

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОЛОГИИ

УДК 519.863

В. А. Иванюкович¹, А. А. Шабанов¹, О. И. Родькин²

¹Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова,
г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский научно-исследовательский центр «Экология»
г. Минск, Республика Беларусь

ИНТЕРАКТИВНАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ВНОСИМЫХ УДОБРЕНИЙ

Предложена модель расчета оптимального количества азотных удобрений для повышения урожайности зерновых культур и биомассы соломы. Модель основана на статистических данных производства сельскохозяйственной продукции в Беларуси. В качестве примера представлен блок интерактивной модели, разработанный в табличном процессоре.

➤ **Ключевые слова:** зерновые культуры, солома, урожайность, соединения азота, моделирование, азотные удобрения, биомасса, табличный процессор.

Сохраняющиеся высокие цены на традиционные энергоносители и ужесточающиеся требования к охране окружающей среды обуславливают высокий интерес у производителей и потребителей тепловой и электрической энергии к использованию в качестве топлива нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, в том числе биомассы. В Республике Беларусь одним из основных видов топливной биомассы может стать солома, объемы которой напрямую зависят от общей урожайности зерновых культур.

На урожайность зерновых культур влияет большое число факторов – необходимо учитывать требования культуры к температуре, влаге, свету, почве, питанию и т.д. Для решения задачи повышения урожайности нужно знать количественную зависимость продуктивности растения от влияющих на нее факторов, которая может быть определена при помощи множественного регрессионного анализа. Такой анализ проведен для оценки зависимости урожайности зерновых культур от четырех факторов для всех регионов страны на основе данных, представленных в табл. 1 [1].

Таблица 1

Средние показатели условий возделывания и урожайности зерновых по областям, 2011–2013 гг.

Область	Осадки за май–июнь, мм	Сумма эф-ых температур с мая по сентябрь, °С	Балл пашни	Удобрения, кг/га	Урожайность, ц/га
Брестская	127,6	955,2	31,3	196	33,4
Витебская	126,6	791,4	26,3	175	25,1
Гомельская	123,3	971,3	29,8	185	27,4
Гродненская	130	841,5	34,3	216,5	41,4
Минская	132,2	860,4	32,5	195	36
Могилевская	125,5	835,2	31,3	181,5	35,2

Получено уравнение линейной множественной регрессии для урожайности зерновых имеет вид:

$$y = 0,35 \times x_1 + 0,15 \times x_2 + 0,36 \times x_3 + 0,04 \times x_4 - 55,56, \quad (1)$$

где y – урожайность зерновых, ц/га; x_1 – количество осадков, мм; x_2 – эффективная температура (среднесуточная температура, превосходящая нижний порог развития культуры), °С; x_3 – балл пашни; x_4 – количество внесенных удобрений на 1 га посева (кг) (биомассу соломы, получающейся при такой урожайности зерновых, можно оценить, если принять во внимание, что в условиях Беларуси для среднерослых генотипов соотношение урожайности зерна к соломе составляет 43:57 [2].

Коэффициент множественной детерминации равен 0,99, т.е., можно обоснованно утверждать, что результативная переменная (урожайность зерновых) находится в тесной линейной связи с вы-

бранными факторными переменными. Коэффициент множественной детерминации $R^2 = 0,98$ показывает, что 98% вариации урожайности зерновых в разных областях страны можно объяснить совместной вариацией температурного режима, режима увлажнения, количества внесенных удобрений и качества почвы.

Одним из важных факторов, влияющих на урожай зерновых и, соответственно, биомассу соломы, является внесение удобрений, в частности азотных. Этот фактор может регулироваться человеком и влияет как на урожайность, так и на загрязнение окружающей среды.

Проблема азотного загрязнения окружающей среды представляется очень важной в связи с постоянно возрастающими масштабами техногенного воздействия. В наши дни происходит значительное поступление соединений азота антропогенного происхождения или, другими словами, техногенного азота в окружающую среду. При этом наблюдается увеличение концентраций определенных азотсодержащих соединений в компонентах окружающей среды, что часто приводит к их техногенной трансформации. Особенно актуальна данная проблема для районов с развитым промышленным или сельскохозяйственным производством, т.к. возможно нарушение саморегуляции экосистем и даже, в отдельных случаях, их деградация.

Во многих странах, в том числе и в большинстве районов Беларуси, наблюдается прогрессирующий рост содержания нитратов и других соединений азота в поверхностных и подземных водах, на полях, в растительных объектах. Избыток нитратов, в основном попадающих в почву и, соответственно, в растения, с удобрениями может негативно воздействовать на окислительно-восстановительные процессы, протекающие в организме человека, на ЦНС, могут угнетать дыхательную и сердечную деятельность, являться мутагенами и канцерогенами [3]. Но и недостаток нитратов может привести к нежелательной ситуации: уменьшение качества и количества выращиваемой сельскохозяйственной продукции, деградация почв и т.д. [3].

