

УДК 631.862.2:631.418

ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПОЧВЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ ЖИДКОГО НАВОЗА В УСЛОВИЯХ ОРОШЕНИЯ

В. А. ДЕМИН, Н. К. ПРОНКИН

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В настоящее время большое внимание уделяется изучению источников поступления азота в грунтовые воды, водоемы и реки [1, 4, 6]. К ним относят городские стоки, осадки, унавоженные земли, промышленные сточные воды и грунтовые воды [6], животноводческие стоки [8]. Участки для кормления животных и ирригационные поля также часто служат источниками поступления большого количества нитратов в грунтовые воды [7]. Нитратный и аммиачный азот может проникать в грунтовые воды непосредственно под кучами, где хранится навоз [8]. В песчаных почвах (ФРГ) при внесении 600 м³ свиного навоза на 1 га (0,6% общего азота) было обнаружено 340 мг нитратов в 1 л воды на глубине 110—180 см [4]. Исследования показали [7], что загрязнение грунтовых вод большей частью вызвано поступлением в них животноводческих отходов, хранящихся в неправильно сконструированных отстойниках, и в меньшей степени внесением на поля удобрений (исключение составляют некоторые случаи применения высоких доз удобрений на песчаных почвах). При неправильном хранении навоза возможно загрязнение рек и водоемов [3]. С навозом в почву вносится большое количество азота и органического вещества. В результате нитрификации аммиачного азота навоза в почве образуется нитратный азот, который при наличии вертикального дренажа может быть вымыт в грунтовые воды. Азотные соединения обуславливают нежелательный рост растительности в водоемах, кислородное истощение [5] и гибель рыб [7]. Повышенная концентрация нитратов в питьевой воде (>10 мг/л) может вызвать заболевание у человека и животных [8].

Цель нашего эксперимента изучить поступление соединений азота, а также кальция, магния и калия в дренажные воды при внесении возрастающих доз жидкого навоза и орошении.

Условия проведения опыта и методика исследований

Исследования проводили в 1977—1978 гг. в условиях животноводческого комплекса «Вороново» Московской области. Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая на покровном суглинке. Глубина пахотного горизонта — 23—25 см. Содержание гумуса по Тюрину — 2,0%, рН_{сол} — 6,0, P₂O₅ и K₂O по Кирсанову — соответственно 14,2 и 7,5 мг на 100 г.

Для исследований использовали влагоиспаритель ГГИ-500-100, который представляет собой металлический цилиндр (площадь поперечного сечения — 500 см², высота — 100 см). Внутреннюю часть очищенного и покрашенного влагоиспарителя обрабатыва-

ли техническим вазелином. Цилиндр постепенно вдавливали в почву и по мере его углубления почву с внешней стороны удаляли. Высота почвенного монолита составляла 100 см. Нижнюю часть монолита обрезают по краю цилиндра и закрывали крышкой с отверстиями. Крышку покрывали парафином. Уровень почвы монолита был ниже края цилиндра. Монолит вставляли в другой цилиндр большего диаметра, врытый в почву. На дно помещали поддон для сбора фильтрационной воды. Поддон обрабатывали парафином. Жидкий навоз вносили весной. При этом пахотный слой монолита вынимали, смешивали с навеской

жидкого навоза и возвращали в лизиметр. Монолит доводили водой до постоянной массы (80% ППВ); в течение вегетационного периода влажность почвы поддерживали на уровне 60—80% ППВ. В лизиметрах выращивали кормовую свеклу, по 2 растения в каждом. Два раза в месяц замеряли количество фильтрационной воды и анализировали ее на содержание N—NH₄, N—NO₂, N—NO₃, Ca, Mg, K₂O и P₂O₅. Аммиачный азот определяли фотоколориметрически, нитратный — дисульфохеноловым методом, нитритный — по Гриссу, кальций и магний — трилометрическим

методом, калий — на пламенном фотометре, а фосфор — молибдатным методом.

Жидкий навоз вносили в лизиметры в следующих дозах: 1 — контроль (без жидкого навоза), 2 — 80 т/га (400 г жидкого навоза на лизиметр), 3 — 160 т/га (800 г), 4—240 т/га (1200 г), 5—400 т/га (2000 г).

Повторность 2-кратная. В 1977 г. содержание сухого вещества в жидком навозе составляло 10,17%, азота — 0,41, P₂O₅ — 0,36, K₂O — 0,29, Ca — 0,18, Mg — 0,11, в 1978 г. — соответственно 9,35; 0,41; 0,33; 0,28; 0,16 и 0,08%.

