

Методы расчёта норм внесения основных элементов питания для ягодных насаждений открытого грунта

**ТРУНОВ Юрий Викторович,
доктор с.-х. наук, профессор**

**СОЛОВЬЁВ Александр Валерьевич,
кандидат с.-х. наук, доцент**

**БРЮХИНА Светлана Александровна,
кандидат с.-х. наук, доцент**

2025 г.

Агроэкологические основы почвенного питания

Фруктовые растения в течение жизни сада **потребляют** из почвы питательные вещества

- без дополнительных источников поступления в почву органического или минерального вещества количество доступных питательных веществ в почве может **уменьшаться**
- На богатых почвах это уменьшение относительно невелико и малоощутимо за короткий период возделывания сада
- на бедных почвах оно может быть существенным уже через несколько лет потребления

Агроэкологические основы почвенного питания

- С другой стороны, в почве идут **процессы** минерализации гумуса, фиксации азота и т.д.
- внесение в почву избыточных доз удобрений, особенно азотных, неминуемо приведет к потерям минеральных веществ и негативным экологическим последствиям

Агроэкологические основы почвенного питания

Почвенно-поглощающий комплекс (ППК) - основной буферный механизм почвы

- Катионы калий, магний и кальций удерживаются на поверхности отрицательно заряженных частиц коллоидной глины и органического вещества почвы как обменные катионы
 - ППК черноземных почв оказывает значительное влияние на эффективность внесения удобрений в почву
-

Агроэкологические основы почвенного питания

- **Доступное** растениям количество питательного вещества в почве – это то количество, которое может передвинуться по почве к поверхности корня за определенное время
- Корень может поглотить из почвы максимальное количество вещества, если будет обеспечивать полное поглощение в прилегающем к нему слое почвы
- Перенос вещества к корню может осуществляться путем **диффузии ионов** в растворе (по градиенту концентрации) и путем **конвективного движения** самой жидкости (раствора)

Агроэкологические основы почвенного питания

Мобильность элементов питания в почве – важный фактор почвенного плодородия

- **Мобильность** – процесс, при помощи которого ионы элементов питания достигают поверхности корней

Доступные элементы питания в почве

- формы, которые свободно могут использоваться растениями и значительно влиять на урожай

Доступность этих почвенных форм определяется:

- способностью удерживаться почвенно-поглощающим комплексом
- способностью к миграции в почве
- способностью растения поглощать их своей корневой системой

Агроэкологические основы почвенного питания

Не связываемые почвой ионы имеют относительно высокую подвижность в почве (даже в почвах с высокой степенью адсорбции)

- нитраты, сульфаты, хлориды и бикарбонаты

Связанные и относительно нерастворимые формы элементов питания значительно менее подвижны в почве

- калий, кальций, магний и фосфаты
- катионы двигаются как спутники несвязанных анионов (нитратов, сульфатов, хлоридов и бикарбонатов)

Агроэкологические основы почвенного питания

Наибольшую доступность имеет **нитратный азот**

- хорошо растворим
- практически не адсорбируется почвенной глиной и органическим веществом почвы
- свободнее перемещается и диффундирует с почвенной влагой
- дожди вымывают его вниз
- в сухой почве он вновь перемещается к поверхности

Агроэкологические основы почвенного питания

Кроме растворимых и связанных форм источником питания могут служить **труднорастворимые соединения**, такие как **три- или бикарбонаты фосфатов**

- молекулы фосфатов медленно растворяются и исчезают с поверхности частицы
- фосфатные анионы захватываются поверхностью корня
- начинает растворяться следующий слой молекул фосфатов
- питание будет ограничиваться степенью растворения, а не движением ионов

Это ограничивает доступность фосфатов

Агроэкологические основы почвенного питания

Обменный калий высоко **доступен** в области прямого контакта

- Его доступность снижается с расстоянием до поверхности корня и когда соседние обменные поверхности истощаются

Два типа **зон поглощения корней** растений

- объем почвы, занятый большей частью корневой системы растения, «**зона поглощения корневой системы**»
- относительно тонкий слой почвы, прилегающий к поверхности корней, «**зона поглощения корневой поверхности**»

Агроэкологические основы почвенного питания

Из зоны поглощения корневой системы корни растений используют практически **все высокоподвижные элементы** питания

- потребность почвы в этих элементах практически равна выносу растениями
- определенное количество элементов достаточно для определенного урожая

Агроэкологические основы почвенного питания

Из почвы и удобрений больше всего **теряется азот** как самый мобильный элемент

- используется растениями до 60-70% азота
- закрепляется в почве до 20-30%
- вымывается из корнеобитаемого слоя до 10-20%
- теряется в газообразной форме до 20-30%
(процессы денитрификации, аммонификации и нитрификации)

Агроэкологические основы почвенного питания

При **поверхностном внесении** азотных удобрений только нитратный азот проходит вглубь почвы, а аммонийный задерживается в верхнем слое и частично улетучивается

- Газообразные потери азота обусловлены аэрацией, влажностью, температурой, реакцией среды и др.

