

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ДИНАМИКИ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

Захарова Ольга Алексеевна¹, Евсенкин Константин Николаевич²

¹Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», г. Рязань, России

²Федеральное государственное бюджетное научное учреждение федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова, г. Москва, Россия

²kn.evsenkin@yandex.ru

Аннотация.

Проблема и цель. В земледелии основным средством производства выступает почва, а ее главным свойством является плодородие. Уровень плодородия почв значительно снизился с началом экономических преобразований в стране, когда удобрения почти не вносились, а мелиоративные системы старели и разрушались. Сейчас важная задача сохранения и восстановления утраченного плодородия стоит остро перед сельхозпроизводителями, поэтому идет поиск современных удобрительных средств, решающих сразу несколько задач: это и удобрение, и активатор почвенной микрофлоры, и регулятор кислотности и др. Иметь сведения об агрохимических свойствах почвы, в частности азотном питании, в режиме онлайн в конкретное время поможет математическая детерминированная модель.

Методология. В исследованиях применялась математическая детерминированная модель, состоящая из двух блоков с учетом концентрации азота в почве, наряду с другими веществами, влияния погодных факторов, прежде всего, на превращения органики в мелиорируемой торфяной почве.

Результаты. Результаты на варианте 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га и регулировании УГВ на отметке 0,9 м были наилучшими. Исходное содержание гумуса выражено %-ным содержанием, свежая органика, поступающая с мелиорантом, - количеством сухой массы вещества. Разложение свежего органического вещества составило 0,47. Буферная способность почвы в конце вегетационного периода 3-го года исследований была равна 4,7 мг/100 г почвы. Переход аммонийной формы азота в нитратную была на отметке 18%.

Заключение. Обобщая вышеизложенное, надо отметить, что автоматизация научных исследований позволила в режиме онлайн пронаблюдать изменения

азотного питания в динамике с позиции системного подхода. Для отображения динамики азотного питания почвы при внесении мелиоранта и регулировании УГВ без отбора проб и проведения лабораторных анализов возможно получить исходные данные для расчетов и получения информации об изменениях при внесении мелиоранта и регулировании УГВ.

Ключевые слова: почва, водный режим, пищевой режим, азотное питание, мелиорант.

Original article

MATHEMATICAL DETERMINISTIC MODEL FOR DISPLAYING THE DYNAMICS OF NITROGEN NUTRITION

Zakharova Olga Alekseevna¹, Evsenkin Konstantin Nikolaevich²

¹*Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev", Ryazan, Russia*

²*Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Hydraulic Engineering and Land Reclamation Named after A.N. Kostyakov", Moscow, Russia*

²*kn.evsenkin@yandex.ru*

Abstract.

Problem and purpose. *The main means of production in agriculture is soil, and its main property is fertility. The level of soil fertility decreased significantly with the beginning of economic transformations in the country, when almost no fertilizers were applied, and reclamation systems were aging and collapsing. Nowadays, the important task of preserving and restoring lost fertility is urgently facing agricultural producers, so a search is underway for modern fertilizers that solve several problems at once: this is a fertilizer, an activator of soil microflora, an acidity regulator, etc. A mathematical deterministic model will help to have online at a specific time information about agrochemical properties of the soil, in particular nitrogen nutrition.*

Methodology. *The studies used a mathematical deterministic model, consisting of two blocks, taking into account the concentration of nitrogen in the soil, along with other substances, the influence of weather factors, primarily on the transformation of organic matter in reclaimed peat soil.*

Results. *The results for option 9 when applying ameliorant at a dose of 15 t/ha and regulating the groundwater level at 0.9 m were the best. The initial humus content was expressed as a % content, fresh organic matter supplied with ameliorant was expressed as the amount of dry matter of the substance. The decomposition of fresh organic matter was 0.47. The buffer capacity of the soil at the end of the growing*

season of the 3rd year of research was equal to 4.7 mg/100 g of soil. The transition from the ammonium form of nitrogen to the nitrate form was at 18%.