Результаты исследований

Аммиачный азот. При поддержании почвы во влажном состоянии (на уровне 60—80% ППВ) в течение вегетационного периода наибольшая концентрация выщелачиваемого аммиачного азота в лизиметрах без жидкого навоза в 1977 г. отмечена в конце июня (табл. 1), а в 1978 г. — в начале июня и в начале августа (табл. 2). В конце вегетации аммиачный азот в фильтрационных водах практически отсутствовал.

В 1-й год при внесении жидкого навоза во всех дозах в начале вегетации концентрации аммиачного азота в фильтрате были одного порядка. Максимальной (5,2 мг/л) она была в конце июня в варианте с жидким навозом в дозе 240 т/га, затем она постепенно снижалась. Внесение 400 т/га жидкого навоза не привело к увеличению содержания N—NH₄ в фильтрационной воде в первые периоды вегетации, но в конце августа концентрация его повысилась (до 4,8 мг/л).

На 2-й год концентрация аммиачного азота в фильтрате была наибольшей (12,5 мг/л) в 3-м варианте (160 т/га) к 1 августа, а при более высоких дозах к этому времени она даже снизилась. В конце сентября максимум его отмечался в 5-м варианте (400 т/га), в контроле в это время аммиачного азота содержалось в 22 раза меньше. В среднем за 1-й год при внесении 240 и 400 т навоза на 1 га (табл. 3) содержание аммиачного азота в 3 раза превышало контроль, а в среднем за 2-й год во всех вариантах с навозом оно оказалось примерно одинаковым и в последнем варианте было в 5 раз выше, чем в контроле. Таким образом, при систематическом применении жидкого навоза на одних и тех же площадях при орошении концентрация аммиачного азота в дренажной воде может существенно повыситься и вызвать загрязнение водных источников и водоемов.

Нитратный азот. В 1-й год опыта (табл. 1) наибольшая концентрация нитратного азота в фильтрационной воде в контроле отмечена в начале июня, в дальнейшем она уменьшалась, а к концу вегетации нитраты отсутствовали. В вариантах с различными дозами жидкого навоза концентрация нитратов в фильтрате была практически одинаковой, только в 5-м варианте она оказалась более высокой. В более поздние сроки анализа четкой зависимости концентрации нитратного азота в фильтрационной воде от количества внесенного жидкого навоза не прослеживалось.

На 2-й год исследований наблюдалась тесная прямая зависимость концентрации нитратов в фильтрате от доз жидкого навоза (табл. 2). К концу вегетации содержание их резко снижалось. Наибольшая концентрация нитратов в фильтрационной воде отмечалась во второй половине июня.

Средняя концентрация нитратного азота в фильтрационной воде 5-го варианта (400 т/га) в 1-й год была больше, чем в контроле, в 3,4 раза, на 2-й год — в 2 раза (табл. 3).

Таблица 1

Концентрация элементов
в фильтрационной воде в 1977 г. (мг/л)

Вариант	8/VI	28/VI	12/VII	28/VII	3/VIII	24/VIII	26/IX
N—NH ₄							
1	1,1	1,9	1,6	0,7	0,4	0,2	—
2	0,5	2,9	2,3	0,4	1,2	1,3	—
3	0,9	3,2	1,2	—	1,2	2,0	—
4	1,5	5,2	5,0	3,4	1,6	2,8	—
5	0,3	4,2	3,0	3,2	2,2	4,8	—
N—NO ₂							
1	0,13	0,02	0,13	0,02	—	—	—
2	0,35	0,30	0,35	0,05	0,05	—	—
3	0,51	0,21	0,22	—	0,05	—	—
4	0,48	0,32	0,12	0,03	0,04	—	—
5	0,32	0,08	0,40	0,13	0,08	—	—
N—NO ₃							
1	5,9	4,8	2,4	—	0,5	—	—
2	5,7	7,0	3,1	—	0,9	—	—
3	4,6	9,7	7,5	—	0,5	—	—
4	4,0	4,3	1,7	1,9	0,5	—	—
5	8,8	6,6	7,5	2,4	0,5	—	—
Ca							
1	70,0	67,2	51,5	39,0	45,1	50,2	50,9
2	86,0	112,8	86,1	52,0	52,1	53,0	50,0
3	111,0	132,0	119,1	—	43,8	54,7	52,9
4	128,0	132,0	121,5	69,5	47,3	52,3	57,3
5	119,5	144,8	113,9	91,2	58,6	50,4	76,8
Mg							
1	26,0	20,4	23,4	15,2	17,7	18,3	26,2
2	25,0	11,2	24,3	20,4	22,6	21,4	20,8
3	24,7	20,4	30,9	—	15,4	23,3	25,5
4	27,5	22,3	34,6	39,1	14,8	22,3	20,7
5	31,5	19,0	33,6	26,8	20,2	24,4	32,7
K ₂ O							
1	2,2	1,0	4,5	1,0	2,0	5,0	4,5
2	1,0	×	3,5	2,5	4,5	4,2	4,1
3	1,5	1,0	4,0	—	4,0	5,0	3,4
4	1,5	7,0	1,8	2,2	6,5	3,7	2,2
5	1,5	5,0	2,1	1,2	3,5	1,7	1,5

