

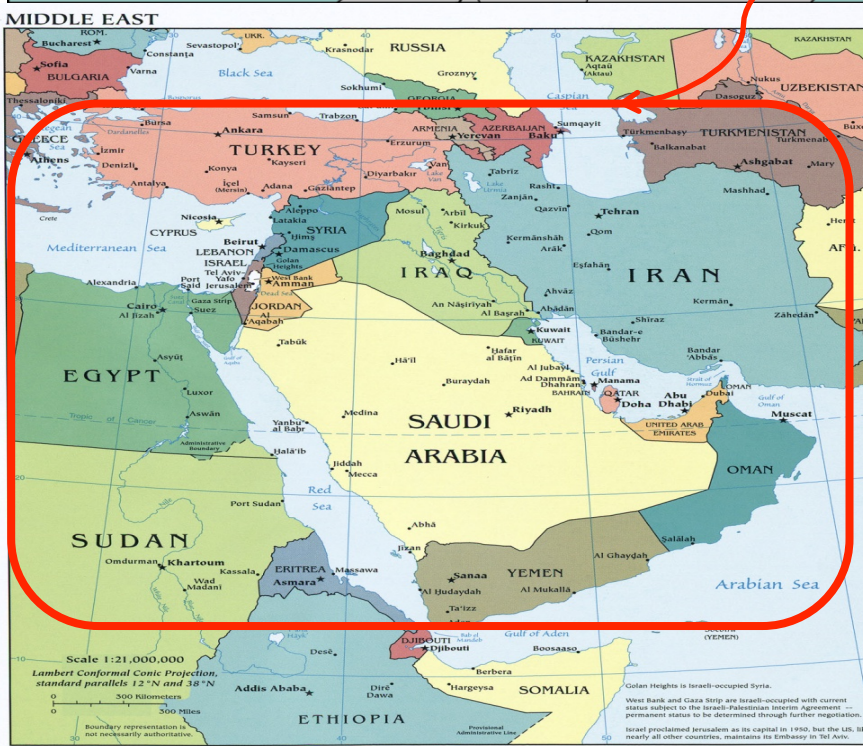
# Фертигация овощных культур при капельном орошении на Ближнем Востоке: Использование концепции «4-х правил» применения удобрений

г. Волгоград: 26 июня 2015 г.

Д-р М. Русан

Консультирующий директор по странам Ближнего Востока;  
профессор: плодородие почв и питание растений (Иорданский научно-  
технологический университет, г. Ирбид, Иордания)





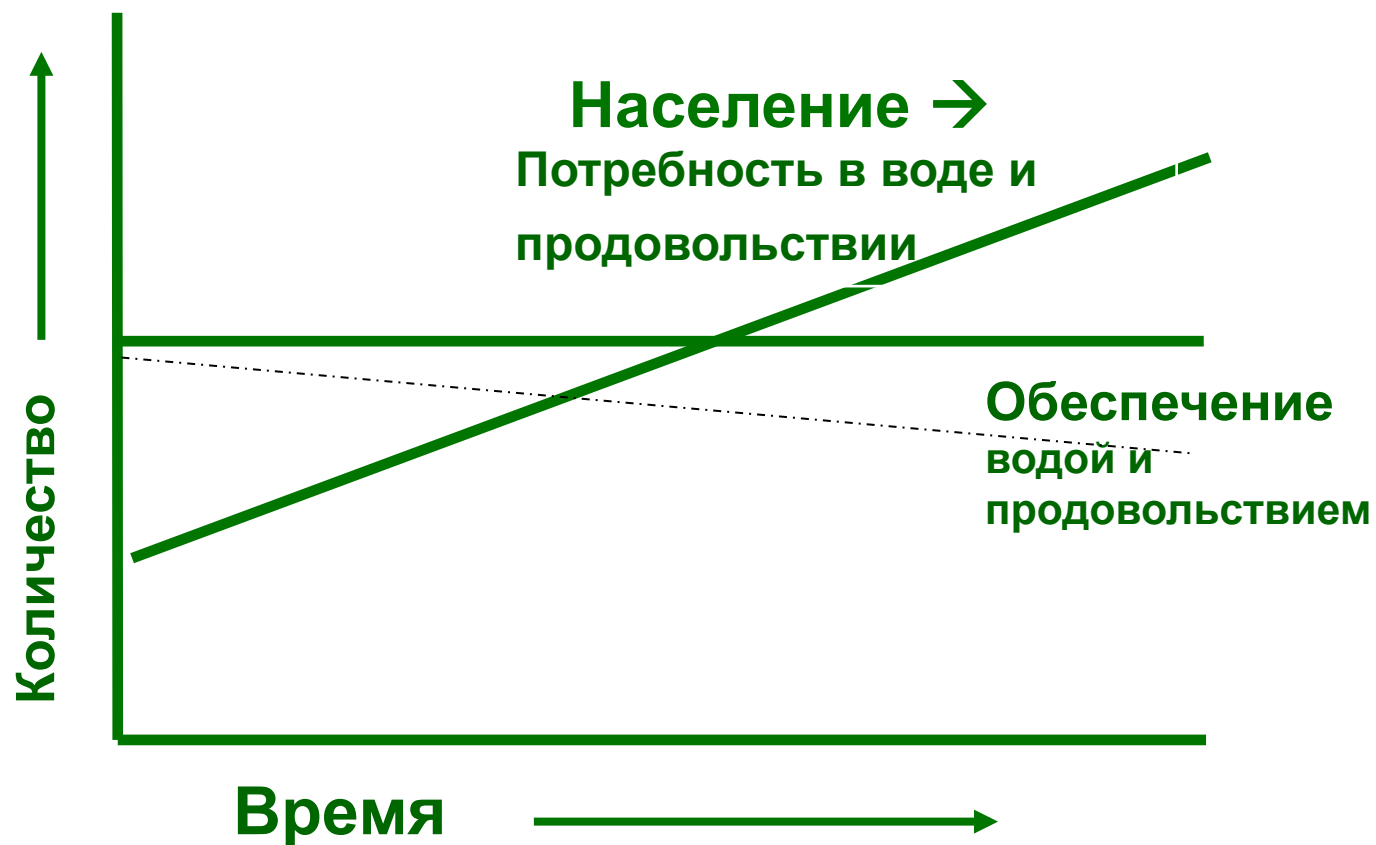
Волгоградская обл. – сравнительно недалеко от Ближнего Востока, поэтому есть сходства по почвенно-климатическим условиям.

Характеристика Ближневосточного региона:

- Средиземноморский климат: засушливый и полусушливый
- Ограниченность водных ресурсов
- Ограниченность земель, пригодных для обработки
- Ограниченность «горизонтального» развития земледелия и животноводства
- Перспективы:
  - «Вертикальное» расширение → Повышение продуктивности земель
  - Интенсификация земледелия.. Увеличение использования средств химизации
  - Увеличение использования удобрений

# Аграрный сектор Ближневосточного региона

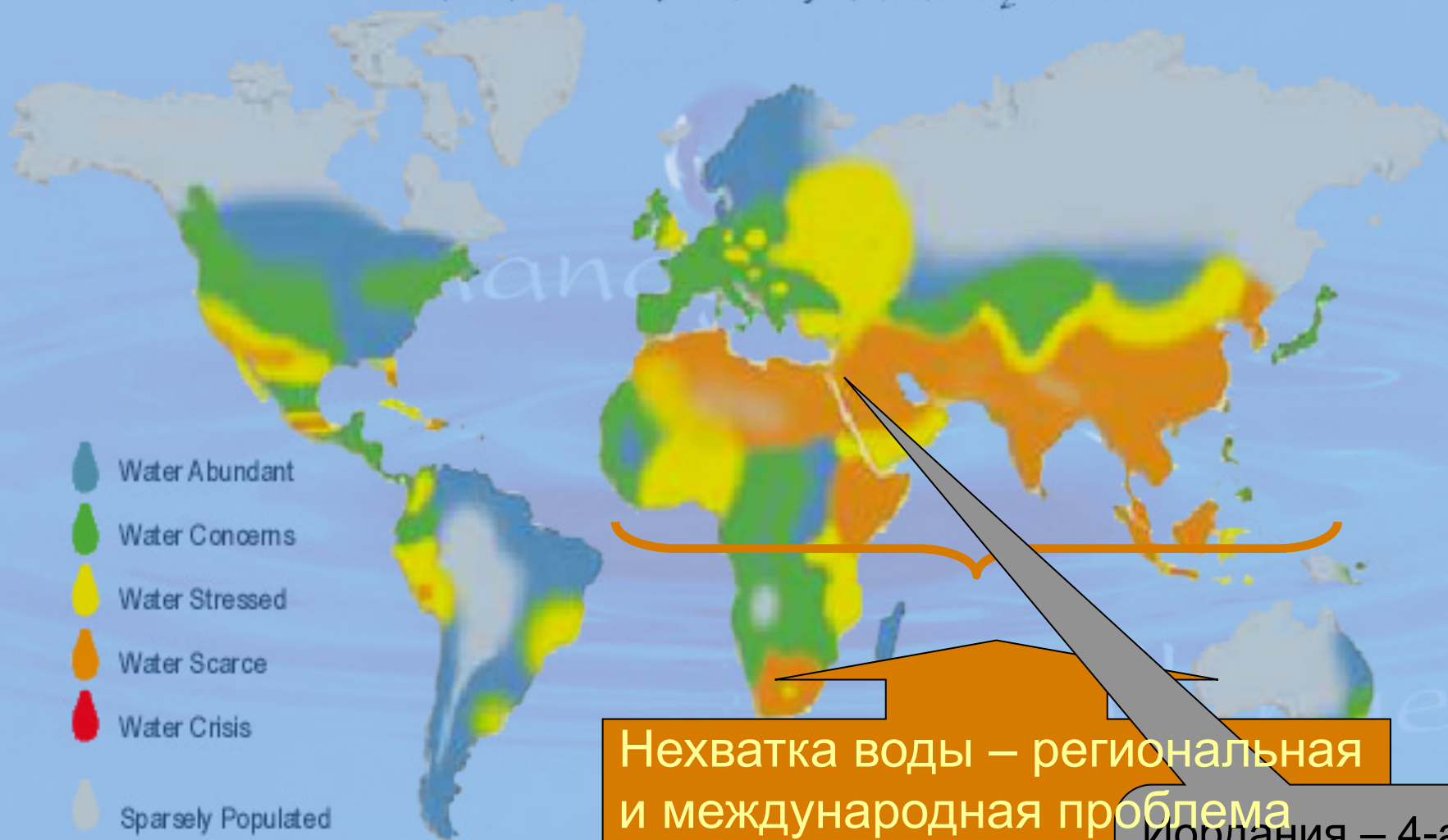
- Проблемы/Ограничения:
  - Нехватка воды
  - Ограниченность земель, пригодных для обработки
  - Нехватка продовольствия





# Water Areas of Water Stress in 2020

Worldwide Fresh Water Availability in 2020



- Water Abundant
- Water Concerns
- Water Stressed
- Water Scarce
- Water Crisis
- Sparsely Populated

Нехватка воды – региональная и международная проблема

Иордания – 4-ая страна в мире по нехватке воды



# Можно ли удовлетворить растущий спрос на продовольствие?

✚ «Горизонтальное» расширение ограничено из-за недостаточности водных и земельных ресурсов:

✚ Без прироста продуктивности к 2050 г. дополнительно потребуется 2 млрд га пахотных земель

✚ Интенсификация растениеводства – основной путь для повышения производства продовольствия:

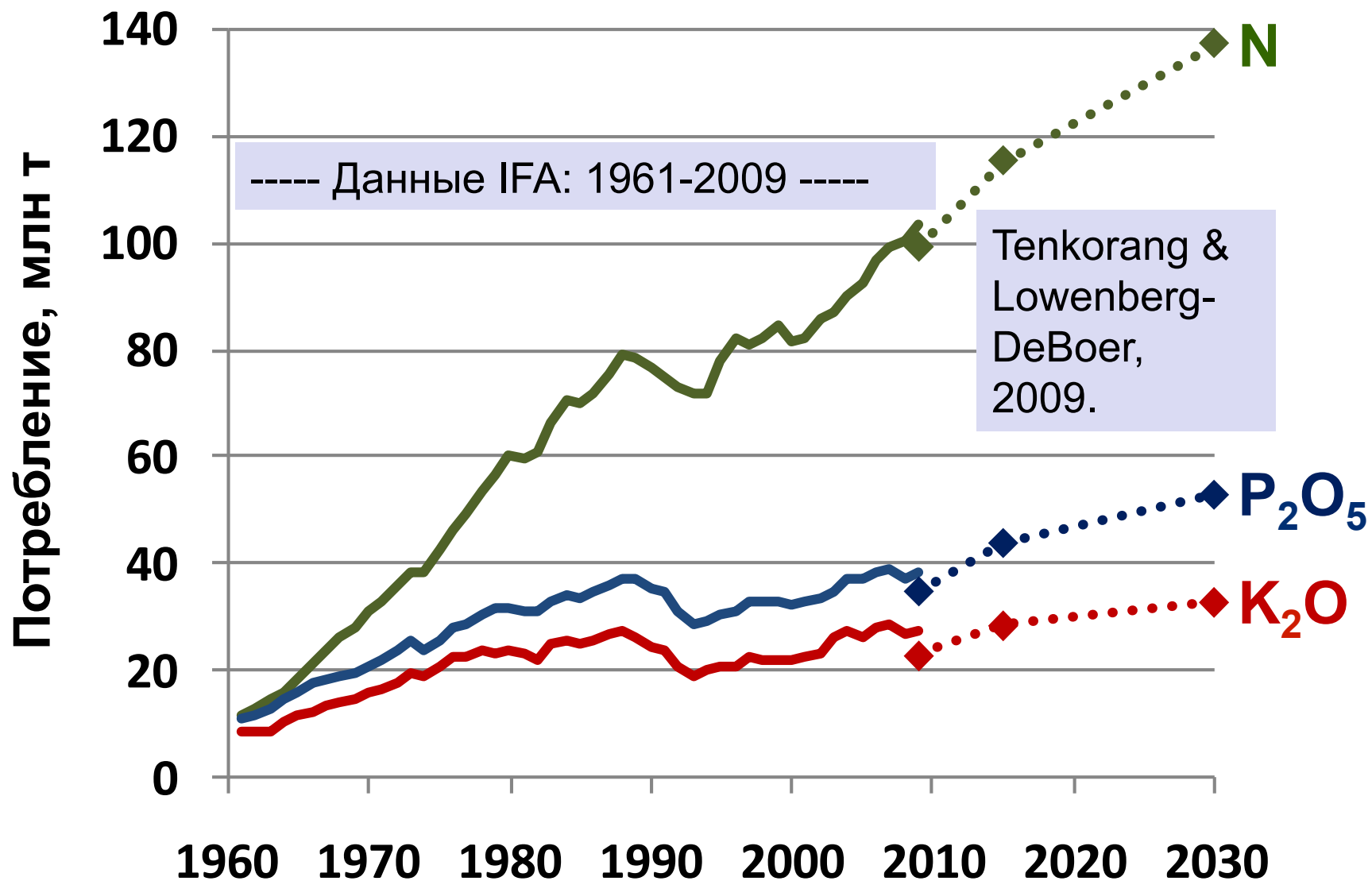
✚ Интенсификация → Интенсивное использование агрохимикатов:

✚ > 50% прироста производства продовольствия с мире связано с применением минеральных удобрений (FAO)

# **Потребление минеральных удобрений**

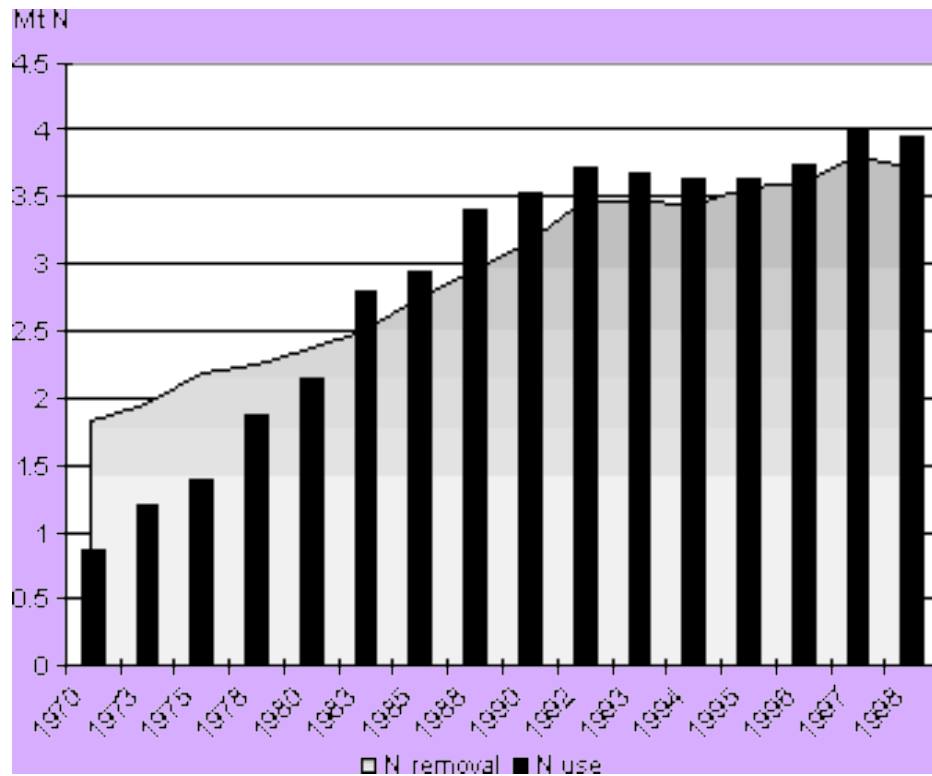
# Потребление минеральных удобрений в мире

## Текущие тренды и прогнозы



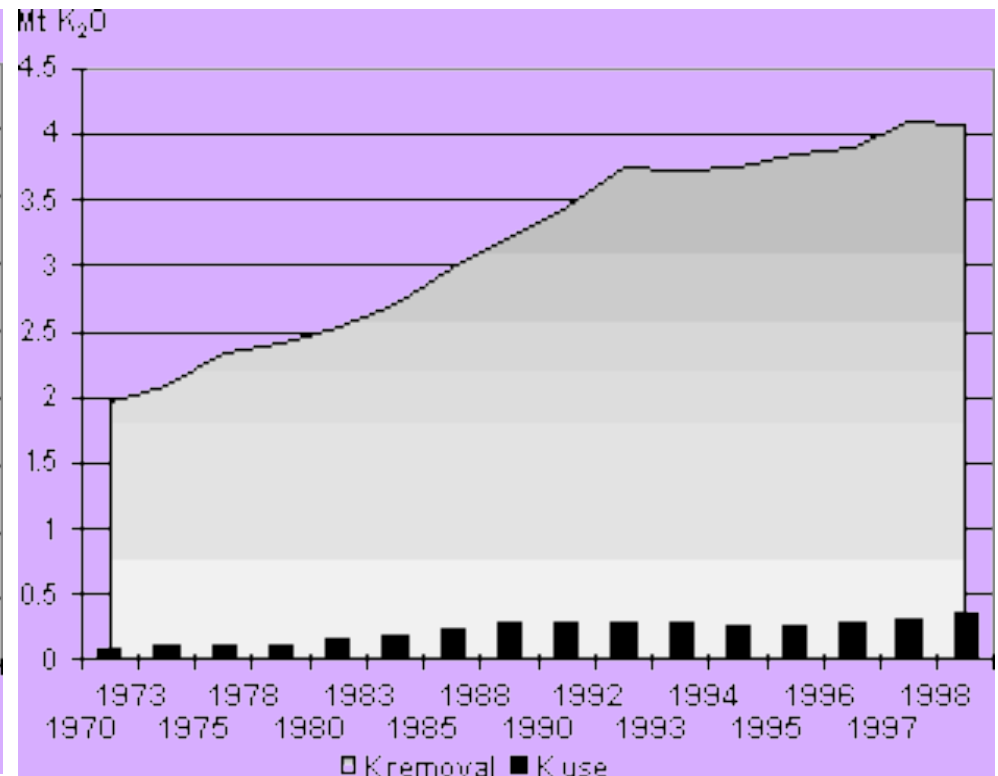


млн т N



Вынос N с урожаями      Внесение N

млн т K<sub>2</sub>O



Вынос K с урожаями      Внесение K

## Западная Азия и Северная Африка

## Соотношение N:P:K по странам региона



Страна	N	P <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Афганистан	1	0.15	0.05
Алжир	1	0.47	0.3
Египет	1	0.22	0.04
Иран	1	0	0.002
Ирак	1	0.6	0.03
Иордания	1	1.33	0.33
Ливан	1	0.78	0.22
Ливия	1	2.03	.14
Марокко	1	0.6	0.34
Пакистан	1	0.27	0.05
Саудовская Аравия	1	0.76	0.06
Судан	1	0.18	0
Сирия	1	0.72	0.03
Тунис	1	0.86	0.06
Турция	1	0.74	0.02
Научно обоснов.	1	0.4	1

# Причины и последствия несбалансированного применения удобрений

## Причины:

- Следование традиционной системе применения удобрений
- Интенсификация растениеводства
  - Сорты с высокой потенциальной урожайностью и высокой потребностью в элементах питания
  - Новые технологии, меняющие потребности в удобрениях
  - Выращивание 2-3 культур за сезон

## Последствия:

- Истощение запасов элементов питания в почве
- Несбалансированность в обеспеченности почвы элементами питания
- Ухудшение плодородия и продуктивности почвы
- Снижение урожайности и ухудшение качества продукции



## Характеристика почв:

- Карбонатные почвы
- Низкое содержание органического вещества из-за ограниченного внесения органических удобрений
- Низкая обеспеченность почвы минеральным азотом
  - внесение N требуется для большинства культур
  - низкая эффективность использования N из удобрений (газообразные потери, вымывание).
- Низкая доступность фосфора, но при длительном применении фосфорных удобрений возможно накопление фосфора в почве из-за его низкой подвижности
- Обеспеченность калием в целом хорошая, кроме песчаных почв и систем орошаемого/интенсивного земледелия
- Недостаток микроэлементов: Zn, Fe, Mn, B.

Обзор  
способов внесения минеральных  
удобрений

Основные способы внесения удобрений:

A. Внутрипочвенное внесение газообразных форм удобрений

B. Листовые подкормки

C. Внесение твердых удобрений

D. Внесение удобрений с поливной водой



## **А) Внутрипочвенное внесение газообразных форм удобрений → внесение обезвоженного аммиака в почву**

\* Ограниченное использование в засушливых и полузасушливых регионах

## **В) Листовые подкормки:**

\* Внесение элементов питания в виде раствора/суспензии – опрыскивание надземных частей растений

\* Преимущества:

- 1- Возможность проведения в течение вегетационного сезона при возникновении необходимости
- 2- Быстрое поглощение и усвоение растущими растениями
- 3- Эффективная технология для внесения микроэлементов, требуемых в небольших количествах
- 4- Совместимость с другими агрохимикатами: гербициды, инсектициды, фунгициды

\* Недостатки:

1. Дороговизна
2. Необходимость проведения нескольких обработок
3. Риск ожога листьев
4. Непригодность для внесения высоких доз элементов питания

## **С) Внесение твердых удобрений:**

### **Разбросное:**

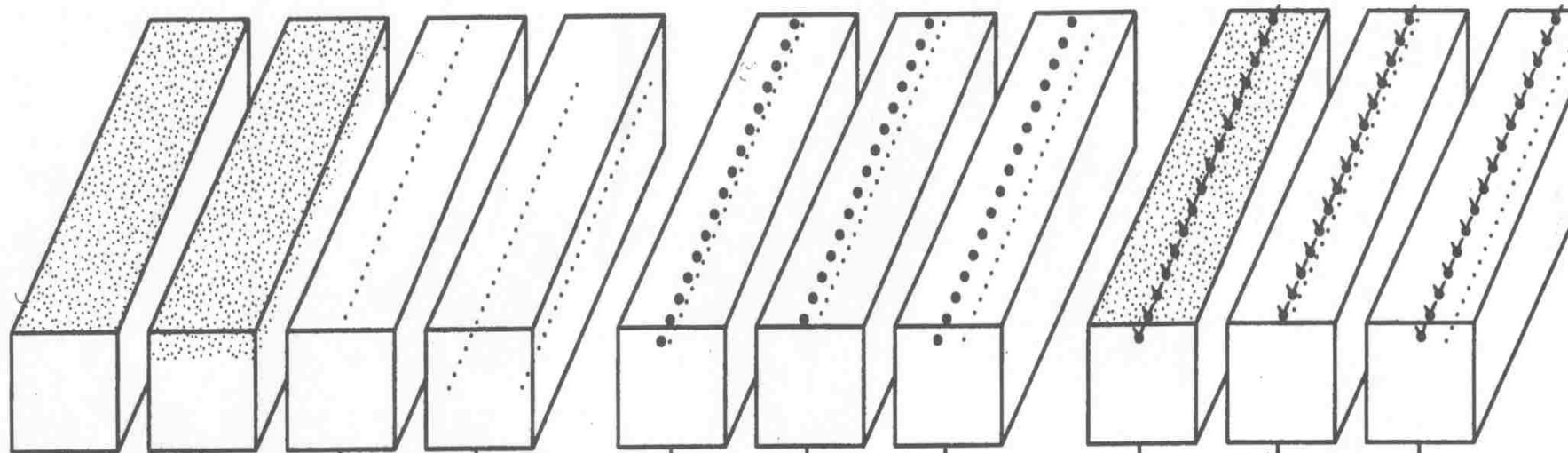
- Поверхностное
- С заделкой в почву отвальным плугом
- С заделкой в почву чизельным плугом
- С заделкой в почву дисковой бороной (культиватором)

### **В рядки с семенами:**

- Размещение небольшого количества удобрений в непосредственном контакте с семенами
- Обычно используется при выращивании полевых культур
- Распространено в условиях более холодного климата из-за замедленного роста корней в холодных почвах

### **Ленточное:**

- Элементы питания, имеющие низкую подвижность в почве, обычно вносятся данным способом, поскольку:
  - Становятся доступными растениям в результате корневого перехвата
  - Перемещаются в почве посредством диффузии
  - Снижается скорости фиксации фосфора почвой – образования труднорастворимых соединений



