

АГРОЭКОЛОГИЯ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Известия ТСХА, выпуск 4, 2003 год

УДК 631.445.4:631.811.1

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АЗОТНОГО ФОНДА ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Н. Ф. ГАНЖАРА, Е. В. НАДЕЖКИНА, С. М. НАДЕЖКИН

(Кафедра почвоведения)

Рассматриваются особенности азотного режима черноземов центральной лесостепи Приволжской возвышенности. Приводится количественная оценка изменений азотного фонда под влиянием длительного сельскохозяйственного использования. Показано, что способность почв региона к высвобождению минерального азота зависит как от их генетических особенностей, так и от количества легкоминерализующихся компонентов.

Известно, что азот играет важную роль в функционировании природных и агроэкосистем. Успешное решение проблемы рационального использования почвенных ресурсов азота, включая ее экологические аспекты, возможно только при изучении процессов, обуславливающих трансформацию его во внутривершинном цикле, а также при всесторонней оцен-

ке азотного фонда почв конкретных регионов.

Несмотря на то, что традиционные вопросы агрохимии азота черноземных почв в настоящее время рассмотрены в ряде крупных монографий [3, 5, 6, 9, 10 и др.], азотный фонд черноземов центральной лесостепи Приволжской возвышенности остается недостаточно исследованным. Поэтому целью

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 03-04-49314.

настоящей работы было изучить азотный фонд черноземов и его трансформацию в естественных и агроценозах.

Методика

Объектом исследований были черноземы оподзоленные, выщелоченные и типичные, являющиеся основными почвами центральной лесостепи Приволжской возвышенности. Территория ее расположена между $51^{\circ}40'$ — $55^{\circ}10'$ с. ш. и $42^{\circ}10'$ — $49^{\circ}50'$ в. д. и включает правобережную часть Ульяновской обл., северную часть правобережья Саратовской, Самарскую луку и Пензенскую обл.

Изучение азотного фонда проводилось в образцах почвы парных разрезов (целина, залежь — пашня), заложенных в период маршрутных экспедиций в 1985-1998 гг., стационарных наблюдений в заповеднике «Приволжская лесостепь», а также в стационарных полевых и микрополевых опытах в 1980—2002 гг.

При определении содержания азота использовали следующие методы анализа: общего — по Кьельдалю; азота фракций и групп гумуса — по Тюрину в модификации Пономаревой-Плотниковой; фракционный состав — по Шконде-Королевой; легко-разлагаемого органического

вещества (ЛЮБ) — путем выделения по методу Ганжары с соавт., с последующим определением по Кьельдалю; минеральные формы: фиксированный аммоний — по Могилевкиной; NO_3 — по Грандваль-Ляжу; NH_4 — реактивом Несслера [1, 4].

Результаты

Закономерности гумусо- и азотонакопления, установленные многими исследователями для лесостепной зоны страны, находят подтверждение в почвенном покрове Приволжской возвышенности. Для черноземов этого региона характерно высокое содержание общего азота (табл. 1). Как следует из результатов статистической обработки данных типичных разрезов, среднее содержание азота в верхнем (0—20 см) горизонте пахотных выщелоченных черноземов составляет 0,419% (с колебаниями от 0,312 до 0,543%), оподзоленных — 0,275 (0,239-0,313) и типичных — 0,424% (0,372—0,434).

Региональные абиотические условия почвообразования накладывают отпечаток на количественный и качественный состав азотистых соединений в почвах. В этих черноземах отмечается более высокое содержание азота в

**Содержание и запасы углерода и общего азота в черноземах
центральной лесостепи Приволжской возвышенности**

Показатель	Подтип чернозема				
	оподзоленный, n = 28	выщелочен- ный, n = 42	типичный, n = 21		
Содержание в слое 0-20 см, %:	C	4,63±0,57 (1)	6,50±0,68	6,06±0,62	
		3,22±0,29 (2)	5,20±0,43	4,96±0,41	
	N	0,393±0,043 (1)	0,524±0,048	0,518±0,041	
		0,275±0,037 (2)	0,419±0,028	0,424±0,031	
C:N в слое 0-20 см		11,7±0,8	12,4±1,0	11,7±0,8	
Запасы, 0-20 т/га, в	C	77±6,5	116±9,5	114±9,0	
	N	6,07±0,70	9,52±1,08	9,68±0,82	
слое, см: 0-50	C	156±13,7	245±23,8	238±18,5	
	N	14,42±1,24	22,08±2,07	22,06±1,97	
0-100	C	223±14,2	345±19,3	356±17,7	
	N	22,52±1,87	35,32±2,18	36,64±2,56	

Примечание. 1 — целина, 2 — пашня.