Conclusion. Summarizing the above, it should be noted that the automation of scientific research has made it possible to observe online changes in a specific process, in particular nitrogen nutrition, at a specific point in time and soil layer, in dynamics from the perspective of a systems approach. To display the dynamics of soil nitrogen nutrition when applying ameliorant and regulating the groundwater level, without sampling and conducting laboratory tests, it was possible to obtain initial data for calculations and obtain information about changes when applying ameliorant and regulating the groundwater level.

Key words: soil, water regime, food regime, nitrogen nutrition, ameliorant

Введение

Уровень развития сельскохозяйственного производства определяется следующей последовательностью, на которую ссылается в своей работе Г.А. Бабков [2], на рисунке 1 она изображена в виде схемы:

Индикаторы развития сельскохозяйственного производства	продуктивность земель увеличение объемов выпуска и продаж качественной продукции
	оптимизации себестоимости единицы продукции оптимизация цен, в соответствии с объемами и качеством реализуемой продукции
	рентабельное производство

Рисунок 1 – Индикаторы развития сельскохозяйственного производства
Figure 1 – Indicators of agricultural production development

Плодородие почвы является основой продуктивности [1, 3, 7]. Гумусовый горизонт в осушаемых торфяных почвах незначителен. По Г.А. Бабкову [3], различают три типа восстановления утраченного в процессе сельскохозяйственного использования плодородия почв [5, 9, 12], среди которых действенным на данном объекте является природопотребляющий, экстенсивный. Это есть следствие введения инвестиций только на экономический потенциал, выражающий финансовую устойчивость конкретной организации. В ретроспективе до 1990-х годов на объекте действовал второй тип воспроизводства - природонейтральный, направленный на рост экономических показателей и предупреждения деградации, за которым должен был наступить третий тип - природоразвивающийся, интенсивный. К сожалению, этого не произошло [2,10]. Цель наших исследований – оценить азотное питание с помощью математической детерминированной модели.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в п. Полково (рисунок 2) на лизиметрической станции [12].

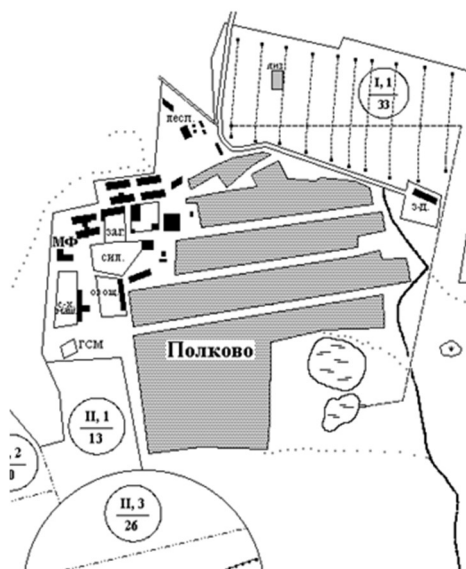


Рисунок 2 – Место проведения исследований
Figure 2 – Research location

Восполнение дефицита элементов питания производилось однократным внесением мелиоранта на основе козьего навоза. Мелиорант разработан к.т.н., в.н.с. ФГБРУ ФНЦ ВНИИГиМ К.Н. Евсенкиным. Схема опыта отображена в ранее опубликованной работе [12]. При обработке результатов использовалась модель математическая детерминированная, которая позволяет провести математическое и компьютерное моделирование конкретного процесса [8]. Нами осуществлена формализация исходной информации по азотному питанию с помощью

алгоритмических представлений на основе программно-реализуемых вычислительных экспериментов, уравнений, описывающих динамику азотного питания растений (ячменя). Результаты обработаны в компьютерной программе Statistika10.

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрение данных о концентрации азота в почве, полученных на автоматической модели с информацией о впитывающей способности корней ячменя, есть важный момент вследствие возможного регулирования трансформации азота в почве.

Так, на рисунке 3 показан блок «Выходные данные» с данными по содержанию разных форм азота в разных слоях почвы: 0-30 см, 30-60 см и 60-150 см [4, 12]. Здесь же накладывались и погодные факторы, и активность микробиоты на развитие этого процесса. Проследить переход одной формы в другую, в частности аммонийной в нитратную, не представляло трудностей. Модель отображала потребление азота растениями при действии двух процессов: активного и пассивного транспорта [10, 12, 13].