**Вразброс с  
заделкой**

**Внутрипочв.  
ленточное  
(нож, игла)**

**Поверхн.  
ленточное  
(струйное)**

**Вразброс  
(поверхн.)**

**Внутрипочв.  
ленточное  
(междурядья,  
или нож/игла)**

**Вразброс  
(без заделки)**

**Поверхн.  
ленточное  
(струйное)**

**С семенами**

**Внутрипочв.  
ленточн. (ниже  
и сбоку)**

**Поверхностное  
ленточное  
(струйное)**

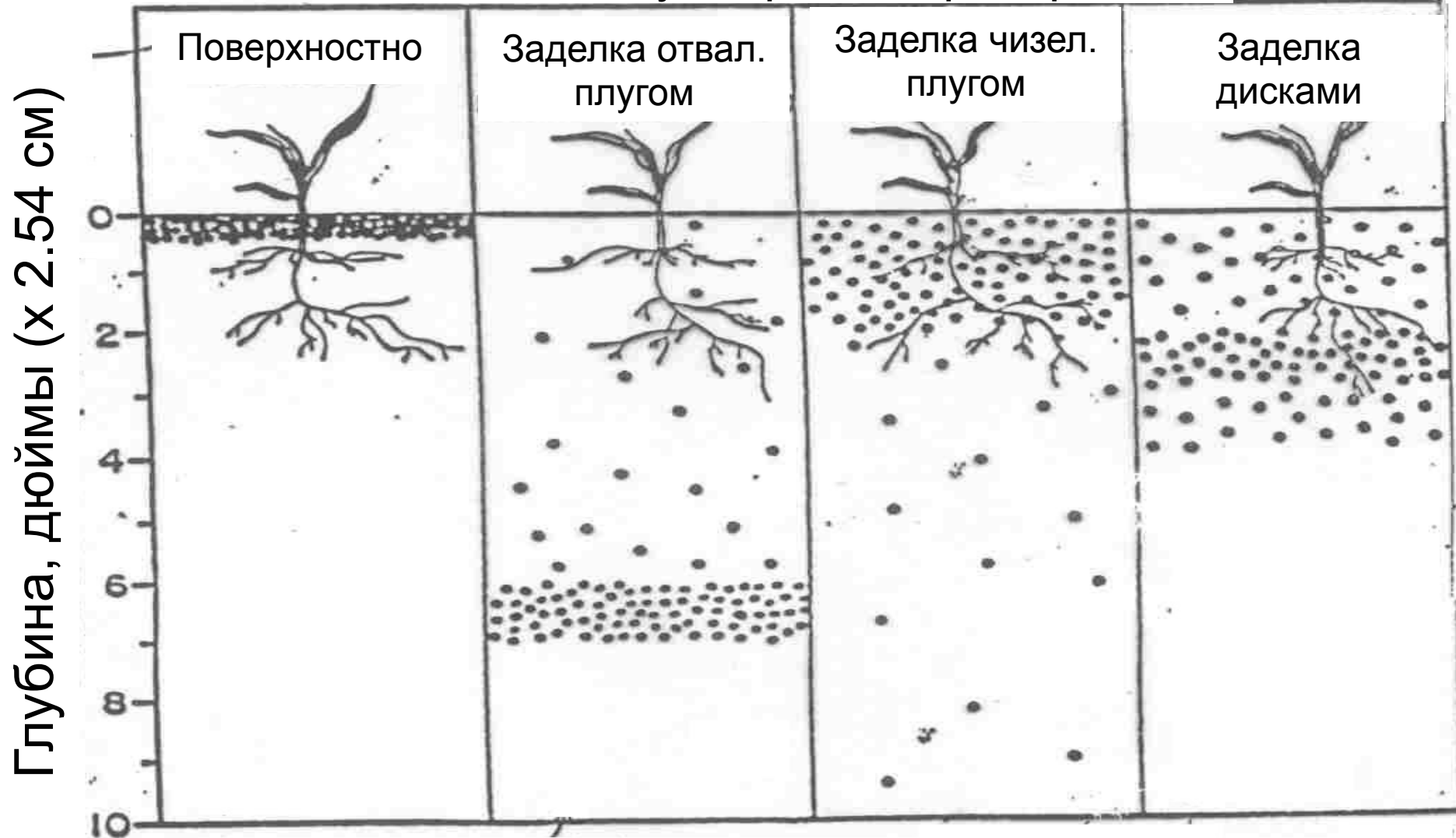
**До посева**

**При посеве**

**После посева**



## Внесение удобрений вразброс



**Доступность элементов питания зависит не только от характеристик почвы, растений и удобрений, но и в значительной мере – от размещения удобрений относительно корневой системы (позиционная доступность)**

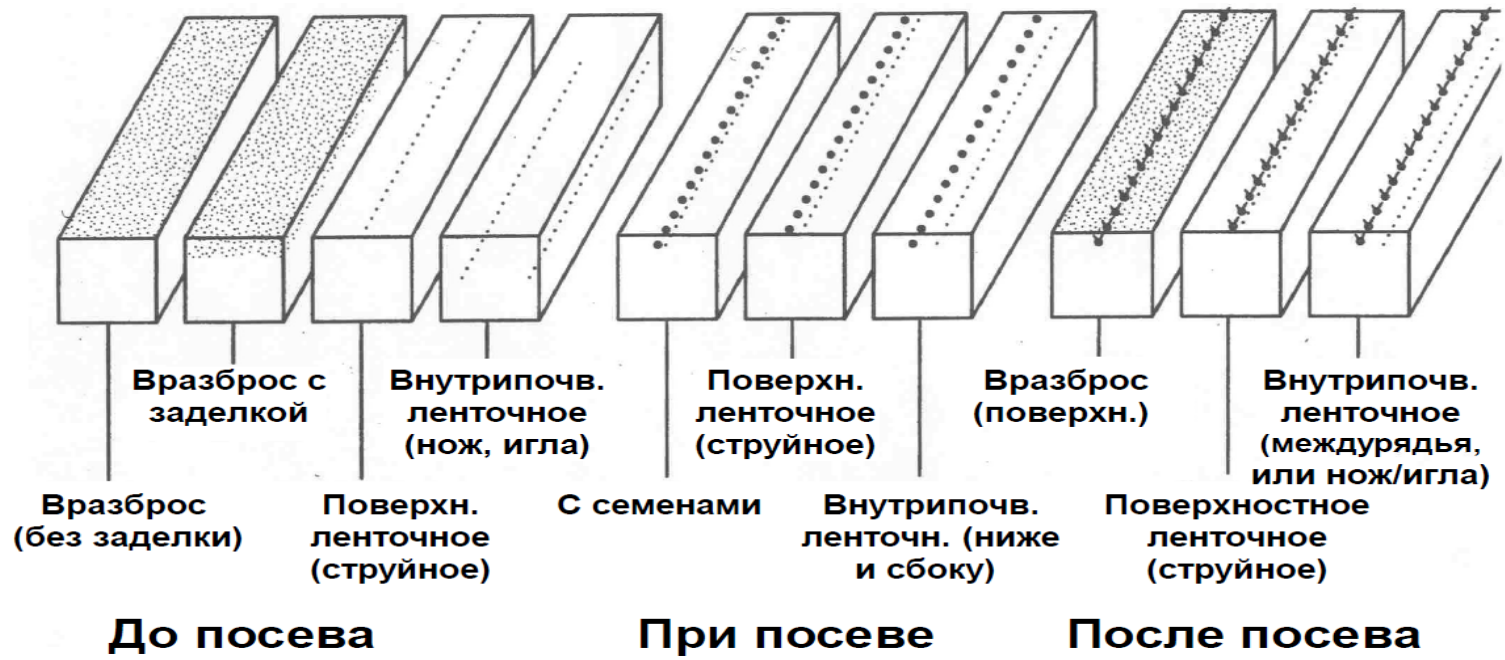




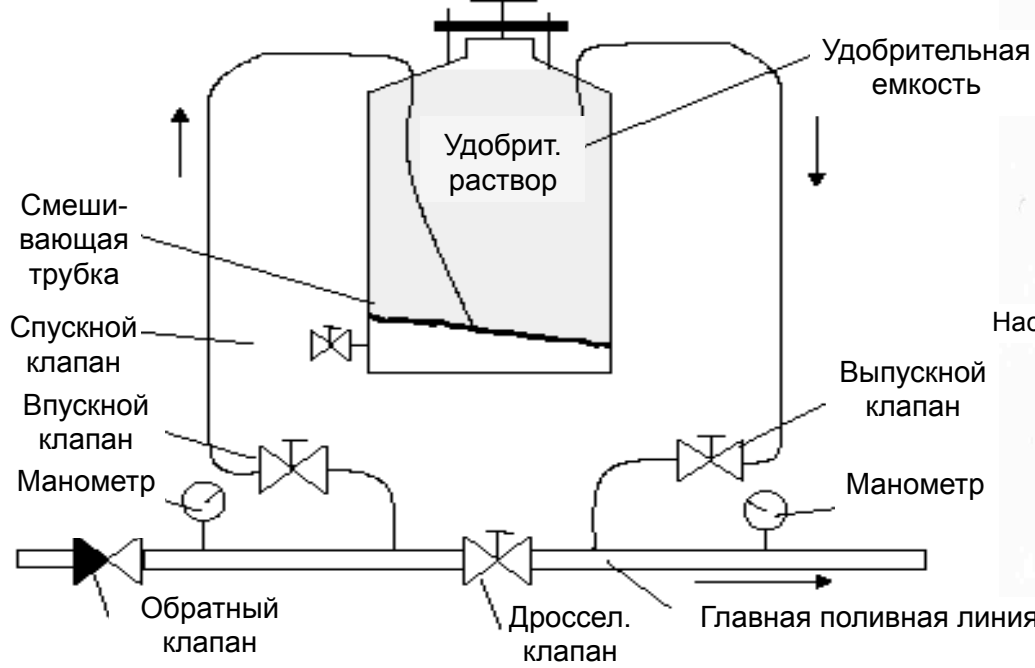
## Текущие тренды:

- Переход от поверхностных к напорным системам орошения
- Капельное орошение – наиболее эффективный способ, чаще всего используемый в засушливом климате в условиях засоления





# Переход от традиционных способов к фертигации





# Капельное орошение: Основные характеристики

Ограниченная зона увлажнения почвы

Неглубокая глубина проникновения корневой системы; ограниченная зона для внесения удобрений

Сравнительно высокая концентрация удобрений (солей)

Сравнительно сильное взаимодействие между отдельными элементами питания

Активность ионов < концентрации из-за высокой ионной силы раствора

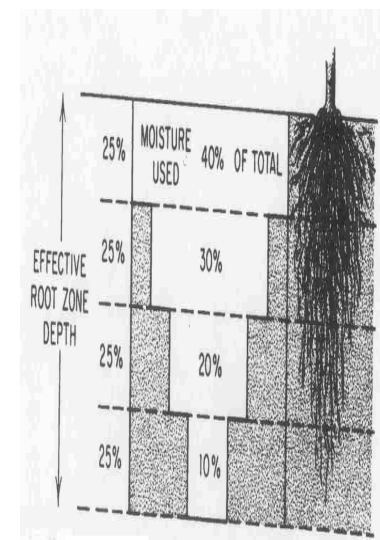
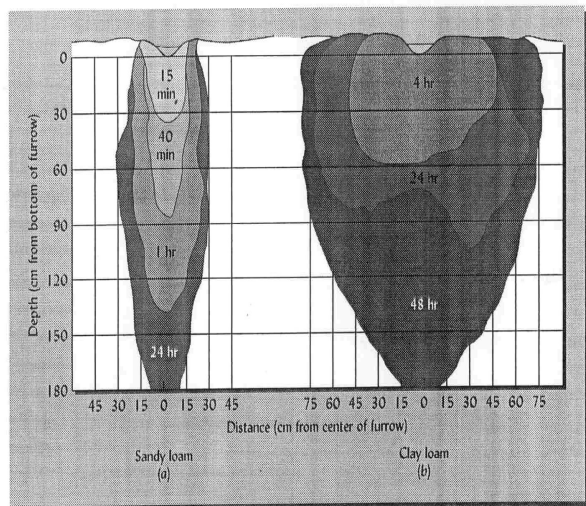
$$a_i = \theta_i * c_i ;$$

$a$  = активность;  $c$  = концентрация;  $\theta_i$  = коэффициент активности

Сбалансированное применение удобрений очень важно

Контроль доз, способов, форм и сроков внесения также очень важен

Это достигается только при фертигации





## **Что такое фертигация?**

**Фертигация – это внесение водорастворимых удобрений с учетом подходящей концентрации водного раствора и потребностей сельскохозяйственных культур**

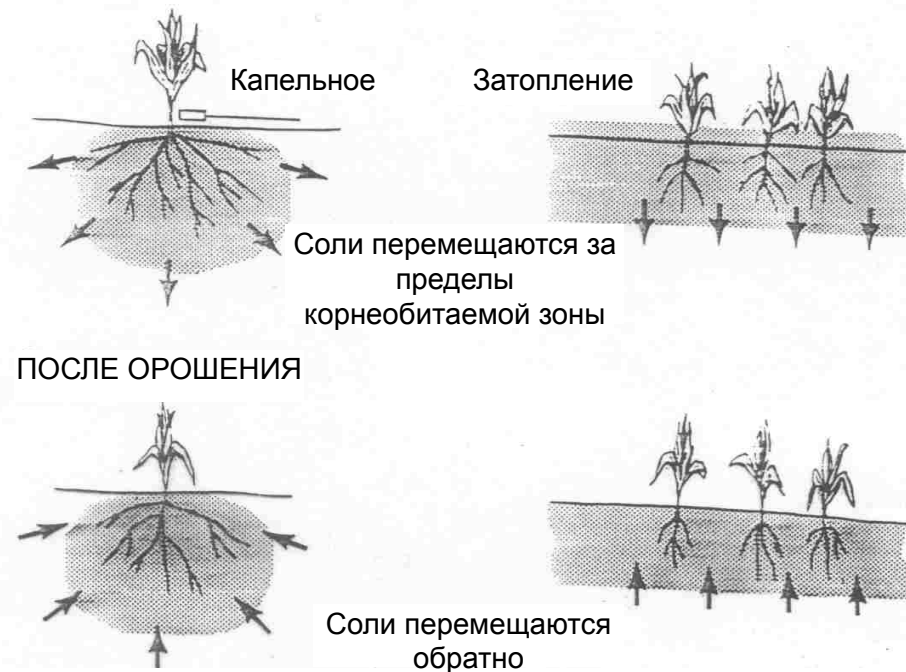
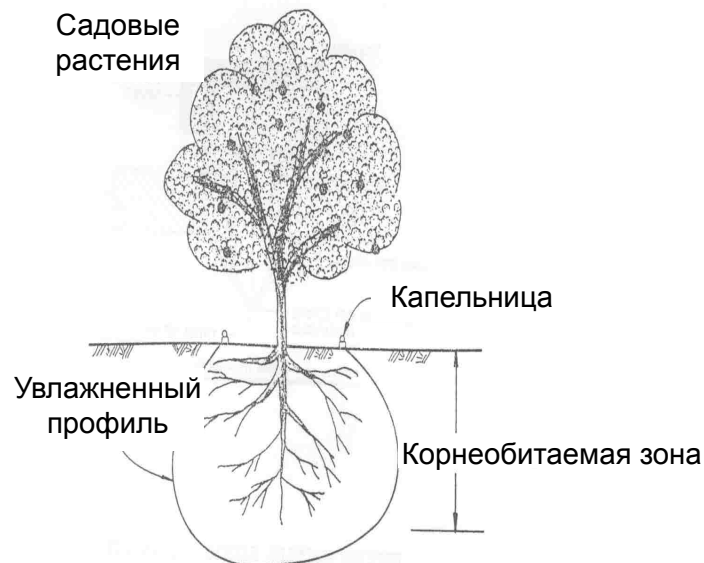
**Фертигация обладает целым рядом преимуществ →**

