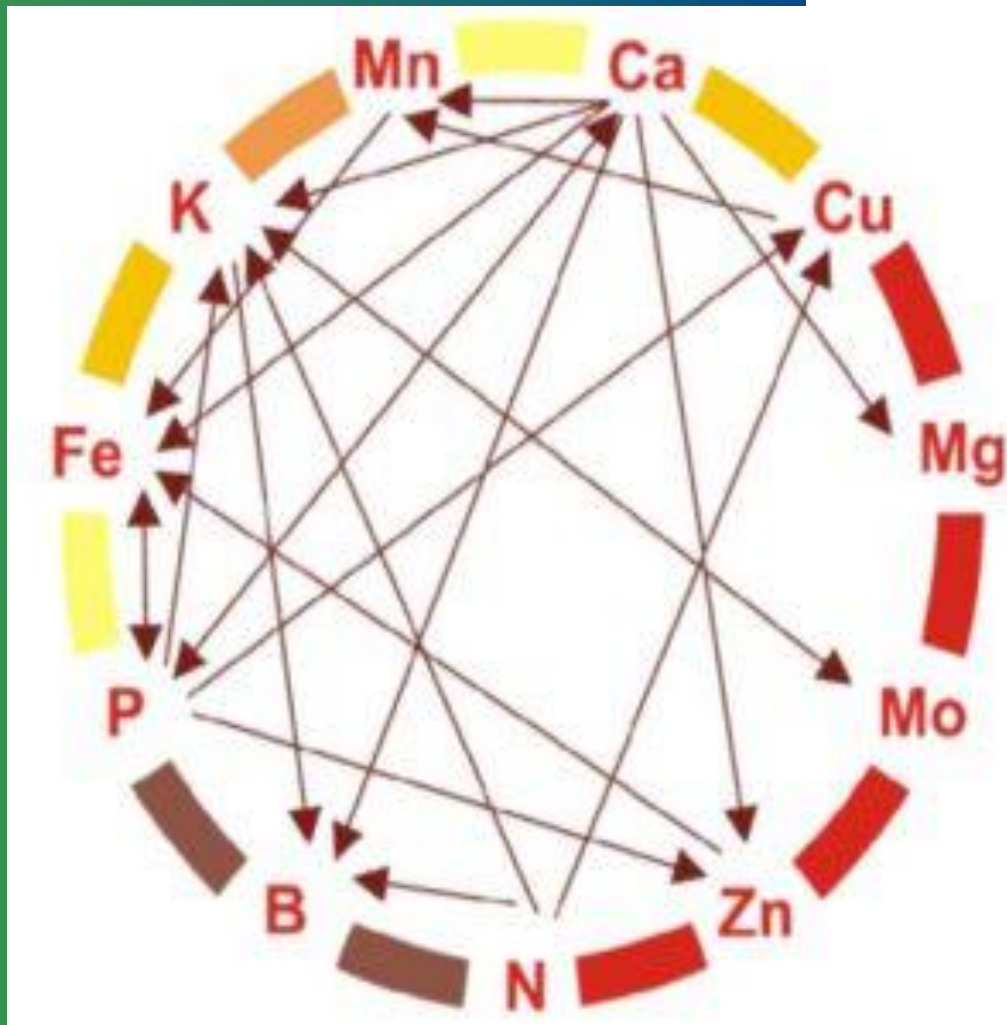


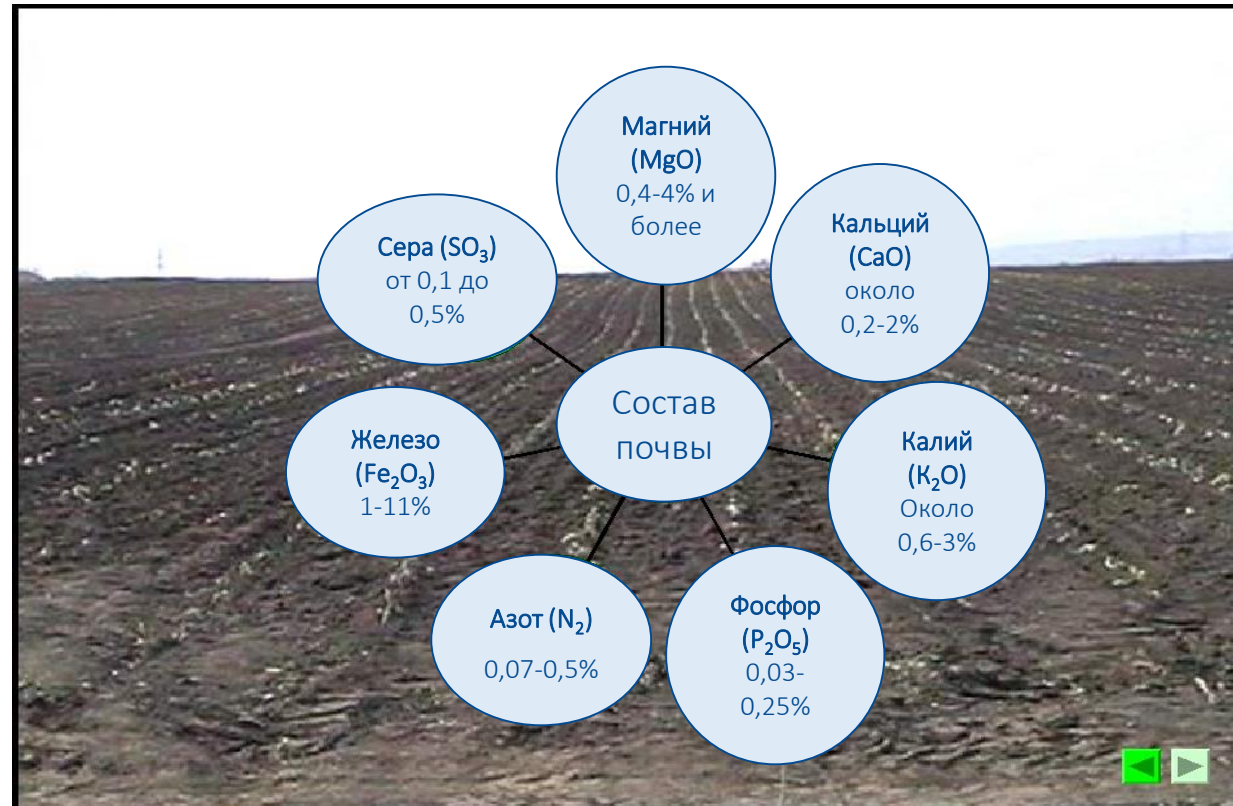
## Антагонизм и синергизм элементов питания

Аканова Наталья Ивановна,  
Главный научный сотрудник  
лаборатории известковых удобрений  
и химической мелиорации ФГБНУ  
«ВНИИ Агрохимии», доктор  
биологических наук, профессор





Синергизм и антагонизм элементов питания (макро-, мезо- и микроэлементы). Уникальные особенности питания с/х культур в течении вегетации, особенно при поздних подкормках. Усвоение элементов питания растениями через почву: какие формы как усваиваются, доступность их и подвижность в течении вегетации. Реутилизация элементов питания растениями. 16 питательных элементов. Значение углерода и кремния для растений.





К. А. Тимирязев считал главной задачей научного земледелия — изучение требований культурных растений и разработку способов их удовлетворения





Значение pH	Почвы	Условный цвет индикатора при отсутствии цветовой шкалы
3-4	сильнокислые	красный
4-5	кислые (среднекислые)	розовый
5-6	слабокислые	желтый
6-7	нейтральные	зелено-голубой близка к нейтральной: синий – нейтральная
7-8	щелочные (слабощелочные)	фиолетовые оттенки
8-9	сильнощелочные	



Нормы внесения известковых материалов (в кг на 100 м<sup>2</sup>) буквами обозначены почвы: А – супесчаная, Б – легко-суглинистая, В – среднесуглинистая, Г – тяжелоглинистая.

Известковый материал	Тип почвы	pH до 4,5	pH = 4,6	pH = 4,8	pH = 5,0	pH = 5,2	pH до 6,0
1-я группа							
Молотый известняк	А, Б	40	35	30	25	20	15
Доломитовая мука	В, Г	60	55	50	45	40	35
Мел рыхляк, известковый туф	А, Б	44	38,5	33	27,5	22	16,5
	В, Г	66	60,5	55	49,5	44	38,5
Мергель	А, Б	50	43,8	37,5	31,3	25	18,8
	В, Г	75	68,8	62,5	56,3	50	43,8
2-я группа							
Известь-пушонка	А, Б	26	28,8	19,5	16,3	13	9,8
	В, Г	39	35,8	32,5	29,3	26	22,8
Цементная пыль и доменный шлак (молотый)	А, Б	46	40,3	34,5	28,8	23	17,3
	В, Г	69	63,3	57,5	51,8	46	40,3
Обоженная доломитовая мука	А, Б	20	17,5	15	12,5	10	7,5
	В, Г	30	27,5	25	22,5	20	17,5
Мартеновский шлак	А, Б	44	38,5	33	27,5	22	16,5
	В, Г	66	60,5	55	49,5	44	38,5
Карбидная известь	А, Б	24	21	18	15	12	9,0
	В, Г	36	33	30	27	24	21,0
Дефе кат (отходы сахарного производства)	А, Б	50	43,8	37,5	31,5	25	18,8
	В, Г	75	68,8	62,5	56,3	50	43,8
Растительная зола	А, Б	70	61,3	52,5	43,8	35	26,3
	В, Г	105	96,3	87,5	78,8	70	61,3



## Зависимость усвоения основных элементов от уровня pH почвы

Существенное ограничение доступности элементов питания

Уровень pH	В процентах (%)		
	Азот	Фосфор	Калий
4,5	30	23	33
5,0	43	34	52
5,5	77	48	63
6,0	89	52	77
6,5	100	95	100
7,0	100	100	100
7,5	100	70	75
8,0	100	30	45
8,5	78	20	30
9,0	50	5	10



## Потери азота из различных удобрений, в зависимости от pH почвы

Удобрение	% потери азота при pH 5,6	% потери азота при pH 7,1
Карбамид	35>	40>
КАС	5,6	20
Кальциевая селитра	5,6	15
Сульфат аммония	2,3	30

Высокая подвижность нитратного азота в почве создает условия для его эффективного поглощения растениями. Нет необходимости немедленной заделки нитрат-содержащих удобрений в почву, поскольку нитраты не летучи и легко мигрируют по профилю почвы с током воды. Нитраты проявляют синергетические свойства **ПО отношению к таким катионам, как  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  (угнетая при этом поглощение фосфатов)**, тогда как аммоний конкурирует с ними при поглощении растениями. В отличие от аммонийного азота, нитраты не оказывают подкисляющего действия на почву.

