

УДК 631.811: [631.821+631.879.32

УРОЖАЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПРЕВРАЩЕНИЕ АЗОТНОКИСЛОГО АММОНИЯ В ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ ШЛАКА И ИЗВЕСТИ ПО РАЗНОМУ ФОНУ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

МЕРЗЛЯКОВ Л. А., РЕШЕТНИКОВА Н. В., ЮДИН Ф. А.
(Кафедра агрономической и биологической химии)

Биологические процессы, как известно, играют основную роль в трансформации азота почвы. Необходимым условием регулирования процессов синтеза и разложения органического вещества почвы, особенно в нечерноземной зоне, является известкование кислых почв [15]. Известкование приводит к существенному изменению характера превращения соединений азота в почве — ее азотного режима [13].

В известкованных почвах интенсивнее протекают процессы разложения органического вещества и минерализации соединений азота, в результате больше накапливается минеральных соединений азота, что способствует улучшению условий азотного питания растений [3, 7, 11]. Определение использования азота удобрения с помощью стабильного изотопа ^{15}N показало, что около 60% (50—74%) азота удобрения в вегетационных опытах и около 40% (30—47%) в полевых используется растениями в год внесения, остальное его количество частично теряется из почвы, а частично иммобилизуется в органической форме [13, 14].

Поступление азота в растение зависит от формы азотного удобрения, температуры, влажности, кислотности и других условий. Так, в опытах, в которых изучалось влияние реакции среды на поступление в растение ионов NH_4^+ и NO_3^- , с увеличением исходной величины рН поглощение корнями иона NO_3^- уменьшалось, NH_4^+ — возрастало; при этом корни при любой кислотности больше поглощали NH_4^+ , чем NO_3^- [17]. Однако в ряде опытов с применением ^{15}N известкование не оказывало заметного влияния на использование растениями азота удобрения. Под действием извести значительно повышались мобилизация азота почвы и усвоение его растениями, при этом менялось соотношение между процессами мобилизации и иммобилизации азота в почве в сторону преобладания первых [12, 13, 14].

В постановлении «О мерах по дальнейшему развитию сельского хозяйства Нечерноземной зоны РСФСР» (апрель 1974 г.) намечено проведение известкования в Российской Федерации на площади 22,9 млн. га. Для выполнения поставленной задачи необходимо эффективно использовать не только промышленные известковые удобрения, но и содержащие известь отходы металлургической промышленности. Ресурсы металлургических шлаков, пригодных для известкования кислых почв, составляют больше 20 млн. т в год без учета шлаков в отвалах [8].

Однако шлаки в настоящее время используются в сельском хозяйстве крайне недостаточно, хотя многие исследования показывают, что они не только не уступают извести, но и в большинстве случаев превосходят ее по действию на урожай сельскохозяйственных культур

и его качество [5, 10, 16]. Шлак оказывает всестороннее воздействие на свойства почвы, что благоприятно сказывается на развитии сельскохозяйственных культур [4, 6, 16]. В шлаках в отличие от извести содержатся микроэлементы, в которых нуждаются растения, особенно на бедных дерново-подзолистых почвах.

В литературе имеются данные о влиянии шлаков на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы [4, 6, 9, 16], однако сведения об их влиянии на урожай сельскохозяйственных культур при разных уровнях азотного питания, использование растениями азота почвы и удобрения, а также на превращение азота удобрения в почве отсутствуют. Изучение этих вопросов и явилось задачей настоящей работы.

Методика и условия проведения исследований

Многолетние полевые опыты были заложены в 1975 г. в Сарапульском совхозе-техникуме, в котором эффективность шлака изучалась в бессменных посевах ячменя, и ОПХ «Уромское» Удмуртской АССР в звене прифермского севооборота (1975, 1977 гг. — кукуруза на силос, 1976 г. — горох — овес — подсолнечник на зеленый корм).