Таблица 2

Концентрация элементов
в фильтрационной воде в 1978 г. (мг/л)

Вариант	10/V	1/VI	22/VI	3/VII	1/VIII	16/VIII	26/IX
N—NH ₄							
1	5,8	8,5	4,3	1,6	8,6	2,3	0,3
2	4,9	4,6	4,3	3,0	3,8	1,7	1,0
3	4,9	6,0	3,5	7,7	12,5	5,0	3,4
4	4,6	6,9	6,1	4,1	2,7	5,6	3,4
5	6,5	3,5	2,6	1,6	2,7	6,8	6,8
N—NO ₂							
1	—	0,13	0,56	0,64	—	—	—
2	—	0,15	0,40	0,46	0,90	—	—
3	—	0,11	0,60	0,78	1,22	—	—
4	0,12	0,62	0,83	0,60	0,69	—	—
5	0,18	0,90	0,68	0,52	2,53	—	—
N—NO ₃							
1	1,0	2,4	12,2	3,9	0,2	0,7	1,3
2	0,7	3,4	8,8	2,9	0,5	0,7	0,4
3	1,2	3,4	12,8	0,8	—	1,8	0,8
4	2,2	4,9	18,1	2,8	0,6	—	0,3
5	1,7	6,3	14,8	2,0	0,4	—	1,1
Ca							
1	43,2	40,0	32,0	24,4	30,4	27,2	25,2
2	56,8	51,4	61,6	44,8	57,6	46,8	43,2
3	67,4	51,2	52,0	53,2	48,8	56,0	54,8
4	52,0	62,2	50,5	49,2	59,2	86,4	—
5	80,4	74,4	60,8	52,4	57,6	67,2	90,0
Mg							
1	3,1	12,8	11,7	6,0	16,0	1,2	5,2
2	6,4	13,3	11,6	14,8	10,0	5,8	4,4
3	10,0	14,4	9,7	15,6	15,2	3,2	4,0
4	8,1	20,4	11,7	15,0	12,8	4,0	—
5	7,3	7,7	13,1	27,2	9,6	4,8	4,4
K ₂ O							
1	19,1	21,5	16,2	17,4	11,8	8,8	9,9
2	15,2	13,7	7,9	9,7	7,3	6,0	7,0
3	12,6	16,4	7,1	8,1	13,4	5,6	7,0
4	16,0	17,5	8,9	13,2	7,5	5,4	5,8
5	24,2	5,9	4,5	5,3	5,3	4,8	3,5

Нитритный азот. В 1-й год исследований концентрация нитритов в фильтрационной воде без жидкого навоза составляла 0,02—0,13 мг/л, в конце вегетации нитриты не обнаружены. Во всех вариантах с жидким навозом концентрация нитритов в фильтрате была примерно одинаковой и в течение вегетационного периода постепенно снижалась. В конце вегетации нитриты отсутствовали.

На 2-й год в контроле (табл. 2) концентрация нитритов увеличилась до июля, в дальнейшем они исчезали. В вариантах с навозом концентрация нитритов со временем и с увеличением его доз возрастала и достигала максимума к 1 августа. Их уровень был наибольший (2,53 мг/л) при внесении 400 т жидкого навоза. Следует отметить, что токсичность нитритов в 10 раз выше, чем нитратов [1]. При внесении

Средняя концентрация (мг/л) вымытых элементов в 1977 (числитель)
и 1978 г. (знаменатель)

Вариант	N—NH ₄	N—NO ₂	N—NO ₃	Ca	Mg	K ₂ O
1	0,8	0,04	1,6	52,6	20,4	6,5
	5,7	0,22	3,3	35,5	8,6	15,9
2	1,2	0,13	2,1	68,7	21,1	3,0
	3,6	0,38	3,5	56,2	8,7	10,4
3	1,4	0,21	4,3	94,1	23,5	5,2
	5,2	0,28	5,6	58,5	8,8	8,8
4	2,6	0,14	1,9	85,8	25,7	3,1
	5,3	0,48	7,7	55,2	9,1	12,0
5	2,6	0,25	5,4	108,1	26,8	2,0
	4,2	0,60	6,7	69,2	10,7	12,6

высоких доз жидкого навоза возможно загрязнение грунтовых вод нитритами. Так, содержание нитритного азота в грунтовых водах в отдельных районах Швеции составляло 3,54 мг/л [9].