метровом слое по сравнению с аналогичными почвами ЦЧО и Западной Сибири [3, 10].

В зависимости от характера материнских пород, особенностей климата и других условий почвообразования снижение содержания общего азота вниз по профилю происходит по-разному. В поволжских черноземах оно более резкое, чем в черноземах ЦЧО и Предуралья. Для целинных черноземов характерно высокое и очень высокое содержание этого элемента (0,393-0,524% в верхнем слое).

При вовлечении черноземов в сельскохозяйственное использование отмечается изменение содержания общего азота по сравнению с целинными аналогами. Наиболее четко это проявляется в зависимости от подтиповых особенностей. Так, в черноземах оподзоленных резко (на 30-19%) по сравнению с целиной происходит уменьшение содержания азота в слоях 0-20 и 20-50 см. Снижение его количества по профилю в пахотных выщелоченных и особенно типичных черноземах проис-

ходит более равномерно. Снижение содержания запасов азота связано с усилением минерализации гумуса под влиянием механических обработок, выносом азота из почвы с урожаями, частичным выщелачиванием в грунтовые воды, потерями при водной эрозии, а также из-за денитрификации.

Гумус всех подтипов черноземов лесостепи Поволжья характеризуется относительно низкой обогащенностью азотом и в них наблюдаются близкие величины отношения C:N. Отношение углерода к азоту в верхнем (0-20 см) горизонте составляет 11,7—12,4, что свойственно почвам умеренных широт. В подпахотном и нижележащих слоях это отношение сужается до 10,8-11,1 и больше. Факт сужения C:N с глубиной отмечен многими

исследователями [7, 9], что связано с увеличением содержания фиксированного аммония, который переходит в вытяжку при определении общего азота.

Экспериментальные данные показали, что основное количество азота (до 85-88%) от общего содержания сосредоточено в гумусе и определяется генетическими особенностями почв. Количество азота в гуминовых кислотах в пахотном слое почв составляет 36-45%, в фульвокислотах — 19-24%. Доля его в негидролизуемом остатке, характеризующемся наибольшей устойчивостью к гидролизу, не превышает 33,5-37% общего азота, выделенного в процессе фракционирования (табл. 2).

Наибольший интерес представляет распределение азота по фракциям внутри каж-

Т а б л и ц а 2

Распределение азота по группам гумусовых веществ в черноземах лесостепи Приволжской возвышенности, слой 0-20 см

Группа гумусовых веществ	Подтип чернозема					
	оподзоленный, n = 11		выщелоченный, n = 19		типичный, n = 12	
	X±tm	V, %	X±tm	V, %	X±tm	V, %
Гуминовые кислоты	40,9±4,1	23	41,8±1,8	25	44,2±1,9	17
Фульвокислоты	23,7±2,8	28	20,7±2,1	27	19,1±1,8	24
Негидролизуемый остаток	35,4±3,2	31	37,5±3,3	32	36,7±2,9	26
$N_{гк}:N_{фк}$	1,68±0,13	22	2,01±0,12	18	2,31±0,13	18

П р и м е ч а н и е . X±tm — азот в % общего содержания гумуса.

дой группы гумусовых соединений. Отличительной особенностью исследуемых почв является невысокое содержание азотистых соединений в первой фракции гуминовых кислот (4,5-6,7%). Основная часть азота гумуса (60-72% суммарного содержания в этой группе) представлена прочносвязанными соединениями второй фракции гуминовых кислот, предположительно связанными с кальцием (табл. 3).