Оптимальная влажность почвы 40-60%. Если она больше, то часть азота вымывается, если меньше – испаряется





*На поступление и использование аммиачной и нитратной форм азота растениями оказывают влияние*



# Изменение гидролитической и обменной кислотности почвы при использовании удобрений в зернопаровом севообороте



(А.М. Плотников, 2019)

Вариант	Без фосфогипса		Фосфогипс, 0,5 т/га		Фосфогипс, 1,0 т/га	
	Нг, мг-экв/100 г	рНсол.	Нг, мг-экв/100 г	рНсол.	Нг, мг-экв/100 г	рНсол.
Контроль б/удобр.	3.76	5.62	3.90	5.54	3.92	5.52
N <sub>40</sub>	4.20	5.53	4.18	5.53	3.92	5.54
N <sub>80</sub>	4.40	5.50	4.50	5.50	4.47	5.46
P <sub>40</sub> (в запас на 3 года всего P <sub>120</sub> )	3.96	5.60	4.17	5.53	4.17	5.52
N <sub>40</sub> P <sub>40</sub>	4.10	5.53	4.38	5.48	4.38	5.52
N <sub>80</sub> P <sub>40</sub>	4.33	5.47	4.37	5.45	4.46	5.55

На вариантах с ежегодным применением аммиачной селитры в дозах N40-80 гидролитическая кислотность увеличилась до 3,92-4,50 мг-экв/100г почвы (выщелоченные чернозёмы в Курганской области)



# Влияние кислотности почвы на наличие в ней фосфора





# Виды и назначение органических удобрений

## Навоз

- Конский
- Коровий
- Свиной
- Овечий
- Птичий помет



## Навозная жижа

- Удобрение с большим содержанием азота и калия, состоящее в основном из мочи животных, а также образующееся при разложении навоза



## Коровяк

- Водный раствор коровьего кала. Его можно использовать при отсутствии навозной жижи.



## Компост

- Удобрения, получаемые в результате разложения смеси различных органических веществ



## Птичий помет

- Куриный
- Гусиный
- Утиный



## Средние коэффициенты использования питательных веществ растениями из удобрений (%)



Год действия	Из органических удобрений			Из минеральных удобрений		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
первый	20-25	25-30	50-60	60-70	15-20	50-60
Второй	20	10-15	10-15	-	10-15	20
Третий	10	5	-	-	5	-
В целом за ротацию	50-55	40-50	60-75	60-70	30-40	70-80



Растение поглощает больше тех элементов, в которых нуждается. При этом *соотношение между элементами не менее важно, чем абсолютное содержание каждого из них*. При использовании минеральных удобрений наиболее значимыми для питания культур являются следующие соотношения между ионами: N : S, NO<sub>3</sub> : K, NO<sub>3</sub> : Ca, NO<sub>3</sub> : Mo, SO<sub>4</sub> : Ca и P : Ca.

Соотношение N:P:K в растениях кукурузы при нормальных условиях питания и увлажнения, %

Фаза развития	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
4-6 лист	46-52	10-12	38-43
8-10 лист	45-48	10-12	40-43
Цветение	39-42	11-13	44-50
Молочная спелость зерна	44-48	14-16	37-42
Полная спелость зерна:			
в целом растении	46-49	17-20	34-37
в зерне	58-61	23-26	15-18
в листостебельной массе	32-36	10-12	52-58

# Оптимальное соотношение между элементами в отдельных культурах во время цветения\*



\*рассчитано по значениям содержания в прт, 1 прт = 1 мг/кг

Культура	N/Zn	P/Zn	Ca/B	Fe/Mn	S/Zn	Zn/Mn	K/Mn	Fe/Cu	Fe/Cu+Zn
Пшеница	750	140	600	0,5	100	30	350	4	1
Сахарная свекла (середина вегетации)	1200	110	350	1,5	130	30	225	13	3
Люцерна	1000	130	750	1,5	70	50	550	6	2
Кукуруза	1000	100	300	2	80	30	400	12,5	3,5
Соя	900	90	500	1	100	40	200	8	2





Видимые симптомы дефицита микроэлементов могут проявляться на известкованных почвах с высоким значением pH (более 6,0), в условиях низкой обеспеченности почвы подвижными формами микроэлементов или при выращивании чувствительных к их недостатку культур и нарушении технологии возделывания.



Хлороз листьев перца (справа – здоровый лист)





# Совместимость удобрений по внекорневой подкормке

Удобрение	urea	AN	AS	MAP	MKP	NOP	NOP+Mg	SOP	CN	CaCl2	Mg(NO3)2	MgSO4
Карбамид (urea)												
Аммиачная селитра (AN)	С											
Сульфат аммония (AS)	С	С										
Моноаммонийфосфат (MAP)	С	С	С									
Монокалийфосфат (МКР)	С	С	С	С								
Калийная селитра (NOP)	С	С	Ч	С	С							
Калийная селитра с магнием (NOP+Mg)	С	С	Ч	Ч	Ч	С						
Сульфат калия (SOP)	С	С	С	С	С	С	С					
Кальциевая селитра (CN)	С	С	Ч	Х	Х	С	С	Ч				
Хлорид кальция (CaCl2)	С	С	Ч	Х	Х	С	С	Ч	С			
Магниева селитра (Mg(NO3)2)	С	С	С	Х	Х	С	С	С	С	С		
Сульфат магния (MgSO4)	С	С	С	Х	Х	Ч	С	С	Ч	Ч	С	
С – совместимы	Ч – частично совместимы							Х – несовместимы				

# Какие удобрения нельзя смешивать. Основные правила смешивания удобрений



Наименование удобрения	Аммиачная селитра	Аммофос	Гашенная известь	Диаммофос	Зола	Калийная селитра	Мочевина	Нитрофоска	Навоз	Птичий помет	Сульфат аммония	Суперфосфат	Хлористый калий
Аммиачная селитра	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Yellow	Green	Red	Red	Green	Yellow	Yellow
Аммофос	Green	Green	Red	Green	Red	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Green	Yellow	Green
Гашенная известь	Red	Red	Green	Red	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow
Диаммофос	Green	Green	Red	Green	Red	Yellow	Yellow	Green	Red	Red	Green	Yellow	Green
Зола	Red	Red	Green	Red	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow
Калийная селитра	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Red	Red	Yellow	Yellow	Yellow
Мочевина	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow
Нитрофоска	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Yellow	Green	Red	Red	Green	Yellow	Yellow
Навоз	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Green	Green	Red	Green	Green
Птичий помет	Red	Red	Red	Red	Red	Red	Yellow	Red	Green	Green	Red	Green	Green
Сульфат аммония	Green	Green	Red	Green	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Green	Yellow	Green
Суперфосфат	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow
Хлористый калий	Yellow	Green	Yellow	Green	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Yellow	Green

Нельзя смешивать аммиачные формы азотных удобрений с известковыми материалами и золой, поскольку из-за химических реакций между ними, уменьшается значительная часть азота. — Нельзя смешивать мочевину с порошковидным суперфосфатом из-за образования липкой массы, которую трудно равномерно вносить в почву. — Нельзя заблаговременно смешивать: калийные соль и селитру с суперфосфатом, из-за возможного отсыревания массы. — Можно смешивать только сухие сыпучие минеральные удобрения (слежавшиеся следует предварительно измельчить и просеять). — Можно смешивать аммиачную селитру с сульфатом аммония, другими селитрами и аммофосами. — Можно смешивать мочевину с сульфатом аммония, гранулированным суперфосфатом и аммофосами. — Можно смешивать золу и известковые материалы с хлористым калием и мочевиной, но только перед внесением в почву. — Можно смешивать птичий помет, компост и навоз с хлористым калием и суперфосфатом гранулированным, а непосредственно перед внесением — с мочевиной.



**Элементы питания по их способности перемещаться в растениях делятся на:**

- повторно используемые, или реутилизируемые (N, P, K, Mg),
- слабореутилизируемые (Ca, B, Cu, Mn, Fe, Zn).

Недостаток повторно используемых элементов питания четко проявляется на состоянии уже развитых, закончивших рост листьев, а слабореутилизируемых – на самых молодых, растущих частях растений.

Между различными ионами (элементами питания) в среде возможно проявление **синергизма или антагонизма**, а также отсутствие их взаимодействия.

Отдельные микроэлементы также могут тормозить всасывание других. Однако это происходит лишь при **длительном и избыточном** поступлении более активного конкурента-антагониста. В случае сбалансированного питания конкуренция будет незначительной.



**Антагонизм** – явление, которое предусматривает торможения поступления одного иона через добавление другого. Оно возникает в том случае, когда совместное действие двух элементов меньше суммы действующих элементов по одиночке. При антагонизме велик объем усвоения растением одного элемента питания, способного привести к дефициту в растительном организме другого питательного элемента.

**Действие антагонизма** проявляется в том, что во время поглощения растением различных элементов, их катионы конкурируют между собой. Антагонизм может проходить двумя путями: так микроэлемент может блокировать поглощение микроэлемента, или микроэлемент ингибирует поглощение макроэлементов.

Наиболее остро антагонизм проявляется тогда, когда ионы являются одноименно заряженными, а также в тех случаях, когда в почвенном растворе концентрация одних ионов является большей, чем концентрация других. Ярким примером антагонистического влияния можно назвать реакцию у фосфатов. Внесение и усвоения растением в больших количествах фосфора (P) тормозит усвоение ею кальция (Ca) и магния (Mg).



## Антагонизм минеральных веществ

№ п/п	Минеральное вещество	Высокое содержание минеральных веществ, вызывающих снижение усвоения и нарушение первоначально указанного элемента
1	Кальций	Фосфор, магний, цинк, железо, марганец, медь, калий, кадмий, кремний, стронций
2	Фосфор	Кальций, калий, железо, цинк, марганец, молибден, фтор, алюминий
3	Натрий	Хлор, калий
4	Калий	Натрий, кальций, фосфор
5	Магний	Медь, марганец, кобальт, кальций, железо
6	Железо	Кальций, фосфор, марганец, магний, медь, цинк, йод, кадмий
7	Медь	Кальций, железо, йод, цинк, молибден, свинец, кадмий, ртуть, серебро
8	Цинк	Кальций, фосфор, железо, медь, молибден, свинец, кадмий, бор
9	Селен	Молибден, свинец, мышьяк, хром, ртуть
10	Марганец	Кальций, фосфор, железо, йод
11	Йод	Железо, фосфор, марганец, кобальт
12	Кобальт	Йод, магний



## Примеры антагонизма

---

- чрезмерное количество N (азота) уменьшает поглощение P (фосфора), K (калия), Fe (железа) и некоторых других элементов: Ca (кальция), Mg (магния), Mn (марганца), Zn (цинка), Cu (меди);
- чрезмерное количество P (фосфора) уменьшает поглощение катионов таких микроэлементов как Fe (железо), Mn (марганец), Zn (цинк) и Cu (медь);
- чрезмерное количество K (калия) уменьшает поглощение Mg (магния) в большей степени и Ca (кальция) в меньшей степени;
- чрезмерное количество Ca (кальция) снижает поглощение Fe (железа);
- чрезмерное количество Fe (железа) снижает поглощение Zn (цинка);
- избыток Zn (цинка) ухудшает доступность Mn (марганца).

**Синергизм** – действие одних ионов значительно усиливает влияние других ионов. Наблюдается в том случае, когда совместное действие элементов питания выше, чем сумма влияния каждого из них в отдельности. Кроме положительного синергизма, существует и отрицательный – когда токсическое воздействие на растительный организм одной соли значительно усиливает токсичность другой.



**Синергизм** наблюдается между катионами и анионами, имеющими разный заряд, между заряженными одноименно. Последний вариант чаще всего возможен тогда, когда в почвенном растворе их содержание является достаточно небольшим. Как правило, ионы с противоположными зарядами взаимно ускоряют свое поступление в растение.

