкалья (вечная мерзлота, отрицательный внешний и внутрипочвенный теплообмен, дефицит поступления органической массы и слабые темпы ее минерализации, скудный микробный ценоз, ограниченный период биологической активности) минерализация азота стерневых остатков является в настоящее время одним из реальных источников поддержания хрупкого почвенного плодородия. Функционирование мерзлотной лугово-черноземной почвы, на долю которой приходится почти 3/4 пахотных угодий криолитозоны Забайкалья, по тепло-, влаго- и энерго-оборотам [1, 2, 3] и состоянию ее азотного фонда [4-6] характеризуется высокой экстремальностью и вариабельностью при высоком разбросе этих показателей вокруг математического ожидания.

В этой связи оценка константы (k) скорости минерализации азота стерневой массы в этой мерзлотной почве представляла несомненный интерес, поскольку позволяет прогнозировать течение процесса как по величине, так и по темпам и создает предпосылки для поддержания азота этой почвы.

Результативность исследований достигнута в условиях микрополевого опыта в сосудах объемом 30×30×40 см на мерзлотной лугово-черноземной почве Бурятии в период 1996-2000 гг. при разовом внесении меченой по ^{15}N стерневой массы ячменя, которая получена после уборки 1995 г. с варианта $\text{P}_{40}\text{K}_{40} + ^{15}\text{N}_{60}$, в три повторности варианта без удобрений (контроль). Благодаря этому почва в контрольном варианте была немеченой (^{14}N), а вносимая в нее растительная масса – меченой по ^{15}N . Последнее позволило оценить изменение содержания азота в стерневых остатках во времени путем разделения его на N общий и его лабильные ^{15}N компоненты и рассчитать кинетическую константу (k) минерализации этих разных по подвижности азотистых соединений стерни в мерзлотной почве при отсутствии растений. Содержание общего азота в стерне определяли по Кьельдалю-Йодльбауэру, а его изотопный состав (^{15}N) на масс-спектрометре (МИ-1201В). Статистическую оценку и построение математико-статистических моделей проводили по общепринятым методикам [7-9] с использованием программ Match CAD 2001.

Разложение стерневых остатков в лугово-черноземной мерзлотной почве сопровождалось, независимо от эколого-почвенного состояния мерзлотной лесостепи по годам, ежегодным снижением содержания азота в них, статистики которого были различными по величине, доверительным границам, величине варьирования и дисперсии (табл. 1). Согласно этому, отметим ряд позиций, которые отражали специфику его минерализации в этих режимах.

Первая состоит том, что, несмотря на ярко выраженный мерзлотный характер функционирования этой почвы и высокую лигнинофицированность стерневых остатков, статистики изменения общего азота в них при очень незначительном его присутствии оказались достаточно высокими. За пять лет его содержание снизилось почти на 3/4 исходного и только 1/4 оставалась в виде органических соединений этой массы (табл.1). Причем, наибольшими эти показатели были на третий год (1998) и составили 2,05 мг или более половины исходного

(53,1%), его присутствие к этому времени в среднем не превышало $1,81 \pm 0,04$ мг. В последующем размеры минерализации азота оказались незначительными и уже к пятому году (2000) его содержание в среднем составило $0,97 \pm 0,03$ мг/г.

1. Условия и показатели оценки ($n = 6$ и $\alpha = 5\%$) минерализации азота, мг/г, стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве криолитозоны Забайкалья								
n	Год	w, мм	tn, °C	M ± m	lim	σ	M ± tm	V, %
1	1996	189,7	12,56	3,86 ± 0,07	3,68-4,18	0,18	3,68-4,04	4,59
2	1997	316,5	13,64	3,37 ± 0,05	3,11-3,58	0,13	3,23-3,51	3,82
3	1998	325,7	13,04	1,81 ± 0,04	1,68-1,93	0,10	1,71-1,85	5,35
4	1999	234,1	14,32	1,55 ± 0,05	1,45-1,72	0,13	1,42-1,68	8,06
5	2000	347,9	14,48	0,97 ± 0,03	0,88-1,06	0,07	0,90-1,04	7,11
Среднее		262,3*	9,08*	2,31 ± 0,55	0,88-4,18	1,24	0,77-3,85	53,7
Примечание. Среднемультилетние ($n=28$); w – осадки и tn – температура пахотного слоя за сезон; НСР ₀₅ 0,277								

Вторая связана с тем, что высокие темпы минерализации азота стерневых остатков в этих жестких режимах оценки сопровождалась незначительной вариабельностью ($V < 8,1\%$) и характеризовались очень низким разбросом его величин ($D < 0,032$) вокруг математического ожидания ($P_{0,95}$) при очень узком интервале доверительных значений на момент времени.