Способность азота гумусовых веществ к минерализации неодинакова, она зависит от прочности связи его в гумусовых кислотах. Гумусовые соединения второй и третьей фракций гуминовых кислот относятся к более «зрелым» в генетическом отношении, являются сильно дегидрированными соединениями, азот в них находится в гетероциклической форме, мало подвержен гидролизу и неактивно участвует в процессе минерализации. Азот, входящий в состав более

«молодых» органических соединений первой фракции, представлен аминокислотами, амидами, аминосахарами, обладает менее прочной связью в молекуле этих веществ и возможность участия его в процессе минерализации и в дальнейшем использовании растениями более вероятна [2, 5, 8].

Содержание азота во фракциях агрессивных фульвокислот (1а) и связанных с подвижными полтораоксидами (1) составляет соответственно 1,3-2,1 и 6,1-10,1%.

Распашка и длительное сельскохозяйственное использование черноземов вызывают изменения в естественном ходе процессов углеродо- и азотонакопления. Исследования, проведенные на территории заповедника «Приволжская лесостепь» и в непосредственной близости к ней, показали, что распашка как оподзоленного, так и выщелоченного чернозема вызвала снижение содержания азота, но практически

Т а б л и ц а 3

Содержание азота во фракциях гумусовых кислот черноземных почв, % азота гумуса

Подтип чернозема	Количество образцов	Фракции ГК			Фракции ФК			
		1	2	3	1а	1	2	3
Оподзоленный	7	6,7	24,7	9,5	2,1	10,1	4,0	7,5
Выщелоченный	14	4,5	30,1	7,2	1,7	7,1	3,6	8,3
Типичный	5	4,5	31,9	7,8	1,3	6,1	3,5	8,2

не сказалась на распределении по группам гумуса. Более заметны изменения в содержании азота внутри групп, что проявляется, с одной стороны, в снижении его количества в подвижных компонентах гумуса (фракции ГК-1, ФК-1а и ФК-1), с другой — в увеличении в более конденсированной части (второй и третьей фракциях гуминовых и фульвокислот).

Фракционный состав азота, определенный методом последовательного кислотного гидролиза, показал, что, в целинных почвах большая часть азота (от 68,8% в оподзоленных до 73,7% в типичных черноземах) входит в состав трудно- (ТГ) и негидролизуемых (НГ) фракций. Доля азота легкогидролизуемой (ЛГ) фракции в слое 0-20 см типичного чернозема составляет — 10,3%, выщелоченного — 9,2 и оподзоленного — 8,6% общего азота. При этом отношение азота ЛГ к сумме ТГ и НГ увеличивается с 0,095 до 0,116, что свидетельствует о большей способности азотсодержащих соединений в оподзоленном черноземе к минерализации.

В агроценозах доля азота легкогидролизуемой фракции возрастает на 2,3—3,6% по сравнению с содержанием его в естественных ценозах. Увеличивается количе-

ство минерального азота и соответственно снижается доля ТГ и НГ фракций. Изменения водно-воздушного режима и биологической активности усиливают трансформацию гидролизуемых азотсодержащих соединений, но при этом снижается аммонифицирующая и нитрифицирующая способность почв. Во всех изучаемых подтипах чернозема эти показатели были в два и более раза ниже, чем в целинных аналогах.

Исследования показали, что минеральный азот представлен в основном необменным аммонием. Количество его составляет от 78% в оподзоленном до 81% в типичном черноземе к общему содержанию минерального азота в верхнем слое почвы. Распределение $\text{NH}_4^{\text{необм}}$ по профилю неравномерно: основная масса сосредоточена в слое 0-20 см, причем в целинных почвах его на 3,7-4,9% больше, чем в распаханых. Количество этого азота изменяется под действием агротехнических приемов, в том числе и при систематическом применении удобрений.

Содержание наиболее мобильных форм азота (нитратов и обменного аммония) при распашке и длительном сельскохозяйственном использовании почв значительно возрастает по сравнению

с уровнем в целинных аналогах.

Наибольшее количество обменного аммония сосредоточено в пахотном горизонте выщелоченных черноземов, несколько меньшее — в оподзоленных и типичных (табл. 4). Вниз по профилю этих почв содержание его

снижается достаточно резко.