Как видно из рисунка 3, при изучении азотного питания растений в модели принимались во внимание твердая фаза почвы и почвенный раствор, а также гумус (%) и свежая органика в виде растительных остатков (сухая масса вещества), NH_4 , NO_3 , P_2O_5 и ионы калия.

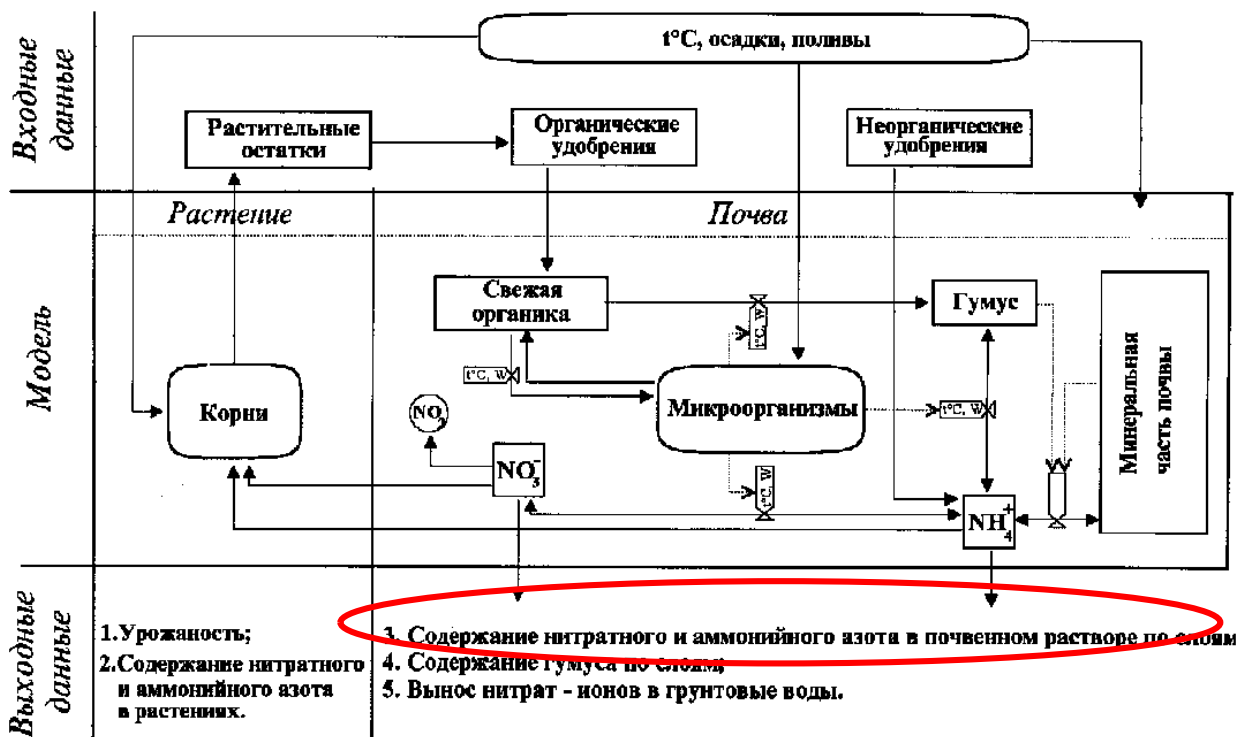


Рисунок 3 - Блок-схема модели трансформации органического вещества в почве и потоков минерального азота

Figure 3 - Block diagram of the model of transformation of organic matter in soil and mineral nitrogen flows

В статье приводятся расчеты на варианте 6, взятого за контроль – без внесения мелиоранта и регулирования водного режима, и варианте 9 – с внесением мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании УГВ на отметке 0,9 м как наилучшего с агрономической точки зрения, что отмечалось в ранее опубликованных работах. Расчеты выполнялись по формуле:

$$M_p(i+1) = M_p(i) + M_{pp} \Big|_{i=0} + M_{pt} \Big|_{i=0} - J_p(i) \cdot \Delta\tau, \quad (1)$$

где $M_p(i+1)$, $M_p(i)$ - фактическое и исходное количество свежей органики в почве;

M_{pp} - наличие растительных остатков в почве;

M_{pt} - вносимые органические удобрения в составе мелиоранта;

$J_p(i)$ - количество органического вещества, минерализованного бактериями и ферментами почвы за сутки, кг/(сут·га).