Таблица 1

Агрохимическая характеристика почв перед закладкой опытов

Показатель	Сарапульский совхоз-техникум	ОПХ «Уромское»	Учхоз «Дубки»	Лесная дача ТСХА
	полевые опыты		вегетационные опыты	
Общий азот, мг/100 г	107,5	131,6	140,2	88,5
pH _{сод}	4,8	4,8	4,1	4,1
H _г	2,98	5,0	4,20	6,1
Сумма оснований, мэкв/100 г	17,0	21,4	6,0	3,8
P ₂ O ₅ по Кирсанову, мг/100 г	8,0	20,0	7,0	1,0
K ₂ O по Кирсанову, мг/100 г	10,0	13,2	4,5	6,0

Таблица 2

Действие и последствие шлака и извести на урожай зеленой массы кормовых культур (ц/га) в ОПХ «Уромское»

Вариант	1975 г., действие — кукуруза	1976—1977 гг., последствие		Суммарный урожай за 3 года, ц корм. ед.	Суммарная прибавка от известкования, ц корм. ед.
		горох — овес — подсолнечник	кукуруза		
Контроль	170	269	218	116,5	—
N ₉₀	199	330	374	162,7	—
» +известь	218	366	440	185,1	22,4
» +шлак	211	388	478	195,4	32,7
P ₉₀ K ₉₀	230	290	332	152,5	—
» +известь	243	385	374	179,1	26,5
» +шлак	235	405	405	187,4	34,9
N ₉₀ K ₉₀	211	355	412	176,6	—
» +известь	234	403	468	199,5	22,9
» +шлак	214	420	510	207,6	31,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	228	391	468	196,6	—
» +известь	254	429	592	231,9	35,3
» +шлак	240	450	644	243,7	47,1
HCP ₀₅	19,6	18,2	27,6	—	—

Агрохимические показатели исходной почвы представлены в табл. 1. Аммиачную селитру, суперфосфат и хлористый калий вносили ежегодно согласно схеме, представленной в табл. 2 и 3. Для известкования использовали мартеновский шлак Ижевского металлургического завода следующего химического состава (в %): CaO—40,0, MgO—8,2, MnO—4,7, SiO₂—14,3, Fe₂O₃—6,8, FeO—14,0, Al₂O₃—6,2, P₂O₅—1,0. Действие и последствие шлака сравнивали с действием извести в форме известняковой доломитизированной муки; дозы его рассчитывали эквивалентно извести по нейтрализующей способности. Повторность опытов 4-кратная, площадь делянки 100 м².

Вегетационные опыты были проведены на Агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова с райграсом многоукосным в поч-

Т а б л и ц а 3

Урожай ячменя (ц/га) в полевом опыте в Сарапульском совхозе-техникуме

Вариант	1975 г., действие	1976 г.	1977 г.	Суммар- ный уро- жай за 3 года	Суммарная прибавка	
		последствие			от извест- кования	от фона
Без удобрения	7,0	10,3	8,2	25,5	—	—
Без удобрения + известь	8,4	14,0	10,4	32,8	7,3	—
» » +шлак	7,1	15,6	12,2	34,9	9,4	—
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	10,0	16,8	15,0	41,8	—	16,3
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ + известь	11,6	20,6	17,2	49,4	7,6	16,6
» + шлак	12,2	27,5	19,8	59,5	17,7	24,6
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	12,6	21,2	18,8	52,6	—	27,1
N ₁₈₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀ + известь	14,1	25,2	26,3	65,6	13,0	32,8
» +шлак	13,4	30,9	28,5	72,8	20,2	37,9
НСР _{0,5}	1,4	2,1	2,1			

Т а б л и ц а 4

Урожай и потребление азота райграсом многоукосным в зависимости от уровня азотного питания при внесении шлака и извести (вегетационный опыт 1974—1976 гг.)