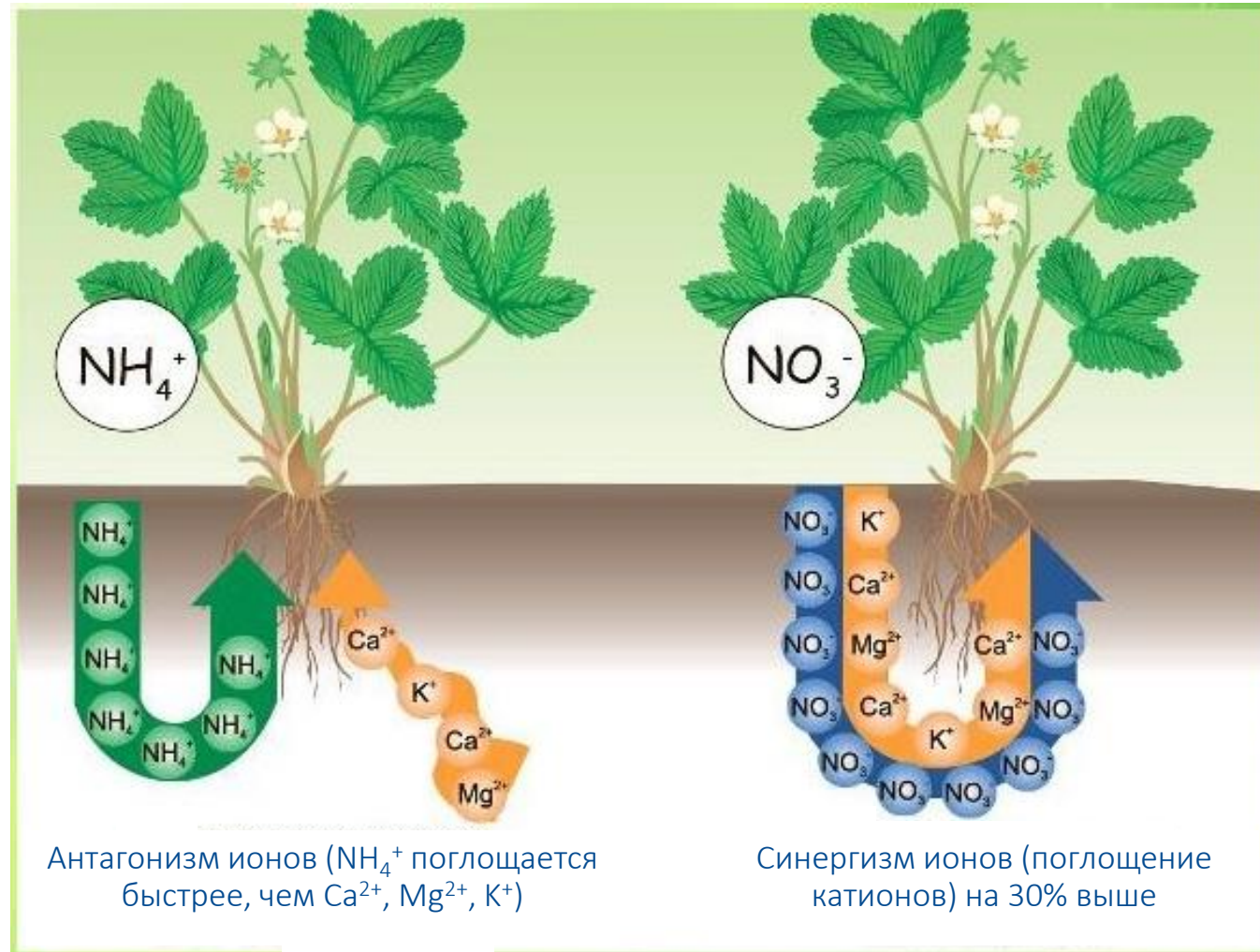
Примеры **положительного синергизма**:

- одновременное внесение N с P, K, Ca или Mg, Fe, Mn, Zn, эти элементы хорошо дополняют действие друг друга и способны улучшить усвоение растением каждого из них.
- достаточный уровень Cu) и B в почве улучшает поглощение N;
- Достаточное количество Mo повышает усваиваемость культурами N, а также увеличивает поглощение P (фосфора);
- достаточное количество Ca и Zn улучшают усвоение P и K;
- оптимальный уровень S повышает поглощение Mn и Zn;
- достаточное количество Mn увеличивает поглощение Cu.

Явление синергизма свойственно меди с кобальтом, молибденом и магнием, цинку с бором, магнию с серой и молибденом, а также кальцию с кобальтом. При совместном действии (синергии) урожай выше, чем от применения каждого элемента в отдельности.

Кроме элементов антагонистов и синергистов выделяют элементы, которые способны блокировать друг друга. При одновременном внесении Zn и Ca, или Ca и Cu, растение будет усваивать только один элемент, например, Zn, или Ca или Ca, или Cu.

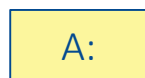
# Синергизм и антагонизм ионов







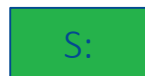
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Si	Cl	Na	B	Mn	Cu	Zn	Mo	
N		S	S	S	S										S	Азот
P	S			B			B					B		B		Фосфор
K	S			A	A		S/B			A						Калий
Ca	S	B	A		A		A			A	B	B	B	B		Кальций
Mg	S	B	A	A						A						Магний
S									A							Сера
Fe		B	S/B	A								A	A	A		Железо
Si						A										Кремний
Cl																Хлор
Na			A	A	A											Натрий
B				B												Бор
Mn		B		B			A							A		Марганец
Cu				B			A								A	Медь
Zn		B		B			A					A				Цинк
Mo	S												A			Молибден



А: Антагонисты (избыток одного приводит к дефициту другого)



В: Блокируют друг друга (нельзя вносить вместе)



С: Синергисты (помогают друг другу)

# Визуальная симптоматика



## Дачные истории

Симптомы	Нехватка элемента										Избыток
	N	P	K	Mg	Fe	Cu	Zn	B	Mo	Mn	
Пожелтение молодых листьев					■					■	
Пожелтение средних листьев									■		
Пожелтение старых листьев	■		■	■			■				
Пожелтение между жилками				■						■	
Опадение старых листьев	■										
Листья заворачиваются вверх				■							
Листья заворачиваются вниз			■			■					■
Сгорают края молодых листьев								■			
Сгорают края старых листьев	■							■			
Молодые листья смятые			■				■	■	■		
Омертвления			■	■	■		■			■	
Чахлые листья	■	■									
Темно-зеленые листья (фиолетовые) и стебли		■									
Бледно-зеленая листва	■								■		
Пятна							■				
Вытягивание	■										
Мягкие стебли	■		■								
Жесткие ломкие стебли		■	■								
Погибают ростки			■					■			
Слабый рост корней		■									
Поникли листья						■					



# Взаимодействие внутри растения и метаболизм

- Если в почве Zn и P ведут себя как антагонисты, то в растении они уже помогают друг другу (**синергизм**). При дефиците цинка в растении угнетается поступление фосфора. Синергизм между N и K определяется ролью калия в качестве активатора фермента нитратредуктазы, принимающего участие в метаболизме азота в растении.
- Взаимодействие бора с калием объясняется схожестью их влияния на процессы цветения и образования плодов, деления клеток, водный обмен в растении и др. Оптимальный уровень бора повышает проницаемость клеточных мембран для калия.
- Недостаток в растении серы приводит к ограниченному поглощению азота, а высокие дозы азота вызывают дефицит серы. В растениях оптимальное соотношение **N:S – 5:1-12:1**.
- Только оптимальное содержание в растении N обеспечивает нормальное поступление в них из почвы K, P, Mg, Fe, Mn и Zn, а оптимальный уровень бора и меди улучшает поглощение растениями азота. Молибден повышает усвоение азота и фосфора.
- Избыток фосфора в сильной мере угнетает поглощение растением катионов микроэлементов – Fe, Mn, Zn и Cu. Избыток калия угнетает поступление в растения Mg и в меньшей мере Ca, Fe, Cu, Mn и Zn. Избыток кальция приводит к снижению поступления B, Mn, K и Cu.



При избытке магния в почве наблюдается его антагонистическое действие на поступление Ca и K в растения. Поэтому при регулярном известковании кислых почв доломитовой мукой, которая содержит магний, проводят мониторинг содержания обменного Mg.

Оптимальным считается эквивалентное соотношение  $Ca^{2+} : Mg^{2+}$  в почвах в пределах от 2 до 7.

Содержание подвижного калия ( $K_2O$ ) в почве принято считать избыточным, если оно превышает 4,5% от ёмкости катионного обмена на песчаных и супесчаных почвах и 5% – на суглинистых.

В известкованных почвах отмечается дефицит всех микро-элементов, кроме молибдена. Поэтому даже в отсутствие видимых симптомов недостатка микроэлементов на высокопродуктивных посевах обязательно вносят микроудобрения в некорневые подкормки.

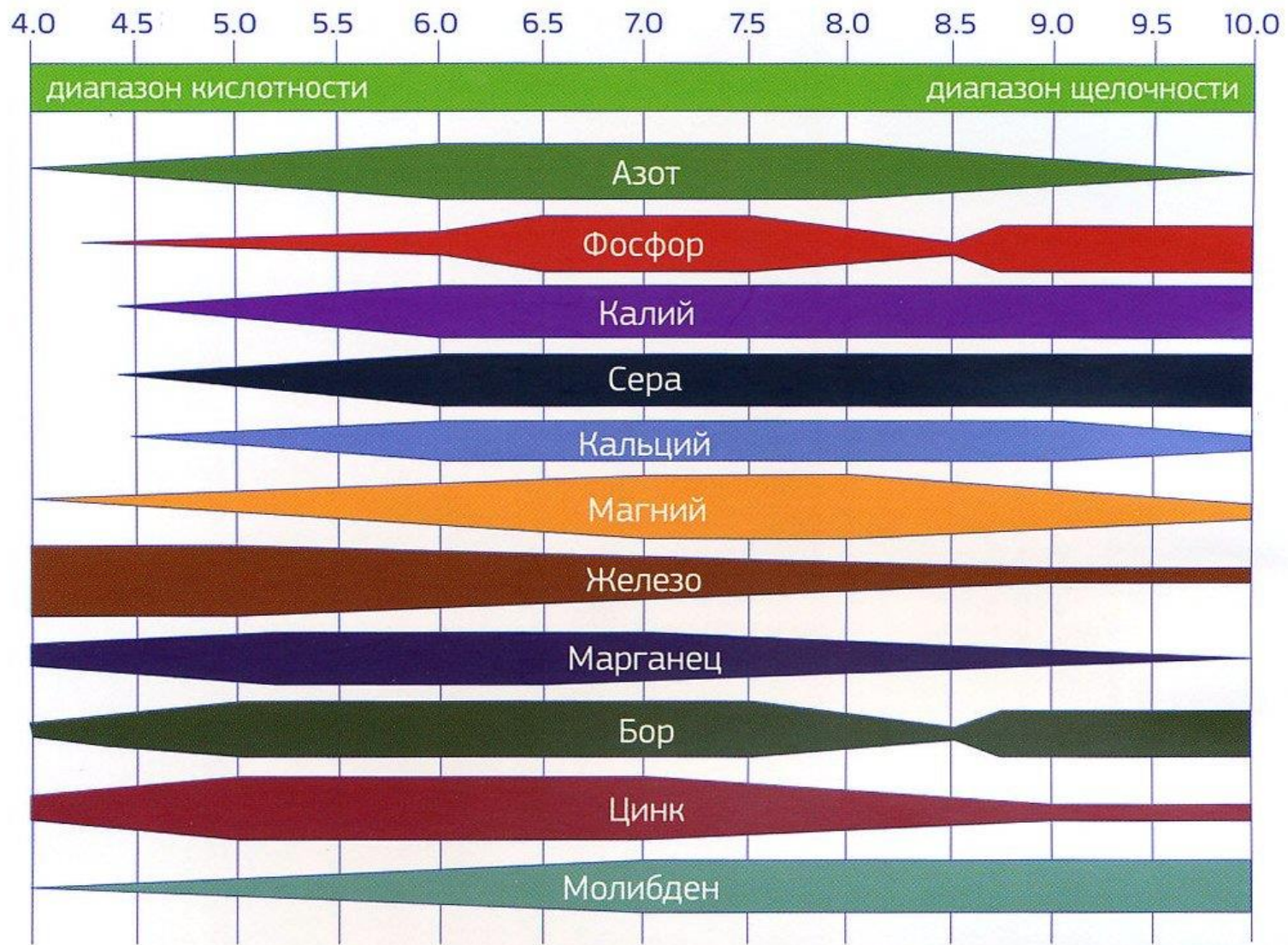


**Явление антагонизма и синергизма в поглощении макро- и микроэлементов может определяться:**

- реакцией среды (рН),
- уровнем содержания в среде и растении других элементов минерального питания, их соотношениями,
- видом растений, особенностью их корневой системы,
- температурой, освещенностью и влажностью.