Вариант 6 - контроль

$M_p(i+1)$ до внесения мелиоранта = 2,15%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 2,15%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 2,15%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 2,14%

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$M_p(i+1)$ до внесения мелиоранта = 2,15%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 2,17%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 2,25%

$M_p(i+1)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 2,33%

Так, через год после внесения мелиоранта концентрация гумуса выросла на 0,02%, через два года – 0,19% по сравнению с контрольным вариантом.

При расчете гумуса в почве применялось уравнение с введением %-го содержания азота и фосфора [6, 12]:

$$M_o(i+1) = M_o(i) + [J_{po}(i) - J_o(i)] \cdot \Delta\tau, \quad (2)$$

где $M_o(i+1)$, $M_o(i)$ - фактическое и исходное содержание массы гумуса в почве; $J_{po}(i)$ - поток гумуса за счет разложения свежей органики;

$J_o(i)$ - скорость разложения гумуса микрофлорой и химическим путем.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$M_o(i+1)$ до внесения мелиоранта = 0,08%

$M_o(i+1)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 0,02%

$M_o(i+1)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 0,07%

$M_o(i+1)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 0,09%

То есть прослеживается прямая связь разложения органики от дозы вносимого мелиоранта в условиях регулирования водного режима.

С позиции кинетики, скорость разложения гумуса отображена через биологическую активность K_a и температуру почвы T_s [11, 12]:

$$J_o(i) = M_o(i) \cdot \left[1 - \exp(-K_a \cdot T_s(i)) \right]. \quad (3)$$

При внесении мелиоранта, как показали расчеты, возросла численность микробиоты и ее активность (M^b), следовательно, и усиление процесса разложения органического вещества почвы при учете действия погодных факторов, учете качества субстрата [12, 13]:

$$J_p(i) = k_1^r \cdot M^b(i) + k_2^r \cdot G(i), \quad (4)$$

где k_1^r , k_2^r - коэффициенты дыхания роста и дыхания поддержания почвенной биоты; $G(i)$ – биомасса почвенной биоты в i -ый момент времени.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$J_p(i)$ до внесения мелиоранта = 0,66%

$J_p(i)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 0,53%

$J_p(i)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 0,51%

$J_p(i)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 0,47%

Отмечена тенденция обратной зависимости разложения органики от

деятельности почвенной микрофлоры, что, очевидно, объясняется недостатком пищи для сформированного комплекса почвенной микробиоты.

Расчет баланса в режиме реального времени для аммонийной (M_{NH}) и нитратной (M_{NO}) форм азота, доступных растениям, проводился по формуле:

$$\begin{aligned}
 M_{NH}(i+1) &= M_{NH}(i) + M_{y\partial}(i) + [J_{NH}^O(i) + J_{NH}^P(i) - \\
 &\quad - J_{NH \rightarrow NO}(i) - J_S(i) - J_P(i) \cdot k_{NH}] \cdot \Delta\tau; \\
 M_{NO}(i+1) &= M_{NO}(i) + M_{y\partial}(i) + \\
 &\quad + [J_{NH \rightarrow NO}(i) - J_P(i) \cdot (1 - k_{NH}) - J_{inf}(i)] \cdot \Delta\tau,
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

где J_{NH}^P - потоки азота за счет минерализации органического вещества;

$M_{y\partial}$ - поток азота при внесении мелиоранта,

$J_{NH \rightarrow NO}$ - поток превращения аммонийной формы азота в нитратную;

J_S, J_P - связывание азота почвенным буфером и корнями растений;

J_{inf} - сток нитратного азота с водой в нижний горизонт почвы, кг/га·сут;

k_{NH} - доля аммиачного азота в общем потоке азота, поглощаемого корнями растений.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$M_{NH}(i+1)$ до внесения мелиоранта = 110 мг/100г почвы