Третья определялась тем, что теснота связи (r) показателей минерализации азота стерни с температурами мерзлотной почвы на глубине пахотного ее слоя (tn) оказалась высокой ($r = 0,83 \pm 0,3$) и статистически значимой ($t_f > t_{st}$), а с осадками (w) – слабой ($r = 0,32 \pm 0,6$) и осталась не выявленной ($t_f < t_{st}$). Отсюда вполне резонно заключить, что минерализация азота этих остатков более определялась показателями первой позиции, что подтверждает ключевую роль теплового ее состояния и в процессах превращения азота.

Математическое воспроизведение минерализации азота ($N_{\text{общ. стерни}}$, мг) стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве при их распаде описывалось регрессией, выражаемой по типу экспоненциальной функции:

$N_{\text{общ. стерни}} = 5,90 e^{-0,354 t}$, где 5,90 – константа или количество азота стерни, потенциально способное к минерализации в мерзлотной почве; e – основание натурального логарифма; 0,354 – константа (k) скорости минерализации общего азота стерневой массы. Последняя в этой оценке представлена впервые и характеризует региональную кинетику (k) процесса в эколого-почвенных режимах мерзлотного земледелия Забайкалья. Причем, по своей величине эта константа ($k = 0,354 \text{ год}^{-1}$) была в n – раз ниже аналогичной ($k = 1,443 \text{ год}^{-1}$) для почв сезонно-мерзлотного ряда [10]. Качество этой модели было высоким – средняя ошибка аппроксимации (A) составила 3,2% с индексом детерминации – $R^2 = 0,963$.

Соответственно выведенной модели рассчитан период минерализации азота наполовину ($1/2$ исходного), который наблюдался в течение первых трех лет (табл. 2). При этом время стабилизации следует ожидать на седьмой год, а полной минерализации лишь на 12 год с пределом обнаружения менее 0,1 мг.

2. Прогноз периода полураспада азота, поступающих стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве криолитозоны Забайкалья											
Признак	Предел обнаружения азота в стерневой массе, мг/г										
Время, лет	1,0	2,0	3,0*	4,0	5,0	6,0	7**	8,0	9,0	10,0	12***
N _{общ.} %	4,14	2,91	2,04	1,43	1,00	0,70	0,49	0,35	0,24	0,17	0,08
исходн.	100	70,3	49,3	34,5	24,2	16,9	11,8	8,45	5,80	4,11	1,93
* минерализация азота наполовину; ** время стабилизации; *** полная минерализация											

Достаточно ограниченные кинетические возможности минерализации азота стерневой массы компенсировались более высокими размерами и темпами минерализации его лабильных ¹⁵N компонентов, подвижность которых была выше, несмотря на очень незначительное их присутствие (табл. 3).

3. Статистики минерализации лабильного азота стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве криолитозоны Забайкалья, мг/100 г									
Признак оценки		Время оценки и содержание ¹⁵ N				Статистики, n = 5			
		1996	1997	1998	1999	2000	M±m	σ	V, %
N _{общ.}		385,6	336,9	180,5	154,9	96,7	230,9 ±55,3	123,7	53,7
¹⁵ N	мг	2,054	0,665	0,185	0,097	0,046	0,609 ±0,38	0,84	138,6
	%*	100,0	32,4	9,01	4,74	2,22	29,7 ±18,3	41,1	138,4
	%**	0,53	0,20	0,10	0,06	0,05	0,19 ±0,09	0,20	105,4
* от исходного ¹⁵ N стерни; ** от N _{общ.} стерни; HCP ₀₅ ¹⁵ N 0,0478									

При общей направленности минерализации общего азота и лабильных ¹⁵N компонентов стерневых остатков во времени в равных эколого-почвенных режимах этой оценки, статистические показатели последней характеризовались рядом специфических проявлений, которые ранее в силу ряда причин не могли получить должной оценки. Соответственно этому, выделим некоторые.

4. Прогноз периода полураспада лабильных ¹⁵ N компонентов стерневых остатков в мерзлотной лугово-черноземной почве криолитозоны Забайкалья											
Признак	Предел обнаружения ¹⁵ N в стерневой массе, мг/г										
Время, лет	1,0	1,5	1,75*	1,8**	2,0	2,5	3,0	3,5	4***	4,5	5,0
¹⁵ N стерни	1,73	1,07	0,85	0,81	0,67	0,41	0,26	0,16	0,10	0,06	0,04
% исходн.	100	62,0	48,9	46,5	38,7	23,9	14,9	9,23	5,73	3,56	0,05
* полураспад ¹⁵ N стерни; ** стабилизация; *** полная минерализация											

В результате период минерализации лабильных ¹⁵N компонентов стерневой массы в мерзлотной почве наполовину составил 1,75 года при стабилизации через 1,8 года и полной его минерализацией на четвертый год. И в этом смысле минерализация этих азотистых компонентов в отличие от общего азота шла как минимум вдвое быстрее по каждому периоду их оценки. Отсюда, и возможности их участия в поддержании плодородия этой почвы в целом и азотного ее фонда в частности оцениваются выше.