Кальций. Концентрация выщелачиваемого Ca в контроле уменьшилась с 70 мг/л весной 1977 г. до 25,2 мг/л к концу вегетационного периода 1978 г. При внесении возрастающих доз жидкого навоза в 1-й год к концу июня концентрация Ca в фильтрационной воде увеличивалась, затем она постепенно снижалась и выравнивалась по вариантам. Концентрация Ca весной 1977 г. при внесении 400 т жидкого навоза на 1 га в 1,7 раза превысила контроль, а в конце вегетации 1978 г. — в 3,6 раза. Следовательно, жидкий навоз способствует увеличению количества вымываемого Ca, но большой разницы по этому показателю между вариантами с разными дозами навоза не наблюдалось.

В среднем за 1-й год в варианте с 400 т навоза она была в 2 раза выше, чем в контроле, а на 2-й год снизилась во всех вариантах, но оставалась более высокой при внесении навоза (табл. 3).

Магний. Содержание вымываемого Mg в контроле в фильтрационной воде с весны 1977 г. до конца вегетации 2-го года уменьшилось в 5 раз. Как в 1-й, так и во 2-й год во всех вариантах опыта оно постепенно снижалось к концу вегетационного периода. Как правило, с увеличением дозы жидкого навоза концентрация Mg в фильтрационной воде несколько возрастала (табл. 1 и 2). Средняя концентрация в 1-й и 2-й годы в вариантах с навозом мало увеличивалась по сравнению с контролем.

Фосфор. В течение двух лет исследований P₂O₅ в фильтрационной воде не был обнаружен.

Калий. Концентрация K₂O в фильтрационной воде в варианте без удобрений в течение 1-го года исследований увеличивалась от весны к осени, а на 2-й год, наоборот, уменьшалась. В конце 1977 г. при дозе жидкого навоза 400 т/га она снизилась по сравнению с контролем в 3 раза, на 2-й год — в 2,8 раза. В течение двух периодов вегетации в вариантах с навозом концентрация K₂O в фильтрационной воде была ниже, чем в контроле. В среднем за 1-й год в 5-м варианте она была в 3,2 раза ниже, чем в контроле, на 2-й год — в 1,3 раза. Средняя концентрация K₂O в фильтрационной воде во всех вариантах была выше во 2-й год, чем в 1-й. Таким образом, внесение жидкого навоза способствует снижению концентрации вымываемого калия в фильтрационной воде.

Количество фильтрата (л) и вымытых элементов (мг/лизиметр) в 1977 (числитель) и 1978 г. (знаменатель)

Вариант	N—NH ₄	N—NO ₂	N—NO ₃	Ca	Mg	K ₂ O	Фильтрат
1	4,9	0,3	10,4	331,4	128,5	40,9	6,3
	30,4	1,2	17,6	188,6	45,8	84,8	5,3
2	7,2	0,8	13,3	427,5	131,4	18,3	6,2
	19,3	2,0	18,6	298,7	46,3	55,6	5,3
3	6,2	0,8	16,1	424,0	127,0	17,3	5,0
	22,2	1,2	24,4	251,8	37,2	37,6	4,3
4	13,0	0,7	9,4	423,6	126,9	15,1	4,9
	26,1	2,3	36,5	273,9	45,0	59,8	4,9
5	13,1	1,2	25,7	515,4	129,6	8,5	4,8
	20,1	2,9	31,1	324,6	50,0	56,7	4,7

Используя данные табл. 4 и коэффициент перевода величин, выраженных в мг на лизиметр, в величины, выраженные в кг/га (он равен 0,2), получим, что количество вымытого из метрового слоя аммиачного азота увеличилось от 1 до 5,2 кг/га, нитритного — от 0,06 до 0,58, нитратного — от 1,9 до 7,3, кальция — от 37,6 до 103 кг/га. Выщелачивание Mg практически не зависело от дозы жидкого навоза и колебалось в разные годы от 7,5 до 26,2 кг/га. Вымывание K₂O с повышением дозы жидкого навоза уменьшалось в 1-й год с 3,6 до 1,7 кг/га, на 2-й год оно изменялось незначительно и составляло около 10 кг/га. В максимальном количестве K₂O вымывался из метрового слоя в контроле (8,2—17 кг/га). С увеличением доз жидкого навоза несколько уменьшалось общее количество фильтрационной воды.