Вариант	Суммарный урожай за 3 года, г/со- суд	Вывос азота, мг/сосуд	Суммарная прибавка, г/сосуд	
			от известко- вания	от фона
Контроль	17,7	433	—	—
P _{0,6} K _{0,6} * — фон 1	23,2	402	—	5,5
Фон 1 +известь по 0,5 г. к	29,3	525	6,1	—
» +известь по 1,0 г. к.	40,1	762	16,9	—
» +шлак по 0,5 г. к.	33,4	547	10,2	—
» +шлак по 1,0 г. к.	40,5	753	17,3	—
P _{0,6} K _{0,6} N _{0,6} — фон 2	60,2	1679	—	37,0
Фон 2 +известь 0,5 г. к.	61,7	1724	1,5	32,4
» +известь по 1,0 г. к.	67,3	1884	7,1	27,2
» +шлак по 0,5 г. к.	67,1	1860	6,9	33,7
» +шлак по 1,0 г. к.	69,4	1923	9,2	28,9
P _{0,6} K _{0,6} N _{1,2} — фон 3	73,3	2564	—	50,1
Фон 3 +известь по 0,5 г. к.	79,8	2788	6,5	50,5
» +известь по 1,0 г. к.	80,2	2688	6,9	40,1
» +шлак по 0,5 г. к.	83,9	2857	10,6	50,5
» +шлак по 1,0 г. к.	91,0	3143	17,7	50,5

* Дозы удобрения даны в г/сосуд.

Влияние шлака на потребление азота из почвы и удобрения
(вегетационный опыт 1976 г.)

Вариант	N, мг/со- суд	N удобрений				N почвы	
		% от внесенного			% от об- щего вы- носа	% от об- щего вы- носа	% от конт- роля (PK)
		по разли- це с контро- лем	изотоп- ным методом	разница			
$P_{0,4}K_{0,4}N_1$	230	69,3	48,0	-21,3	45,2	54,8	157,5
» +шлак	230	80,6	53,4	-27,2	45,4	54,6	173,8
» +известь	230	78,4	52,0	-26,4	45,0	55,0	171,6
$P_{0,4}K_{0,4}N_2$	460	65,0	41,4	-23,6	49,6	50,4	227,8
» +шлак	460	76,2	51,2	-25,0	54,1	45,9	235,2
» +известь	460	74,3	49,8	-24,5	53,7	46,3	232,5

венной культуре. Для первого вегетационного опыта, заложенного в 1974 г. на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве учхоза «Дубки» Московской области, использовали полиэтиленовые сосуды на 6 кг почвы, повторность 3-кратная; во втором опыте с ^{15}N , заложенном в 1976 г. на некультуренной среднесуглинистой почве Лесной опытной дачи ТСХА, — сосуды на 3 кг почвы, повторность 8-кратная. Азотное удобрение вносили в виде $^{15}NH_4^{15}NO_3$ (изб. ат. % 16,37).

Как и в полевых опытах, здесь испытывали шлак Ижевского металлургического завода и сравнивали его действие с эффективностью извести. Минеральные удобрения вносили ежегодно согласно схеме, приведенной в табл. 4 и 5.

Полив растений проводили по массе, рассчитанной на 60% полной влагоемкости.

В растениях после их уборки и в почве определяли содержание общего азота методом Кьельдаля — Иодльбауэра, минеральный азот — в вытяжке 0,25 н. KCl путем дисциляции паром в щелочной среде, после восстановления нитратов и нитритов сплавом Деварда.

Для определения азота органических соединений почвы использовали метод последовательного двухступенчатого кислотного гидролиза, который позволяет разделить азот почвы на несколько фракций [1, 2], а для определения изотопного состава — масспектрометр МИ-1305.

Влияние шлака и извести на урожай сельскохозяйственных культур при разных уровнях минерального питания

Шлак Ижевского металлургического завода оказал существенное влияние на урожай сельскохозяйственных культур (табл. 2—4).

Суммарный урожай (табл. 2) во всех вариантах со шлаком и известью был выше, чем при внесении одних минеральных удобрений. Шлак в данном опыте оказался более эффективным, чем известь, так как суммарные прибавки урожая, полученные от его внесения, при всех уровнях минерального питания были выше, чем прибавки от извести. Суммарная прибавка от использования шлака в среднем по опыту составила 36,4 ц корм. ед. (31,0—47,1), от извести — 26,8 ц корм. ед. (22,4—35,3).