$M_{NH}(i+1)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 118 мг/100 г почвы

$M_{NH}(i+1)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 122 мг/100 г почвы

$M_{NH}(i+1)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 126 мг/100 г почвы

$M_{NO}(i+1)$ до внесения мелиоранта = 2,20%

$M_{NO}(i+1)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 2,65%

$M_{NO}(i+1)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 2,77%

$M_{NO}(i+1)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 2,95%

Разложение органического вещества вызвало формирование потока аммонийного азота:

$$\begin{aligned}
 J_{NH}^O(i) &= J_o(i) \cdot C_N^O; \\
 J_{NH}^P(i) &= J_p(i) \cdot C_N^P - C_n^b \cdot G(i) \cdot q,
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где C_N^O, C_N^P, C_n^b - содержание азота в гумусе почвы, в свежей органике и почвенной биоте соответственно;

q - доля иммобилизованного биотой азота, содержащегося в органических веществах.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$J_{NH}(i)$ до внесения мелиоранта = 1,8 мг/100 г почвы

$J_{NH}(i)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 1,22 мг/100 г почвы

$J_{NH}(i)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 1,44 мг/100 г почвы

$J_{NH}(i)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 1,68 мг/100 г почвы

Далее в расчетах учитывался влагообмен между слоями почвы для получения информации по обмену нитратами. Буферная способность почвы выражена через буферную емкость V , крутизну изотермы адсорбции b , скорость связывания v_a и скорость распада v_d . По известной концентрации иона в почвенном растворе C_W вычислено равновесное его содержание в ППК (C_c):

$$C_c = \frac{V \cdot C_W}{0,5 \cdot b \cdot V + C_W}, \quad (7)$$

и, если $C_c < C_c(i)$, поток ионов в буфер будет определяться соотношением:

$$J(i) = v_a \cdot (C_c - C_c(i)), \quad (8)$$

$$\text{иначе } J(i) = v_d \cdot (C_c - C_c(i)); \quad (9)$$

где $C_c(i)$ - текущее содержание иона в почвенном буфере.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

C_c до внесения мелиоранта = 2,8 мг/100 г почвы

C_c в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 3,6 мг/100 г почвы

C_c в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 4,2 мг/100 г почвы

C_c в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 4,7 мг/100 г почвы

Динамика перехода аммонийной формы азота в нитратную выражена через гиперболическое уравнение опять же с учетом погодных факторов и активности почвенной микробиоты:

$$J_{NH \rightarrow NO}(i) = \frac{k_{\max} \cdot G(i) \cdot M_{NH}}{G_{\max} \cdot (K_{NH \rightarrow NO} + M_{NH}(i))} \cdot f(T_s), \quad (10)$$

где k_{\max} , $K_{NH \rightarrow NO}$ - эмпирические коэффициенты максимального и половинного потоков превращения;

G_{\max} - максимальная масса почвенной биоты;

$f(T_s)$ - температурная функция процесса нитрификации.

Вариант 9 при внесении мелиоранта дозой 15 т/га при регулировании уровня грунтовых вод (УГВ) на отметке 0,9 м.

$J_{NH \rightarrow NO}(i)$ до внесения мелиоранта = 0,6%

$J_{NH \rightarrow NO}(i)$ в конце вегетационного периода 1-го года исследований = 12%
 $J_{NH \rightarrow NO}(i)$ в конце вегетационного периода 2-го года исследований = 15%
 $J_{NH \rightarrow NO}(i)$ в конце вегетационного периода 3-го года исследований = 18%
 Пример функционирования блока минерального питания приведены на рисунке 4.