Взаимодействие элементов может происходить в разных средах – в почве, в зоне корневой системы и внутри растения.

Взаимодействие между элементами питания отражается и на качестве растениеводческой продукции. Так, накопление калия в сухом веществе кормовых культур должно находиться в пределах оптимума – от 1,2 до 2,2% (К) и не превышать допустимую норму 3%, а эквивалентное соотношение катионов К/Са + Mg следует поддерживать на уровне 1,6-2,2.



# Факторы, снижающие подвижность и усвоение элементов минерального питания корневой системой растения (А.В. Чумаков)



Азот	Фосфор	Калий	Магний	Кальций	Сера
Холодная погода, уплотненная и холодная почва, слабая микробиологическая деятельность, запахивание большого количества соломы, недостаток влаги.	Низкая температура почвы и воздуха, избыток ионов Al, Fe, Mn, хлорид- и <b>нитрат-ионов</b> в почве, низкие значения pH.	Теплая и сухая погода, высокое содержание ионов Ca и Mg в почве.	Высокие дозы удобрений, содержащий ионы K, Na, <b>NH<sub>4</sub></b>	Сухая и теплая погода, колебание влажности почвы, изобилие <b>NH<sub>4</sub>-ионов</b> , калиевых и магниевых удобрений.	Избыточные дозы фосфорных и <b>азотных</b> удобрений, высокая концентрация селена в почве, низкая температура низкая.





# Повышение эффективности использования элементов питания

В агрономической практике существуют приемы преодоления антагонизма и стимулирования синергизма элементов питания.

**1. Вносить элементы питания разными способами:** обработка семян, внесение в почву, некорневая подкормка. От совместного использования этих приемов в системе удобрения культур достигается наибольший эффект.

**Листовая подкормка** не является основным источником элемента при его дефиците в почве, а только как дополнение. **Обработка семян** микроэлементами, преимущественно в форме хелатов, оберегает их от антагонизма с другими ионами почвенного раствора. Например, раствор карбамида в некорневую подкормку стимулирует проникновение железа в растения.

**2. Корректировать сроки внесения** разных элементов в период вегетации в соответствии с биологической потребностью культур. Так, синергизм между N и K можно использовать при их совместном внесении.

**3. Учитывать особенности развития корневой системы,** когда NP-удобрения можно вносить на значительную глубину.

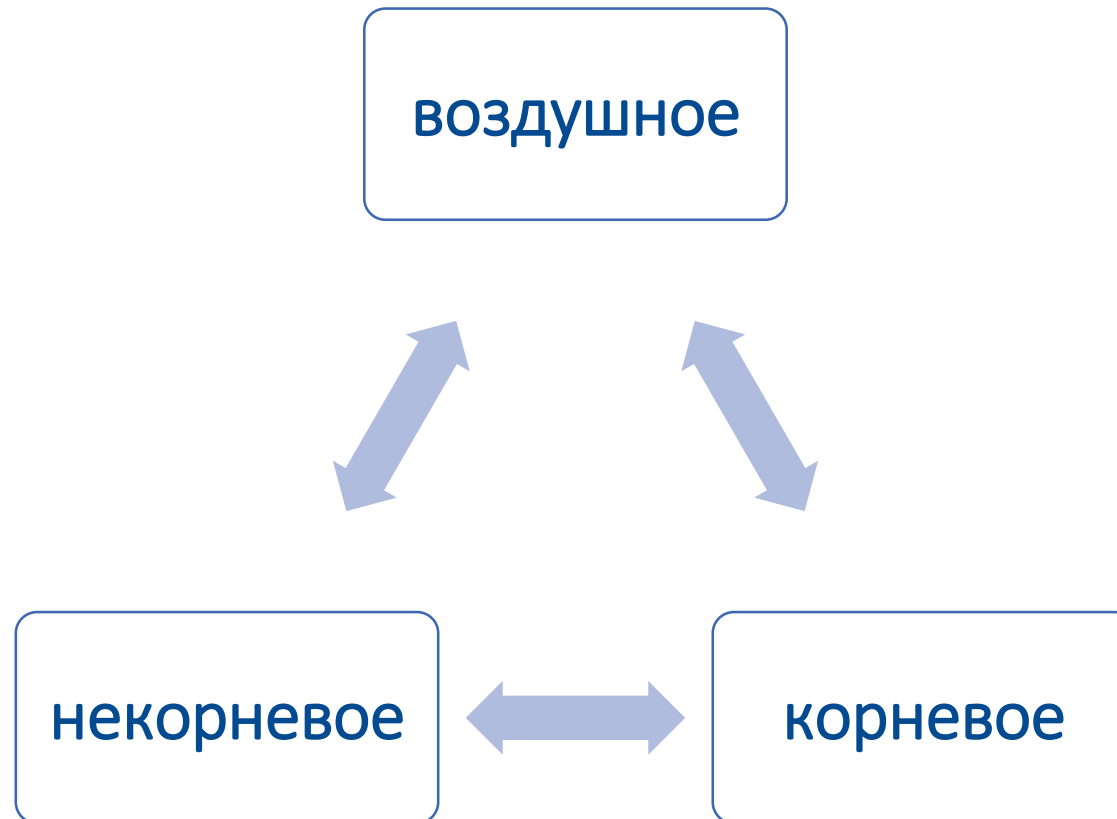
4. Учитывать свойства разных форм вносимых удобрений (физиологически кислые или щелочные).

5. Хороший эффект даёт использование смешанных посевов культур (бобовых и злаковых).





**Питание растений** – это обмен веществ между растением и окружающей средой: переход веществ из почвы, воздуха в состав растительной ткани и преобразования их в сложные органические соединения в процессе метаболизма и вывод метаболизмом из них.





**Корневое** – поглощение, превращение и усвоение минеральных элементов питания корнями растений (пассивное и активное). Корни синтезируют органические соединения необходимые растительному организму и выделяют продукты метаболизма.

**Активное** (метаболическое) поглощение носит избирательный характер, идет независимо от градиента концентраций, с использованием энергии АТФ. Клеточная оболочка корня имеет множество пор и обладает высокой адсорбирующей способностью, поэтому на внутренней поверхности оболочки адсорбируются ионы из почвенного раствора. Метаболическое поглощение происходит на поверхности клеточных мембран в виде обменной адсорбции. У растений имеется обменный фонд ионов  $\text{H}^+$  ,  $\text{OH}^-$  ,  $\text{HCO}_3^-$  , в обмен на которые, растение избирательно поглощает необходимые ему элементы питания.

**Пассивное** – это поглощение корнями воды и растворенных в ней питательных веществ за счет сосущей силы, возникающей вследствие транспирации. Это поглощение идет только по градиенту концентрации (от большей концентрации к меньшей) по законам диффузии и осмоса.

По мере нарастания корня наблюдается явление хемотропизма, то есть корень усиленно растёт в сторону расположения питательных веществ (положительный хемотропизм) или рост корня тормозится в зоне, неблагоприятной для растительной концентрации солей (отрицательный хемотропизм).



**Воздушное** – поглощение листьями из воздуха CO<sub>2</sub> и образование углеводов из углекислого газа и воды с использованием солнечной энергии хлорофиллом листьев.



Это процесс фотосинтеза. Интенсивность фотосинтеза и накопление сухого вещества зависят от освещения, соединения CO<sub>2</sub> в воздухе, температуры, влагообеспеченности и соединения элементов минерального питания.

Внесение удобрений оказывает косвенное действие на воздушное питание.

**Некорневое питание** : минеральные соли из слабых растворов могут проникать в растения через листья при помощи обменной адсорбции. Но потребность растений в основных питательных веществах таким образом удовлетворить нельзя. Такое питание используется для подкормок как основными элементами питания, так и минеральными элементами.



## Три периода питания растений:

**Критический период**, когда отсутствие или недостаток какого либо элемента нельзя восполнить присутствием его в будущем. Как правило, критический период потребления элементов питания совпадает с первыми двумя неделями роста растений после всходов, что объясняется высокой напряженностью синтетических процессов, происходящих в это время в растительном организме, и сопряжено со слаборазвитой корневой системой, закладкой и дифференциацией. А оптимальное питание в последующие периоды роста растений не может восполнить ущерб, нанесенный растению в критический период питания.



**Максимального потребления**  
У растений с законченным циклом период максимального потребления совпадает с межфазным периодом весеннее кущение-цветение. За этот период, например, озимая пшеница, кукуруза, подсолнечник, горох усваивают соответственно: азота 85, 85, 72, 83%, фосфора - 75, 79, 93, 93%, калия 80, 72, 45, 88% от максимального потребления.

**Реутилизации (повторного использования)** К цветению растений интенсивность поглощения элементов питания из внешней среды резко снижается не только в связи с физиологическим состоянием растительного организма, но и с влагообеспеченностью, и содержанием доступных элементов питания в почве. Растение вынуждено повторно использовать уже поглощенные элементы питания из старых органов на завершение формирования урожая.



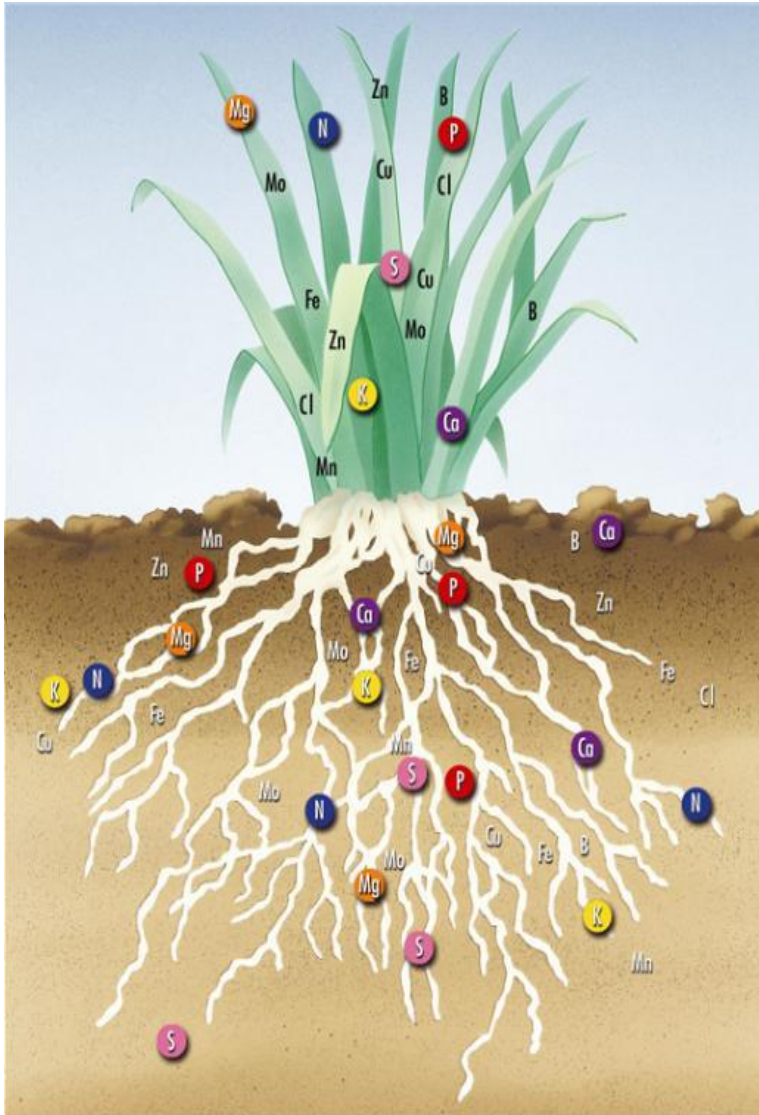


**К необходимым** относятся элементы, без которых растения не могут полностью закончить цикл развития и которые не могут быть заменены другими элементами (H, Na, K, Cu, Mg, Ca, Zn, B, C, N, P, O, S, Mo, Cl, J, Mn, Fe, Co, V).