Количество обменного-поглощенного аммония в почвах — величина относительно постоянная. Направленность динамики его содержания в черноземах Поволжья в течение вегетационного периода в пару и под растениями, примерно, одинаковая. Наи-

Т а б л и ц а 4

Распределение минерального азота по профилю черноземных почв лесостепи Приволжской возвышенности

Слой почвы, см	Содержание минерального азота, мг/кг			Запасы N _{мин} , кг/га
	N-NO ₃	N-NH ₄	сумма N _{мин}	
<i>Оподзоленный, n = 21</i>				
0-20	15,2±4,5	8,9±2,3	24,1±3,5	53,5±7,8
20-40	4,4±2,1	8,3±2,1	12,7±1,8	31,8±4,5
40-60	2,3±0,9	6,2±1,5	8,5±1,4	22,9±3,8
60-80	0,7±0,2	2,2±0,5	2,9±0,6	8,0±1,6
80-100	0,2±0,1	1,2±0,3	1,4±0,2	3,9±0,6
0-100				120±18,3
<i>Выщелоченный, n = 45</i>				
0-20	20,1±9,5	10,6±3,1	30,7±8,8	67,5±19,5
20-40	6,3±2,3	9,5±2,8	15,8±3,1	39,5±7,8
40-60	4,2±1,2	9,1±2,5	13,3±2,4	35,9±6,5
60-80	0,9±0,3	4,2±0,9	5,1±1,1	14,1±3,0
80-100	0,3±0,2	1,8±0,8	2,1±0,9	5,9±2,5
0-100				162,9±39,3
<i>Типичный, n = 16</i>				
0-20	18,5±10,3	7,9±2,1	26,4±9,2	58,2±20,4
20-40	6,7±3,1	9,1±2,2	15,8±2,8	39,5±14,0
40-60	3,3±1,1	8,9±1,6	12,2±1,5	32,9±4,0
60-80	2,4±0,7	6,7±0,5	9,1±0,6	25,1±1,6
80-100	0,3±0,2	2,5±0,5	2,8±0,3	7,9±0,8
0-100				164,0±40,8

Примечание. Образцы почв отобраны в Пензенской, в правобережье Ульяновской, Самарской и Саратовской областей, разрезы заложены в период наибольшей биологической активности (июнь-июль) на паровых полях.

большее количество отмечается весной (в период возобновления весенней вегетации озимых), затем, вследствие потребления растениями и усиления окисления его до нитратов, оно снижается к середине лета и остается постоянным до конца вегетационного периода.

Экспериментальные данные показывают, что под растениями (в зависимости от их биологических особенностей) количество $N-NH_4^+$ несколько меньше, чем в почве чистого пара. В среднем за 5 лет наблюдений в пахотном слое чернозема выщелоченного под кукурузой было 15,8 мг/кг воздушно-сухой почвы, ячменем — 12,1, горохом — 13,5, многолетними травами — 9,6, озимой пшеницей — 12,9, в чистом пару — 20,9 мг/кг $N-NH_4$.

В условиях Поволжья наибольшее содержание $N-NO_3$ выявлено в пахотном слое черноземов выщелоченных, далее идут типичные и оподзоленные черноземы. С глубиной количество этого азота, как правило, снижается.

Нитратный азот в условиях черноземов Поволжья с кислой реакцией среды является формой, лучше используемой растениями, но он и более подвижен по сравнению с аммонийным. Известно, что эта форма быстрее теряется при вымы-

вании и более доступна для редукции в закись азота (N_2O) или N_2 при денитрификации. С этих позиций нитрификация может считаться отрицательным явлением.

Изучение процессов миграции $(^{15}NH_4)_2SO_4$ при внесении на глубину 10, 30, 60 и 90 см показало, что в условиях периодически промывного водного режима (среднегодовое количество осадков 400-450 мм) с увеличением продолжительности взаимодействия меченого азота с почвой происходит как нисходящее, так и восходящее передвижение азота в почвенном профиле.

Особенности вертикального распределения азота определяются складывающимся водным режимом. В годы недостаточного и нормального увлажнения обычная глубина промачивания черноземов тяжелого гранулометрического состава в Среднем Поволжье ограничивается 80-130 см. И только в очень влажные годы возможны более глубокое промачивание и миграция азота во второй метр.