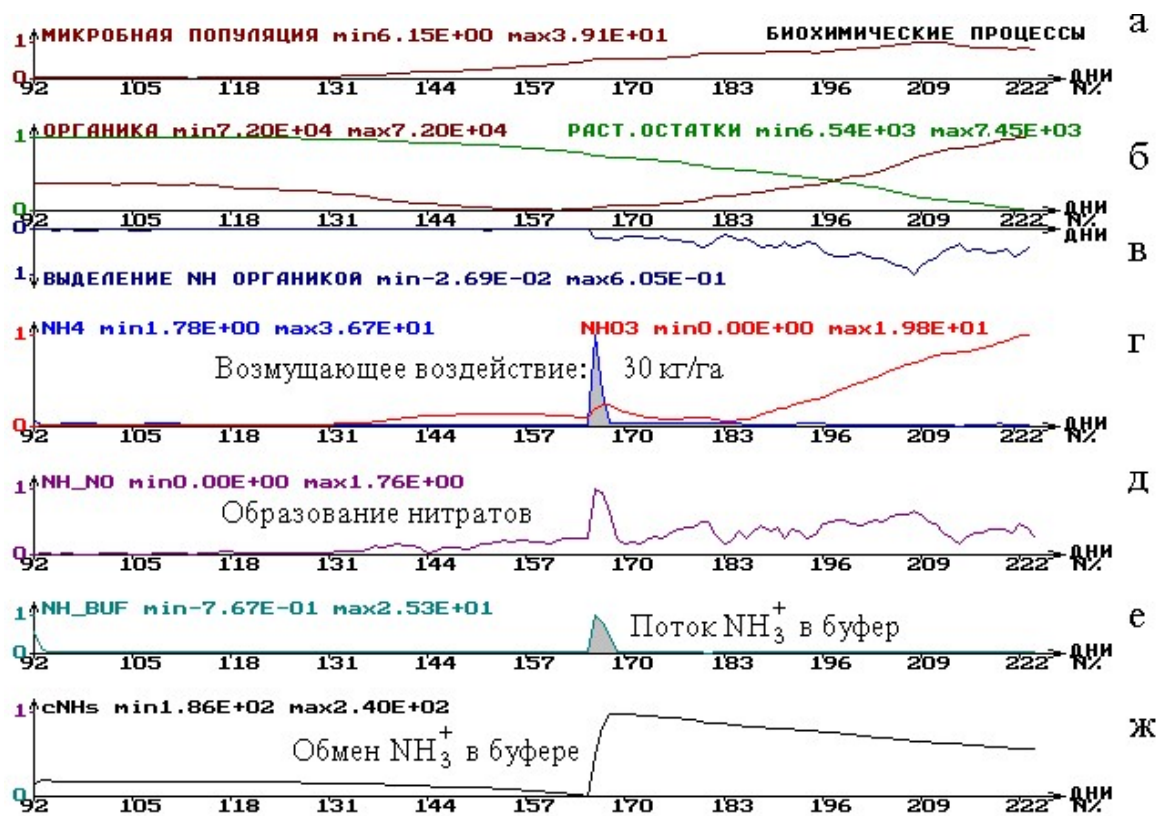


Рисунок 4 – График превращения органического вещества и минерального азота при внесении мелиоранта: а – численность микробиоты; б – минерализация гумуса и органического вещества; в – поток минерализованного азота; г – концентрация аммония и нитратов в почвенном растворе; д – превращение нитратов из аммония; е – поток аммония в почвенный буфер; ж – концентрация аммония в почвенном буфере

Figure 4 – Graph of the conversion of organic matter and mineral nitrogen during the introduction of ameliorant: a – the number of microbiota; б – mineralization of humus and organic matter; в – the flow of mineralized nitrogen; д – the concentration of ammonium and nitrates in soil solution; д – the conversion of nitrates from ammonium; е – the flow of ammonium into the soil buffer; ж – concentration ammonium in the soil buffer

Заключение

Автоматизация научных исследований сокращает энерго- и трудоемкость процессов и позволяет в режиме онлайн в конкретный момент времени и слое почвы пронаблюдать изменения конкретного процесса, в частности, азотного питания, в динамике с позиции системного подхода. Как показали результаты использования математической детерминированной модели для отображения динамики азотного питания почвы при внесении мелиоранта и регулировании УГВ без отбора проб и проведения лабораторных анализов возможно получить исходные данные для расчетов и получения информации об изменениях при внесении мелиоранта и регулировании УГВ.