## Преимущества:

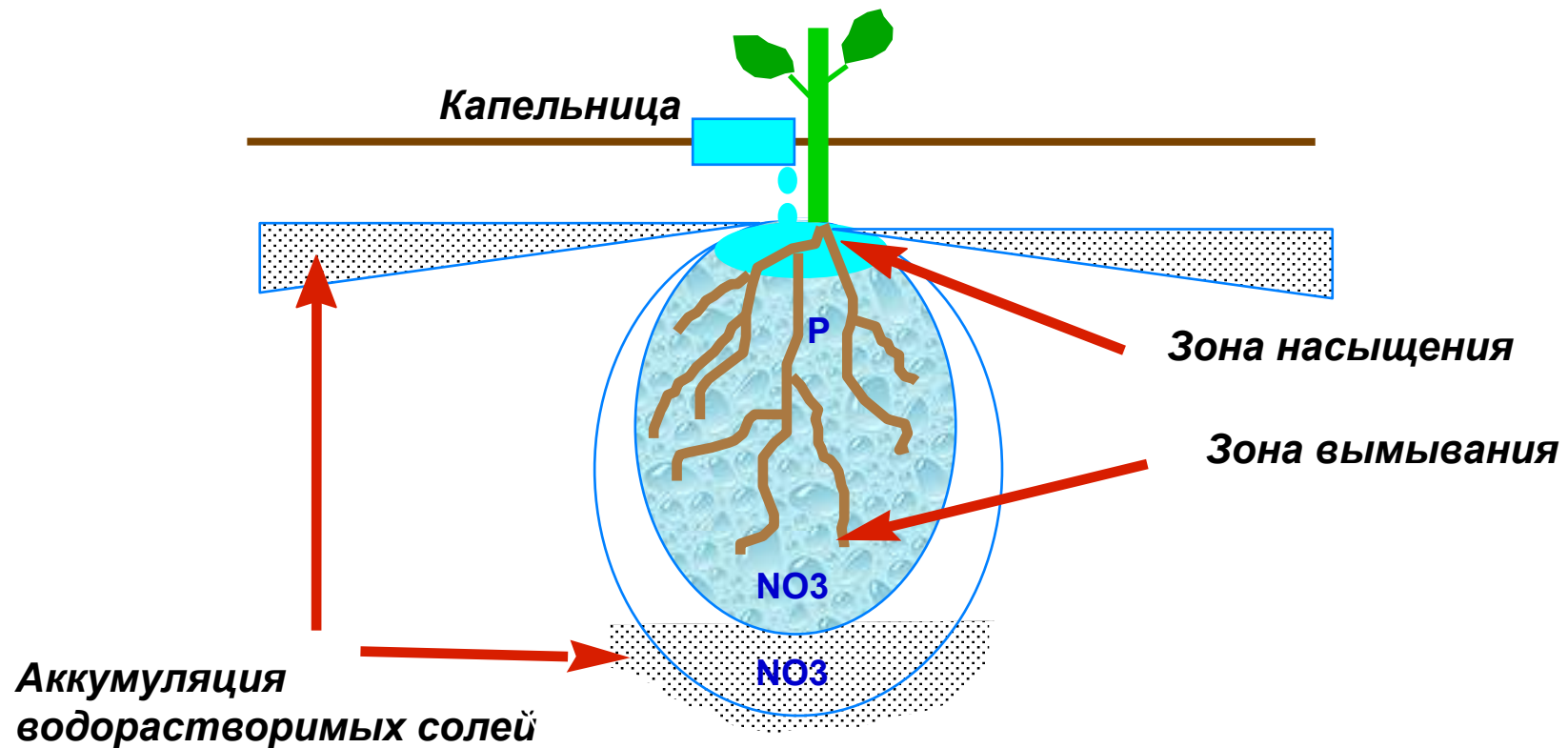
- ✓ Контроль доз и сроков применения удобрений
- ✓ Соответствие количества и концентрации элементов питания потребностям растений и климатическим условиям
- ✓ Повышение эффективности использования элементов питания из удобрений, экономия удобрений
- ✓ Повышение доступности (позиционной доступности) и усиление поглощения элементов питания
- ✓ Повышение урожайности и улучшение качества продукции
- ✓ Снижение вымывания элементов питания из корнеобитаемой зоны
- ✓ Сбережение энергии и временных ресурсов, сокращение затрат
- ✓ Лучшее использование засоленных, маломощных и подверженных эрозии почв
- ✓ Пригодность для всех систем земледелия (режимов увлажнения, покрытия почвы растениями)
- ✓ Пригодность для добавления небольших количеств удобрений (микроэлементов)
- ✓ Эффективный способ внесения элементов питания, обладающих низкой подвижностью в почве (P), т.к. при локальном внесении уменьшается сорбция и фиксация почвой
- ✓ Снижение переуплотнения и механического распыления почв тяжелой сельскохозяйственной техникой (особенно актуально для почв с низкой механической прочностью агрегатов)
- ✓ Возможность применения вместе с удобрениями других агрохимикатов – пестицидов (гербицидов, инсектицидов и др.)

## Маломощные и засоленные почвы:

1. Нельзя внести полную дозу на маломощных почвах за один прием
2. Нельзя внести полную дозу на засоленных почвах за один прием
3. При использовании фертигации вносятся небольшие дозы с каждым поливом
4. Необходимо постоянное поступление элементов питания из-за их высокого истощения в увлажняемой зоне
5. Высокие нормы полива могут способствовать вымыванию – потере элементов питания
5. Внесение удобрений вразброс неэффективно



## Миграция и перераспределение элементов питания (солей)



Необходимо учитывать аккумуляцию элементов питания (солей) в определенных зонах

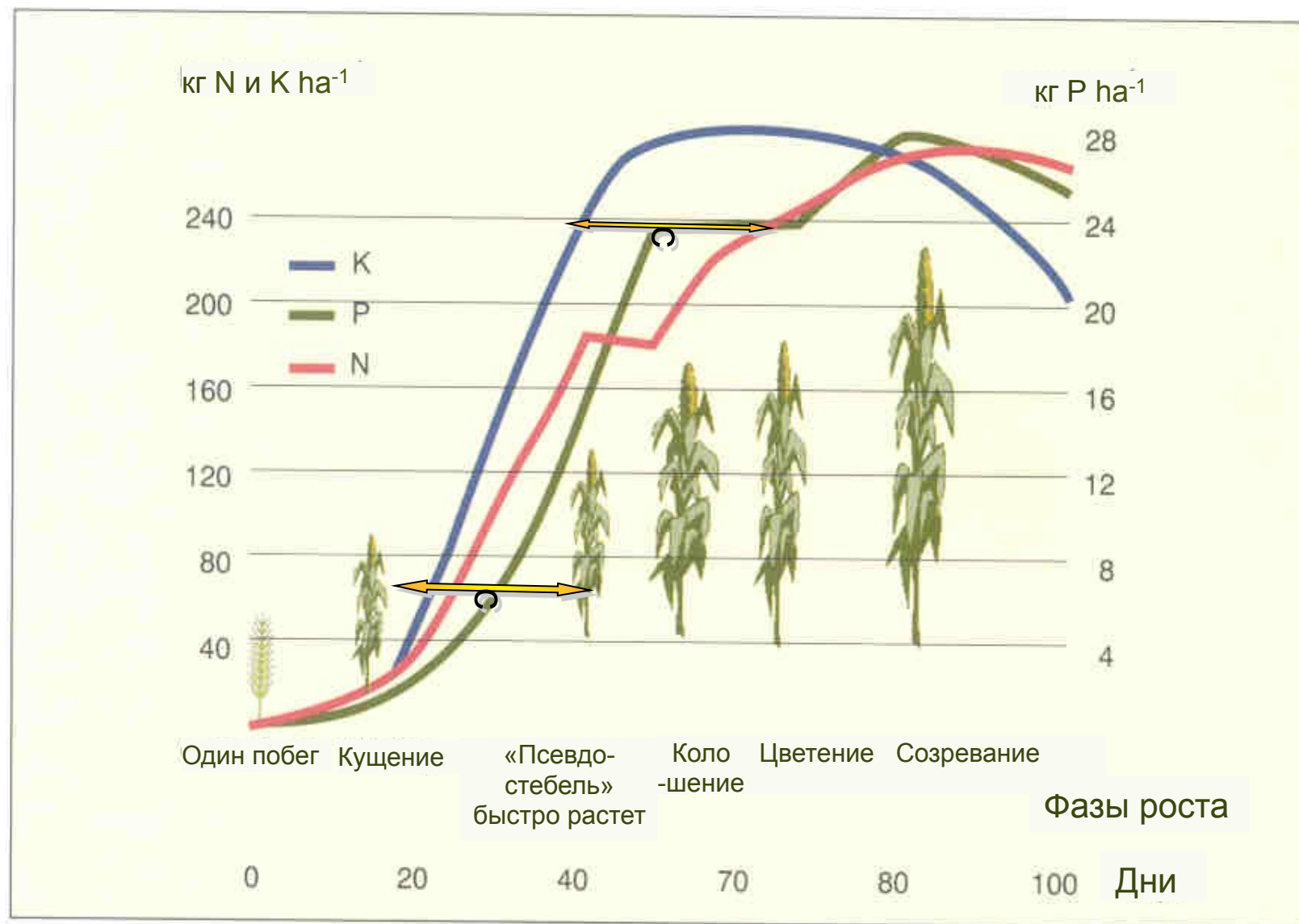
Элементы питания, обладающие высокой подвижностью, передвигаются с током влаги. Элементы питания, имеющие низкую подвижность, аккумулируются в верхнем слое почвы

В этой связи очень важно контролировать формы, дозы, сроки и способы внесения элементов питания

## **Необходимые условия для достижения высокой эффективности (капельной) фертигации овощных культур**

- Водопотребность сельскохозяйственных культур
- Потребность сельскохозяйственных культур в элементах питания
- Растворимость и совместимость удобрений
- Качество поливной воды
- Режим орошения и частота фертигации
- Хорошо спроектированная система орошения
- Квалифицированный персонал

Потребность в элементах питания и воде зависит от фазы роста растений. Постоянное внесение одной дозы приведет к недовнесению или к избыточному внесению элементов питания в зависимости от фазы роста.





## □ Растворимость и совместимость удобрений:

### □ Выбор удобрений для фертигации

- a. Удобрения должны быть водорастворимыми и совместимыми между собой (с учетом качества поливной воды)
- b. Растворы удобрений могут быть концентрированными, поэтому в случае насыщенного раствора возможна кристаллизация солей.  
Выпадение кристаллов приводит к:
  - Изменению состава раствора
  - Образованию осадка в емкостях
  - Закупорку фильтров и выпускных отверстий
- c. Овощные культуры имеют низкую солеустойчивость, поэтому необходимо использование удобрений с низким солевым индексом

Удобрения, пригодные для фертигации, должны удовлетворять следующим требованиям:

- Высокое содержание элемента питания в растворе
- Полная растворимость при «полевых» температурах
- Быстрое растворение в поливной воде
- Отсутствие закупорки фильтров и капельниц
  - Низкое содержание нерастворимого остатка
  - Минимальное содержание кондиционирующих добавок
- Совместимость с другими удобрениями
- Минимальное взаимодействие с поливной водой
- Отсутствие сильных изменений pH воды ( $3.5 < \text{pH} < 9$ )
- Низкая коррозионная активность по отношению к блоку контроля и всей системе

# N-удобрения, применяемые для фертигации

Только марки для фертигации

Удобрение	Д.В., %	Хим. формула	pH (1 г/л, 20°C)
Карбамид	46 – 0 – 0	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	5.8
Калиевая селитра	13 – 0 – 46	$\text{KNO}_3$	7.0
Сульфат аммония	21 – 0 – 0	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	5.5
Раствор КАС	32 – 0 – 0	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{NH}_4\text{NO}_3$	
Аммиачная селитра	34 – 0 – 0	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	5.7
Моноаммонийфосфат	12 – 61 – 0	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	4.9
Диаммонийфосфат	21 – 53 – 0	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	8.0
Кальциевая селитра	15 – 0 – 0	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	5.8
Магниева селитра	11 – 0 – 0	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	5.4

**Аммиак часто используется в качестве азотного удобрения для фертигации.**

Инжекция  $\text{NH}_3$  в жесткую воду (обогащенную Ca и Mg) может вызывать:

- a. повышение pH раствора ( $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ )
- b. осаждение Ca и Mg в виде  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$
- c. закупорку эмиттеров, фильтров, труб

Например:

Для поливной воды с EC=0.2 дСм/м и 10 мг/л Ca+Mg максимальная допустимая концентрация  $\text{NH}_3\text{-N}$  составляет 30 г/л (30000 мг/л).

Для поливной воды с EC=0.8 дСм/м и 30 мг/л Ca+Mg максимальная допустимая концентрация  $\text{NH}_3\text{-N}$  составляет 1 г/л (1000 мг/л).

Для поливной воды с EC=2.5 дСм/м и 200 мг/л Ca+Mg максимальная допустимая концентрация  $\text{NH}_3\text{-N}$  составляет 0.25 г/л (250 мг/л).

Возможные решения:

- a. Умягчение воды – добавление гексаметафосфата натрия или полифосфата аммония для связывания Ca и Mg в комплексы и снижения осаждения в виде карбонатов
- b. Нейтрализация с помощью кислот

## P-удобрения, применяемые для фертигации

Удобрение	Д.В., %	Хим. формула	pH (1 г/л, 20°C)
Фосфорная кислота	0 – 52 – 0	$H_3PO_4$	2.6
Монокалийфосфат	0 – 52 – 34	$KH_2PO_4$	5.5
Моноаммонийфосфат	12 – 61 – 0	$NH_4H_2PO_4$	4.9
Диаммонийфосфат	21 – 53 – 0	$(NH_4)_2HPO_4$	8.0

## К-удобрения, используемые для фертигации

Удобрение	Д.В., %	Формула	pH (1 г/л, 20°C)	Другие элементы
Хлористый калий 1	0 – 0 – 60	KCl	7.0	46% Cl
Калиевая селитра	13 – 0 – 46	KNO <sub>3</sub>	7.0	13% N
Сульфат калия 2	0 – 0 – 50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3.7	18% S
Тиосульфат калия 3	0 – 0 – 25	K <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		17% S
Монокалийфосфат	0 – 52 – 34	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	5.5	53% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>

## **К-удобрений**

Все К-удобрения растворимы в воде, но

КСl имеет наибольшую растворимостью, а  $K_2SO_4$  – наименьшую

При 20°C:

$KCl$  (34%) >  $KNO_3$  (32%) >  $KH_2PO_4$  (30%) >  $K_2SO_4$  (11%)

Следует избегать использования КSl для чувствительных к Cl культур

Не следует использовать  $K_2SO_4$ , если поливная вода обогащена Са и Mg



## **Микроэлементы:**

- \* Микроэлементы можно вносить при фертигации
- \* Необходимо принимать учитывать растворимость и совместимость микроудобрений с учетом качества поливной воды
- \* Могут использоваться хелатные комплексы Fe, Zn, Mn. Данные микроудобрения эффективны.

