

Урожайность пшеницы сорта Алтайский янтарь на всех вариантах повышается при обработке семян бактериальными препаратами. В среднем за 2 года на инокулированных вариантах урожайность пшеницы увеличилась по сравнению с контролем на 40,81-56,13%. Максимальная урожайность была получена на варианте с применением смеси препаратов: мизорин + флавобактерин + ризоагрин – 19,17 ц/га. Минеральные удобрения также повышают урожайность пшеницы этого сорта. На фоне $N_{30}P_{60}K_{60}$ урожайность составляла 13,61 ц/га, на $N_{60}P_{60}K_{60}$ – 14,73 ц/га, что выше контрольного варианта на 10,88 и 20,0%.

Заключение

Таким образом, изучение влияния биопрепаратов несимбиотических diaзотрофов и минеральных удобрений на формирование урожайности сортов яровой твердой пшеницы Алтайский янтарь и Алейская показало, что биопрепараты и минеральные удобрения оказывают положительное влияние на фотосинтетическую деятельность, элементы структуры и урожайность обоих сортов пшеницы. Однако отзывчивость сортов пшеницы на инокуляцию была различной. Среднезрелый сорт Алтайский янтарь в большей степени увеличивал всхожесть, сохранность, количество колосков в колосе, ЧПФ, ФСР и урожайность, по сравнению со среднепозднеспелым сортом Алейская. Отзывчивость на минеральные удобрения более высокой была у сорта Алейская.

Библиографический список

1. Базилинская Н.В. Биодоброения. – М.: Агропромиздат, 1989. – 128 с.
2. Сержанов И.М., Шайхутдинов Ф.Ш., Нуриев С.Ш., Майоров И.И. Влияние биологических удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях северной части лесостепи // Достижение науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 29-31.
3. Трепачев Е.П. Роль биологического азота в повышении плодородия почв, урожайности и экономичности сельскохозяйственных культур // Основные условия эффективности применения удобрений. – М., 1986. – С. 225-241.
4. Шотт П.Р. Фиксация атмосферного азота в однолетних агроценозах. – Барнаул: Азбука, 2007. – 170 с.
5. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. – М.: ВНИИА, 2055. – 302 с.
6. Кравченко Л.В. Роль корневых экзо-метаболитов в интеграции микроорганизмов с растениями: автореферат дис. ... д.б.н. – М.: МГУ, 2000. – 45 с.
7. Синеговская В.Т., Абросимова Т.Е. Активация фотосинтетической деятельности яровой пшеницы при длительном применении удобрений // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 5. – С. 43-45.
8. Растениеводство / под ред. Н.И. Вавилова. – Изд. 4-е, доп. и перераб. – М.: Колос, 1979. – 519 с.
9. Завалин А.А. Эффективность применения препаратов diaзотрофов для оптимизации азотного питания растений в различных зонах // Бюллетень ВИУА. – 2001. – № 114. – С. 89-90.



УДК 631.6.02

А.В. Тиньгаев,
А.С. Давыдов

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКОПЛЕНИЯ, МИГРАЦИИ И ТРАНСФОРМАЦИИ АЗОТА В ПОЧВЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Ключевые слова: математическая модель, азот, информационная технология, прогноз, свиноводческие стоки.

Введение

При использовании органических отходов в качестве удобрений в почву поступают органическое вещество и элементы питания в доступных для растений видах. Однако

при ненормируемом использовании или некачественной подготовке органических отходов наблюдается развитие негативных процессов, таких как загрязнение, занитрификация и других. Для предотвращения или снижения негативных последствий использования органических отходов в сельском хозяйстве необходимо прогнозировать возможные негативные процессы с использо-

ванием математических моделей и информационных технологий.

Цель исследований – экологически безопасное использование органических удобрений в качестве удобрений.

Для реализации цели были поставлены следующие **задачи**:

- рассмотреть математическую модель накопления, миграции и трансформации азота в почве;
- разработать информационную технологию для прогнозирования азота в почве;
- с использованием информационной технологии оценить изменение азотных соединений при орошении стоками свинокомплекса «Антипинский».

Объекты и методы

Исследования по накоплению, миграции и трансформации азота в почве при внесении стоков свинокомплекса проведены для Тогульского района Алтайского края.