Наиболее результативным было внесение шлака под ячмень в бес-сменных посевах (табл. 3). Так, суммарная прибавка урожая в варианте со шлаком на фоне $N_{90}P_{90}K_{90}$ составила 17,7 ц/га, а на фоне $N_{180}P_{180}K_{180}$ — 20,2 ц/га, а в вариантах с известью — соответственно 7,6 и 13,0 ц/га. Следовательно, как и в предыдущем полевом опыте, прибавки урожая от внесения шлака (табл. 3) были выше, чем от приме-

нения извести: по фону $N_{90}P_{90}K_{90}$ — на 10,1 ц/га, а по $N_{180}P_{180}K_{180}$ — на 7,2 ц/га.

С повышением уровня минерального питания эффективность шлака и извести возрастала. Последние, в свою очередь, существенно повлияли на эффективность минеральных удобрений особенно более высоких их доз. Так, если при их дозах по 90 кг д. в. на 1 га урожай ячменя в сумме за 3 года по фону извести повысился на 0,3 ц/га (что математически недопустимо), а по фону шлака — на 8,3 ц/га, то при увеличении дозы минеральных удобрений до 180 кг д. в. — соответственно на 5,7 и 10,8 ц/га.

Эффективность шлака и извести при разных уровнях азотного питания изучалась и в вегетационных опытах (табл. 4 и 5). Установлено, что уровень азотного питания существенно влияет на эффективность шлака и извести, причем степень его влияния зависит от дозы мелиоранта. Так, при внесении извести по 0,5 г. к. и увеличении дозы азота в 2 раза урожай в сумме за 3 года (табл. 4) увеличился на 5,0 г/сосуд, а в варианте с известью по 1,0 г. к. прибавка урожая была несколько ниже. При внесении шлака по 0,5 г. к. и увеличении дозы азота в 2 раза прибавка урожая составила всего 3,7 г/сосуд, а в варианте со шлаком по 1,0 г. к. она возросла до 8,5 г/сосуд. Следовательно, при повышении уровня азотного питания эффективность мелиорантов возрастает (исключением был вариант с известью по 1,0 г. к.).

Суммарные прибавки от внесения шлака как в дозе 0,5 г. к., так и 1,0 г. к. при всех испытывавшихся уровнях азотного питания были выше, чем при использовании извести. Максимальная прибавка получена в варианте со шлаком по 1,0 г. к. на фоне $N_{1,2}$, она составила 17,7 г/сосуд, что на 10,8 г/сосуд больше прибавки от извести.

Мелиоранты влияли на эффективность действия азотного удобрения следующим образом. Эффективность фона 2 ($N_{0,6}$) при внесении шлака и извести снижалась, особенно при увеличении дозы мелиорантов. Так, суммарная прибавка урожая при внесении $N_{0,6}$ составила 37,0 г/сосуд, а в вариантах со шлаком по 0,5 и 1,0 г. к. она снизилась соответственно до 33,7—28,9 г/сосуд, в вариантах с известью прибавка была еще ниже. Однако при повышенном уровне азотного питания ($N_{1,2}$) шлак по 0,5 и 0,1 г. к. и известь по 0,5 г. к. не оказали влияния на эффективность азотных удобрений, в варианте с известью по 1,0 г. к. прибавка урожая снизилась на 10 г/сосуд.

В данном опыте шлак способствовал лучшему использованию азота азотных удобрений. При всех уровнях минерального питания (табл. 4) вынос азота при внесении шлака оказался выше, чем при внесении извести.

Влияние шлака и извести на трансформацию меченого ^{15}N азота аммиачной селитры в системе почва — растение

Результаты, полученные в вегетационном опыте с использованием стабильного изотопа ^{15}N , показывают, что шлак и известь положительно влияли на использование райграсом многоукосным азота из почвы и удобрения.

Коэффициенты использования азота из удобрения, определенные как изотопным, так и разностным методами (табл. 5) при известковании были выше, чем на разных фонах азота. Так, при использовании шлака на фонах азота 230 и 460 мг/сосуд коэффициент использования азота из удобрений, вычисленный изотопным методом, повысился (разница соответственно 5,4 и 9,8%). С увеличением дозы азота и в контроле и при внесении шлака он снизился, но в последнем случае в меньшей степени.