Элементы, обеспечивающие жизнедеятельность организма, классифицируют по разным признакам — содержанию в организме, степени необходимости, биологической роли, тканевой специфичности и др. По содержанию в организмах элементы делят на

- макроэлементы;
- микроэлементы;
- ультрамикроэлементы

Существует группа условно необходимых элементов – имеются сведения о положительном влиянии их на рост растений и урожайность (Li, Ag, Cd, Al, S, Ti, Pb, Se, Cr, F, Ni).



- Главный способ управления круговоротом и балансом химических элементов в системе почва – растение – применение удобрений.
- Основа эффективности применения удобрений – знание свойств различных видов и форм удобрений, особенности их взаимодействия с почвой, использование удобрений с оптимальным соотношением основных элементов питания, способов и сроков их применения с целью создания наилучших условий питания растений с учетом максимальной окупаемости затрат.

# От чего зависит агрономическая эффективность применения удобрений?

---



- Обеспеченность почв доступными для растений формами элементов питания (азота, фосфора, калия, микроэлементов);
- Агрохимические, агрофизические свойства почв; биологическая активность почв;
- Погодные условия;
- Дозы, формы, сроки и способы внесения удобрений;
- Реакция почвенной среды;
- Уровень интенсификации агротехнологий (сорт/гибрид; система защиты от вредителей, болезней, сорняков);
- Предшественник в севообороте.





Согласно долгосрочному прогнозу социально-экономического развития РФ на период до 2030 г., намечено значительно увеличить объем производства зерна. Разработан прогноз с учетом трех сценариев: инерционного, базового и оптимистического.

**Инерционный сценарий** характеризуется умеренными темпами роста производства сельскохозяйственной продукции и экономики. Он базируется на сохранении достигнутого уровня почвенного плодородия и использования ресурсо-производственного потенциала агропромышленного комплекса.

**Базовый сценарий** предусматривает дополнительное развитие и усиление инвестиционной направленности в экономику. Он ориентирован не только на сохранение, но и на расширение посевных площадей, без которого невозможно обеспечить население страны продуктами питания, а промышленность сельскохозяйственным сырьем.

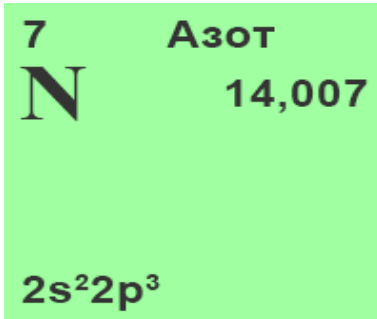
**Оптимистический сценарий** – это реализация мероприятий Государственной программы развития сельского хозяйства форсированными темпами. Он предполагает дальнейшее расширение воспроизводства плодородия почв и на этой основе предусматривает формирование высокоэффективного товарного производства, что позволит повысить урожайность зерновых культур.

Результаты многочисленных полевых опытов, проведенных научно-исследовательскими институтами и агрохимической службой, а также опыт работы сельскохозяйственных предприятий свидетельствуют, что высоких показателей можно добиться только за счет планомерной и целенаправленной работы по повышению плодородия почв путем применения удобрений и средств химической мелиорации. Снижение почвенной кислотности, повышение фосфатного и калийного уровней почв способствуют увеличению урожайности и усилению действия азотных удобрений.

## Дозы минеральных удобрений под зерновые культуры в целом по России на 2030 г.



Дозы минеральных удобрений под зерновые культуры в целом по России на 2030 г. Сценарий развития АПК	Планируемый урожай, ц/га	Доза удобрений, кг д.в/га				Окупаемость NPK, кг/кг
		азот	фосфор	калий	всего	
Инерционный	24,6	30	30	30	90	7,1
Базовый	26,8	60	45	45	150	6,3
Оптимистический	30,2	70	45	45	160	7,5
В том числе: по интенсивной технологии	40,0	90	45	45	180	12,1
по базовой технологии	26,4	60	45	45	150	6,0



**Азот** – один из самых необходимых для растений химический элемент. Присутствует повсеместно в свободном или связанном состоянии. Азотные удобрения выпускаются в различных формах и применяются для основного и предпосевного внесения – как поверхностного, так и на подкормку.

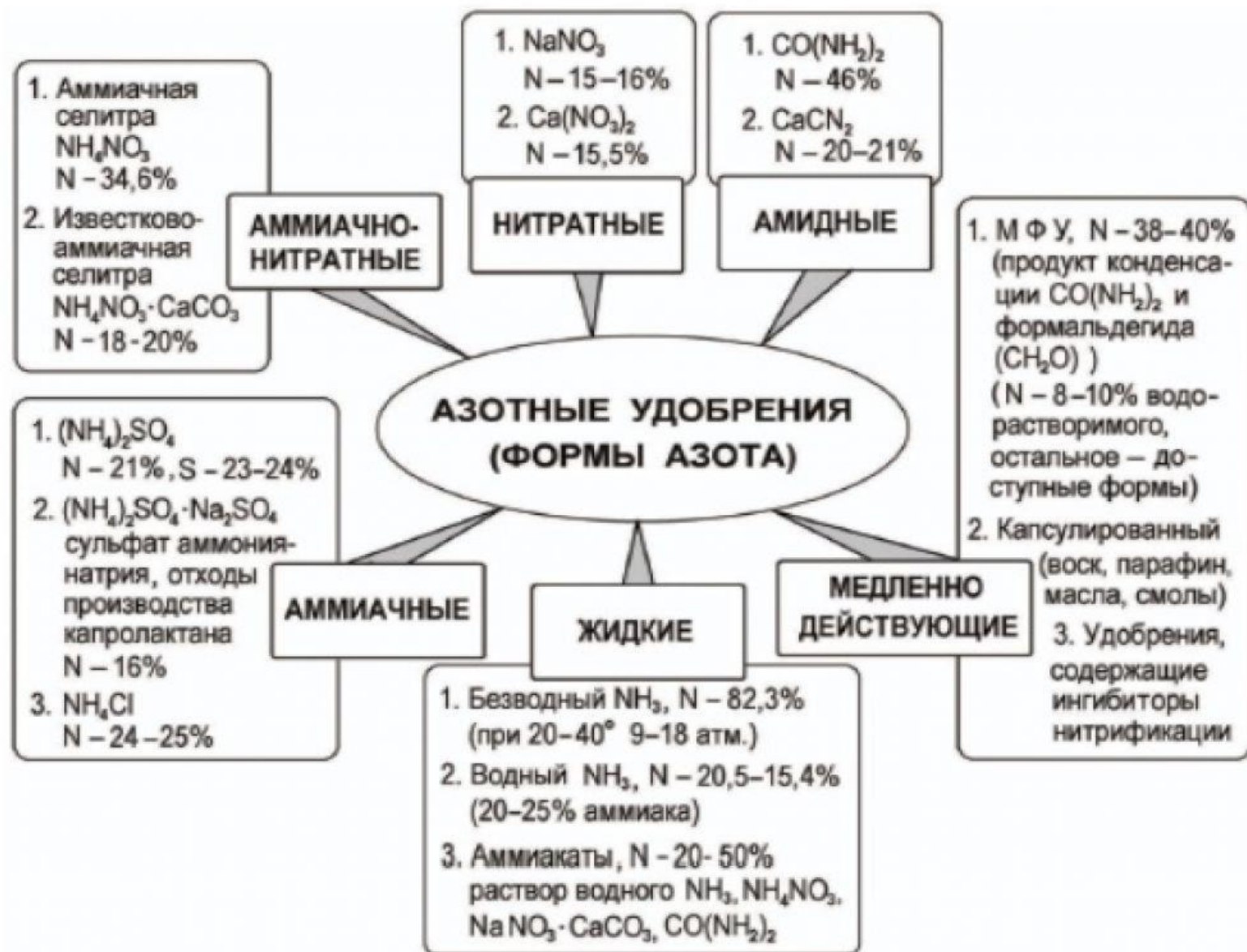
На долю органических соединений – белков, аминов, амидов, аминокислот и прочих – приходится 93–95 % почвенного азота. Органический азот практически недоступен растениям и становится усваиваемым ими только после минерализации.

Минеральный азот, входящий в состав нитратных и аммиачных форм, накапливается в почве в результате процессов аммонификации и нитрификации, которые осуществляют различные группы микроорганизмов.

Разложение азотистых органических соединений в различных типах почв проходит по единой схеме:

**белки → гуминовые вещества → аминокислоты → амиды → аммиак → нитриты → нитраты**

**Дерново-подзолистые почвы** содержат 0,1–0,16 % азота. Количество минеральных соединений (обменно-поглощенного аммония и нитратов) не превышает 1–3% общего содержания данного элемента. Содержание и запасы азота в 1 м слое этих почв суглинистого состава в 2–2,5 раза больше, чем в песчаных. Кроме того, содержание азота снижается в нижележащих горизонтах.





Наиболее распространенные азотные удобрения	Формы азота и их краткая характеристика		
	Нитратная – $\text{NO}_3^-$	Аммонийная – $\text{NH}_4^+$	Амидная – $\text{NH}_2^-$
	Немедленный эффект, легко подвижен в почве, а поэтому при избытке влаги легко вымывается	Доступен растениям, но имеет более продолжительный эффект в результате адсорбции на почвенных частицах. Затем понемногу освобождается и усваивается растениями	Данная форма недоступна растениям через корневое питание. Лучшая форма для внекорневого питания (листового). В результате деятельности почвенных микроорганизмов быстро превращается в почве сначала в аммонийную, а затем в нитратную форму
Аммиак		+	
Аммиачная селитра	+		+
Известково-аммиачная селитра	+		+
Карбамид			+
Карбамидно-аммиачная смесь (КАС)	+		+
Сульфат аммония			+



# Азотные удобрения

Из **23 млн. т** азота удобрений, вносимых в пахотные земли в нашей стране, только **12 млн. т** выносятся с урожаем:

- уходит в атмосферу за счет процессов денитрификации (7-8 млн. т),
- смывается и поступает в поверхностные и подземные природные воды (до 2 млн. т).



Выделение оксидов азота в атмосферу влечёт за собой не только экономические потери, но и грозит нарушением озонового экрана планеты. В наши дни возникла угроза локального и регионального повышения содержания соединений азота до уровня, токсичного для человека.