В лугово-степной зоне (Тогульский район) количество осадков, выпадающих за год, составляет 490 мм, в том числе 284 мм за вегетационный период. Сумма осадков за период с температурой выше +10°C составляет 225-250 мм. ГТК варьируется в пределах 1,2-1,4, что характерно для зоны обеспеченного увлажнения.

Почвы опытного участка – черноземы выщелоченные маломощные среднегумусные средне- и тяжелосуглинистого состава. Содержится валовых: азота – 0,38-0,45%, фосфора – 0,191-0,218, калия – 2,55-2,66%. Сумма поглощенных оснований в пахотном горизонте в среднем составляет 42,4 мг-экв/100 г почвы. Содержание кальция – до 85% от емкости поглощения. Плотность сложения почвы в верхнем слое (0-30 см) – 1,15-1,17 г/см³, пористость – более 50%, наименьшая влагоемкость – более 35%.

Подготовленные стоки свинокомплекса «Антипинский» характеризуются высоким содержанием биогенных элементов: азота общего в среднем за 3 года – 744 мг/л, P₂O₅ и K₂O – соответственно, 843 и 532 мг/л с благоприятным соотношением N:P:K = 1,4:1,0:1,6 (табл. 1).

По агрономической оценке стоки характеризуются благоприятным качеством и пригодны для удобрительных поливов:

SAR = 4, SAR_{вывер.} = 3,1, ирригационный коэффициент = 6,1, коэффициент ионного обмена = 1,6. Допустимые значения имеют и другие показатели.

Для долгосрочного прогноза накопления, миграции и трансформации азота в почве использовали математическую модель Р. Groenendijk, 1999 [1]:

Перенос азотных соединений в почве описывается следующими зависимостями [1]:

для органического азота

$$\frac{\partial(\theta C_{ON})}{\partial t} = -\frac{\partial J_{s,ON}}{\partial z} - R_{d,ON} + R_{p,ON} ;$$

для аммонийного азота

$$\frac{\partial(\theta C_{NH4})}{\partial t} + p_d \frac{\partial X_{e,NH4}}{\partial t} = -\frac{\partial J_{s,NH4}}{\partial z} - R_{u,NH4} - R_{d,NH4} + R_{p,NH4} ;$$

для нитратного азота

$$\frac{\partial(\theta C_{NO3})}{\partial t} = -\frac{\partial J_{s,NO3}}{\partial z} - R_{u,NO3} - R_{d,NO3} + R_{p,NO3} ,$$

где C_i – концентрация i-того вещества, кг/м³;

R_{u,i} – отбор азота корнями, кг м⁻³ сут.⁻¹;

R_{d,i} – разложение i-того вещества, кг м⁻³ сут.⁻¹;

R_{p,i} – источник i-того вещества, кг м⁻³ сут.⁻¹;

J_{s,i} – вертикальная миграция i-того вещества, кг м⁻² сут.⁻¹,

p_d – плотность почвы, кг/м³;

X_{e,NH4} – объем сорбированного аммония, кг/кг.

Разложение характеризуется кинетикой первого порядка [1]:

$$R_d = k_1 \theta_i c_i ,$$

где k₁ – коэффициент распада первого порядка, сут.⁻¹.

Отбор корнями описывается зависимостью [1]:

$$R_u = \sigma \frac{q_{tr}}{\Delta z} c_i ,$$

где σ – фактор, отвечающий за отбор вещества и зависящий от потребности растений и доступности вещества в почве (долей единицы).

Таблица 1

Химический состав свиносток комплекс «Антипинский» за годы исследований, мг/л

рН	Азот		P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	SO ₄	Cl
	общий	аммиачный						
6,6	744	609	532	843	122	67	147	366

Источник поступления аммонийного азота в почву описывается уравнением минерализации органического азота:

$$R_{p,NH4} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} \left(\sum_{fn=1}^{nf} (f_{N,fn} - af_{N,hu}) f_h k_{fn} OM_{fn}(t) + (f_n^L - af_{N,hu}) k_s \theta C_{OM} + (f_{N,ex} - af_{N,hu}) k_{ex} EX(t) + f_{N,hu} k_{hu} HU(t) \right) dt$$