При дозе азота 230 мг/сосуд доля азота удобрения в общем вы-

носе составила 45,2, а азота почвы — 54,8%, при дозе азота 460 мг/сосуд — соответственно 49,6 и 50,4%. Шлак и известь на фоне азота 230 мг/сосуд не оказали существенного влияния на структуру выноса, в то время как на фоне азота 460 мг/сосуд мелиоранты способствовали снижению выноса азота из почвы и увеличению использования его из удобрения.

При внесении азотных удобрений повышается мобилизация азота из почвенного органического вещества, в результате увеличивается усвоение растениями азота почвы по сравнению с контролем (РК): при дозе азота 230 мг/сосуд разница составила 57,5, при дозе 460 мг/сосуд — 127,8% (вынос азота в варианте РК 85 мг/сосуд).

Т а б л и ц а 6

Баланс меченного ^{15}N азота удобрений (% от внесенного)

Вариант	N мг/сосуд	Используй- вано растени- ями	Закрепилось в почве в ор- ганической форме	Потери
РК N_1	230	48,0	16,8	35,2
» +шлак	230	53,4	18,4	28,2
» +известь	230	52,0	17,6	30,4
РК N_2	460	41,4	15,9	42,7
» +шлак	460	51,2	16,8	32,0
» +известь	460	49,8	16,5	33,7

Мелиоранты повысили мобилизацию азота из почвы. Так, на фоне азота 230 мг мобилизация азота из почвы составила в среднем 72,7% (71,6—73,8%), что выше мобилизации азота из почвы по фону N_1 (разница 15,2%). При повышенном уровне азотного питания дополнительная мобилизация азота при внесении шлака и извести была значительно меньше (разница в среднем 6,1%). Подобная картина отмечается и при анализе разницы между коэффициентами использования азота из удобрений, определенными разностным и изотопным методами. Так, при дозе азота 230 мг на сосуд они были заметно выше при внесении шлака и извести (разница 5,1—5,9%), в то время как при дозе азота 460 мг/сосуд различия оказались несущественными. Следовательно, шлак и известь усиливали мобилизацию азота из почвы в большей степени при пониженном уровне азотного питания.

Использование в опыте меченного ^{15}N позволило рассчитать баланс азота в системе почва — растение в конце вегетации (табл. 6). При дозе азота 230 мг использование азота из удобрений составляет 48%, а потери — 35,2%, на фоне 460 мг азота — соответственно 41,4 и 42,7%.

Шлак и известь оказали некоторое влияние на эти статьи баланса, что выразилось в снижении потерь азота при обоих уровнях азотного питания (разница соответственно 5,9 и 9,8%), причем потери в вариантах со шлаком были несколько меньше, чем при внесении извести.

Внесенный в почву азот не только потребляется растениями, но и иммобилизуется. При дозе азота 230 мг в почве в органической форме закрепилось 16,8% внесенного азота, в то время как при дозе 460 мг количество иммобилизованного азота несколько снизилось. Шлак и известь при обоих уровнях азотного питания не привели к существенно изменению величины иммобилизации азота удобрения почвой.

Для того чтобы исследовать трансформацию иммобилизованного азота удобрений в почве вегетационного опыта, определяли фракции почвенного органического азота. С этой целью почву после обработки 0,25 н. KCl подвергали 3-часовому гидролизу 0,5 н. H_2SO_4 (фракция легкогидролизуемого азота), затем 3-часовому гидролизу 5 н. H_2SO_4

(фракция трудногидролизующего азота), в остатке определяли содержание кислотнегидролизующего азота. Фракции легко- и трудногидролизующего азота, в свою очередь, делили на непосредственно отгоняемую со щелочью (ЛГО и ТГО) и неотгоняемую (ЛГН и ТГН), азот которой определяли после мокрого озольнения по Кьельдалю.

Анализ данных табл. 7 показывает, что 39,8—46,8% почвенного азота приходилось на фракцию трудногидролизующего азота (ТГ), в которую входят более прочносвязанные с гумусовыми веществами и белками аминокислоты, амиды и другие соединения, содержащие азот [1, 2].