Библиографический список

1. Агрохимия /Т.А. Власова, Н.П. Чекаев, Г.Е. Гришин, Е.Е. Кузина. - Пенза: РИО ПГСХА, 2016. – 171 с. URL: <https://yandex.ru/search/?text=2.%09Агрохимия+%2FT.А.+Власова%2С+Н.П.+Чекаев%2С+Г.Е.+Гришин%2С+Е.Е.+Кузина.+--+Пенза%3А+РИО+ПГСХА%2С+2016.+--+171+с.&lr=11&clid=2073074>
2. Бабков Г.А., Анализ и обоснование урожайности культур в предпринимательских структурах аграрного сектора региона / Г.А. Бабков, Н.Х. Баков, В.И. Хоружий // Современные научные исследования, 2009. - №3. – С.33. URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/14801557.htm>
3. Бабков, Г.А. Плодородие почв, интенсификация производства, урожайность сельскохозяйственных культур / Г.А. Бабков // Управление экономическими системами: электронный научный журнал (Кисловодский институт экономики и права), 2012. - issue 2 (38), pages 1-87. URL: <https://ideas.repec.org/a/scn/007255/14833886.html>
4. Борычев, С.Н. Биометрия растений ячменя при регулировании пищевого и водного режимов почвы в программе АМПРА / С.Н. Борычев, О.А. Захарова, К.Н. Евсенкин, О.В. Черкасов, Д.Е. Кучер // Сетевой научный журнал РГАТУ, 2023. - №2(2). - С.14-23. DOI: 10.36508/journal.2023.50.76.003
5. Завалин А.А. Азот в агросистеме на черноземных почвах / А.А. Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева. — Москва: РАН, 2018. — 180 с. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35337885>
6. Завалин А.А. Экология азотфиксации / А.А. Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева. — Москва: РАН, 2019. — 252 с. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41380572>
7. Кидин В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин. — Москва: Проспект, 2015. — 1033 с. URL: <https://www.labirint.ru/books/780196/>
8. Масловская А.Г. Детерминированные математические модели / А.Г. Масловская – Благовещенск: Амурский гос. ун-т, 2020. – 73 с. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1703811092&tld=ru&lang=ru&name=11487.pdf&text=МАТЕМАТИЧЕСКАЯ%20ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ%20МОДЕЛЬ&url=https%3A%2F%2Firis.amursu.ru%2FDigitalLibrary%2FAmurSU_
9. Смирнова, Л.Г. Особенности профильного и пространственного распределения нитратного азота в почвах эрозионных ландшафтов / Л. Г. Смирнова, И. И. Михайленко, Г. В. Смирнов, А. А. Кувшинова // Достижения науки и техники АПК, 2020. – Т. 34 - №5. – С. 12-17. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10502
10. Филиппова, Л.С. Круговорот азота и его соединений в почве / Л.С. Филиппова // Международный научно-исследовательский журнал, 2015. - №8. – С. 1-5. doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.37
11. Голубятников, Л.Л. Цикл азота в земной климатической системе и его моделирование / Л.Л.Голубятников, И.И. Мохов, А.В. Елисеев // Известия Российской Академии Наук. Физика атмосферы и океана, 2013. – Т.49. - №3. –

C. 255. URL: <https://studylib.ru/doc/2280897/cikl-azota-v-zemnoj-klimaticheskoj-sisteme-i-ego-modelirov...>

12. Эффективность нового удобрительного мелиоранта на основе козьего навоза на почву и растения / О. А. Захарова, М. Г. Мустафаев, Д. Е. Кучер, К. Н. Евсенкин, Ф. А. Мусаев // Почвоведение и агрохимия, 2021. - № 2. - С. 52-61. URL: <https://journal.soil.kz/jour/article/view/24>

13. Bingham A.H. Organic nitrogen storage in mineral soil: Implications for policy and management / A.H. Bingham, M.F. Cotrufo // Science of The Total Environment, 2016. - Vol. 551-552. - P. 116-126. - DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.020.