Максимальные потери при **поверхностном внесении нитратов**

- растения используют меньше половины внесенного азота
- третья часть его безвозвратно теряется из почвы

Агроэкологические основы почвенного питания

Фосфор обладает малой миграционной способностью и практически **не передвигается** по почвенному профилю

- потери его существенно меньше, чем азота
- потери фосфора составляют не более 5%.
- до 90% внесенного фосфора образует с железом, алюминием и кальцием малорастворимые соединения, что защищает фосфор от вымывания

Агроэкологические основы почвенного питания

Калий удобрений теряется при эрозии

- на легких почвах он подвержен значительному вымыванию

Калий **вымывается** в водорастворимой и обменной формах сильнее, чем фосфор

Основными факторами **вымывания** калия являются свойства почвы:

- механический состав
- содержание гумуса
- запасы калия и его подвижность при решающей роли осадков

Агроэкологические основы почвенного питания

Содержание подвижных элементов по профилю почвы (вертикально и горизонтально) **неодинаково**

- неравномерное поглощение, минерализация гумуса

Необходимо **локальное внесение** удобрений в **зоны наибольшей потребности**, в зоны расположения наибольшей массы поглощающих корней

- перераспределение дозы удобрения (до 80%) в приствольные полосы на 30-50% повышает их эффективность

Агроэкологические основы почвенного питания

В условиях промывного водного режима возможно **вымывание элементов** питания из почвы нисходящим или боковым током воды (выщелачивание) за пределы корнеобитаемого слоя

- Это надо учитывать при капельном **орошении** и фертигации

Передвижение воды с растворенными веществами с поверхности

- впитывание и фильтрация (инфильтрация)
- просачивания по трещинам, порам и т.д. (инфлюация) за пределы корнеобитаемого слоя или в грунтовые воды

Агроэкологические основы почвенного питания

Внесение органических и минеральных удобрений

- повышает биогенность почвы
- активизирует процессы разложения органического вещества (клетчатки, лигнина)
- повышает плодородие почвы в саду
- стимулирует развитие автотрофных микроорганизмов

Способы определения потребности в элементах питания

В средней зоне садоводства России на черноземных почвах садовые (ягодные) растения в молодых насаждениях особенно нуждаются в **азотных** удобрениях, а в плодоносящих насаждениях – в **азотных и калийных** удобрениях

- Избыток азота в почве и растениях имеет наиболее негативные последствия по сравнению с другими минеральными элементами
-

Почвенный контроль

Азот наиболее подвижен и слабо закреплен в почве, легко вымывается, улетучивается в атмосферу, участвует в процессах микробиологического превращения органического вещества

- Азот активно выносится из круговорота с биомассой садовых растений и с урожаем

Возможные **потери** минеральных элементов из почвы:

- для азота до 30-50% от внесённых удобрений
 - для калия до 40-60% от внесённых удобрений
 - для фосфора до 20-30% от внесённых удобрений
-

Способы определения потребности в элементах питания

- Для создания оптимального уровня почвенного питания и необходимо установить **норму внесения** каждого элемента в почву
 - Научными учреждениями рекомендованы **средние зональные нормы** для каждой культуры. Ранее они брались за основу системы питания растений
 - Зональные нормы удобрений требуют корректировки на действие факторов, определяющих биологическую, экологическую и экономическую целесообразность применения удобрений
-

Способы определения потребности в элементах питания

Методы расчета норм удобрений

- **Метод почвенно-листовой диагностики** путём корректировки рекомендуемой нормы по результатам анализа почвы и растений
 - **Метод элементного баланса** по результатам анализа почвы, выносу элементов с планируемым урожаем и биомассой и коэффициентам использования питательных веществ из почвы и удобрений
-

Факторы, влияющие на расчёт норм применения удобрений

1. Почвенные факторы -

исходная концентрация элементов в почвенном растворе

- при оптимальной концентрации вносить удобрения не целесообразно
 - при концентрации ниже оптимальной необходимо внести удобрения для повышения содержания элемента в почве до минимально базового оптимального уровня
-