Таблица 7

Распределение азота удобрения (^{15}N) и азота почвы (^{14}N) по фракциям

Вариант	Минеральный	Легкогидролизующий			Трудногидролизующий			Негидролизующий (НГ)	Сумма всех фракций
		ЛГ	ЛГО	ЛГН	ТГ	ТГО	ТГН		
PKN ₁	0,9	26,4	14,7	11,7	66,7	6,9	59,8	7,8	101,8
	3,2	26,0	8,8	17,2	41,2	9,5	31,7	21,7	92,1
	1,7	23,2	12,5	10,7	58,8	6,2	52,7	13,5	97,3
» +шлак	4,1	24,0	8,0	16,0	44,7	10,3	34,4	26,0	98,8
» +известь	1,9	26,2	11,2	15,0	57,9	3,7	54,2	13,1	99,1
	4,7	26,0	8,8	17,2	46,8	9,5	37,3	25,2	102,1
	3,1	25,5	8,8	16,7	59,4	5,7	53,7	10,4	98,4
PKN ₂	3,5	24,8	9,0	15,8	40,7	10,5	30,2	23,5	92,5
» +шлак	3,2	24,0	12,2	11,8	56,9	6,4	50,5	14,4	98,5
	3,5	26,5	10,3	16,2	39,8	10,7	29,1	28,8	98,6
» +известь	3,9	30,8	12,4	18,4	45,5	6,2	39,3	19,1	99,3
	4,5	25,0	7,4	17,6	40,8	10,0	30,8	27,4	97,7

Примечание. В числителе — иммобилизованный азот удобрения, % от всего иммобилизованного, в знаменателе — азот почвы, % от общего.

Фракция легкогидролизующего азота, включающая гумусовые вещества и, возможно, белки, частично гидролизующие до аммония, амидов, аминокислот и переходящих в раствор аминокислот, составляла 24,0—26,5%, а азот кислотнегидролизующего остатка — 21,7—28,8%.

Отгоняемые со щелочью фракции легко- и трудногидролизующего азота представляют собой азот органических соединений, гидролизуемых до NH_4^+ , азот аминокислот, а также большую часть фиксированного аммония из удобрений, доля которого — это лишь меньшая часть фракции.

Иммобилизованный азот удобрения (табл. 7) характеризовался более высоким содержанием трудногидролизующего азота и более низким содержанием негидролизующего азота, чем почвенный органический азот.

При анализе распределения азота удобрения по фракциям было выявлено, что в среднем 57,5% (45,5—66,7) азота удобрения иммобилизовалось во фракцию трудногидролизующего азота, причем 51,7% (39,3—59,8) азота удобрения иммобилизовалось во фракцию, не отгоняемую со щелочью.

Во фракцию легкогидролизующего азота закрепилось 26% (23,2—30,8), в его неотгоняемую часть — 14% (11,4—18,4). Иммобилизация во фракцию негидролизующего азота составила в среднем 13% (7,8—14,4).

Шлак и известь оказали некоторое влияние на иммобилизацию азота из удобрения, в результате несколько снизилось количество закрепленного азота во фракции трудногидролизуемого азота и увеличилось содержание фракции негидролизуемого азота. Заметной разницы между шлаком и известью по влиянию на иммобилизацию азота из удобрения не наблюдалось.

Выводы

1. Уровень минерального питания оказал существенное влияние на эффективность шлака и извести. Максимальная суммарная прибавка урожая от их применения получена при повышенном уровне минерального питания: в среднем за 3 года в полевых опытах при внесении шлака она составила 47,1 ц корм. ед. в посевах кормовых культур, 20,2 ц зерна ячменя с 1 га, при внесении извести — соответственно 35,3 и 13,0 ц.

2. Коэффициенты использования азота из удобрения, вычисленные изотопным методом, при внесении шлака и извести несколько повысились и составили при дозах 230 и 460 мг азота на сосуд соответственно 52,0—53,4 и 49,8—51,2% при уровне в контроле 41,4—48,0%.

3. Шлак и известь положительно влияли на баланс меченого ^{15}N азота удобрения. При внесении азота в дозе 230 мг на сосуд по фону шлака и извести потери азота из удобрения снизились в среднем на 5,9%, а при внесении азота в дозе 460 мг — соответственно на 9,8%.