**Данные по балансу азота, полученные с помощью изотопа N, свидетельствуют о том, что в полевых условиях:**

- усваивается растениями лишь около 40%, в отдельных случаях – 60-70% действующего вещества азотных удобрений;
- иммобилизуется в почве 18-33% азота;
- улетучивается в виде различных газообразных соединений 10-30%.

**Потери азота зависят от:**

- дозы вносимых удобрений и соотношения содержания N с другими питательными элементами,
- сроков и способов внесения,
- формы азотных удобрений и особенностей технологии их применения,
- почвенно-климатических условий местности.



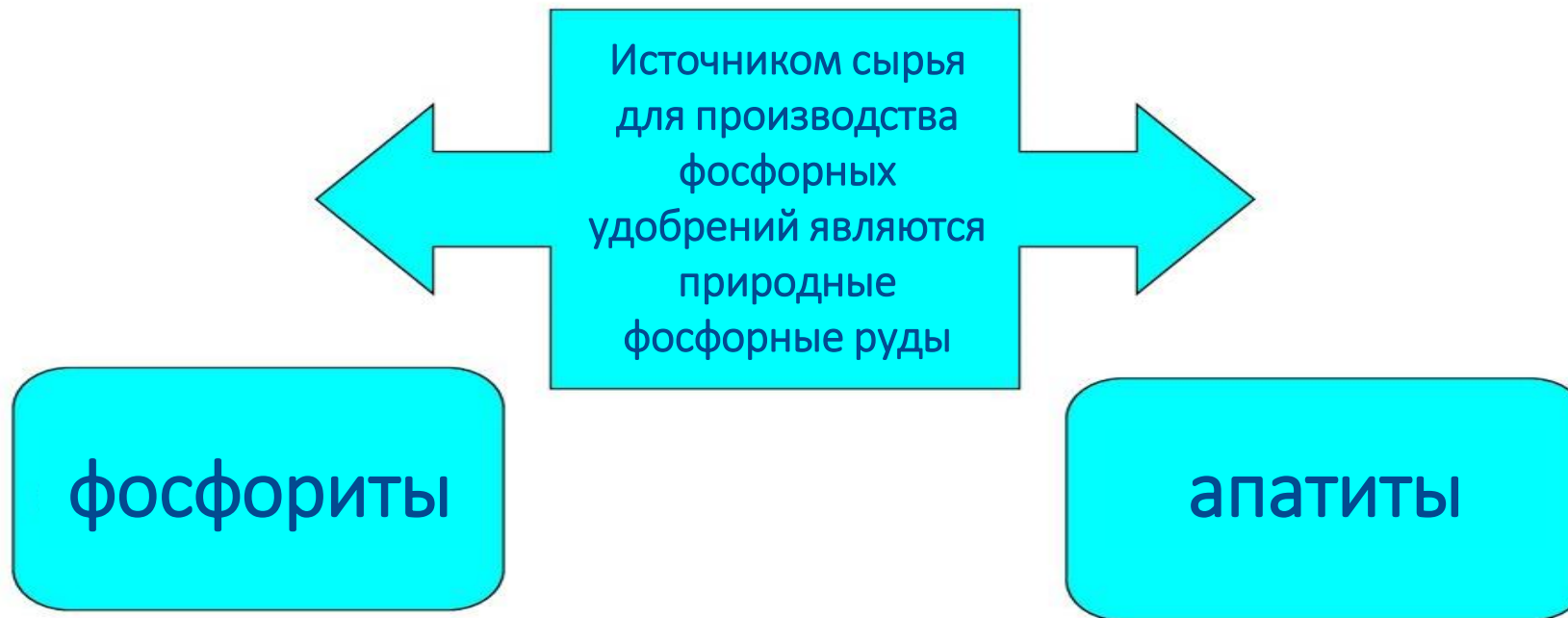






**Фосфор** — один из важных элементов для живых организмов. Тело человека в среднем возрасте содержит около 1600 г фосфора в пересчете на оксид фосфора  $P_2O_5$ , в том числе около 1400 г в костях, 130 г в тканях мышц, 12 г в мозге, 10 г в печени, 6 г в легких, 44 г в крови.

Без фосфора невозможно образование хлорофилла и усвоение растениями углекислого газа. Внесение фосфорных удобрений в почву не только повышает урожай, но и улучшает качество продуктов.







Макроэлементы

## Фосфор



### Недостаток

- Задерживается рост надземных органов и формирование плодов, т.к. нарушаются дыхание и фотосинтез.
- Листья мелкие и узкие.
- Листья становятся **сине-зелеными с пурпурным и бронзовым оттенком** – торможение синтеза белка и накопление сахаров.
- Торможение гликолиза и ц. Кребса => меньше АТФ и кетокилот => снижение поглощения  $\text{CO}_2$ .
- **Аномальный круговорот сахаров:** углеводы транспортируются в корни, а потом возвращаются обратно в лист, т.к. без фосфора в корнях не может идти гликолиз





## Усвоение фосфора растениями ( $P_2O_5$ )

- Фосфор находится в почве в органической и в неорганической форме и **поглощается растениями из почвенного раствора.**
- Фосфор усваивается растениями в виде **аниона фосфорной кислоты**, главным образом, в виде дигидрофосфата ( $H_2PO_4$ )<sup>-</sup>.
- Гидрофосфат ( $HPO_4$ )<sup>2-</sup> также усваивается растениями, но в меньшей степени, растения имеют в своем распоряжении главным образом дигидрофосфат, значительно преобладающий над гидрофосфатом
- Минеральный фосфор является и запасующим веществом, и резервом для синтеза органических фосфорсодержащих соединений, и повышает;
  - **буферность клеточного сока, поддерживает тургор клетки**, другие жизненно важные процессы в ней
  - усиливает способность растительных клеток удерживать воду
  - повышает устойчивость растений к засухам и низким температурам
- Наибольшее потребление фосфора зерновыми культурами наблюдается в фазы выхода в трубку и колошения.
- В минеральной форме фосфор находится в растениях в виде солей ортофосфорной кислоты с кальцием, магнием, калием, аммонием и другими катионами.



Растения извлекают из почвы калий, который скапливается преимущественно в молодых побегах. При его недостатке снижается интенсивность фотосинтеза. Калийные удобрения значительно повышают урожайность. Калий в почве находится в основном в недоступных для растений формах. Потребность сельского хозяйства в калийных удобрениях очень велика. Почти все калийные удобрения содержат ионы хлора, натрия, магния, которые влияют на рост растений.

### Калийные удобрения

#### Сырые калийные соли

1. **Сильвинит  $KCl \cdot NaCl$**  12-18%  $K_2O$ , 35-40%  $Na_2O$ , стандарт – 15%  $K_2O$ . Гигроскопичен, слеживается при хранении, малая транспортабельность.
2. **Каинит  $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$**  10-12%  $K_2O$ . Хорошее удобрение для сахарной свеклы на черноземах. Малая транспортабельность.

#### Концентрированные калийные удобрения

1. **Хлористый калий  $KCl$** . 63,2%  $K_2O$ , в технических сортах содержит 50-60%  $K_2O$ . Малая гигроскопичность, слеживается при хранении. Является основным калийным удобрением в России.
2. **Калийная соль**. 41-44%  $K_2O$ . Получают путем смешивания  $KCl$  с сырыми калийными солями, чаще с сильвинитом. Эффективное удобрение для корнеплодов и овощных (капуста, турнепс, редис, брюква). По техн. требованиям должна содержать не менее 40%  $K_2O$ .
3. **Сульфат калия  $K_2SO_4$** . 45-52%  $K_2O$ . Хорошие физические свойства, негигроскопичен, не слеживается. Хорошее удобрение для хлорофобных культур (картофеля, табака).
4. **Сульфат калия-магния (шенит), калимагнезия  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4$** . 26-28%  $K_2O$ . Эффективно для картофеля, особенно на легких почвах, где оно является источником калия и магния.



- **Калийные удобрения** мало мигрируют по почвенному профилю. Исключение составляют песчаные и супесчаные почвы.
- После внесения в почву **калийные удобрения** растворяются в почвенном растворе и вступают во взаимодействие с ППК по двум типам поглощения: обменного (физико-химического) и необменного.
- **Обменный, или поглощенный, калий** представлен **катионами калия** в почвенном поглощающем комплексе. Катионы ППК и водорастворимые соединения калия – это основные источники калийного питания растений. Поэтому степень обеспеченности почв калием для питания растений принято выражать содержанием его в подвижной форме (сумма водорастворимого и обменного).
- **Калий** при обменном поглощении почвой вытесняет из ППК некоторое количество катионов других химических элементов: кальций, магний, водород, аммоний и др. Состав вытесненных катионов зависит от типа почвы.



## Цикл калия





# Значимость калийных удобрений



# Влияние калийных удобрений на урожайность пшеницы в зависимости от обеспеченности обменным калием разных почв



Обеспеченность почв обменным калием	n	Урожайность, ц/га		Прибавка, %
		Без удобрений	K <sub>45</sub>	
Дерново-подзолистые				
Низкая	2	20,1	21,6	7,4
Средняя	2	7,9	9,3	17,7
Светло-серые лесные				
Низкая	4	13,9	15,3	11,0
Серые лесные				
Низкая	7	16,1	17,8	10,5
Средняя	13	17,4	21,4	22,9
Повышенная	3	18,7	22,1	11,8
Темно-серые лесные				
Низкая	2	24,6	28,5	11,6
Средняя	3	29,3	36,0	22,8
Повышенная	2	19,9	21,4	7,5
Черноземы				
Средняя	2	16,9	19,9	11,7
Повышенная	5	13,0	13,3	10,2
Высокая	2	9,9	12,1	22,2



## Эффективность калийных удобрений

На дерново-подзолистых почвах, недостаточно обеспеченных калием, калийные удобрения всегда оказывают положительное действие, а также на торфяных и легких песчаных почвах. Повышение эффективности калийных удобрений наблюдается при известковании кислых почв, внесении азотно-фосфорных удобрений и введении в севооборот трав и технических культур, потребляющих много калия.

Эффективность калийных удобрений на черноземах, каштановых почвах и сероземах, характеризующихся высоким содержанием подвижного калия, низка и неустойчива. Однако при длительном использовании этих почв и применении азотных и фосфорных удобрений запасы почвенного калия истощаются, появляется потребность в калийных удобрениях.

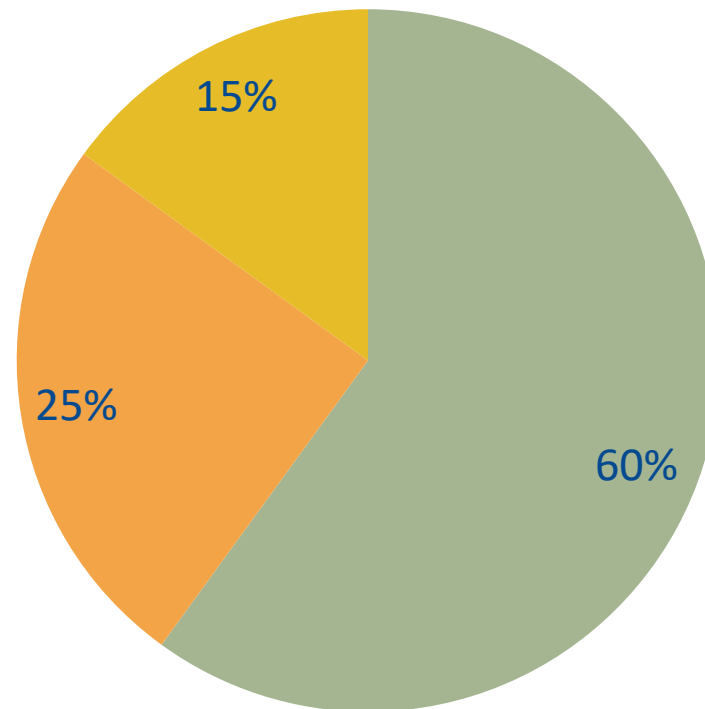
В зависимости от температуры окружающей среды изменяется реакция раствора на удобрения. Оптимальная температура воздуха для потребления растениями фосфора и азота  $-23-25^{\circ}\text{C}$ . При низких температурах (ниже  $10^{\circ}\text{C}$ ) особенно плохо усваивается фосфор, а лучше всего – калий.