Таким образом, панорама статистических показателей минерализации азота стерневых остатков оказалась различной по общему азоту и его лабильным компонентам. Причем, при общей высокой их сопряженности ($r = 0,87 \pm 0,3$) с равным характером снижения во времени (регрессия экспоненты), константа (k) скорости их минерализации была различной: $k = 0,354 \text{ год}^{-1}$ и $k = 0,952 \text{ год}^{-1}$. Соответственно, и период минерализации последних наполовину или их полураспада, стабилизации и, особенно, полного распада проходил значи-

тельно быстрее, нежели первого в равных условиях мерзлотного земледелия региона.

Во-первых, размеры ежегодного их снижения во времени в среднем составили $0,61 \pm 0,4$ мг и отличались очень высокой вариабельностью при незначительном разбросе их величин вокруг математического ожидания – $D = 0,706$. Отсюда, значимое снижение лабильных ¹⁵N компонентов стерневой массы при их минерализации обеспечивалось низкой дисперсией (D), несмотря на очень высокую их вариабельность.

Во-вторых, эта оценка характеризовала более высокие темпы минерализации лабильных ¹⁵N компонентов стерни. При незначительном их содержании (0,53% от N_{общ.}) их присутствие за первый год снизилось на 32,4% от исходного и составило 0,665 мг, а к концу пятого года (2000) не превышало 0,05 мг или 2,2% от исходного содержания ¹⁵N или в виде следов (0,05%) от N_{общ.}

В третьих при всех различиях в статистических показателях степень сопряженности (r) минерализации общего азота и его лабильных ¹⁵N компонентов в общих для них жестких эколого-почвенных режимах была сильной ($r = 0,87 \pm 0,3$) и статистически значимой ($t_f > t_{st}$). Отсюда, высокая теснота связи (r) минерализации разных по природе и подвижности азотистых компонентов стерни, даже в ярко выраженных мерзлотных условиях, очевидна.

Математико-статистическая модель минерализации лабильных азотистых ¹⁵N компонентов стерни описывалась ($A = 5,3\%$, $R^2 = 0,981$) в виде экспоненты: ^{15}N стерни, мг = $4,479 e^{-0,952 t}$, где 4,479 – константа или количество лабильного азота стерни, потенциально способного к минерализации; e – иррациональное число; t – порядковый номер года его минерализации; 0,952 – константа (k) скорости минерализации ¹⁵N компонентов. В этой модели, величина последней отражала региональную их кинетическую константу ($k = 0,952 \text{ год}^{-1}$), представленную мобильными азотистыми компонентами стерневой массы, оценка которой дана впервые. По своей величине она оказалась более чем вдвое выше аналогичной по ее общему азоту ($k = 0,354 \text{ год}^{-1}$) и на несколько порядков ниже ($k = 3,979 \text{ год}^{-1}$) для почв сезонно-мерзлотного ряда [10].

В соответствии с моделью минерализации лабильных компонентов азота, рассчитан период их минерализации наполовину (1/2 исходного), а также стабилизации процесса и полного их распада в мерзлотной почве (табл. 4).

Литература

1. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. – М.: Наука, 1964. – 314 с.
2. Куликов А.И., Панфилов В.П., Дугаров В.И. Физические свойства и режимы лугово-черноземных почв Бурятии. – Новосибирск: Наука, 1986. – 136 с.
3. Куликов А.И., Дугаров В.И., Корсунов В.М. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1997. – 312 с.
4. Гамзиков Г.П., Мангатаев Ц.Д., Пигарева Н.Н. Плодородие лугово-черноземных почв. – Новосибирск: Наука, 1991. – 133 с.
5. Пигарева Н.Н. Азотный фонд мерзлотных почв Бурятии // Агрохимия. – 1998. – №7. – С. 12-19.
6. Пигарева Н.Н., Корсунов В.М. Агрохимия почв криолитозоны Забайкалья. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2004. – 203 с.
7. Савич В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении. – М.: ТСХА, 1972. – 105 с.
8. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 293 с.
9. Савич В.И., Сычев В.Г., Трубицина Е.В. Химическая автография системы почва – растение. – М.: ЦИ-НАО, 2001. – 275 с.
10. Будажапов Л.В. Азотминерализующий потенциал сезонно-мерзлотной каштановой почвы в земледелии сухой степи Забайкалья. – М.: ВНИИА, 2006. С. 14-17.