4. В составе иммобилизованного азота удобрения содержалось больше трудногидролизуемого (57,5%) и меньше негидролизуемого азота (13%), чем в почвенном (соответственно 42,3 и 25,4%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Е. А., Щеглова Г. М., Куренева Л. Н. Распределение азота удобрений по фракциям азота почвы. В сб.: Применение стабильного изотопа ^{15}N в исследованиях по земледелию. М., «Колос», 1973. с. 119—128. — 2. Андреева Е. А., Щеглова Г. М. Определение азота органических соединений почвы. В сб.: Методы применения изотопов азота ^{15}N в агрохимии. М., «Колос», 1977, с. 30—35. — 3. Блэк К. А. Растение и почва. М., «Колос», 1973. — 4. Голопятов М. Т. Влияние извести и шлаков на урожай и фосфатный режим дерново-подзолистых почв в зависимости от условий минерального питания. Автореф. канд. дис. М., 1976. — 5. Дерюгин И. П., Култышев В. П. Влияние металлургических шлаков на качество урожая сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах Удмуртской АССР. В сб.: Вопросы почвоведения и применения удобрений в Удмуртской АССР. Тр. ИСХИ, Ижевск, 1974, вып. 23, с. 261—268. — 6. Мерзляков Л. А., Шестаков Е. Е. Эффективность маргеновского шлака в зависимости от уровня минерального питания. В сб.: Вопросы интенсификации с.-х. производства. М., ТСХА, 1975, с. 100—103. — 7. Панников В. Д., Минеев В. Г. Почва, климат, удобрение и урожай. М., «Колос», 1977. — 8.

Романенко А. Г. Металлургические шлаки. М., «Металлургия», 1977. — 9. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А. Влияние маргеновских шлаков на групповой состав фосфатов в дерново-подзолистой почве. «Докл. ТСХА», 1972, вып. 183, с. 171—174. — 10. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А. Влияние форм азотных удобрений на эффективность магнезия шлака. «Докл. ТСХА», 1976, вып. 218, с. 124—128. — 11. Сапожников Н. А., Корнилов М. Ф. Научные основы системы применения удобрений в нечерноземной полосе. Л., «Колос», 1977. — 12. Смирнов П. М., Вуйцин-Войтковая Д., Лаврова И. А. Превращение разных форм азотных удобрений в почве и их использование растениями. «Иzv. ГСХА», 1967, вып. 2, с. 85—98. — 13. Смирнов П. М. Превращение азотных удобрений в почве и их использование растениями. Автореф. докт. дис. М., 1970. — 14. Смирнов П. М. Вопросы агрохимии азота. М., ТСХА, 1977. — 15. Тарвис Т. В. Трансформация естественных запасов азота в почве. В кн.: Азот в земледелии нечерноземной полосы. Л., «Колос», 1973, с. 33—55. — 16. Юдин Ф. А., Решетникова Н. В., Голопятов М. Т. Влияние извести и шлака на урожай полевых культур и фосфатный режим почвы при различном уровне мине-

рального питания. «Изв. ТСХА», вып. 4, 1976, с. 126—133. — 17. Haufold E. Die Aufnahme von $^{15}\text{NH}_4$ und $^{15}\text{NH}_3$ aus Ein- und Mehrsalzlösungen durch die

Pflanzenwurzel — Bodenkultur, 1969, Bd. 20, N 4, S. 370—380.

Статья поступила 5 декабря 1977 г.

SUMMARY

Field experiments conducted in Udmurtia have shown that maximum increase in yield due to the applications of slag and lime was obtained under higher level of mineral nutrition. With Using slag, the highest total increase in the yield of fodder crops during 3-years made 41.1 q of fodder units per 1 ha and that of barley — 20.2 q, while with using lime it made 35.3 and 13.0 respectively.

In greenhouse experiment with ^{15}N the application of slag and lime somewhat raised the coefficient of fertilizer nitrogen utilization and reduced its losses.

In immobilized nitrogen fertilizer — its composition is determined by means of consequent two-step hydrolysis technique — there is more hardly hydrolyzed and less non-hydrolyzed nitrogen than in soil nitrogen.