Для регулирования количества нитратного азота требуется разработка методов оценки азотного режима почв с учетом особенностей превращений азота и его трансформации, которые должны обеспечиваться надежными методами исследований, допускающими независимую верификацию.

При создании интерактивной модели расчета количества вносимых нитратных удобрений учитывалась технология внесения удобрений для озимых зерновых культур. Система удобрения для озимых зерновых, как правило, трехэтапная, включающая основное, предпосевное удобрение и подкормки. Средние расчетные дозы минеральных удобрений под озимые зерновые культуры на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах приведены в табл. 2 [4]:

Таблица 2

Дозы минеральных удобрений под озимую рожь и пшеницу на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене почвах

Удобрения	Планируемая урожайность (зерно), ц/га			
	31–40	41–50	51–60	61–70
Азотные, кг/га	80–100	100–120	120–140	140–160

При определении средних доз удобрений учитываются поправочные коэффициенты в зависимости от типа и гранулометрического состава почв [4]:

- 1,0 для дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных на морене;
- 1,1 для дерново-подзолистых супесчаных и песчаных на песках;
- 0,4 для торфяных.

Расчет количества азотных удобрений, которые требуется внести в почву, проводится в два этапа. Сначала прогнозируется достижимая (планируемая) урожайность – потенциальная урожайность, лимитированная условиями увлажнения. Ее можно определить, исходя из того, что формирование урожая зерна на единицу израсходованной растением воды составляет 20 кг/га/мм [5]. Количество воды, израсходованное растением за вегетационный период, устанавливается с учетом измеренных или рассчитанных запасов продуктивной почвенной влаги и ожидаемого количества осадков.

$$A = b \times (m_1 - m_2), \quad (2)$$

где A – потенциальная урожайность зерновых, кг/га; $b = 20$ кг/га/мм – константа, определяющая формирование урожая зерна на единицу израсходованной растением воды; m_1 – суммарное количество влаги, включающее в себя запасы продуктивной влаги (в метровом слое почвы) и потенциальное количество осадков за вегетационный период, мм; m_2 – непроизводительный расход почвенной влаги, мм.

Спрогнозировав урожайность пшеницы, можно установить и потребность растений в элементах питания.

При расчетах предполагается, что глубина проникновения корней ничем не ограничена, коэффициент использования азота из почвы и удобрений составляет 50%, а осадки равномерно распределяются в течение вегетации, что, как предполагается, позволит достичь запланированной урожайности [5].

Минерализация почвенного азота за вегетационный период зависит от содержания органического углерода в почве, количества осадков и рассчитывается по формуле [5]:

$$N_m = c \times m_p / 6, \quad (3)$$

где N_m – минерализация почвенного азота за вегетационный период, кг/га; c – содержание органического углерода в почве, %; m_p – количество осадков за вегетационный период, мм.

Потребность в азотных удобрениях для достижения потенциальной урожайности (кг/га):

$$N = N_p - (N_m + N_n), \quad (4)$$

где N_p – потребность в азоте, кг/га; N_m – минерализация почвенного азота за вегетационный период, кг/га; N_n – запасы минерального азота при посеве, кг/га.

Потери азота из почвы могут происходить при вымывании и денитрификации. Вымывание – это процесс перехода растворимого нитрата с водой в более глубокие слои почвы. Почвы с высокой способностью удерживать воду могут аккумулировать значительное количество воды вместе с нитратом [6].

Стандартная оценка вымываемого нитрата может быть рассчитана по формуле [5]:

$$d = 100 \times a / P_v, \quad (5)$$

где d – глубина вымывания, см; P_v – емкость (водопоглащающая способность), %; a – количество промывных вод.

Процесс денитрификации – превращение запаса нитрата в различные формы азота, которые могут перейти в атмосферу. Для уменьшения потенциальных потерь азота вследствие денитрификации время внесения азота синхронизировано с фазой максимального потребления азота корнями растений.

Чтобы установить связь между количеством вносимых удобрений и вышеупомянутыми факторами, был проведен множественный регрессионный анализ. Уравнение линейной множественной регрессии для внесения азотных удобрений имеет вид:

$$y = 3,78 \times x_1 - 1,03 \times x_2 + 30,66 \times x_3 - 34,3, \quad (6)$$

где y – потребность в азотных удобрениях для достижения потенциальной урожайности, кг/га; x_1 – потенциальная урожайность, ц/га; x_2 – запасы минерального азота в почве при посеве, кг/га; x_3 – содержание органического углерода в почве, %.

