

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Казанский государственный аграрный университет»

Агрономический факультет

Кафедра растениеводства и плодовоовощеводства

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине
«Математическое моделирование и проектирование в растениеводстве» для
магистров агрономического факультета (очной и заочной форм обучения)

Казань, 2019

УДК 633

ББК 41/42

Составитель: доктор с.х. наук, профессор М. Ф. Амиров

Рецензенты: В. Н. Фомин – д-р с.-х. наук, профессор, проректор по научно-исследовательской работе, зав. кафедрой ресурсосберегающей технологии производства продукции сельского хозяйства и лесного комплекса ФГБОУ ДПОС «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса»

Р. И. Сафин – д-р с.-х. наук, профессор, член-корр. АН РТ, зав. кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ»

Рассмотрена и рекомендована к печати на заседании кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского ГАУ протокол № от апреля 2019 г.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к печати на заседании учебно-методической комиссии агрономического факультета Казанского ГАУ протокол № от апреля 2019 г.

Методические указания предназначены для проведения практических занятий по дисциплине «Математическое моделирование и проектирование в растениеводстве» для магистров агрономического факультета направление подготовки 35.04.04 «Агрономия» составлена применительно к магистерской программе «Ресурсосберегающие технологии возделывания полевых культур»

© Казанский государственный аграрный университет, 2019 г.

ТЕМА 1. Условия, влияющие на формирование густоты посевов

Накопление растениями органического вещества происходит в процессе фотосинтеза и зависит от площади листьев и ФП, поэтому на эти показатели и уровень урожайности посевов влияет количество растений на единице площади, сохранившихся к уборке, густота стеблестоя (травостоя) формируется под воздействием факторов внешней среды и уровня агротехники, которые условно можно объединить в две основные группы.

Первая группа влияет на получение количества растений к фазе полных всходов, посевные качества семян (норма высева, глубина их заделки и условия увлажнения в верхних слоях почвы и др.). Вторая определяет сохранность растений за период от полных всходов до уборки, а для многолетних трав и озимых культур — в процессе перезимовки и связана с метеорологическими условиями за этот период, проведением ухода за посевами и др. На количество растений к уборке оказывают влияние полевая всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений, которые следует

прогнозировать и учитывать при расчете норм высева семян. Полевая всхожесть это отношение числа растений в фазу полных всходов к количеству высеянных всхожих семян на единице площади, выраженное в процентах. Расчетная формула полевой всхожести (Пв) семян может выглядеть так:

$$Пв = \frac{\text{Число растений в фазу полных всходов шт./м}^2 * 100}{\text{Количество высеянных всхожих семян, шт. на 1м}^2}$$

Сохранность растений, это показатель, характеризующий отношение количества растений, сохранившихся к уборке к количеству растений, полученных в фазу полных всходов(шт/м²), выраженное в процентах. Расчетную формулу сохранности растений (Ср) можно представить в следующем виде:

$$Ср = \frac{\text{Растения к уборке, шт./м}^2 * 100}{\text{Растения в фазу полных всходов, шт. на 1м}^2}$$

Изменение величины показателя сохранности растений за период от полных всходов до уборки связана с гибелью растений и зависит от многих факторов: низкой влагообеспеченностью (засуха), повреждение растений вредителями и болезнями, уничтожение (вырезание) растений при нарушении технологии ухода за посевами (боронование по всходам, междурядная обработка, неразумное применение гербицидов и др.).

Выживаемость растений, это показатель, характеризующий отношение количества растений, сохранившихся к уборке к количеству высеянных всхожих семян (шт/м²), выраженное в процентах, иными словами, этот показатель характеризует количество растений, полученных к уборке от каждых 100 шт. высеянных всхожих семян. Выживаемость растений может рассчитываться следующими способами:

а) через количество высеянных всхожих семян по формуле:

$$V_p = \frac{\text{Число растений к уборке, шт./м}^2 * 100}{\text{Количество высеянных всхожих семян, шт. на 1м}^2};$$

б) через показатели полевой всхожести семян и сохранности растений:

$$V_p = \frac{P_v * C_p}{100},$$

где V_p - выживаемость растений, %;

P_v - полевая всхожесть семян, %;

C_p - сохранность растений, %.