Удобрения	Хим. формула	Д.В., %	Растворимость, кг/л
<b>Азотные:</b>			
Аммиачная селитра	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	34-0-0	0.183
Полисульфид аммония	$\text{NH}_4\text{S}_x$	20-0-0	высокая
Сульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	21-0-0	0.706
Тиосульфат аммония	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$	12-0-0	очень высокая
Безводный аммиак	$\text{NH}_3$	82-0-0	0.380
Аммиачная вода	$\text{NH}_4\text{OH}$	20-0-0	высокая
Кальциевая селитра	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	15.5-0-0	1.212
Карбамид	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	46-0-0	1.000
Карбамид-серная кислота	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 * \text{H}_2\text{SO}_4$	28-0-0	высокая
КАС	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2 * \text{NH}_4\text{NO}_3$	32-0-0	высокая
<b>Фосфорные:</b>			
Двойной суперфосфат	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	0-45-0	0.018
Моноаммонийфосфат	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	11-48-0	0.227
Диаммонийфосфат	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	18-46-0	0.575
Полифосфат аммония	$(\text{NH}_4)_3\text{P}_2\text{O}_7$	9-30-0	высокая
Полифосфат аммония	$(\text{NH}_4)_5\text{P}_3\text{O}_{10}$	10-34-0	высокая
Полифосфат аммония	$(\text{NH}_4)_7\text{P}_5\text{O}_{16}$	11-37-0	высокая
Фосфорная кислота	$\text{H}_3\text{PO}_4$	0-54-0	высокая
<b>Калийные:</b>			
Хлористый калий	$\text{KCl}$	0-0-60	0.347
Калиевая селитра	$\text{KNO}_3$	13-0-44	0.133
Сульфат калия	$\text{K}_2\text{SO}_4$	0-0-50	0.120
Тиосульфат калия	$\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$	0-0-25-17S	1.500
Монокалийфосфат	$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0-52-34	0.33

Удобрения	Хим. формула	Д.В.	Растворимость, кг/л
<b>Микроэлементы и второстепенные макроэлементы</b>			
«Боракс»	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11%B	0.021
Борная кислота	$\text{H}_3\text{BO}_3$	17.5%B	0.063
«Солюбор»	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	20%B	0.220
Сульфат меди	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25%Cu	0.316
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23%Ca	0.0024
Сульфат железа	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	20%Fe	0.157
Сульфат магния	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	9.7%Mg	0.710
Сульфат марганца	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	27%Mn	1.053
Молибдат аммония	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54%Mo	0.430
Молибдат натрия	$\text{Na}_2\text{MoO}_4$	39%Mo	-----
Сульфат цинка	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	36%Zn	0.965
Хелаты цинка	ДТПА/ЭДТА	5%-14%Zn	хорошо растворимы
Хелаты марганца	ДТПА/ЭДТА	5%12%Mn	хорошо растворимы
Хелаты железа	ДТПА/ЭДТА	4%-14%Fe	хорошо растворимы
Хелаты меди	ДТПА/ЭДТА	5%-14%Cu	хорошо растворимы
Серная кислота	$\text{H}_2\text{SO}_4$	95%	очень высокая

## Химические аспекты фертигации

### Взаимодействия между удобрениями

- Осаждение фосфатов Ca и Mg:
  - закупорка капельниц и фильтров
  - снижение доступности элементов питания
- Коррозионная активность
- Распад хелатных комплексов в сильноокислой (сильнощелочной) среде
- Охлаждение растворов при смешивании (последовательность смешивания)

## Взаимодействие между удобрениями (совместимость)

При приготовлении удобрительных растворов для фертигации необходимо учитывать растворимость образуемых соединений

Ниже представлены примеры удобрительных смесей, в которых происходит снижение растворимости удобрений из-за образования осадков:

- Нитрат кальция + любая сульфатная соль = образование осадка  $\text{CaSO}_4$  (м.б. гипс)



- Нитрат кальция + любая фосфатная соль = образование осадка фосфатов Ca



- Соли магния + ди- или моноаммонийфосфат = образование осадка фосфатов Mg



- Сульфат аммония + KCl или  $\text{KNO}_3$  = образование осадка  $\text{K}_2\text{SO}_4$



- Фосфатные соли + соли железа = образование осадка фосфатов Fe

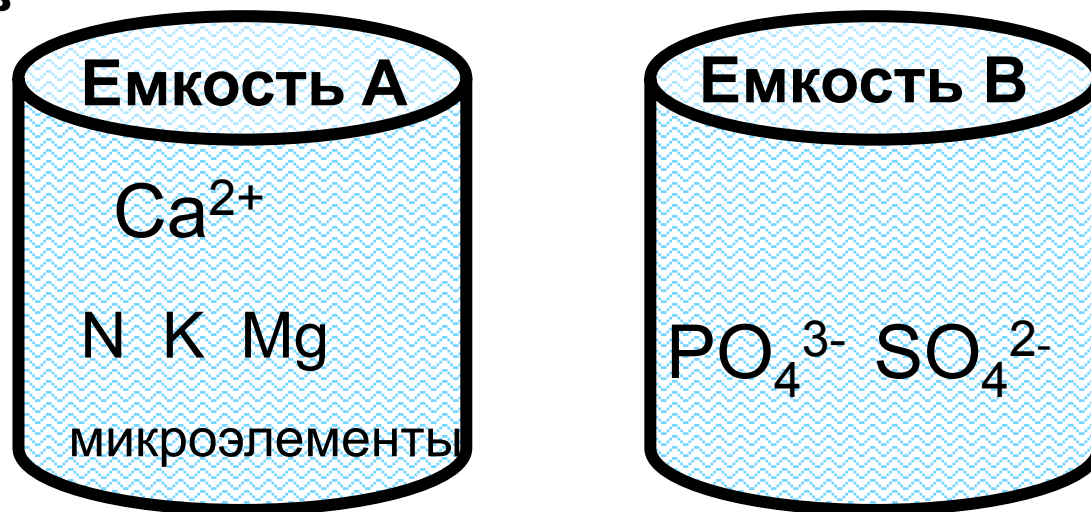
## Взаимодействие между удобрениями (совместимость)

Решение:

Использование 2-х и более емкостей для разделения растворов удобрений, взаимодействие между которыми ведет к образованию осадков

Емкость А: Растворение компонентов, содержащих Ca, Mg и микроэлементы

Емкость В: Растворение фосфат- и сульфатсодержащих компонентов



# Таблица совместимости удобрений

✓ – можно смешивать; X – возможно образование осадка

$\text{NH}_4\text{NO}_3$								
✓	Карбамид							
✓	✓	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$						
✓	✓	✓	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$					
✓	✓	X	✓	KCl				
✓	✓	✓	✓	✓	$\text{K}_2\text{SO}_4$			
✓	✓	X	✓	✓	✓	$\text{KNO}_3$		
✓	✓	X	X	✓	X	✓	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	

# Коррозионная активность

Металл	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	Карба-мид	Фосфорн. к-та	ДАФ
Гальванизированное железо	2	4	4	1	4	1
Листовой алюминий	Нет	1	1	Нет	2	2
Нержавеющая сталь	Нет	Нет	Нет	Нет	1	Нет
Бронза	1	3	3	Нет	2	4
Латунь	1	2	3	Нет	2	4

**1 = низкая**

**2 = средняя**

**3 = значительная**

**4 = серьезная**



# Охлаждающий эффект

- Большая часть твердых удобрений при растворении поглощает теплоту из воды
- Температура раствора понижается (эндотермическая реакция)
- Общая растворимость удобрений снижается
- Растворение фосфорной кислоты – экзотермическая реакция, ведущая к повышению температуры раствора
- Следовательно, фосфорную кислоту следует добавлять до карбамида или KCl, при растворении которых происходит эндотермическая реакция

**Для успешной фертигации следует подбирать удобрения с учетом качества воды. Необходимо учитывать следующие показатели качества воды:**

**A. Содержание водорастворимых солей в поливной воде.**

При повышении содержания водорастворимых солей снижается растворимость удобрений, а также повышается диссоциация  $\text{NH}_4\text{OH}$ , и увеличиваются газообразные потери  $\text{NH}_3$ , что снижает % д.в. в получаемом растворе.

**B. Анионный состав поливной воды (главным образом, содержание бикарбонатов, сульфатов и хлоридов):**

1. Бикарбонат-ион:

a. Повышает pH раствора

b. Снижает растворимость удобрений

c. Способствует осаждению Ca и Mg

d. Вызывает выпадение кристаллов солей из удобрительного раствора

e. Инактивирует Fe и Zn в растительных тканях

2. Сульфаты способствуют осаждению Ca, Mg и Fe

3. Хлориды повышают минерализацию воды и снижают растворимость удобрений

С. рН поливной воды:

1. Индикатор возможного образования осадков и закупорки оборудования
2. Индикатор относительного содержания ряда ионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , тяжелые металлы и т.д.)
3. С повышением рН растворимость удобрений снижается

Д. Содержание твердых частиц, мутность. Проблемы, вызываемые твердыми частицами:

1. образование нерастворимых осадков на поверхности частиц
2. закупорка капельниц, осаждение частиц в поливных линиях
3. закупорка почвенных пор и снижение водопроницаемости почвы

Следовательно, при высоком содержании твердых частиц – высокой мутности поливной воды для отделения взвесей необходимо использовать фильтры.

## Е. Натриево-адсорбционное отношение (SAR)

ммоль (+) л<sup>-1</sup> →  $SAR = [Na] / [(Ca+Mg)/2]^{1/2}$

При значениях SAR более 15 существует потенциальный риск использования поливной воды

## Ф. Жесткость воды:

- высокая концентрация Ca и Mg (> 50 мг/л),
- высокая концентрация бикарбонатов (> 150 мг/л)
- щелочная реакция (pH > 7.5)
- Ca и Mg (поливной воды) образуют нерастворимый осадок с фосфатными и сульфатными ионами (удобрений)
- Ca образует известковый налет (осадок карбоната кальция):  
 $CO_3^{2-} + Ca^{2+} \rightarrow CaCO_3 \downarrow$  (при pH > 7.5)
- Рекомендации:
  - Предпочтения удобрениям, обладающим кислой реакцией (фосфорная кислота, МАФ)
  - Периодическая инъекция кислот в оросительную систему для растворения осадков и прочистки капельниц
  - Использование Ca- и Mg-содержащих удобрений с учетом содержания Ca и Mg в поливной воде

## **G. Минерализованные (соленые) воды:**

◆ Высокая ЕС (> ~ 2-3 дСм/м)

◆ Высокий Cl (> 150-350 мг/л)

} Зависит от чувствительности культур и системы выращивания (открытый, защищенный грунт)

● Добавление удобрений (неорганических солей) повышает ЕС раствора, что может причинить вред растениям

● Рекомендации:

◆ Тестирование солеустойчивости культур

◆ Использование удобрений с низким солевым индексом

◆ Промывка почв для удаления избытка солей

<b>Солевой индекс различных удобрений.</b>		
<b>Удобрения</b>	<b>Солевой индекс</b>	
	<b>Для равной массы материала</b>	<b>На единицу элемента питания*</b>
<b>Азотные/серосодержащие</b>		
Аммиак, 82% N	47.1	0.572
Аммиачная селитра, 34% N	104.0	3.059
Сульфат аммония; 21% N, 24% S	68.3	3.252
Тиосульфат аммония, 12% N, 26% S	90.4	7.533
Кальциевая селитра (15.5% N)		
Карбамид, 46% N	74.4	1.618
КАС, 28% N (39% ам. селитры, 31% карбамида)	63.0	2.250
КАС, 32% N (44% ам. селитры, 35% карбамида)	71.1	2.221
<b>Фосфорные</b>		
Полифосфат аммония, 10% N, 34% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20.0	0.455
ДАФ 18% N, 46% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	29.2	0.456
МАФ 11% N, 52% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	26.7	0.405
Фосфорная кислота, 54% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1.613**
Фосфорная кислота, 72% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		1.754**
<b>Калийные</b>		
Монокалийфосфат , 52% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , 35% K <sub>2</sub> O	8.4	0.097
Хлористый калий, 62% K <sub>2</sub> O	120.1	1.936
Сульфат калия, 50% K <sub>2</sub> O, 18% S	42.6	0.852
Тиосульфат калия, 25% K <sub>2</sub> O, 17% S	68.0	2.720
** Солевой индекс для 45.36 кг Н <sub>3</sub> РO <sub>4</sub>	* Одна единица = 9.1 кг	