Т а б л и ц а 5

Количество внесенных и вымытых питательных элементов

Вариант	Внесено за 2 года, г/лизиметр					Вымыто за 2 года, % к внесенному			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	N	K ₂ O	Ca	Mg
1	—	—	—	0,5	0,2	—	—	—	—
2	3,3	2,8	2,3	2,2	1,2	1,9	3,2	23,6	14,8
3	6,6	5,5	4,6	3,6	1,9	1,1	1,2	18,8	8,6
4	9,8	8,3	6,8	4,9	2,7	0,8	1,1	14,2	6,4
5	16,4	13,8	11,4	7,7	4,2	0,5	0,6	10,9	2,5

О количестве внесенных с жидким навозом питательных элементов можно судить по данным табл. 5. При его определении учитывалось также содержание кальция и магния в поливной воде. С увеличением дозы жидкого навоза снижалось относительное количество вымываемых элементов. При внесении с жидким навозом азота относительное количество вымываемого азота не увеличивалось, а уменьшалось. По всей видимости, большие потери азота происходят в результате денитрификации и улетучивания аммиачного азота при заделке навоза. По мнению Е. Н. Мишустина [2], потери азота прежде всего связаны с денитрификацией и в меньшей степени с вымыванием.

Выводы

1. Опыт, проводившийся на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в течение двух лет в лизиметрах с кормовой свеклой при орошении и ежегодном внесении жидкого навоза в дозах 80, 160, 240

и 400 т/га, показал, что концентрация азотистых соединений в фильтрационных водах с увеличением доз навоза возрастала. Максимальное количество аммиачного азота в процессе вегетации по годам колебалось от 5,2 до 12,5 мг, нитритного — от 0,51 до 2,53, нитратного — от 9,7 до 18,1 мг на 1 л.

2. Наибольшее количество калия вымывалось на неудобренной почве (5—21 мг/л K_2O максимально), а при внесении высоких доз жидкого навоза выщелачивание его снижалось.

3. Фосфор в фильтрационной воде не обнаружен.

4. Количество элементов питания, вымываемое за вегетационный период из метрового слоя почвы, по мере увеличения доз жидкого навоза в 1977 и 1978 гг. в условиях полива возрастало.

5. По мере увеличения доз жидкого навоза количество фильтрационной воды несколько уменьшалось.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башкин В. Н., Кудеяров В. Н. Проблема остаточного азота удобрений в почве и воде. — *Агрохимия*, 1977, № 8, с. 126—136. — 2. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. М., «Наука», 1972. — 3. Половинкин Е. Как рационально применять жидкий навоз. — *Земледелие*, 1973, № 12, с. 46—47. — 4. Семенов П. Я., Платонова Л. Г. Бесподстилочный навоз и охрана окружающей среды. — *Агрохимия*, 1977, № 2, с. 143—149. — 5. James Low A. — *J. Sci. Fd. Agric.*, 1973, vol. 24, p. 1489—1495. — 6. Murphy L. S., Wallingford G. W., a. Powers W. L. — *J. of Dairy Sci.*, 1973, vol. 56, N 10, p. 1367—1374. — 7. Olsen R. J., Hensler R. F., Attoe O. J., Witzel S. A., Peterson L. A. — *Soil. Sci. Soc. Amer. Proc.*, 1970, vol. 34, p. 448—452. — 8. Sowden F. J. a. Hore F. R. — *Can. J. Soie Sci.*, 1976, vol. 56, p. 223—231. — 9. Wiklender L. — *Acta Agr. Scand.*, 1977, vol. 27, N 3, p. 175—189.

Статья поступила 13 февраля 1979 г.

SUMMARY

The results of two-year trials with mangel in lysimeters on soddy-podzolic medium loam under irrigation and annual application of liquid manure at the rate of 0, 80, 160, 240 and 400 t/ha are presented in the paper. With higher rates of manure the concentration of nitrogenous compounds in filtration waters increased and made maximally (by years): ammonia nitrogen — 5.2—12.5, nitrite nitrogen — 0.51—2.53 and nitrate nitrogen — 9.7—18.1 mg/l. During the growing periods 3—13 kg/ha of nitrogen, 37.6—103 kg/ha of calcium, 7.5—26.2 kg/ha of magnesium, and 1.7—10 kg/ha of potassium was leached from 1 m layer of the soil.