References

1. Agrohimiya /T.A. Vlasova, N.P. Chekaev, G.E. Grishin, E.E. Kuzina. - Penza: RIO PGSHA, 2016. - 171 s.

URL:<https://yandex.ru/search/?text=2.%09Agrohimiya+%2FT.A.+Vlasova%2C+N.P.+Chekaev%2C+G.E.+Grishin%2C+E.E.+Kuzina.+--+Penza%3A+RIO+PGSHA%2C+2016.+--+171+s.&lr=11&clid=2073074>

2. Babkov G.A., Analiz i obosnovanie urozhajnosti kul'tur v predprinimatel'skih strukturah agrarnogo sektora regiona / G.A. Babkov, N.H. Bakov, V.I. Horuzhij // Sovremennye nauchnye issledovaniya, 2009. - №3. - S.33. URL: <https://econpapers.repec.org/article/scn007255/14801557.htm>

3. Babkov, G.A. Plodorodie pochv, intensivkaciya proizvodstva, urozhajnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur / G.A. Babkov // Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal (Kislovodskij institut ekonomiki i prava), 2012. - issue 2 (38), pages 1-87. URL: <https://ideas.repec.org/a/scn/007255/14833886.html>

4. Borychev, S.N. Biometriya rastenij yachmenya pri regulirovanii pishchevogo i vodnogo rezhimov pochvy v programme AMPRA / S.N. Borychev, O.A. Zaharova, K.N. Evsenkin, O.V. Cherkasov, D.E. Kucher // Setevoj nauchnyj zhurnal RGATU, 2023. - №2(2). - S.14-23. DOI: 10.36508/journal.2023.50.76.003

5. Zavalin A.A. Azot v agrosisteme na chernozemnyh pochvah / A.A. Zavalin, O.A. Sokolov, N.Ya. Shmyreva. — Moskva: RAN, 2018. — 180 s. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35337885>

6. Zavalin A.A. Ekologiya azotfiksacii / A.A. Zavalin, O.A. Sokolov, N.Ya. Shmyreva. — Moskva: RAN, 2019. — 252 s. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41380572>

7. Kidin V.V. Agrohimiya / V.V. Kidin, S.P. Torshin. — Moskva: Prospekt, 2015. — 1033 s. URL: <https://www.labyrinth.ru/books/780196/>

8. Maslovskaya A.G. Determinirovannye matematicheskie modeli / A.G. Maslovskaya — Blagoveshchensk: Amurskij gos. un-t, 2020. — 73 s. URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1703811092&tld=ru&lang=ru&name=11487.pdf&text=MATEMATICHESKAYa%20DETERMINIROVANNAYa%20MODEL'&url=https%3A%2F%2Ffirbis.amursu.ru%2FDigitalLibrary%2FAmurSU_

9. Smirnova, L.G. Osobennosti profil'nogo i prostranstvennogo raspredeleniya nitratnogo azota v pochvah erozionnyh landshaftov / L. G. Smirnova, I. I.

Mihajlenko, G. V. Smirnov, A. A. Kuvshinova // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020. – T. 34 - №5. – S. 12-17. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10502

10. Filippova, L.S. Krugovorot azota i ego soedinenij v pochve / L.S. Filippova // *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*, 2015. - №8. – S. 1-5. doi.org/10.23670/IRJ.2023.134.37

11. Golubyatnikov, L.L. Cikel azota v zemnoj klimaticheskoj sisteme i ego modelirovanie / L.L.Golubyatnikov, I.I. Mohov, A.V. Eliseev // *Izvestiya Rossijskoj Akademii Nauk. Fizika atmosfery i okeana*, 2013. – T.49. - №3. – S. 255. URL: <https://studylib.ru/doc/2280897/cikel-azota-v-zemnoj-klimaticheskoj-sisteme-i-ego-modelirov...>

12. Effektivnost' novogo udobritel'nogo melioranta na osnove koz'ego navoza na pochvu i rasteniya / O. A. Zaharova, M. G. Mustafaev, D. E. Kucher, K. N. Evsenkin, F. A. Musaev // *Pochvovedenie i agrohimiya*, 2021. - № 2. - S. 52-61. URL: <https://journal.soil.kz/jour/article/view/24>

13. Bingham A.H. Organic nitrogen storage in mineral soil: Implications for policy and management / A.H. Bingham, M.F. Cotrufo // *Science of The Total Environment*, 2016. - Vol. 551-552. - P. 116-126. - DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.02.020.