Содержание $N-NO_3$ изменяется во времени: минимум отмечается весной, максимум — в середине лета, к осени количество его снова уменьшается. Интенсивность мобилизационных процессов, при которых накапливается нитратный азот, зависит от

целого ряда факторов (почвенно-климатических, биологических особенностей культур, технологии их выращивания), многие из которых поддаются количественной оценке и частичному регулированию.

Система обработки почвы и применение удобрений существенно влияют на режим нитратного азота. Пятилетнее изучение этого режима в полевом опыте с внесением разных видов удобрений на черноземе выщелоченном Пензенской обл. позволило выявить следующие закономерности: в пахотном слое неудобренного пара минерализация органического вещества идет достаточно интенсивно, благодаря чему к посеву озимых культур накапливается на 1 га до 150-180 кг нитратного азота. При

заделке в почву биомассы сидеральных культур количество его возрастает по сравнению с неудобренным паром. Полуперепревший навоз и бобовый сидерат значительно увеличивают содержание азота в пахотном слое; солома в первый год взаимодействия с почвой несколько тормозит темпы накопления $N-NO_3^-$; разница в содержании азота на удобренных вариантах (в зависимости от вида удобрений) сохраняется в течение последующих 3-4 лет.

Вышеизложенные материалы позволяют заключить, что азотный фонд черноземов центральной части лесостепи Приволжской возвышенности сложен и представлен различными по составу и свойствам соединениями (рисунок, табл. 5). Большая

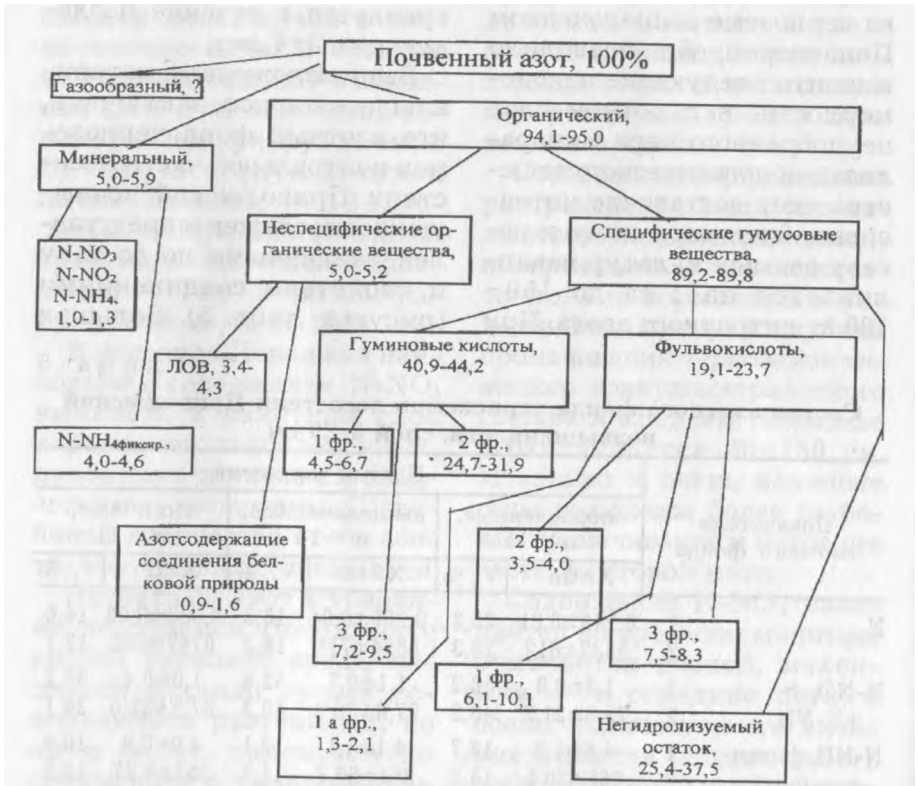
Т а б л и ц а 5

Состав азотного фонда черноземов лесостепи Приволжской возвышенности, слой 0-20 см