## **Общие правила**

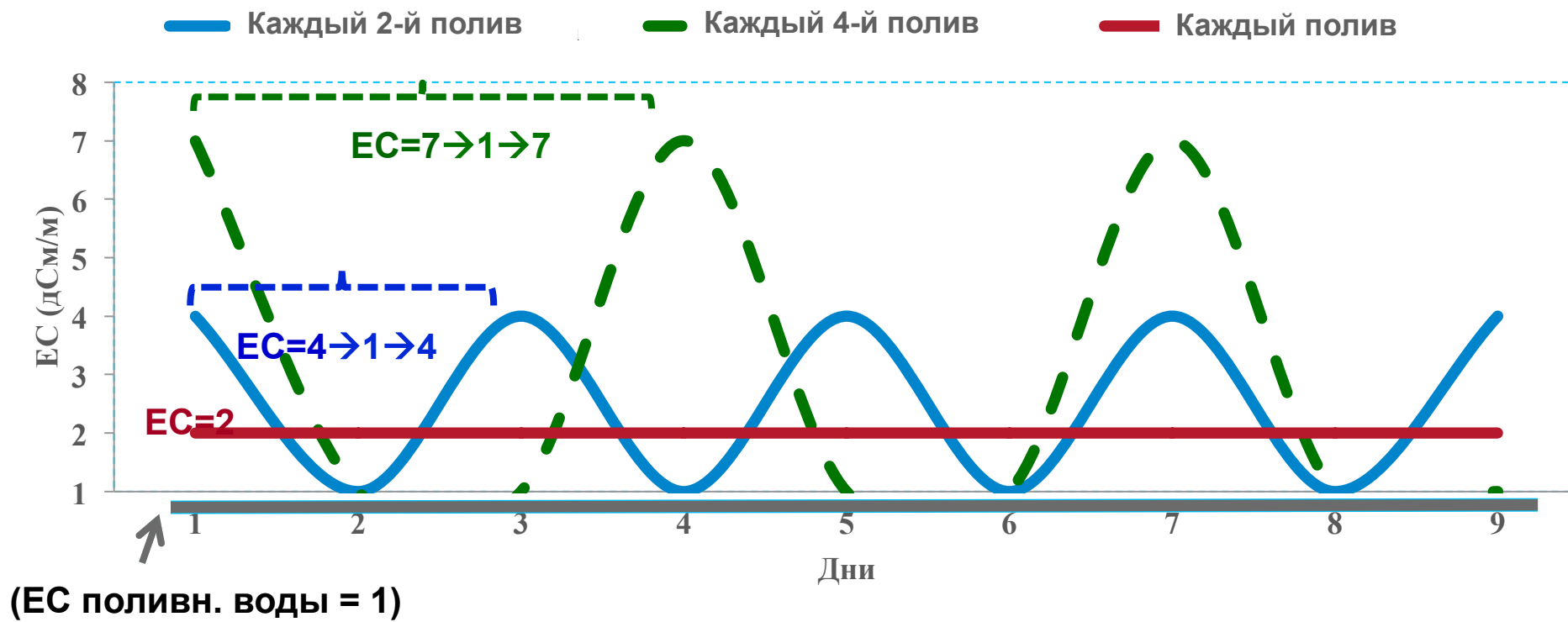
1. Добавляйте кислоты в воду, но не наоборот.
2. Не добавляйте безводный аммиак или аммиачную воду в кислоты, т.к. будет быстрая и бурная реакция.
3. Не смешивайте сульфатные удобрения с Са-содержащими удобрениями, чтобы не было образования нерастворимого сульфата кальция.
4. Не смешивайте Р-содержащие удобрения с Са-содержащими удобрениями или, по крайней мере, протестируйте образование осадка.
5. При смешивании и растворении фосфатных и сульфатных удобрений и/или аммиака в жесткой воде могут образовываться нерастворимые соединения. При растворении аммиака в воде сильно повышается рН раствора. Это вызывает газообразные потери аммиака, а также образование нерастворимых гидроксидов Са и Mg и/или карбонатов.
6. В системе капельного полива не рекомендуется использовать одновременно Р-содержащие удобрения и микроудобрения из-за возможного образования и осаждения из раствора нерастворимых соединений микроэлементов с фосфатами. Следовательно, при необходимости добавления микроэлементов следует использовать растворимые формы, менее подверженные осаждению. Это хелатные формы микроэлементов. Также, если это возможно, микроудобрения инъецируются отдельно.
7. Больше информации – в Приложении.

## □ **Режим фертигации овощных культур.**

1. Для успешной фертигации режим орошения должен быть хорошо проработан.
2. Нерегулярные поливы снижают эффективность фертигации.
3. Режим фертигации должен соответствовать фазам роста и развития культур.
4. Необходима тщательная проработка в условиях засоления. Овощные культуры имеют низкую солеустойчивость.



### Частота фертигации в условиях засоления



## □ Должна ли фертигация быть непрерывной?

- Удобрения могут добавляться в поливную воду с различной частотой: каждый день, раз в несколько дней, раз в неделю и т.д.
- Это должно быть определено для каждой культуры с учетом системы выращивания и конкретных местных условий.
- Одна постоянная доза элементов питания при фертигации может приводить к их недовнесению в фазы усиленного роста или же к избыточному внесению в ранние фазы развития и перед уборкой.
- Постоянная инъекция удобрений снижает риск вымывания элементов питания за пределы корнеобитаемой зоны.
- Иногда сразу после посадки начинаются дожди и продолжаются в течение длительного периода. При этом полив и, соответственно, фертигация не проводятся, однако на ранних этапах развития растениям необходимы элементы питания. В таких условиях рекомендуется допосадочное внесение удобрений.

- Иногда фертигация практикуется исходя из так называемого правила «**Четверть – середина – четверть**»:
  - Удобрения инжектируются только в середине цикла полива
  - Рабочее давление в системе полива достигается к моменту инъекции удобрений в середине цикла полива
  - При отсутствии инъекции удобрений в последнюю четверть цикла полива происходит промывка системы полива от остатков удобрений

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

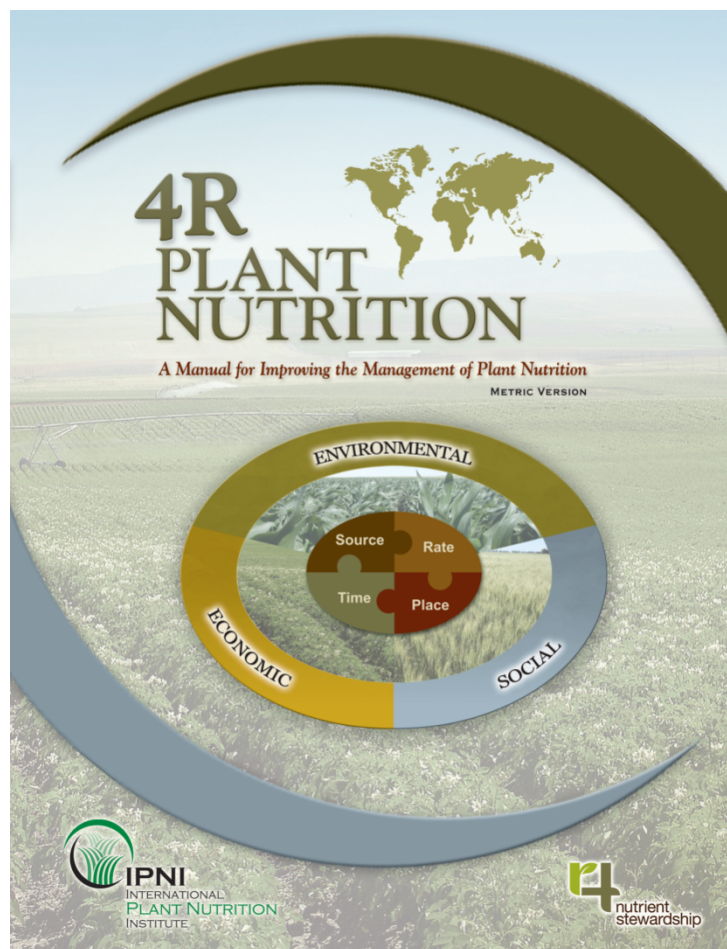
**Для равномерного внесения удобрений в почву в системе капельного полива всегда должно поддерживаться рабочее давление**

Наиболее важное условие успешной фертигации – контроль форм, доз, сроков и способов внесения удобрений.

Это достигается при следовании концепции «4-х правил» применения удобрений.

Концепции «4-х правил» применения удобрений была разработана Международным институтом питания растений и может использоваться для всех систем земледелия, но она особенно важна для систем фертигации.

Концепция «4-х правил» применения удобрений подразумевает оптимизацию форм, доз, сроков и способов их внесения



# IPNI → Концепция «4-х правил» применения удобрений



## Что дает концепция «4-х правил»?

- Оптимизация форм, доз, сроков и способов внесения удобрений – способ достижения устойчивого производства продукции растениеводства.
- Конструктивная оценка практики применения удобрений с целью ее дальнейшего совершенствования.
- «Сбалансированный» учет всех 4-х составляющих концепции.
- Промышленность минеральных удобрений: оптимизация поставок и дистрибуции.
- Простой и понятный подход для информирования общества.



## Научные принципы: Оптимальные формы

- Сбалансированное внесение необходимых элементов питания.
- Внесение элементов питания в доступных для растений формах.
- Учет физико-химических свойств почв.
- Удобрения должны быть водорастворимы.
- Учет совместимости удобрений между собой.
- Учет качества поливной воды при выборе удобрения.

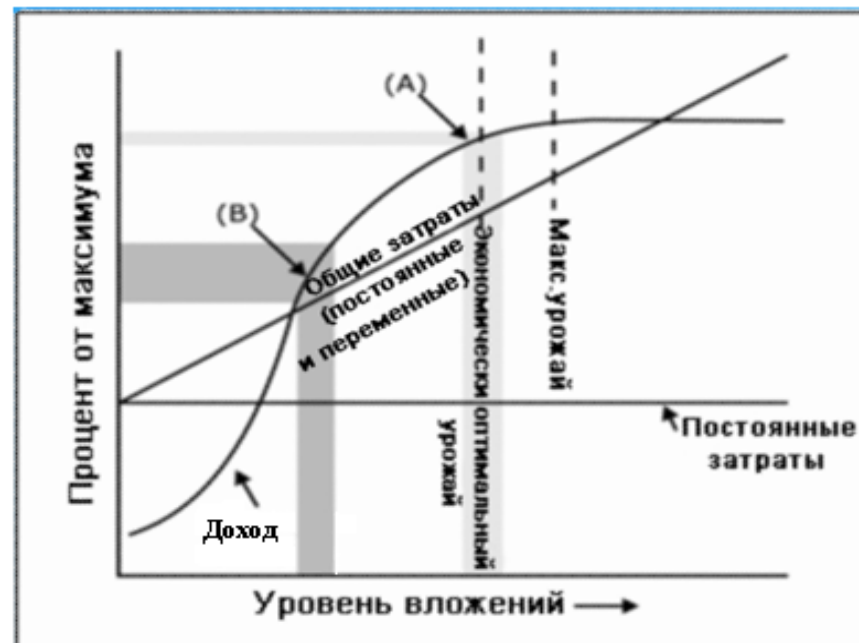




## Научные принципы: Оптимальные дозы

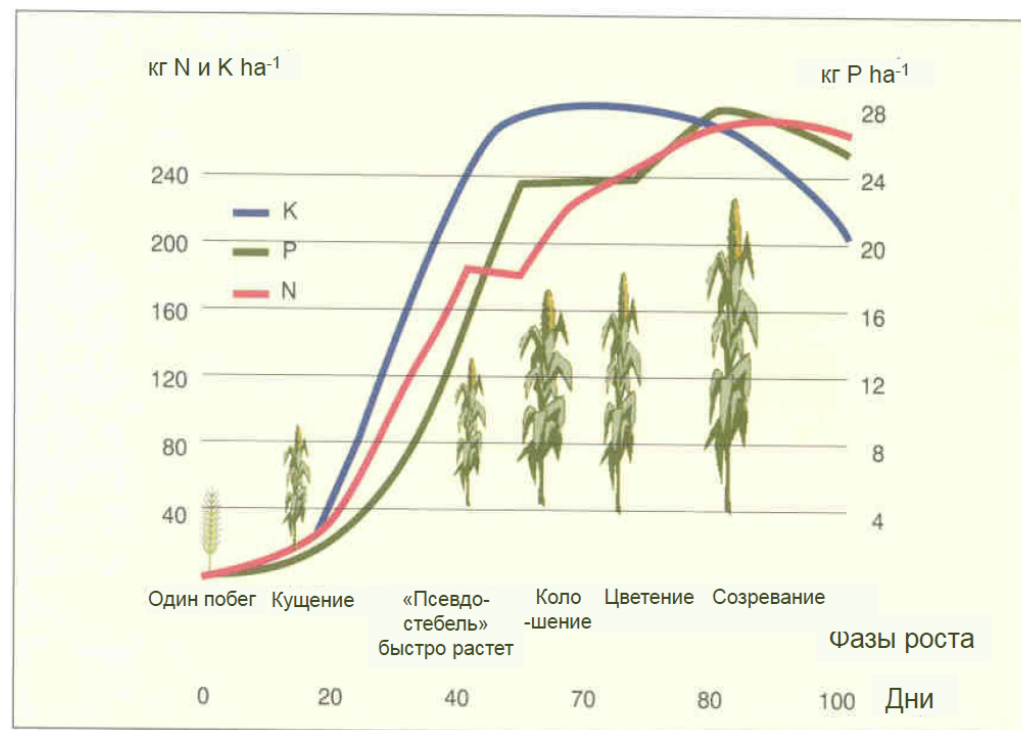
- **Оценка и учет:**

- поступления элементов питания из почвы;
- поступления элементов питания из всех источников;
- потребности растений в элементах питания;
- потребности в различные фазы роста;
- водопотребления культур;
- сроков созревания;
- экономической отдачи (экономически оптимальная урожайность, максимальная биологическая урожайность)



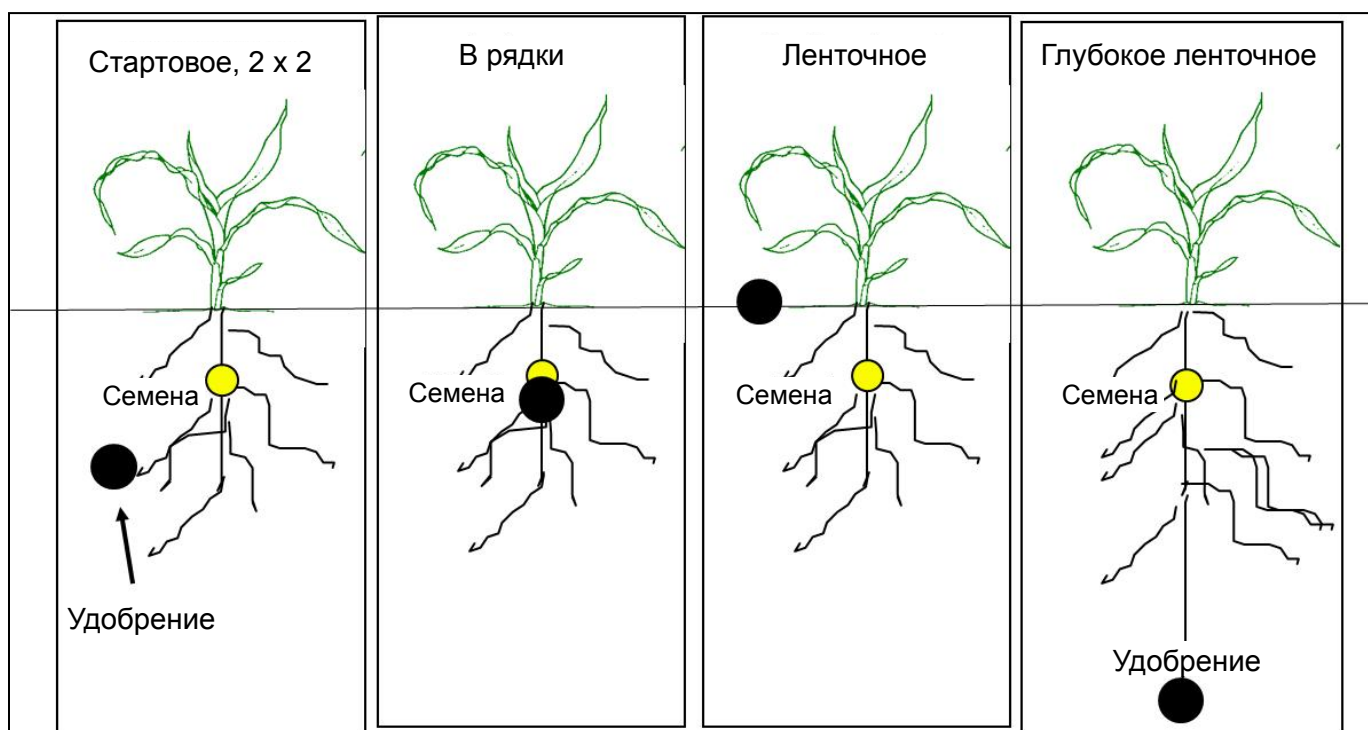
## Научные принципы: Оптимальные сроки

- Внесение удобрений в соответствии с динамикой поглощения элементов питания растениями.
- Учет динамики поступления элементов питания из почвы.
- Учет различий в потребности растений в элементах питания в разные фазы роста.
- Учет влияния погодных факторов (сроков проявления) на потери элементов питания.
- Учет сроков созревания культур.
- Учет грансостава почвы – важного фактора, влияющего на сроки внесения удобрений.