где $f_{N,fn}$ – фракция азота в fn -том органическом материале, долей единицы;

a – фактор ассимиляции вещества в гумусе, долей единицы;

$f_{N,hu}$ – фракция азота в гумусе, долей единицы;

f_n – процент разлагающихся твердых органических соединений, идущий на формирование гумуса, долей единицы;

k_{fn} – коэффициент распада fn -той органической фракции, сут.⁻¹;

OM – органические соединения в твердой фазе, кг м⁻³;

f_N^L – фракция азота в растворенных органических соединениях, долей единицы;

C_{om} – концентрация органических соединений в почвенной влаге, кг/м³;

k_{ex} , k_{hu} , k_s – коэффициенты распада остатков корней, гумуса и растворенных органических соединений соответственно, сут.⁻¹;

EX , HU – количество остатков корней и гумуса соответственно, кг м⁻³;

$f_{N,ex}$ – процент содержания азота в отмирающих частях растений, долей единиц.

Источник поступления нитратов в почву описывается уравнением нитрификации:

$$R_{p,NO3} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} k_{nit} \theta C_{NH4}(t) dt,$$

где k_{nit} – коэффициент нитрификации, сут.⁻¹.

Процесс разложения нитратов (денитрификация) требует наличия достаточного количества кислорода. В случае его нехватки объем денитрификации уменьшится.

Сорбция аммония в равновесной фазе рассчитывается по формуле:

$$X_{e,NH4} = K_d c_{nh4},$$

где K_d – линейный коэффициент сорбции, м³ кг⁻¹.

Предполагается, что объем сорбированного вещества пропорционален его концентрации в жидкой фазе.

В модели учитываются следующие варианты поступления азота в систему: при внесении удобрений, в результате отмирания корней растений, при потерях при укосе, следующими уравнениями [1]:

$$OM(t + \tau) = OM(t) + (f_{i,fn} - f_{i,fn}^L) \frac{f_i^o M_i}{\Delta z};$$

$$c_{om}(t + \tau) = c_{om}(t) + \sum_{fn=1}^{nf} f_{i,fn}^L \frac{f_i^o M_i}{\theta \Delta z};$$

$$ON(t + \tau) = OM(t) + f_{N,fn} (f_{i,fn} - f_{i,fn}^L) \frac{f_i^o M_i}{\Delta z};$$

$$c_{on}(t + \tau) = c_{on}(t) + \sum_{fn=1}^{nf} f_{N,fn} f_{i,fn}^L \frac{f_i^o M_i}{\theta \Delta z};$$

$$(\theta + p_d K_d) c_{nh4}(t + \tau) = (\theta + p_d K_d) c_{nh4}(t) + (1 - f_{v,i}) \frac{f_{nh4,i} M_i}{\Delta z};$$

$$\theta c_{no3}(t + \tau) = \theta c_{no3}(t) + \frac{f_{no3,i} M_i}{\Delta z};$$

где c_{om} – концентрация растворенных в воде органических соединений, кг м⁻³;

c_{on} – концентрация растворенного азота, кг м⁻³;

ON – органический азот в твердой фазе, кг м⁻³;

f_i^o – процент органического вещества в i -том материале, долей единицы;

$f_{i,fn}^L$ – процент растворенного органического вещества в fn -той фракции, долей единицы;

$f_{i,fn}$ – процент fn -той фракции в i -том материале, долей единицы;

$f_{N,fn}$ – процент азота в fn -той фракции, долей единицы;

$f_{v,i}$ – процент испарившегося аммония, долей единицы;

f_{nh4} – процент аммония в i -том материале, долей единицы;

f_{no3} – процент нитратов в i -том материале, долей единицы;

M_i – добавленные в систему органические и минеральные удобрения, кг м⁻².

Результаты и их обсуждение

Для прогноза накопления, миграции и трансформации азота в почве при использовании органических отходов была разработана информационная технология «Содержание азота в почве» (рис.). Ядром информационной технологии является рассмотренная модель.

Стоки свинокомплекса «Антипинский» за 3 года оказали положительное воздействие на основные агрохимические свойства чернозема по опытным данным.

