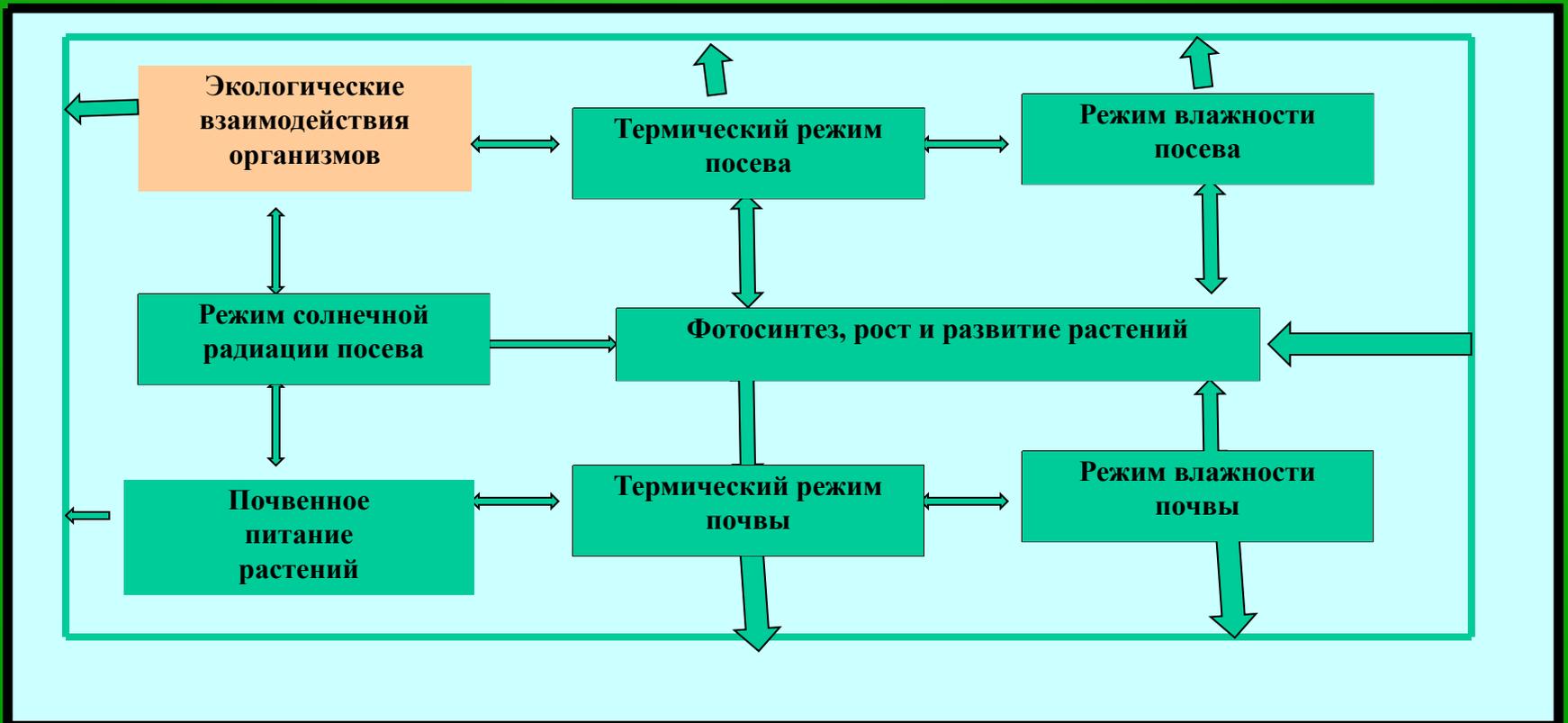


## Лекция 7

# МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ



## *Лекция 7*

# **МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ**

- **ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ**
- **МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕТЬЕГО И ЧЕТВЕРТОГО УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ**
- **РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЫ**

**Величина и стабильность урожаев культур в  
Нечерноземной зоне во многом зависят от уровня  
плодородия почвы для управления которым  
необходимо изучение методов количественного  
учета его компонентов, установление оптимальных  
параметров их гидротермических, физико-  
химических, химических и биологических свойств.**

Минеральные вещества составляют 5–7% массы растения, но являются необходимой составной частью. В состав клеток входят все химические элементы, встречающиеся в неживой природе, в том числе редкие и радиоактивные элементы.