Показатели полевой всхожести семян и выживаемости растений можно брать из справочной литературы с соответствующими обоснованными поправками на уровень проектируемой технологии возделывания культуры;

в) через полевую всхожесть и сохранность растений с учетом посевной годности высеянных семян:

$$V_p = \frac{P_g * P_v * C_p}{10000},$$

где V_p - выживаемость растений, %;

P_g - посевная годность семян, %;

P_v - полевая всхожесть семян, %;

C_p - сохранность растений, %.

Посевная годность семян (P_g) представляет из себя произведение чистоты семян ($Ч$, %) на лабораторную всхожесть ($В$, %):

$$P_g = \frac{Ч * В}{100},$$

Таким образом, при расчете норм высева под планируемую густоту следует заранее спрогнозировать величины показателей – полевой всхожести семян, выживаемости и сохранности растений, зависящих от складывающихся метеорологических условий и уровня агротехники. Прогнозировать эти показатели и также коэффициент продуктивной кустистости очень трудно, поскольку неизвестно, как сложатся метеорологические условия в период вегетации, потому приходится пользоваться средними данными, полученными в опытах и производственных условиях. По обобщенным данным, продуктивная кустистость озимой ржи составляет в среднем 1,5-3,0, озимой пшеницы - 1,5-2,5, а яровых зерновых хлебов - в пределах 1,2-2,0, а полевая всхожесть яровой пшеницы – в среднем 85%, выживаемость растений - 68%, с колебаниями – от 57 до 85%. Аналогичные показатели выведены и по кормовым культурам.

Показатели полевой всхожести семян и сохранности растений зависят, в первую очередь, от уровня обработки почвы, посевных качеств семян и подготовки их к посеву, выбора оптимальных для складывающихся условий срока посева, глубины заделки семян, приемов ухода за посевами, и т.д., то есть при оптимизации всех элементов технологии эти показатели могут достигнуть максимальных значений, при нарушении технологии могут значительно снижаться. Знание этих вопросов и умение применить их на

практике позволяет агроному максимально приблизить полевую всхожесть семян к лабораторной, а сохранность растений к 100%, то есть необходимо стремиться к тому, чтобы каждое высеянное семя дало полноценные всходы, а каждое полученное растение достигло уборочной (укосной) спелости, что позволит уменьшить расход семян, которые в структуре себестоимости получаемой продукции растениеводства занимают не последнее место. Для примера можно сослаться на опыт возделывания кукурузы в Германии, свидетельствующий о возможности доведения полевой всхожести семян до 95%, то есть потери составляют не более 5% от высеянных всхожих семян, а сохранность растений приближается к 100%. Такие высокие показатели достигаются за счет посева семян с высокими посевными качествами, технологии подготовки их к посеву (калибровка, протравливание высокоэффективными препаратами, инкрустирование и др.), качества подготовки почвы к посеву (культивация, выравнивание, прикатывание и др.), выбор срока посева для каждой культуры с учетом прогревания почвы и влажности ее в верхних слоях почвы, высокоточных сеялок, обеспечивающих заданную глубину заделки семян и их распределение в рядке, а также системы ухода за посевами.

ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать полевую всхожесть, если количество растений в фазу полных всходов составило 412 растений, при посеве 500 шт. всхожих семян на 1 м²?

ЗАДАНИЕ 2. Рассчитать сохранность растений, если количество растений к уборке составило 355 шт., а количество всходов 412 шт. на м²?

ЗАДАНИЕ 3. Рассчитать выживаемость растений, если число растений к уборке и количество высеянных всхожих семян известны по заданиям 1, 2?

ЗАДАНИЕ 4. Рассчитать выживаемость растений, через полевую всхожесть и сохранность растений с учетом посевной годности высеянных семян, если чистота семян равна 97%, лабораторная всхожесть 95%?