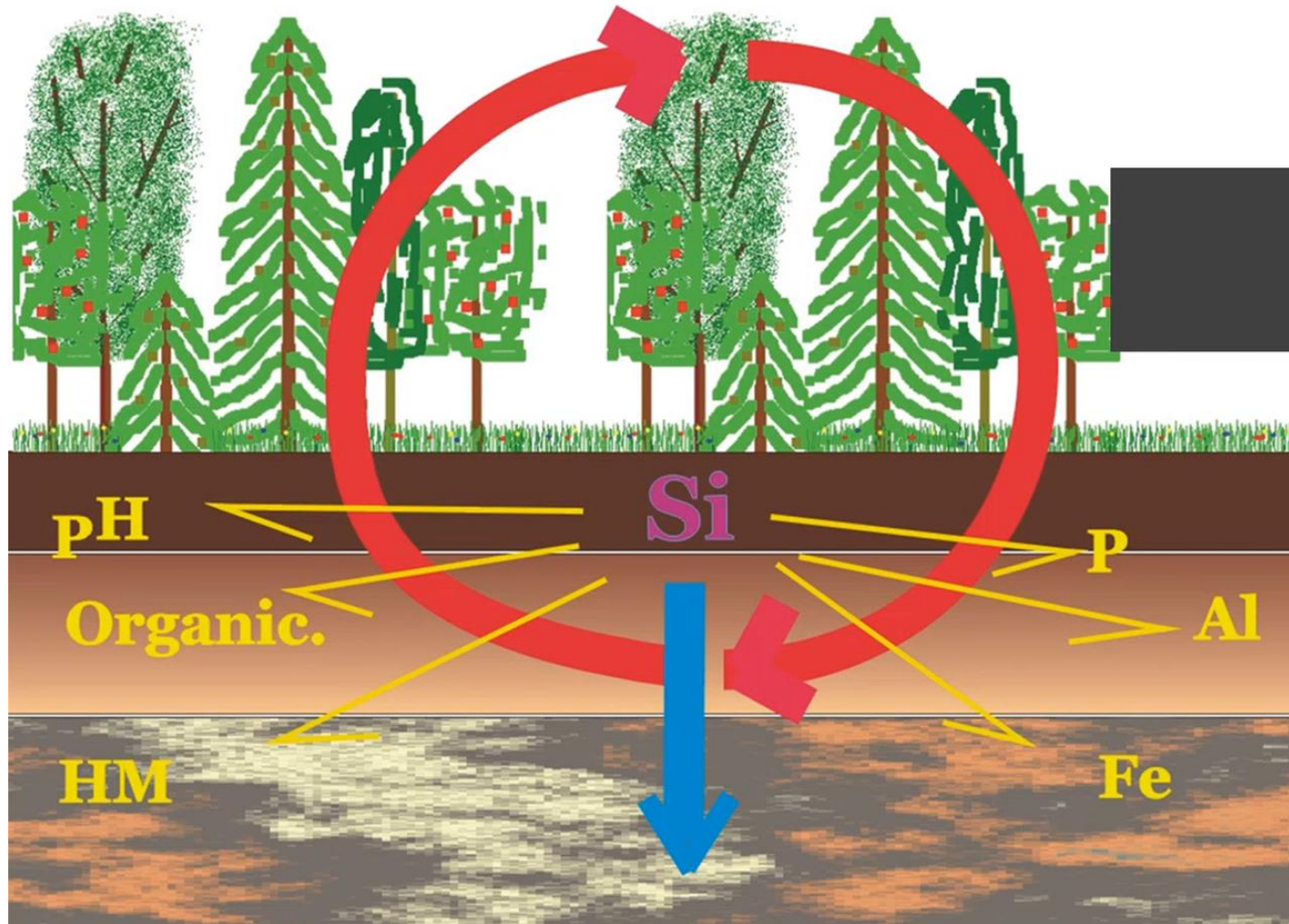




# Потребление минеральных удобрений в мире

■ азотные удобрения ■ фосфорные удобрения ■ калийные удобрения





Внесение кремния и кремниевых удобрений влияет на: pH почвы; устойчивость органического вещества; содержание и подвижность фосфора, алюминия, железа.



**Кремний** – содержание 0,2 – 20 % сухой массы. Главная способность кремния – смягчение влияния различных видов стресса и повышение устойчивости растений к насекомым-вредителям, грибковым и бактериальным патогенам. При этом «единой теории» кремния в биологии и сельском хозяйстве на сегодняшний день не существует.

Si используется растениями для построения клеточных стенок, прочных тканей и скелета. Повышает устойчивость растения полеганию, засолению, улучшает доступность фосфатов в почве. Его недостаток – задержка роста и повышение их восприимчивости к болезням и вредителям. Уменьшается урожайность и его качество.

### Накопление кремния различными культурами

Культура	Содержание Si, %	Культура	Содержание Si, %
Салат	0,97	Люпин	0,28
Банан	0,98	Сахарный тростник	1,51
Подсолнечник	1,88	Бобы	0,95
Ячмень	1,82	Сорго	1,54
Соя	1,39	Мята	0,73
Рис	4,17	Перечная мята	1,22
Пшеница	2,45	Лук	0,31
Кукуруза	0,83	Картофель	0,4



## Все исследования позволили сделать следующие выводы:

---

**Кремний** и его соединения играют важную роль в формировании почвенного плодородия влияя, как на химические, так и на физические свойства почв.

Способствует улучшению микробиологического состава почвы.

Разработана классификация почв по уровню дефицита активных форм кремния, которая может быть использована при применении кремниевых удобрений и почвенных мелиорантов.

Основной функцией кремния в жизни растений является обеспечение максимальной эффективности природной иммунной системы, которая создается сразу несколькими механизмами.

Биохимическая активность кремния в системе почва-микроорганизмы-растение превышает биохимическую активность основных питательных элементов (азота, фосфора, калия).

Оценки объемов и интенсивности кремниевого цикла в природных и антропогенных системах позволяют сделать вывод, что во многих случаях нехватка доступного для растений кремния является лимитирующим фактором продуктивности экосистемы и ее экологической устойчивости.



# Значение углерода



Углерод – «царь живой природы». В природе его – 0,35%. Он же и «основа жизни», и «хлеб растений».

Соединяясь с различными химическими элементами углерод образует огромный и разнообразный мир органических веществ, окружающий нас от рождения и до глубокой старости.







# Потоки $\text{CO}_2$ между пулами С в наземной экосистеме





## Биологическое значение углекислого газа



- Оксид углерода (IV) играет одну из главных ролей в живой природе, участвуя во многих процессах метаболизма живой клетки. Углекислый газ атмосферы – основной источник углерода для растений. Растения поглощают углекислый газ в процессе фотосинтеза.

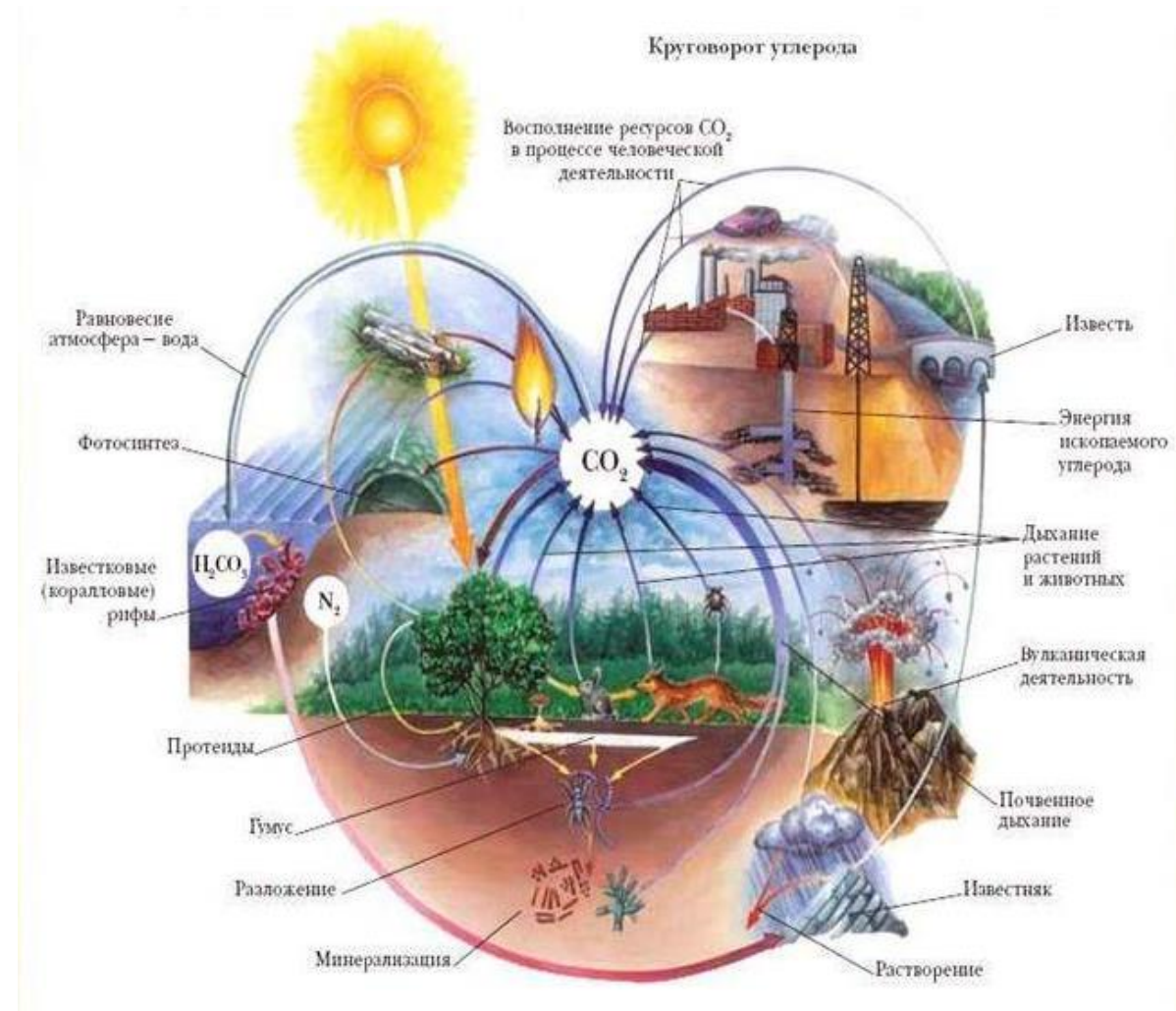




# Биохимический цикл карбона

Углерод является основой органических соединений, и поэтому цикл углерода имеет особое значение для живых организмов. Важнейшей особенностью этого цикла является наличие запасов  $\text{CO}_2$ , углекислого газа, в атмосфере, откуда его могут черпать живые организмы.

Перемещение углерода через живые организмы тесно связано с перемещением иных биогенов.