## Научные принципы: Оптимальные способы внесения

- Учет динамики развития корневой системы растений в почве.
- Проработка способа полива и фертигации.
- Учет пространственного варьирования показателей плодородия почвы.
- Снижение потерь элементов питания за пределы поля.



## **Мониторинг фертигации**

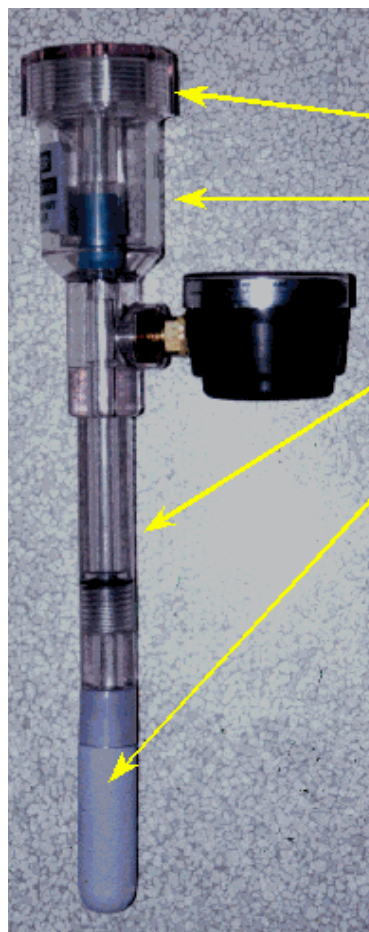
**Для успешной фертигации необходим мониторинг нескольких параметров:**

- ✓ **Влажность почвы**
- ✓ **Водный статус растений**
- ✓ **Содержание элементов питания в почвенном растворе**
- ✓ **pH и ЕС почвенного раствора и удобрительного раствора**
- ✓ **Содержание элементов питания в растениях**
- ✓ **Равномерность распределения элементов питания в почве**
- ✓ **Вымывание элементов питания**

## Мониторинг влажности почвы:

Весовой метод (бур, весы, суш. шкаф); тензиометры; нейтронные влагомеры; различные типы сенсоров.

### Устройство:



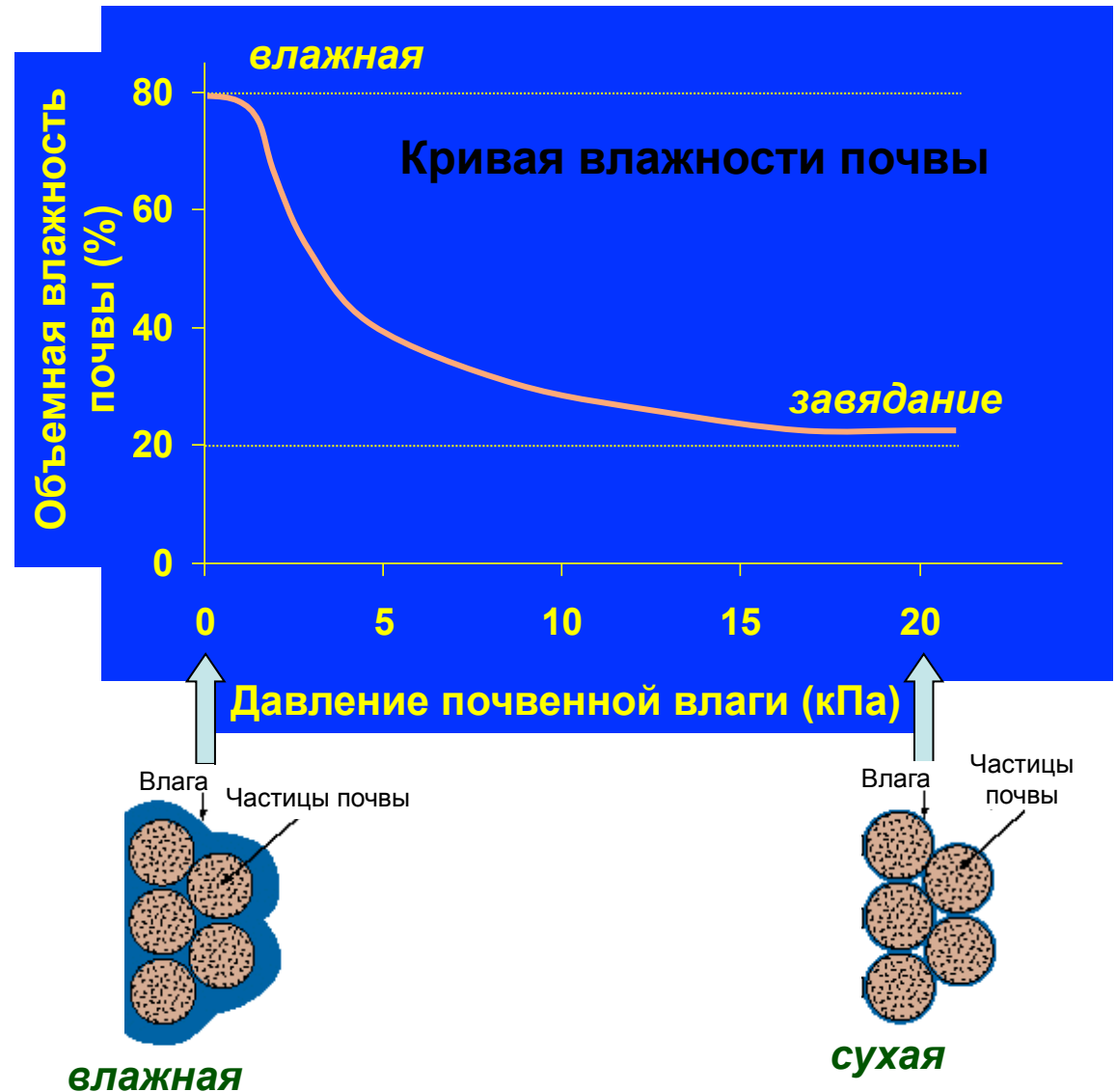
Крышка

Резервуар

Датчик

Трубка с водой

Керамический наконечник



### ***Равномерность распределения элементов питания:***

Периодическая проверка скорости истечения из эмиттеров

### ***Вымывание элементов питания:***

Анализ почвы ниже увлажняемой корнеобитаемой зоны

### **Мониторинг водного статуса растений:**

- Визуальный или инструментальный мониторинг (измерение водного потенциала растений с использованием специальных приборов, оснащенных камерой давления)

### **Мониторинг климатических параметров для определения водопотребления:**

- Оценить водопотребность растений можно с помощью таких климатических параметров, как солнечная радиация, скорость ветра, относительная влажность воздуха, скорость испарения влаги и др.
- Водопотребление различных культур в разные фазы роста коррелирует с климатическими параметрами. В расчетах применяются специальные коэффициенты (при этом либо с помощью специальных испарителей определяется скорость испарения влаги, либо используется формула Пенмана).

## Мониторинг содержания элементов питания в почвенном растворе



- Отбор проб почвенного раствора необходимо проводить непосредственно из зоны вокруг корней. Анализ следует проводить сразу после отбора (экспресс-диагностика)
- концентрации должны быть сопоставимы с концентрациями в поливной воде

## Мониторинг содержания элементов питания в растениях

1. Экспресс-диагностика для нитратов, хлоридов и т.д.
2. Растительная диагностика:
  - Хороший способ для определения недостатка либо избытка элементов питания
  - Позволяет быстро скорректировать недостаток элементов питания в критические фазы роста растений



## Мониторинг состава удобрительного раствора рН, ЕС, содержание какого-либо элемента питания

# **Методы инъекции удобрительного раствора**



# Методы инъекции удобрений:

## А. Удобрительная емкость (инъекция по схеме «байпас»)

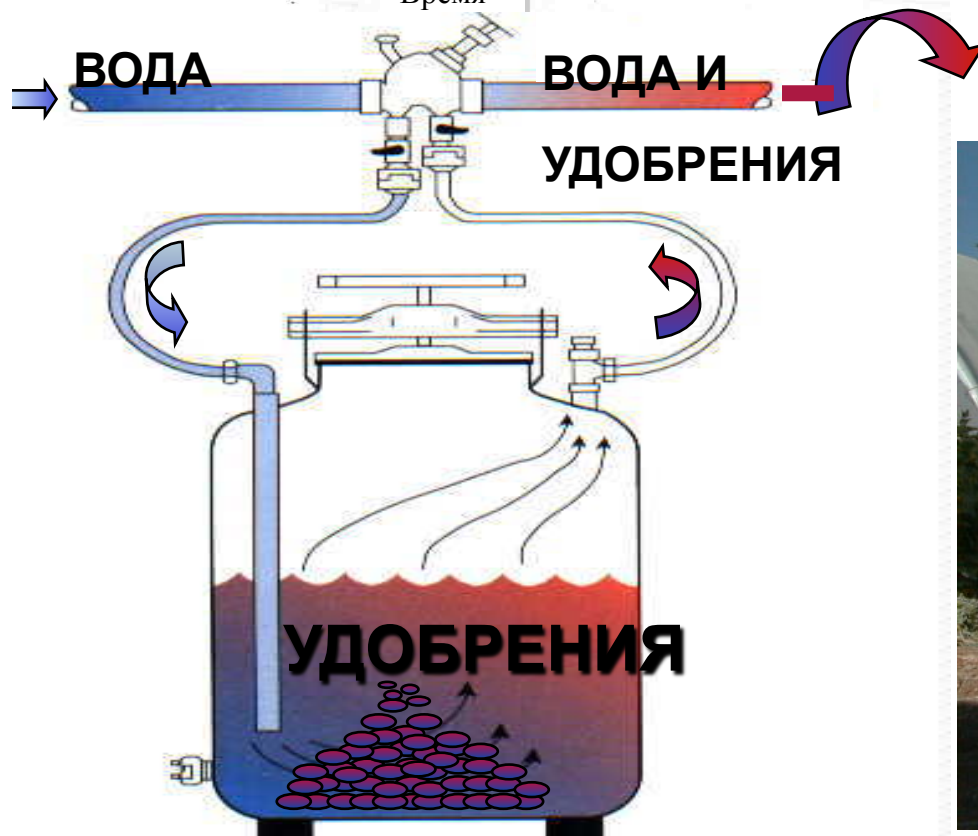
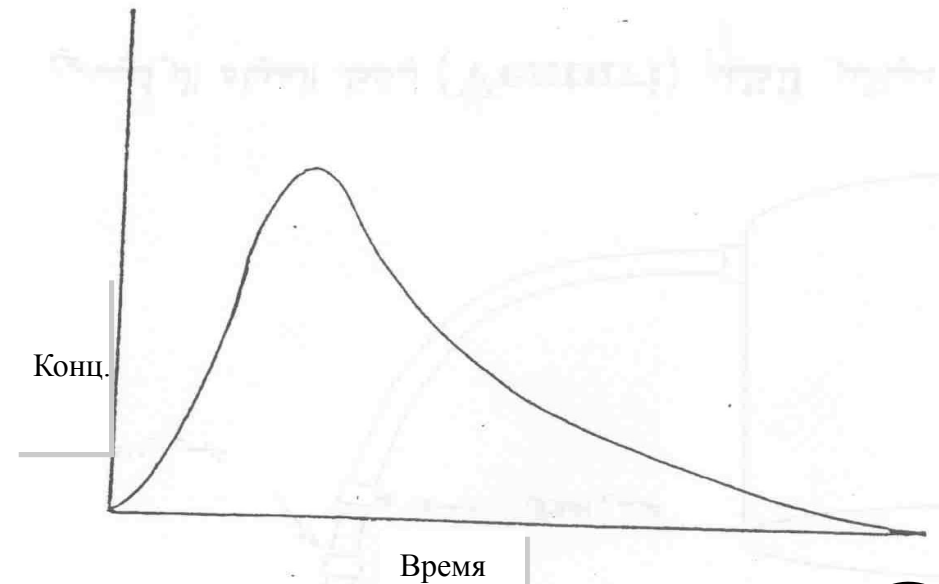


Схема «байпас»



- ① Удобрительная емкость заполняется удобрением.
- ① Плотно закрывается крышка.
- ① Запускается система полива. Закрывая клапан, создается перепад давления.
- ① Поливная вода потечет в емкость.
- ① Произойдет быстрое растворение удобрений.
- ① Вода+удобрения (питательный раствор) поступит в главный трубопровод и будет вытекать в корневую зону.