Содержание элементов в растения различно, поэтому по количеству их можно разделить на три группы:

**Макроэлементы**  
от  $10^{-2}$  до  $10^{-1}$ %.

кислород, водород, углерод, азот, фосфор, кремний, калий, кальций, сера, магний, натрий, алюминий

**Микроэлементы**  
от  $10^{-3}$  до  $10^{-5}$ %

марганец, бор, стронций, медь, цинк, бром, олово, никель, титан, рубидий, железо, барий, молибден, кобальт, йод

**Ультрамикроэлементы**  
от  $10^{-6}$  до  $10^{-12}$ %

мышьяк, германий, свинец, золото, радий, ртуть, серебро и др.

**Минеральное питание растений осуществляется путем поглощения питательных веществ корневой системой из почвы.**

**В почвенном растворе содержится незначительная часть элементов.**

**Основное их количество достаточно прочно удерживается почвенным поглощающим комплексом. Механизм поступления питательных веществ из почвы идет по трем потокам:**

**Корневой  
перехват**

**В процессе роста  
корни вступают в  
контакт с новым  
объемом почвы  
из которого  
и поглощают  
питательные  
вещества**

**Массовый поток  
ионов  
к поверхности корней**

**Происходит  
при поглощении  
корнями воды  
с растворенными  
в ней веществами**

**Диффузионный  
поток ионов  
к корню**

**Происходит на  
основе градиента  
концентрации,  
в направлении  
которого  
передвигаются  
ионы**

По количеству содержания в почве органического вещества и минеральных элементов судят о почвенном плодородии.

**Природное плодородие почвы** определяется как *совокупность ее свойств и режимов, весь комплекс экологических условий, на фоне которых она развивается.*

На плодородие почвы действует хозяйственная деятельность человека, которая оказывает как положительное, так и отрицательное влияние.

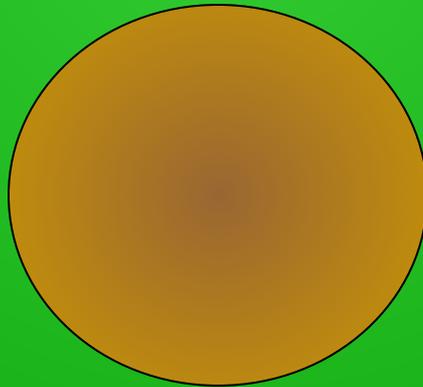
Поэтому вместо «естественного» плодородия уместнее использовать термин **«потенциальное» плодородие**, которое включает и природные, и антропогенные факторы.

## *Потенциальное плодородие*

проявляется на фоне средних многолетних климатических условий и относительно стабильно.

Изменяется только при коренных мелиорациях или других глобальных воздействиях.

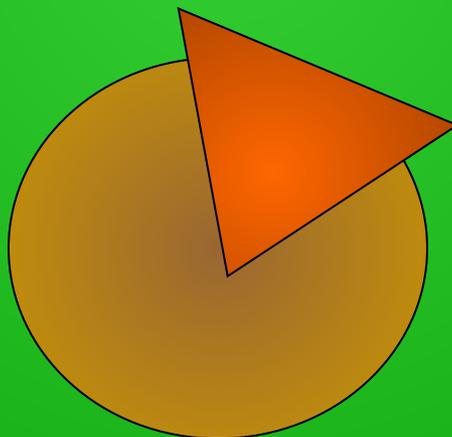
*Это возможное плодородие почвы, проявляющееся при определенных экологических и технологических условиях.*



## *Эффективное плодородие*

Не всегда, а, точнее, очень редко реализуется весь потенциал. Чаще всего на величину урожая оказывает действие некоторая **часть потенциального плодородия**, которая называется *эффективное плодородие*.

В хозяйственной деятельности оно проявляется как **суммарный результат** мобилизации элементов потенциального плодородия с помощью **агротехнических и других приемов**.



Плодородие почв оценивают двумя различными способами:

- по шкале бонитировки
- по моделям с варьированием параметров плодородия

- по шкале бонитировки

**Бонитировка почвы основана на отношении ее плодородия для данной культуры к плодородию принятой за эталон почвы, которая оценивается в 100%.**

**Метод этот довольно громоздкий, в нем учитывается урожайность, являющаяся, в свою очередь, функцией плодородия и зависящая от многих показателей, вводится большое количество коэффициентов, которые настолько усреднены по результатам многочисленных наблюдений, что становятся мало пригодными для моделирования.**

- по моделям с варьированием параметров плодородия

Второй путь более перспективен и более универсален – разработка функций плодородия.