Предложенные модели удобны для экспресс-анализа различных ситуаций, например, связанных с погодными условиями. На рисунке 1 показаны примеры зависимостей расчетного количества вносимых азотных удобрений от различных факторов.

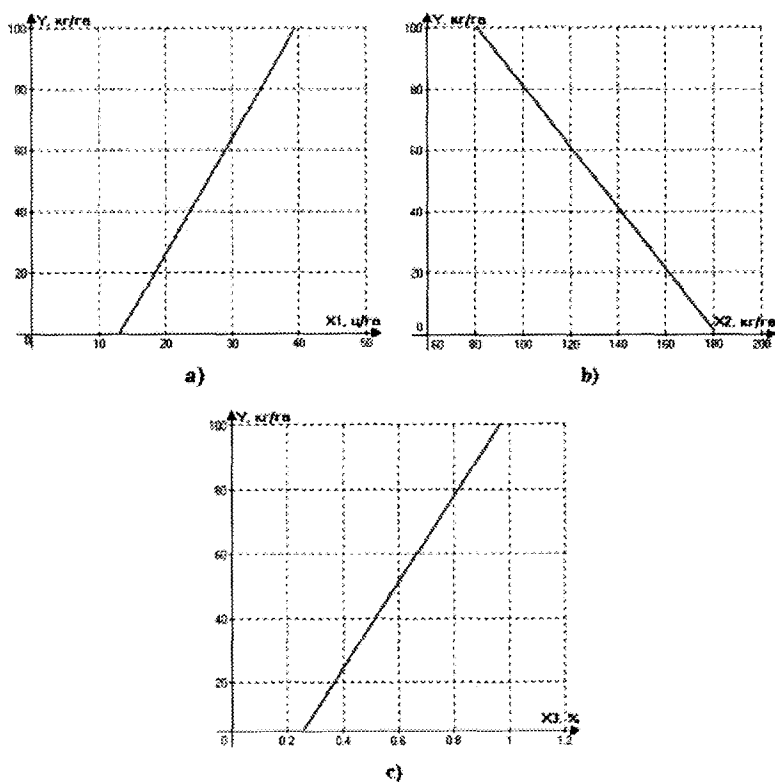


Рисунок 1 – Графическое представление влияния различных факторов на расчетное количество вносимых азотных удобрений: а) потенциальной урожайности; б) запасов минерального азота в почве при посеве; в) содержания органического углерода в почве

На основе разработанной модели с учетом технологии внесения удобрений для озимых зерновых культур создана интерактивная модель, помогающая планировать количество вносимых нитратных удобрений, которая легко реализуется в электронных таблицах (рис. 2).

Определение потенциальной урожайности		
Запасы продуктивной влаги	мм	100
Ожидаемое количество осадков за вегетационный период	мм	280
Суммарное количество влаги	мм	380
Формирование урожая зерна на единицу израсходованной растением воды	кг/га/мм	20
Непроизводительный расход почвенной влаги	мм	100
Потенциальная урожайность	ц/га	56

Определение потребности в азотных удобрениях		
Тип почвы	Дерново-подзолистая суглинистая и супесчаная на морене	
Потребность в азоте	кг/га	252
Запасы минерального азота в почве при посеве	кг/га	55
Содержание органического углерода в почве	%	1,1
Минерализация почвенного азота за вегетационный период	кг/га	42,42
Поступление азота из почвы	кг/га	97,42
Потребность в азотных удобрениях для достижения потенциальной урожайности	кг/га	154,58

Рисунок 2 – Расчет поглощения нитратного азота корневой системой растений

Подобный подход позволяет производить также расчеты оптимального количества вносимых фосфорных и калийных удобрений.

Список литературы

1. Урожайность зерновых. Где скрыты резервы. Научно-практический аграрный журнал “Белорусское сельское хозяйство”. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://agriculture.by/articles/rastenievodstvo/urozhajnost-zernovyh.-gde-skryty-rezervy>. – Дата доступа : 10.02. 2015
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2011. – 283 с.
3. Строгонова, Л. Н. Геоэкологические закономерности миграции соединений азота в окружающей среде. Диссертация канд. географ. наук: 25.00.36. Воронеж, 2001 г., с 216;
4. Система удобрений озимых зерновых культур. Информационно-торговая площадка “Фермерство”. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: http://farming.by/udobrenija/udobrenie_ozimyh. – Дата доступа : 15.03.2015
5. Система применения удобрений под пшеницу в условиях изменчивого климата. “Питание растений”, № 4, 2012 г., С. 12–15.
6. Рэймонд Вард. Протеиновая наука для богатых урожаев. «Агротест» № 9, 2007 г., С. 38–43.