**А. Удобрительная емкость (инжекция по схеме «байпас»)**

- **Часть поливной воды протекает через удобрительную емкость, растворяя твердые удобрения или разбавляя раствор удобрений, и затем возвращается в главную поливную трубу**
- **Непропорциональное смешивание удобрений с поливной водой**
- **Концентрация удобрений со временем снижается**
- **Для подачи 98% удобрений из удобрительной емкости через нее должен быть пропущен объем поливной воды, в 4 раза превышающий объем емкости**

▪ **Формула:**

$$\text{Скорость движения воды (л/мин)} = \frac{\text{Объем емкости} * 4 \text{ объема воды (л)}}{\text{Длительность внесения удобрений (мин)}}$$

▪ **Пример:**

**Объем емкости = 90 л; длительность внесения удобрения = 20 мин**

**Скорость движения воды через байпас =  $(90 * 4) / 20 = 18$  л/мин**

**ИЛИ 1080 л/ч**

$$C(t) = C_0 * \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) \exp\left[\left(-\frac{Q_2}{V}\right) * t\right]$$

$$C(t) = C_0 * \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) \exp\left[\left(-\frac{Q_2}{V}\right) * t\right]$$

Где:

- $C_t$  = концентрация (моль  $m^{-3}$  или кг  $m^{-3}$ ) в удобрительной емкости (или в поливной воде) в момент времени  $t$  (ч);
- $C_0$  = концентрация перед началом полива ( $t=0$ )
- $Q_1$  = скорость движения воды на входе в емкость ( $m^3 \text{ ч}^{-1}$ )
- $Q_2$  = скорость движения воды на выходе из емкости ( $m^3 \text{ ч}^{-1}$ )
- $V$  = объем емкости ( $m^3$ )

#### **А. Удобрительная емкость (инжекция по схеме «байпас» )**

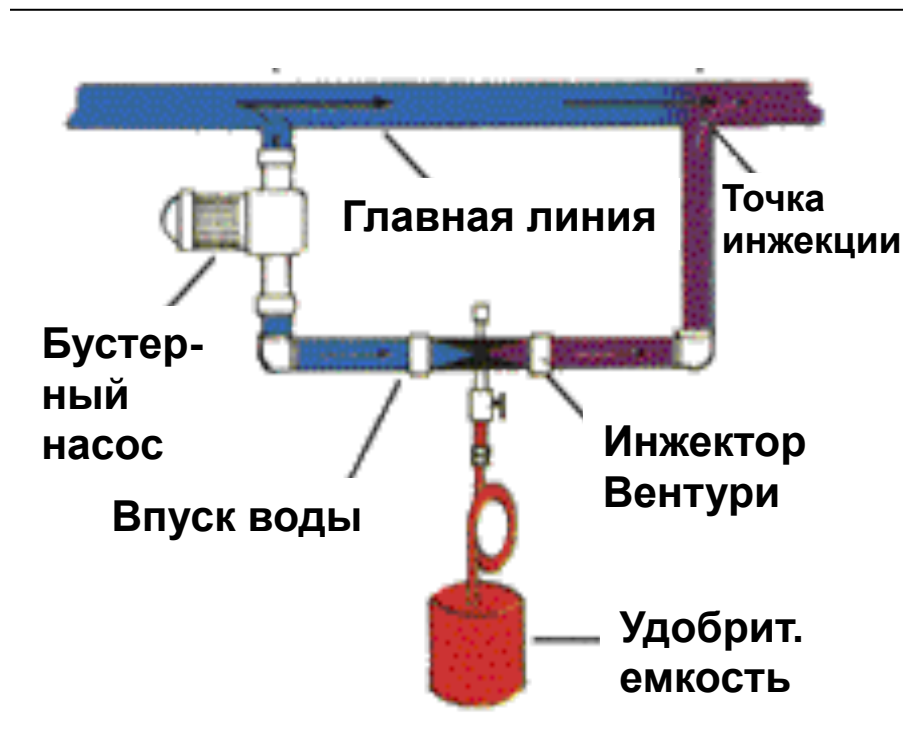
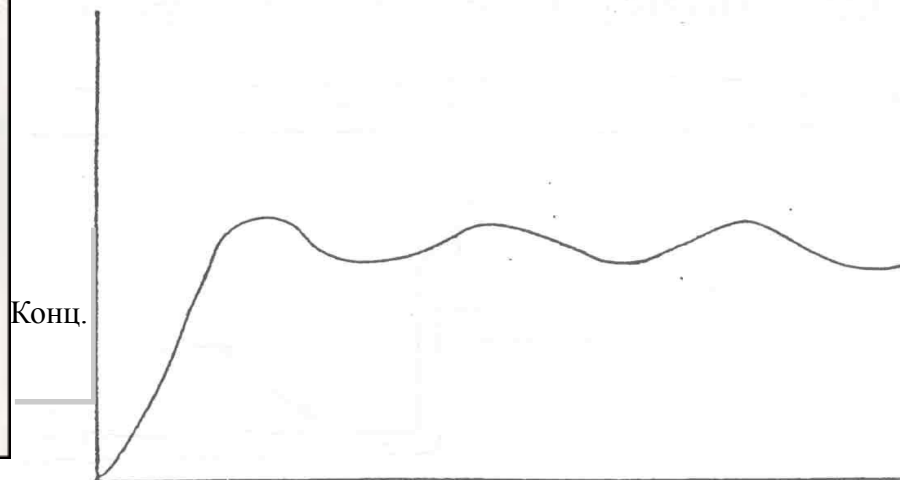
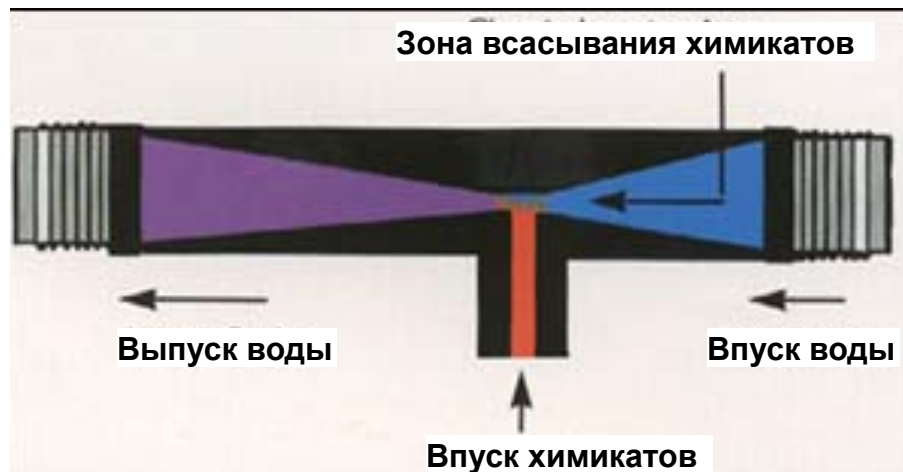
- **Преимущества:**
  - Низкая стоимость
  - Можно использовать твердые водорастворимые и жидкие удобрения
  - Низкая потеря напора
  - Высокая скорость движения воды
- **Недостатки:**
  - Непропорциональное смешивание удобрений с водой
  - В связи с этим концентрация удобрений непостоянна
  - При изменении давления воды изменяется концентрация

## **В. Прямое введение удобрений в поливную линию:**

**При данной схеме происходит пропорциональное смешивание удобрений с водой. Используются 2 механизма:**

- 1. Инжекция на основе эффекта Вентури (разности давления):**
  - а. Принципы функционирования:**

**Конструкция устройства ускоряет ток воды, создавая всасывающий эффект, благодаря которому происходит всасывание удобрительного раствора в поливную линию. Система полива должна функционировать на полную мощность перед инъекцией удобрительного раствора.**
  - б. Достоинства:**
    - 1. Относительно недорогой способ**
    - 2. Приемлемый контроль концентрации удобрений: Постоянная степень разбавления (концентрация) в статических условиях функционирования**
  - с. Недостатки:**
    - 1. Высокая потеря напора**
    - 2. Относительно низкая скорость движения воды**



## Инжекция на основе принципа Вентури



## **2. Инжекция удобрений с помощью гидравлических насосов**

- **Рабочий у раствор закачивается с помощью насоса из удобрительной емкости и инжектируется под давлением в систему полива**
- **Источник энергии – движение воды или электричество**
- **Насосы, приводимые в действие потоком проходящей через них воды, устанавливаются на линии**
- **DOSATRON – наиболее популярный бренд**
- **Скорость инъекции легко регулируется для достижения желаемого соотношения смеси (концентрации)**

### **Преимущества:**

- 1. Нет потери напора**
- 2. Гибкая скорость движения воды, функционирование с высокой скоростью**
- 3. Хороший контроль концентрации – постоянная концентрация**

### **Недостатки:**

- **Относительно дорогой способ**
- **Требуется квалифицированный персонал для работы и обслуживания оборудования**



**Инжекция с помощью гидравлических насосов Dosatron  
Обеспечивает точную и постоянную концентрацию**



## В заключение:

---

<b>Свойства</b>	<b>Байпас</b>	<b>Инжектор Вентури</b>	<b>Насосы</b>
Удобство работы	высокое	среднее	низкое
Твердые удобрения	+	- *	- *
Жидкие удобрения	+	+	+
Скорость движения	высокая	низкая	высокая
Контроль концентр.	нет	средний	хороший
Контроль объема	нет	средний	хороший
Потеря напора	низкая	очень высок.	нет
Автоматизация	низкая	средняя	высокая
Стоимость	низкая	средняя	высокая

---

\* - использование жидких удобрений или приготовление растворов посредством растворения твердых удобрений

# Приготовление удобрительного раствора

# Формулы для приготовления рабочих растворов и расчета степени разбавления

$$C = \frac{F * DF * n * 100}{a}$$

$$DF = \frac{FR \text{ гл. линия (м}^3 \text{/ч)}}{FR \text{ инжектор}}$$

Где:

**C** = масса удобрения в рабочем растворе (г)

**F** = необходимая концентрация элемента питания в поливной воде  
(г м<sup>-3</sup> или мг л<sup>-1</sup>)

**n** = объем рабочего раствора (м<sup>3</sup>)

**a** = содержание д.в. в удобрении в расчете на элемент (%)

**DF** = степень разбавления

**FR** = скорость движения воды

## Приготовление рабочего раствора удобрений для системы фертигации

Объем резервуара =  $0.1 \text{ m}^3 = 100 \text{ л}$

Скорость движения воды в основной линии = 2000 л/ч

Скорость движения воды в инжекторе = 20 л/ч

Сульфат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 20-0-0

Фосфорная кислота  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 0-50-0

Хлористый калий  $\text{KCl}$ , 0-0-60

Концентрация в поливной воде: 100, 50 и 100 г  $\text{m}^{-3}$  для N, P и K соответственно.

Для технической фосфорной кислоты указан % кислоты, а не %  $\text{P}_2\text{O}_5$   
( $\text{P}_2\text{O}_5/2.29 = \text{P}$ ;  $\text{K}_2\text{O}/1.2 = \text{K}$ )

1. DF (степень разбавления) =  $2000/20 = 100$

2.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  =  $(100 * 100 * 0.1 * 100) / (20)$   
= 5000 г = 5 кг

3. KCl =  $(100 * 100 * 0.1 * 100) / (60/1.2)$   
= 2000 г = 2 кг

4. 50% фосфорная кислота: =  $(50 * 100 * 0.1 * 100) / (27.7)$   
= 1805.1 г  
= 1805.1 г / 1.75 = 1031.5 мл

Плотность 50% фосфорной кислоты = 1.75 г/мл (табл. значения)

$$1 \text{ моль } \text{H}_3\text{PO}_4 = 1 * 3 + 31 + 16 * 4 = 98 \text{ г}$$

Масса = Объем \* Плотность

$$\begin{aligned} \text{Следовательно, масса 100 мл 50\% фосфорной кислоты} &= \\ &= 100 \text{ мл} * 1.75 = 175 \text{ г} \end{aligned}$$

Доля  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в продукте – 50%,

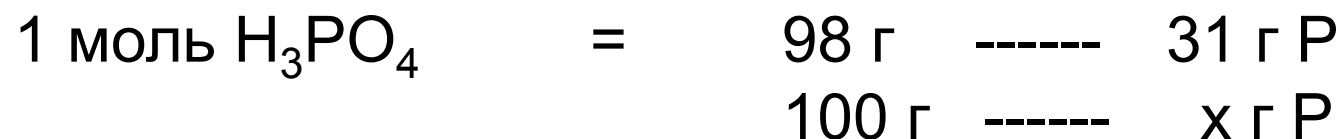
$$\begin{aligned} \text{Следовательно, масса } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ в 50\% продукте} &= 0.50 * 175 = 87.5 \text{ г} \\ \text{H}_3\text{PO}_4 \end{aligned}$$

$$1 \text{ моль } \text{H}_3\text{PO}_4 = \begin{array}{ccc} 98.0 \text{ г} & \text{-----} & 31 \text{ г P} \\ & 87.5 \text{ г} & \text{-----} & x \text{ г P} \end{array}$$

$x = (31 * 87.5) / (98) = 27.7 \text{ г P}$  содержится в 100 мл 50% раствора фосфорной кислоты, т.е. % P в 50% фосфорной кислоте = 27.7%

Количество 50% фосфорн. к-ты =  $(50 * 100 * 0.1 * 100) / (27.7) = 1805.1 \text{ г}$   
Объем = Масса / Плотность =  $1805.1 / 1.75 = 1031.5 \text{ мл}$  50% фосфорной кислоты необходимо добавить в резервуар для приготовления рабочего раствора (0.1 м<sup>3</sup>), чтобы получить 50 мг/л P в поливной воде.

Другой алгоритм расчета % P в фосфорной кислоте:



$$x = 31 * 100 / 98 = 31.6 \text{ г P в } 100 \text{ г } \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ или } 31.6\% \text{ P}$$

$$\text{В } 50\% \text{ фосфорной к-те } \% \text{ P} = 0.50 * 31.6 = 15.8\% \text{ P}$$

$$\text{Масса } 100 \text{ мл } 50\% \text{ фосфорной к-ты} = 100 * 1.75 = 175 \text{ г}$$

$$100 \text{ г } 50\% \text{ фосфорной к-ты} \text{ ----- } 15.8 \text{ г P}$$

$$175 \text{ г } 50\% \text{ фосфорной к-ты} \text{ ----- } x$$

$$x = 15.8 * 1.75 / 100 = 27.7 \text{ г P в } 100 \text{ мл } 50\% \text{ фосфорной к-ты или } 27.7\% \text{ P.}$$



INTERNATIONAL  
**PLANT NUTRITION**  
INSTITUTE

**Thank you**

*Better Crops, Better Environment ... through Science*

[www.ipni.net](http://www.ipni.net)