Это или полиномиальная функция

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + b_1 X_1^2 + a_2 X_2 + b_2 X_2^2 + c_1 X_1 X_2 \dots$$

или мультипликативная:

$$Y = a_0 \cdot f_1(X_1) \cdot f_2(X_2) \cdot \dots \cdot f_n(X_n)$$

где  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты;  $X_1, \dots, X_n$  – факторы плодородия почвы;  $f_1 \dots f_n$  – функции, определяющие влияние отдельных факторов на урожайность.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + b_1 X_1^2 + a_2 X_2 + b_2 X_2^2 + c_1 X_1 X_2 \dots X_{n+1}$$

Полиномиальная функция благодаря наличию эмпирических коэффициентов, «жестко» привязана к условиям эксперимента и мало пригодна для применения в других условиях.

Кроме того, при введении в полиномиальную функцию дополнительного фактора  $X_{n+1}$  приходится вместе с ним изучать и предыдущие, уже изученные  $X_n$ , чтоб вывести новые коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

$$Y = a_0 \cdot f_1(X_1) \cdot f_2(X_2) \cdot \dots \cdot f_n(X_n)$$


**Мультипликативная форма задания функции имеет определенные преимущества, так как частные функции  $f_n(X_n)$  имеют некоторую общность для разных почвенно-климатических условий.**

**Кроме того, при введении в функцию дополнительного фактора не требуется вместе с ним изучать и предыдущие, уже изученные.**

# **ПРОГНОЗ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ**

- *Прогноз содержания гумуса в почве*
- *Прогноз содержания подвижных минеральных элементов в почве*
- *Прогноз кислотности почвы*

# ***Прогноз содержания гумуса в почве***

**Важнейшее значение в плодородии почвы имеет содержание в ней органического вещества и его качественное состояние.**

**От этого зависят физико-механические и технологические свойства пахотного горизонта, агрегатное состояние, водопропускная способность, водопрочность микроструктуры, микробиологическая активность и другие физико-химические параметры почвы.**

# БАЛАНС ГУМУСА В ПОЧВЕ

```
graph TD; A[БАЛАНС ГУМУСА В ПОЧВЕ] --> B[ГУМИФИКАЦИЯ]; A --> C[МИНЕРАЛИЗАЦИЯ]; B --> D["• Органические удобрения  
• Азотные минеральные удобрения  
• Корневые и пожнивные остатки"]; C --> E["• Минерализация микроорганизмами  
• Ветровая эрозия  
• Водная эрозия"];
```

## ГУМИФИКАЦИЯ

- Органические удобрения
- Азотные минеральные удобрения
- Корневые и пожнивные остатки

## МИНЕРАЛИЗАЦИЯ

- Минерализация микроорганизмами
- Ветровая эрозия
- Водная эрозия

Методы расчета баланса гумуса весьма разнообразны. Наиболее широко применяется упрощенный расчет баланса гумуса по углероду

$$\text{ГУМ} = 1,724 \cdot \text{Сгум}$$

$$\text{Сгум} = f(\text{приход} - \text{расход})$$

у

Если ввести в формулу прогнозируемую урожайность культур,

можно будет рассчитать баланс гумуса в целом по севообороту и целенаправленно регулировать поступление и расход органического вещества почвы.

# ***Прогноз содержания подвижных минеральных элементов в почве***

**Для управления плодородием почв и определения потребности в удобрениях важное значение имеет прогноз изменения содержания подвижных форм питательных веществ в почве.**

**Агрохимическое обследование почв открытого грунта проводится с интервалом 5 лет.**

**За эти годы происходит вынос элементов с урожаем сельскохозяйственных культур и поступление их с удобрениями, варьирует микробиологическая активность.**

Все это приводит к необходимости расчета запаса питательных веществ в почве перед посевом или посадкой культуры по общей формуле

$$\mathbf{\text{Э}} = \mathbf{\text{Эисх}} + \mathbf{\text{Эпр}}$$

где **Эисх** – результат агрохимического анализа;