Факторы, влияющие на расчёт норм применения удобрений

2. Биологические (генотипические, возрастные) факторы

- ❑ величина ежегодного прироста биомассы растений
 - ❑ величина ежегодного выноса (круговорота) элементов с урожаем и биомассой
 - ❑ обусловлены сортовыми особенностями, возрастом насаждений, величиной урожая, плотностью посадки растений, действием факторов внешней среды
-

Способы определения потребности в элементах питания

Ежегодный контроль за минеральным питанием

- **почвенный контроль** – определение концентрации элементов минерального питания в корнеобитаемом слое почвы и принятие решения о необходимости внесения удобрений (до начала или после окончания вегетации)
 - **листовой контроль** – определение концентрации элементов минерального питания в листьях (контрольный орган, во второй половине августа) и принятие поправки к дозе удобрений в отношении этих элементов на следующий год
-

Почвенный контроль

Анализы почвы садовых культур для определения нормы удобрений проводят в агрохимических лабораториях

- Содержание гумуса
 - Содержание доступных форм NPK
 - Содержание доступных форм микроэлементов
 - Кислотность (pH)
 - Карбонатность
 - Гранулометрический состав
-

Почвенный контроль

Анализ почвы проводят:

- ❑ Один раз в год, весной, летом или **осенью**
 - ❑ примерно 30 точек отбора проб равномерно распределены по площади участка, в приствольных полосах
 - ❑ глубина отбора проб 0-20 и 20-40 см
 - ❑ глубокие слои почвы с глубины 40-60 см
 - ❑ при необходимости отдельные пробы из междурядий и приствольных полос
-

Почвенный контроль

Классификация и диагностика почв России

Уровень обеспеченности	Содержание гумуса, % от массы почвы
Очень высокое	Более 10
Высокое	6-10
Среднее	4-6
Низкое	2-4
Очень низкое	Менее 2

Почвенный контроль

Оценка содержания минеральных элементов в почве для **земляники и голубики**

Уровень содержания	Содержание в почве, мг/кг почвы		
	Легкогидролизуемый азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
Низкий	< 100	< 50	< 80
Средний	100-150	50-100	80-120
Высокий	> 150	> 100	> 120

Почвенный контроль

Оценка содержания минеральных элементов в почве для **смородины черной** и **крыжовника**

Уровень содержания	Содержание в почве, мг/кг почвы		
	Легкогидролизуемый азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
Низкий	< 150	< 75	< 80
Средний	150-200	75-150	80-120
Высокий	> 200	> 150	> 120

Почвенный контроль

Оценка содержания минеральных элементов в почве для **малины**

Уровень содержания	Содержание в почве, мг/кг почвы		
	Легкогидролизуемый азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
Низкий	< 80	< 50	< 100
Средний	80-120	50-100	100-150
Высокий	> 120	> 100	> 150

Почвенный контроль

Оценка содержания минеральных элементов в почве для **ЖИМОЛОСТИ**

Уровень содержания	Содержание в почве, мг/кг почвы		
	Легкогидролизуемый азот (N)	Фосфор (P ₂ O ₅)	Калий (K ₂ O)
Низкий	< 150	< 50	< 120
Средний	150-200	50-100	120-180
Высокий	> 200	> 100	> 180

Расчёт нормы внесения удобрений (базовый уровень)

По результатам почвенной диагностики

Норма удобрений, на основе повышения содержания элемента в почве до ее благоприятного значения, кг/га д.в.

$$У1 = (X0 - X1) \times Kм \times а$$

- X0 – оптимальный уровень содержания элемента в корнеобитаемом слое почвы (0-60 см), мг/кг сухой почвы
- X1 – фактическое содержание элемента в корнеобитаемом слое почвы (0-60 см) по результатам почвенного анализа, мг/кг сухой почвы
- Kм – массовый коэффициент удобряемого слоя почвы (0-60 см), показывающий величину дозы удобрения для увеличения содержания элемента на 1 мг/кг почвы, кг/га д.в.
- а – поправочный коэффициент на потери элемента из корнеобитаемого слоя почвы (азот – 2; фосфор – 1,2; калий – 2,7).

Расчёт нормы внесения удобрений (базовый уровень)

Значение K_m для тяжелосуглинистых чернозёмных почв:

- $K_m = \rho S h = 5 \text{ кг/га}$
- (плотность почвы $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$; площадь внесения $S = 1 \text{ га}$; слой почвы $h = 40 \text{ см}$).