Показатели азотного фонда		Подтип чернозема					
		оподзоленные, n = 14		выщелоченные, n = 18		типичные, n = 11	
		X±tm	V, %	X±tm	V, %	X±tm	V, %
N _{общ.}	1	0,248±0,01	25,2	0,389±0,04	18,3	0,383±0,02	14,6
	2	5832±612	28,3	8894±718	16,2	8747±632	12,7
N-NO ₃ + +N-NH ₄	1	1,3±0,8	58,2	1,1±0,7	52,6	1,0±0,4	38,2
	2	75,8±21,3	45,2	97,8±39,2	48,3	87,5±32,6	36,1
N-NH ₄ фиксированный	1	4,6±1,3	13,7	4,1±1,1	12,1	4,0±0,9	10,6
	2	268±70,1	14,2	364±60,7	11,7	351±5,27	10,5
N _{органич.} Всего	1	89,1±10,2	10,2	89,6±5,6	8,8	89,8±5,3	7,2
	2	5196±562	10,8	7970±446	9,2	7854±416	7,7

Показатели азотного фонда	Подтип чернозема						
	оподзоленные, n = 14		выщелоченные, n = 18		типичные, n = 11		
	X±tm	V, %	X±tm	V, %	X±tm	V, %	
В т.ч. неспецифических органических веществ	1	5,0±1,3	29,3	5,2±1,3	24,3	5,2±1,0	21,4
	2	292±7,5	29,8	462±91	25,2	455±86	21,1
Из них ЛОВ	1	4,3±1,5	34,2	3,4±1,4	27,5	3,4±1,6	26,3
	2	251±81	35,1	302±77	28,3	297±88	25,7

Примечание. 1 — % общего азота (массы почвы) 2 — кг/га.



Состав азотного фонда черноземов лесостепи Приволжской возвышенности

часть азота заключена в гумусовых веществах, степень гидролизуемости которых неодинакова, что обуславливает их разную роль в минерализационно-иммобилизационных процессах. Под действием биотических и абиотических факторов, и в первую очередь, в результате антропогенного воздействия составляющие этого фонда количественно и качественно изменяются. При сельскохозяйственном использовании в черноземах создаются благоприятные условия для минерализационных процессов.

Заключение

Черноземы лесостепи Приволжской возвышенности в целинном состоянии характеризуются высокими и очень высокими запасами общего азота, которые значительно снижаются в процессе распашки и длительного сельскохозяйственного использования. Основная часть органического азота входит в состав специфических гумусовых соединений, из которых наибольшая доля приходится на долю гуминовых кислот, в основном, связанных с кальцием.

В составе минеральных компонентов азота наибольшая доля приходится на необменно фиксированный аммоний. Способность чернозе-

мов региона к высвобождению минеральных форм азота определяется как генетическими их особенностями, так и содержанием азота в составе наиболее легкоминерализующихся компонентов, представленных легкогидролизуемым азотом и азотом легкоразлагаемого органического вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. — 2. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почв и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980. — 3. *Гамзиков Г.П.* Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. — 4. *Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А.* Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. М.: Агрокомсалт. 1997. — 5. *Кирюшин В.И., Ткаченко Г.И.* О нисходящей миграции нитратов в черноземах Сибири при сельскохозяйственном использовании. — Почвоведение, 1986, № 2. — 6. *Кононова М. М.* Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. — 7. *Помазкина Л.В.* Агрохимия азота в таежной зоне Прибайкалья. Новосибирск.: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. — 8. *Пономарева В.В., Плотнико-*

ва Т.А. Гумус и почвообразование. JL: Наука, 1980. — 9. Руделев Е.В. Минерализация-иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений. Автореф. докт. дисс. М.: ВИУА, 1992. — 10. Тюрин И.В. Органическое ве-

щество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. — Учение о почвенном гумусе. М.- JL: Сельхозгиз, 1937. — 11. Щербаков А. П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. М.: Колос, 1983.

*Статья поступила
23 сентября 2003 г.*

SUMMARY

Characteristic properties of nitrogen regime in chernozemic soils of central forest steppe at hill near Volga river are considered in the research. Changes in nitrogen stock under the effect of long-term using it in agriculture have been exposed, and these changes are quantitatively estimated. It is shown that ability of regional soils to release mineral nitrogen depends both on their genetic characteristics and on the amount of easily mineralized components.