**Эпр** – прогнозируемое количество элементов питания растений

# Изменения Эпр за годы после агрохимобследования

**приход**

- Минеральные удобрения
- Органические удобрения

**расход**

- Вынос с урожаем
- Закрепление в почве

## Дополнительно для азота

- Симбиотическая фиксация
  - Свободноживущие азотфиксаторы
  - Азот осадков

- Денитрификация
- Потери в грунтовые воды

# *Прогноз кислотности почвы*

**Кислотность почвы является лимитирующим фактором в большинстве сельскохозяйственных районов России.**

**Поскольку интервал агрохимических обследований на кислотность почвы составляет 5 лет, возникает необходимость прогнозирования этого показателя в период между обследованиями.**

Обычно кислотность определяется по  $pH_{KCl}$  и рассчитывается по функциям

$$pH = pH_{исх} + pH_{пр}$$

$$pH_{пр} = 0,63 \cdot \Sigma Ca - 0,14 \cdot \Sigma N^{0,5} \cdot \Sigma Ca^{0,5} + 0,19 \cdot \Sigma K^{0,5} \cdot \Sigma Ca^{0,5}$$

где  $pH$  - фактическое (или прогнозируемое) значение  $pH$ ;  $\Sigma Ca$ ,  $\Sigma N$ ,  $\Sigma K$  - дозы кальция, азота, калия за прогнозируемый период,  $t \cdot \text{га}^{-1}$ ;  $pH_{пр}$  - прогнозируемое значение  $pH$ ;  $pH_{исх}$  - исходное значение  $pH$ .

# **МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТРЕТЬЕГО И ЧЕТВЕРТОГО УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ**

**Минеральное питание растений описывается в модуле почвенного питания модели продукционного процесса растений.**

**Расчет продуктивности культуры выполняется по следующим функциям**

$$K_{N,P,K} = \frac{\text{Факт. N,P,K}}{\text{Опт. N,P,K}}$$

$$K_{pH} = \frac{\text{Факт. pH}}{\text{Опт. pH}}$$

$$y = y_{Q,T,W} \cdot K_N \cdot K_P \cdot K_K \cdot K_{pH}$$

# РЕГУЛИРОВАНИЕ РЕЖИМА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВЫ

Основными способами изменения агрохимических параметров почвы являются внесение органических и минеральных удобрений, а также известкование.

Применение средств химизации должно быть экономически эффективным, поэтому одним из условий является точное определение потребности растений в элементах минерального питания.

При недостатке одного из необходимых элементов планируемая продуктивность не будет достигнута, а при избытке – затраты на внесение удобрений в текущем году не дадут прибыли.

Кроме того, в последнем случае возникает опасность снижения качества продукции, загрязнения грунтовых и поверхностных вод подвижными соединениями азота.

В настоящее время опубликовано более 40 способов расчета доз удобрений, но наиболее широко применяется **метод элементарного баланса** по причине его логичности и простоты расчетной схемы. Этот метод подразумевает, что

- **1. в пределах оптимальных доз действие каждого элемента согласно принципу лимитирования можно считать независимым.**
- **2. для повышения точности доз удобрений на планируемую урожайность все источники и формы каждого из элементов питания, различающиеся по степени усвояемости растениями, приводятся к форме, эквивалентной по действию на урожай питательному веществу минерального удобрения**

Например, азот, содержащийся в почве, в 16 раз эффективнее такого же количества азота минерального удобрения.



**Азот почвы**



**Азот минерального  
удобрения**

Доза действующего вещества удобрений рассчитывается

$$\Theta = 10 \cdot cX \cdot M - mX \cdot X_{п} - mN_{сф} \cdot N_{сф} - N_{ос}$$

◆ Минеральное удобрение  $X_{м} = \Theta;$

◆ Органическое удобрение  $X_{оу} = \Theta / mX_{оу};$

◆ Совместное внесение органического и минерального удобрения  $X_{оу} = \Theta - mX_{оу} \cdot X_{оу};$

где  $X_{м}$ ,  $X_{оу}$  – дозы действующего вещества минерального и органического удобрений (N,P,K),  $\text{кг} \cdot \text{га}^{-1}$ ;  $cX$  – коэффициенты;  $mX$  – коэффициенты для N, P, K;  $X_{п}$  – содержание N,P,K в почве,  $\text{мг} \cdot 100\text{г}^{-1}$ ;  $mN_{сф}$  – коэффициент эквивалентности азота, фиксированного свободноживущими азотфиксаторами, азоту минерального удобрения,  $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ ;  $N_{сф}$  – количество азота, фиксированного свободноживущими азотфиксаторами,  $\text{кг} \cdot \text{га}^{-1}$ ;  $N_{ос}$  – количество азота, поступившего с осадками;  $mX_{оу}$  – коэффициент эквивалентности действующего вещества органического удобрения действующему веществу минерального удобрения,  $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$ .