Для **повышения содержания** в почве (в слое 0-40 см) любого минерального элемента на 1 мг/кг почвы, нужно внести в почву соответствующее минеральное удобрение в норме **5 кг** действующего вещества на 1 га:

- внесение аммиачной селитры (33-35% д.в.) – 150 кг/га
 - внесение двойного суперфосфата (45% д.в.)– 110 кг/га
 - внесение калийной соли (40 % д.в.) – 120 кг/га
-

Способы определения потребности в элементах питания

Результаты агрохимического анализа почвы и его интерпретация

Показатели	№№ кварталов		Средний уровень
	1	2	
Азот, мг/кг	112 с	96 н	100-150
Фосфор, мг/кг	195 в	176 в	50-100
Калий, мг/кг	147 в	75 н	80-120
Гумус,%	5,9 в	3,5 н	4-6
рН	6,5 нт	5,3 ск	5,5-7,0

Способы определения потребности в элементах питания

Пример расчета

Квартал №1

- Азот $(100-112) =$ **!!! Не вносить**
- Фосфор $100-195 =$ **!!! Не вносить**
- Калий $100-147 =$ **!!! Не вносить**

Квартал №2

- Азот $(100-96) \times 5 \times 2 =$ **40** кг/ д.в.
 - Фосфор $100-176 =$ **!!! Не вносить**
 - Калий $(80-75) \times 5 \times 2,7 =$ **68** кг/ д.в.
-

Баланс элементов питания

- В течение сезонного роста ягодные растения **накапливают биомассу** (Δm), в которую входят масса вегетативных органов (листьев, ветвей, почек, корней) и масса ягод
 - Распределение поглощённых корнями минеральных веществ происходит в ходе роста и синтеза органического вещества пропорционально массе растущих органов и потребности в элементах питания в пунктах их ассимиляции
-

Баланс элементов питания

- Часть минеральных элементов, будучи изъятой из агроценоза с урожаем или закрепленная в многолетних вегетативных органах составляет **дефицит** (отрицательный баланс) элементов агроэкосистемы
 - Другая часть веществ, поступившая в молодые корни и листья, **возвращается** в почву вместе с листовым опадом и веществом отмирающих корней и вновь включается в круговорот веществ, благодаря минерализации
-

Баланс элементов питания

- Потребность дерева в минеральном питании определяется **балансом элементов** в системе «растение – внешняя среда» при формировании вегетативной и генеративной биомассы с учетом их возврата в почву
 - Некоторые из нерегулируемых экологических факторов (свет, тепло, осадки), могут оказывать влияние на **доступность** для поглощения корнями растений элементов питания из почвы
-

Баланс элементов питания

- Для поддержания исходного плодородия почвы дефицит элементов, возникший в результате их выноса и отчуждения плодовыми деревьями требует **компенсации** при помощи удобрений
 - Учет баланса элементов питания как соотношения концентрации веществ, нужных для формирования урожая различных сельскохозяйственных культур, и веществ, реально доступных растениям конкретной культуры, необходим при создании **программ** снабжения садовых насаждений удобрениями
-

Листовой контроль

Анализы листьев и растительного материала садовых культур для определения нормы удобрений проводят в агрохимических лабораториях

- Наибольшую практическую ценность имеет валовой анализ листьев на содержание в них N, P₂O₅, K₂O, MgO и CaO
 - Оптимальное содержание элементов в листьях означает, что растения успешно поглощают элементы из почвы
-

Листоной контроль

Образцы листьев плодовых деревьев отбирают:
во второй половине лета (август)

Ягодных кустарников – после уборки урожая ягод

- на каждом из 5 растений данного сорта
- по 1-2 листа со средней части приростов текущего года, под углом 45°
- равномерно вокруг кроны растения

Возможные **потери** минеральных элементов из почвы:

- для азота и калия до 50% от внесённых удобрений
- для фосфора – до 30% от внесённых удобрений

Листовой контроль

Вынос основных минеральных элементов с урожаем ягодных культур, кг д.в./т

Культура	Азот	Фосфор	Калий	Соотноше ние
Яблоня	1,3-1,4	0,5-1	1,5-1,6	3:1:3
Смородина черная	6,6-8,6	2,5-3,5	4-4,7	3:1:2
Жимолость	4-6	1-2	6-8	3:1:4
Малина	1,3-1,5	1,7-2	4-4,2	1:1:2,5
Голубика	2,1-4,2	0,8-1	3-3,6	3:1:3
Земляника	3-4	0,5-1	3,5-4,5	4:1:4
Крыжовник	4,5-5	3-3,5	4,5-5	1,5:1:1,5