# Углерод

*В организме человека содержится около 16 кг*





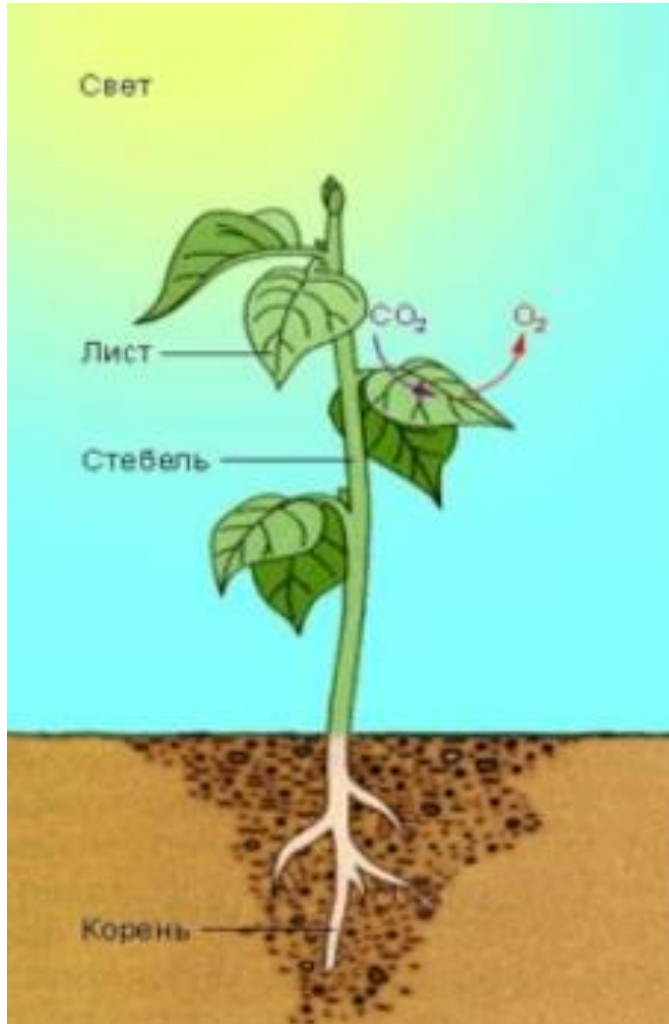
## Активно связывающие углерод растения

- Ежегодно люди добавляют около девяти гигатонн углерода в атмосферу, а растения впитывают около пяти из этого количества. Оставшийся углерод способствует парниковому эффекту и глобальному потеплению, но ученые работают над созданием генетически модифицированных растений для улавливания этих остатков.
- Углерод может в течение десятилетий оставаться в листьях, ветвях, семенах и цветах растений, а тот, что попадает в корни, может быть там столетия. Таким образом, исследователи надеются создать биоэнергетические культуры с обширной корневой системой, которые смогут связывать и сохранять углерод под землей.

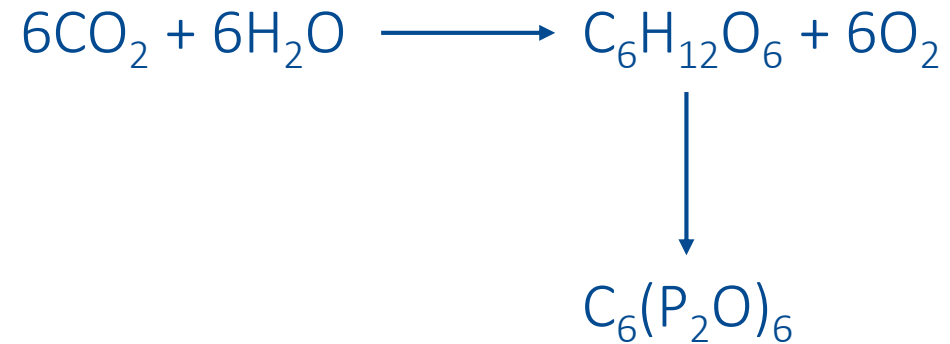




# Образование углеводов



В растениях углеводы образуются из двуокиси углерода и воды в процессе сложной реакции фотосинтеза, осуществляемой за счет солнечной энергии с участием зеленого пигмента растений – хлорофилла.







# Микроэлементы

- Микроэлементы – элементы, содержащиеся в организме, в низких концентрациях (обычно 0,001% по массе и менее).
- По современным данным, более 30 микроэлементов считаются необходимыми для жизнедеятельности растений и животных. Большинство микроэлементов – металлы (Fe, Cu, Mn, Zn, Mo, Co и др.), некоторые – неметаллы (I, Se, Br, F, As).





Содержание валовых и усвояемых форм микроэлементов в основных типах почв СНГ, (мг/кг) числитель – валовое содержание, знаменатель – усвояемые формы								
Почва В	B	Cu	Zn	Mn	Mo	Co	V	I
Дерново-подзолистая	1,5–6,6 0,08–0,38	0,1–47,9 0,05–5,0	20–67 0,12–20,0	40–7200 50,0–150	1,0–4,0 0,04–0,97	0,45–14,0 0,12–3,0	10–62 н.д.	0,5–4,4 н.д.
Чернозем	4–12 0,38–1,58	7–18 4,5–10,0	24–90 0,10–0,25	200–5600 1,0–75	0,7–8,6 0,02–0,33	2,6–13,0 1,10–2,2	37–125 н.д.	2,0–9,8 н.д.
Серозем	8,8–160,3 0,23–0,62	5–20 2,5–10,0	26–63 0,09–1,12	310–3800 1,5–125	0,7–2,0 0,03–0,15	н.д. 0,9–1,5	50–87 н.д.	1,3–38 н.д.
Каштановая	100–200 0,30–0,90	0,6–20 8,0–14,0	53 0,06–0,14	600–1270 1,5–75	0,2–2,0 0,09–0,62	8,6 0,1–6,0	56 н.д.	2,0–9,8 н.д.
Бурая	40,5 0,38–1,95	14–44,5 6,0–12,0	32,5–54,0 0,03–0,20	390–580 1,5–75	0,4–2,8 0,06–0,12	2,3–3,8 0,57–2,25	56 н.д.	0,3–5,3 н.д.



## Физиологическая роль минерального питания

Микроэлементы	Значение в жизни растений
Марганец	Марганец принимает участие в азотном обмене в процессе восстановления нитратов до аммиака, активирует ферменты, катализирующие реакции цикла Кребса. В связи с этим понятно большое значение марганца для процесса дыхания, особенно его аэробной фазы. В отсутствие марганца <b>хлорофилл быстро разрушается на свету.</b>
Медь	Входит непосредственно в состав ряда ферментных систем. Медь активирует ряд ферментов, в частности нитритредуктазу, а также протеазы. Отсюда вытекает роль меди в азотном обмене. Важная роль принадлежит меди <b>в процессе фотосинтеза.</b>
Цинк	Входит в состав ферментов – фосфатазы, карбоангидразы и др. Карбоангидраза катализирует разложение гидрата окиси углерода на воду и углекислый газ. Эта реакция важна для процесса фотосинтеза. Внесение цинка повышает содержание ауксинов и заметно сказывается на темпах роста растений. Активирует ферменты, необходимые для <b>процесса дыхания.</b>
Хлор	Поступает в растение в виде $Cl^-$ . Показана его необходимость при фотосинтетическом окислении воды.
Молибден	При недостатке молибдена содержание аскорбиновой кислоты резко падает. При отсутствии молибдена наблюдаются нарушения в фосфорном обмене растений.





# Способы применения микроудобрений и удобрений, содержащих микроэлементы



Микроудобрения применяют для внесения в почву, некорневых подкормок и предпосадочной обработки семян.

**Внесение в почву:** применяется для повышения содержания микроэлементов в почве на протяжении всего вегетационного периода.

При этом способе могут наблюдаться отрицательные эффекты: образование трудно растворимых форм микроэлементов, вымывание микроэлементов за пределы корнеобитаемого слоя.

**Предпосевная обработка семян:** самый распространенный способ использования микроудобрений. Этот способ технологичен и позволяет сочетать обработку семян с их посевом. Такая форма обработки способствует оптимизации питания растения микроэлементами на самых ранних стадиях развития. Обработку семян микроэлементами сочетают с применением пленкообразующих веществ, регуляторов роста и протравителей. Этот процесс носит название инкрустации семян.

## Некорневые подкормки

рекомендуется проводить при непосредственном обнаружении дефицита микроэлемента. Способ позволяет корректировать питание растений микроэлементами, избегая негативных последствий внесения микроудобрений в почву.

## Потребность сельскохозяйственных культур в микроэлементах (по данным научных учреждений)



	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Зерновые: озимая пшеница	-	++	++	-	-
яровая пшеница	-	++	++	-	-
ячмень	-	++	+	-	-
Зернобобовые: горох	-	-	++	+	-
бобы	+	+	-	+	+
Масличные: озимый рапс	++	-	++	+	-
яровой рапс	++	-	++	+	-
Овощные: капуста цветная	++	+	+	++	-
огурец	-	+	++	-	-
морковь	+	++	+	-	-
томат	+	+	+	+	+
капуста белокочанная	++	+	+	+	-
лук	-	++	++	-	+
Пропашные: картофель	+	-	+	-	+
сахарная свекла	++	+	++	+	+
Кормовые: люпин	++	-	-	+	-
клевер луговой	+	+	+	++	+
кукуруза на силос и зеленую массу	+	+	+	-	++

# Влияние микроэлементов на урожайность сельскохозяйственных культур в основных районах их применения



Микроэлемент	Культура	Почвы	Прибавка урожая от микроэлемента, т/га
Бор	Сахарная свёкла: корнеплоды	чернозёмы выщелоченные и оподзоленные	2,0-4,0
	семена		0,2-0,3
	Лён: соломка	дерново-глеевые и торфяные	0,06-0,15
	семена		0,04-0,10
Молибден	Клевер: сено	дерново-подзолистые и серые лесные	0,6-1,3
	семена		0,05-0,08
	Капуста, семена	дерново-подзолистые суглинистые	0,23-0,26
	Викоовсяная смесь, сено		0,60-0,85
Медь	Ячмень, зерно	торфяно-болотные	0,6-1,5
	Пшеница, зерно		0,5-1,3
Марганец	Сахарная свёкла, корнеплоды	чернозёмы выщелоченные и оподзоленные	1,0 -2,0
	Озимая пшеница, зерно		0,15-0,35
	Подсолнечник, семена		0,23-0,27
Цинк	Кукуруза, зерно	карбонатные чернозёмы, перегнойно-карбонатные почвы	0,5-0,7
	Пшеница, зерно		0,15-0,20



# Ультрамикроэлементы

---

- Содержатся в организме в ничтожно малых количествах, но обладают высокой биологической активностью.
- Главными представителями являются золото, свинец, ртуть, серебро, радий, рубидий, уран.
- Некоторые из них отличаются не только малым содержанием в обычных продуктах питания, но и токсичностью, если их потреблять в сравнительно больших дозах.
- Разные продукты содержат различное количество минеральных веществ. Так, например, в молочных продуктах содержится более 20 различных минералов, среди них наиболее важными являются кальций, железо, марганец, фтор, цинк, йод. Мясные продукты содержат такие микроэлементы как серебро, титан, медь, цинк, а морские продукты – йод, фтор, никель.





# Рациональный подход к применению минеральных удобрений

Эффективность системы минерального питания растения определяют 4 группы факторов:



Для получения высоких стабильных урожаев необходимо правильно подобрать удобрение, соблюдать технологию его внесения с учетом почвенно-климатических условий региона



---

**Спасибо за внимание!**