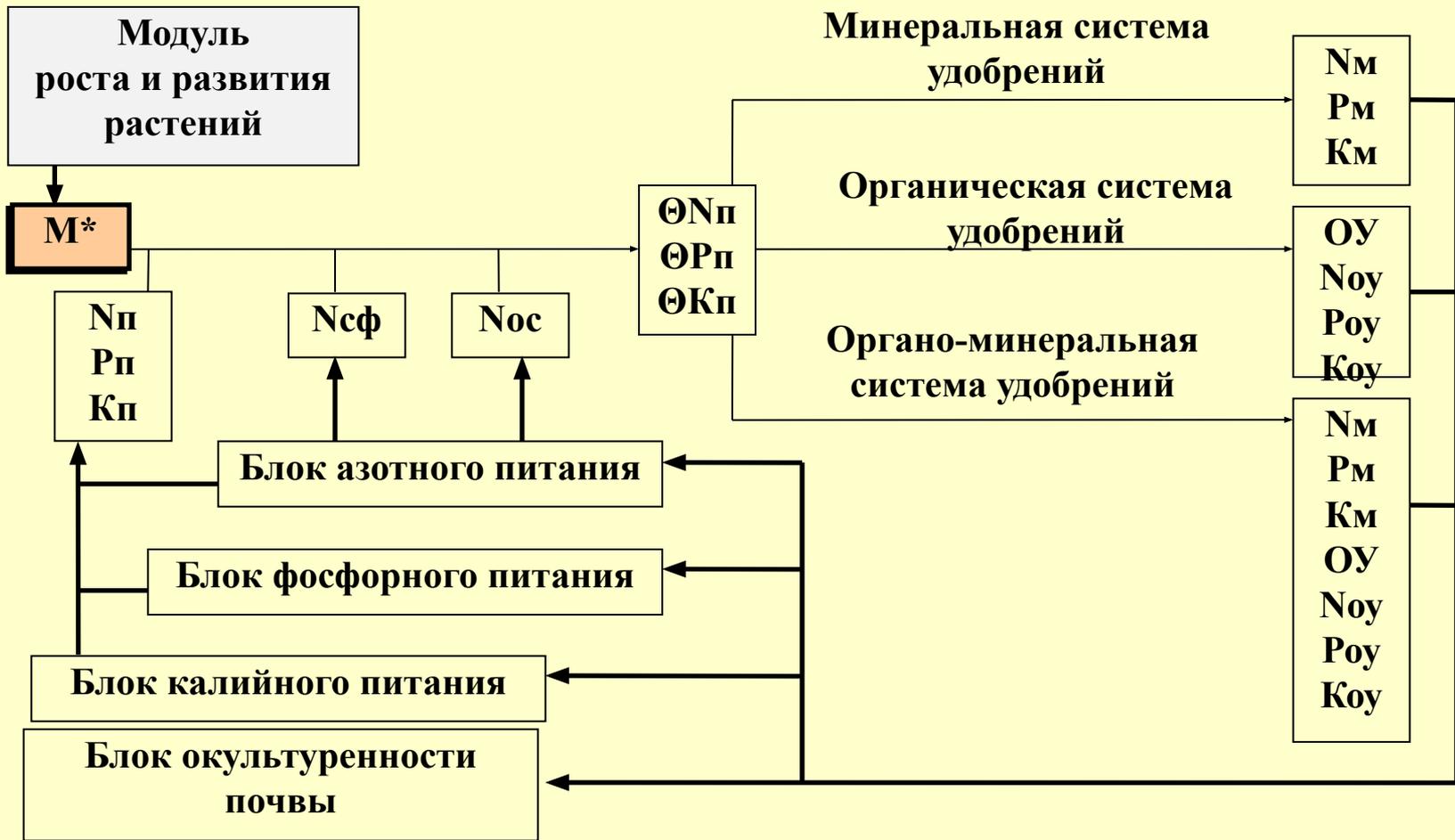


Рис. 70. Структурная схема блока расчета доз удобрений.

→ — внешние связи;      - - - — внутренние связи; \* — предикторы модуля.