Содержание легкогидролизуемого азота в слое почвы 0-60 см по сравнению с исходными данными при норме стоков 100 м³/га увеличилось от 43,0 до 50,5 мг/кг, а при норме 300 м³/га – до 53,9 мг/кг.

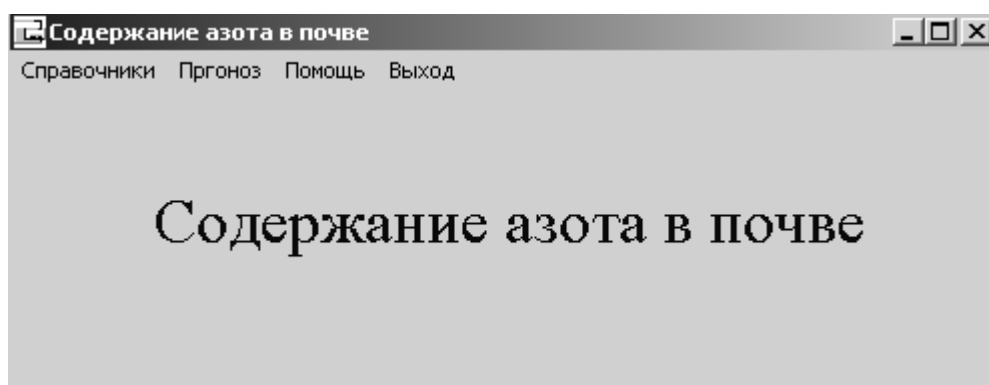


Рис. Главное окно информационной технологии «Содержание азота в почве»

Таблица 2
Изменения агрохимических свойств почвы при ежегодном внесении стоков комплекса «Антипинский» за 3 года (опытные данные)

Вариант	Слой поч-вы, см	Гумус, %	Валовое содержание, %			Подвижные, мг/кг		
			N	P	K	N _{л.г.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Контроль	0-20	6,28	0,445	0,216	2,62	54,7	217	309
	0-60	4,52	0,271	0,208	2,54	38,3	162	283
100 м ³ /га	0-20	6,48	0,470	0,227	2,78	69,3	238	352
	0-60	4,67	0,291	0,218	2,72	50,5	178	314
200 м ³ /га	0-20	6,51	0,474	0,231	2,87	71,6	247	302
	0-60	4,71	0,294	0,222	2,79	52,0	182	311
300 м ³ /га	0-20	6,52	0,482	0,236	2,98	75,9	258	367
	0-60	4,74	0,299	0,223	2,90	53,9	189	325

При внесении стоков свинокомплекса отмечалась тенденция увеличения валового содержания азота. Содержание валового азота при норме стоков 300 м³/га возросло от 0,439 до 0,482% в слое почвы 0-20 см и от 0,267 до 0,299% в слое 0-60 см. При меньших нормах тенденция накопления азота сохранялась, но значения были ниже. В слое почвы 0-20 см содержание азота легкогидролизуемого при нормах 100 и 300 м³/га стоков увеличилось от 58,5 до 69,3 и 75,9 мг/кг соответственно.

Прогнозные данные показали небольшое расхождение по сравнению с полученными в результате опыта. Сравнение расчетных данных с фактическими результатами агрохимических исследований показало, что коэффициент несходимости Тейла не превышает 25%, что свидетельствует о достаточной адекватности используемой модели.

Прогноз на 10 лет показал накопление валового азота в почве, при норме стоков 300 м³/га содержание валового азота возросло до 0,61% в слое почвы 0-20 см и до 0,38% в слое 0-60 см, но занитрачивания почв не произойдет.

Заключение

Прогнозирование накопления, миграции и трансформации азота в почве с использованием информационной технологии позволит обосновывать экологически безопасные нормы внесения органических отходов в почву и не допустить занитрачивания почв.

Библиографический список

1. Кирейчева Л.В., Карпенко Н.П., Тиньгаев А.В. и др. Новые технологии проектирования, обоснования строительства, эксплуатации и управления мелиоративными системами / ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии. – М.: Изд-во ГНУ ВНИИА Россельхозакадемии, 2010.
2. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы.
3. СанПиН 2.1.7.573-96. 2.1.7. Почва. Очистка населенных мест. Бытовые и промышленные отходы. Санитарная охрана почвы.