Листовой контроль

Оптимальные диапазоны концентраций основных элементов в листьях ягодных культур, % от сухой массы

Элементы	N	P2O5	K2O	MgO	CaO
Яблоня	1,8-2,4	0,3-0,5	1,2-1,8	0,4-0,6	1,4-2,0
Смородина черная	2,2-2,8	0,5-0,6	1,6-2,0	0,4-0,5	1,6-2,3
Жимолость	2,2-2,6	0,5-0,6	2,0-2,4	0,4-0,5	1,5-2,2
Малина	2,8-3,0	0,6-0,7	2,1-2,4	0,4-0,5	1,4-1,9
Голубика	1,7-2,1	0,1-0,4	0,4-0,6	0,2-0,3	0,3-0,8
Земляника	2,0-2,5	0,5-0,6	2,1-2,5	0,2-0,3	2,4-2,9
Крыжовник	2,2-2,6	0,5-0,6	1,6-2,0	0,4-0,5	1,6-2,3

Расчёт нормы внесения удобрений (балансовый уровень)

По величине ожидаемого урожая

Норма удобрений с учётом выноса элемента с урожаем, кг/га д.в.

$$У_2 = X_2 \times b \times a$$

X_2 – величина планового урожая ягод, т/га

a – поправочный коэффициент на потери элемента из корнеобитаемого слоя почвы.

b – коэффициент перевода массы урожая в вынос элемента, вынос кг/т

Расчёт нормы внесения удобрений (балансовый уровень)

По выносу с вегетативной биомассой

Норма удобрений с учётом выноса элемента с вегетативной биомассой, кг/га д.в.

$$УЗ = d \times c \times a \times n$$

a – поправочный коэффициент на потери элемента из корнеобитаемого слоя почвы.

c – поправочный коэффициент, учитывающий влияние на рост вегетативной биомассы азотных удобрений

d – величина выноса элемента с вегетативной биомассой, г/1000 раст. ($d = \Delta m \times k$)

n – фактическая плотность посадки растений, тыс. шт./га

Δm – ежегодный прирост вегетативной биомассы растений, кг/дер.

k – оптимальное содержание элемента в листьях, г/кг

Расчёт нормы внесения удобрений (балансовый уровень)

Расчет на примере **земляники**

Под ожидаемый урожай (У2) = 15 т/га

- Азот = $15 \times 4 \times 2,0 = 120$ кг/га д.в.
- Фосфор = $15 \times 1 \times 1,2 = 18$ кг/га д.в.
- Калий = $15 \times 4,5 \times 2,7 = 182$ кг/га д.в.

Под вынос с биомассой (У3)

- Азот = $0,4 \times 50 \times 1,1 \times 2,0 = 44$ кг/га д.в.
 - Фосфор = $0,1 \times 50 \times 1,1 \times 1,2 = 7$ кг/га д.в.
 - Калий = $0,4 \times 50 \times 1,2 \times 2,7 = 65$ кг/га д.в.
-

Расчёт нормы внесения удобрений (суммарный уровень)

По выносу с вегетативной биомассой

Суммарная норма удобрений (Y) с учётом почвенной диагностики (Y_1), выноса элемента урожаем (Y_2) и с вегетативной биомассой (Y_3), кг/га д.в.

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

на примере **земляники:**

- Азот = $40 + 120 + 44 = 204$ кг/га д.в.
 - Фосфор = $0 + 18 + 7 = 25$ кг/га д.в.
 - Калий = $68 + 182 + 65 = 315$ кг/га д.в.
-

Способы определения потребности в элементах питания

Расчёт норм удобрений в зависимости биологических, почвенных и агротехнических факторов включает следующие элементы:

- ❑ содержание элемента в листьях (как показатель уровня минерального обмена в растения)
 - ❑ содержание элемента в почвенном растворе
 - ❑ степень использования элементов из удобрений
 - ❑ степень интенсивности насаждений, плотность размещения растений на 1 га (вероятный вынос элемента с биомассой)
 - ❑ обрезка, интенсивность ростовых процессов, возраст насаждения (вероятный вынос элемента с биомассой)
 - ❑ уровень плановой урожайности (вероятный вынос элемента с урожаем)
-

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

8-909-235-10-44