**Расчет дозы кальция для доведения кислотности почвы до оптимального для конкретной культуры значения выполняется по формулам:**

$$X_{Ca} = a \cdot 4,0 - c(\text{pH}/4,0) + d \cdot \text{Gum} / 1,5;$$

где  $X_{Ca}$  – доза кальция,  $\text{т} \cdot \text{га}^{-1}$ ;  $\text{Gum}$  – содержание гумуса в почве, %;  $a, c, d$  – статистические коэффициенты, зависящие от гранулометрического состава почвы.

# На основании уравнений формируется блок расчета дозы $Ca$

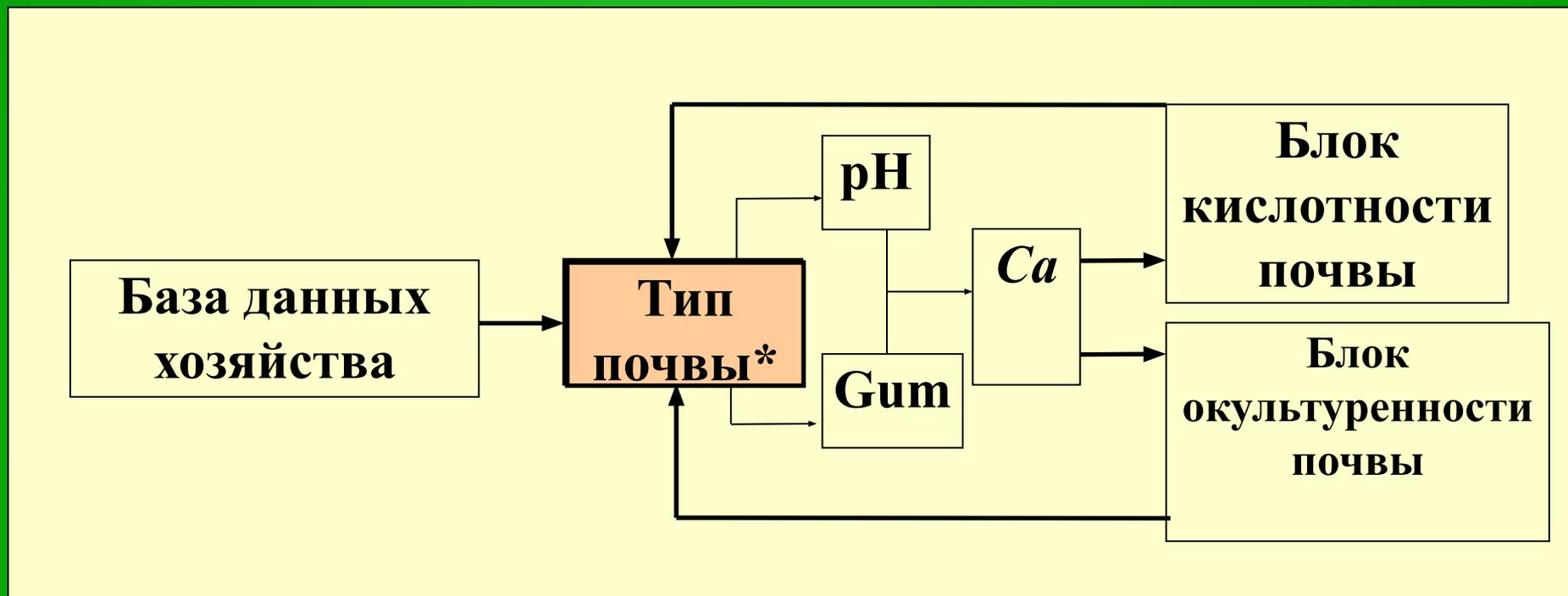


Рис. 71. Структурная схема блока расчета дозы кальция.

→ внешние связи;      — внутренние связи; \* – предикторы модуля.

Таким образом, почва – это очень сложная и своеобразная среда, представляющая собой систему, в состав которой входит огромное количество параметров, постоянно изменяющихся в пространстве и времени.

Это обуславливает необходимость создания многопараметрических динамических моделей, что чрезвычайно осложняет задачу моделирования химических процессов как внутри почвы, так и подсистемы «корни-почва».

Из-за этой сложности количественное описание процессов, определяющих плодородие почвы, сводится к упрощенной трактовке, то есть содержанию и динамике в ней N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, рН, гумуса, основных микроэлементов и некоторых других показателей.

**Спасибо за внимание!**