ТЕМА 2. Нормы высева семян и густота стеблестоя

Основными элементами структуры урожая у зерновых культур являются: число растений на единице площади к уборке, продуктивная кустистость, число зерен в колосе, масса 1000 зерен при стандартной влажности. Многочисленные исследования и производственный опыт показывают, что с увеличением количества растений на единице площади до определенного предела урожайность культур возрастает. Научно-исследовательскими учреждениями для каждой почвенно-климатической зоны установлены величины оптимальной густоты стояния зерновых культур и в соответствии с этим рекомендованы соответствующие нормы высева семян. В районах с хорошим увлажнением рекомендуется к уборке иметь на гектаре 3,5-4,5 млн. растений яровой пшеницы, 2,5-3,5 млн. растений озимой ржи, озимой пшеницы, ячменя. В условиях Республики Татарстан, по данным кафедры растениеводства Казанского ГАУ, с увеличением нормы высева яровой пшеницы до критического оптимума урожайность повышалась, после чего существенно не изменялась до критического максимума, после которого снижалась, а критический минимум колебался в пределах от 3,5 до 5,5 млн., критический максимум от 6,0 до 7,5 млн. всхожих семян на 1 га. Для почвенно-климатических условий Предкамья, Предволжья, Восточного и Юго-Восточного Закамья оптимальный интервал норм высева составляет 5,5-6,0 млн., для Западного Закамья 5,0-5,5 млн. всхожих семян на 1 га. Высевая указанное количество семян, можно достигнуть оптимальной густоты стеблестоя 408-490 растений на 1 м² для яровой пшеницы.

Расчет биологической урожайности можно производить по формуле:

$$\text{Убиол.} = \frac{\text{Ч} * \text{Пк} * \text{З} * \text{А}}{10000},$$

где Убиол – биологическая урожайность, ц/га;

Ч - число растений, шт./м²;

Пк - продуктивная кустистость;

З – число зерен в колосе;

А – масса 1000 зерен при стандартной влажности.

Урожайность формируется за счет нескольких слагаемых – элементов структуры, степень выраженности каждой из них может быть различной, поскольку при слабом развитии одного структурного элемента урожайность может быть компенсирована за счет более интенсивного развития других элементов. Следует учитывать, что элементы структуры урожая формируются не одновременно на различных этапах вегетации.

По данным М.К. Сулейменова (1991), яровая пшеница сорта «Саратовская-29» имела в зависимости от нормы высева следующую продуктивную кустистость: при 1,0-1,5 млн. шт. всхожих семян на 1 га по паровому предшественнику 1,93, по стерневому 1,77; при норме 2,0-2,5 соответственно 1,52 и 1,42; при норме 3,0-3,5 соответственно 1,30 и 1,08, при норме 4,0-4,5 млн. шт. 1,16 и 1,04. Изменялось и количество колосков в колосе: при норме высева 1,0 -1,5 млн. всхожих семян на 1 га по паровому предшественнику образовалось в среднем 12,2, при 4,0-4,5 – 9,6, а количество зерен в колосе было соответственно 27,1 и 19,6 шт., а масса 1000 семян соответственно – 36,0 и 32,8 г.

Экологические условия зоны сильно влияют на норму высева. Например, в засушливых южных и юго-восточных районах с годовой суммой осадков 300 – 400 мм и суммой активных температур 3000 - 3500°C рекомендуется высевать кукурузу на зерно с нормой высева 26 – 33 тыс. всхожих семян на 1 га, чтобы обеспечить густоту растений к уборке 20 – 25 тыс./га. В степных районах неустойчивого увлажнения с суммой осадков 400 – 500 мм норму высева увеличивают до 40 – 52 тыс. (30 – 40 тыс. растений к уборке), а в районах достаточного увлажнения – до 56 – 84 тыс./га.

Максимальный урожай зеленой массы и сена клевера лугового и люцерны пестрогибридной можно получить при густоте 120 – 200 растений на 1 м², или 1,2 – 2,0 млн/га. Такую густоту растений перед первым укосом можно получить при норме высева клевера 2,0 – 2,5 млн всхожих семян на 1 га (4 – 5 кг/га). В тоже время в большинстве рекомендаций предлагают высевать 16 – 20 кг клевера на 1 га, или 8 – 10 млн всхожих семян. Причина такого завышения нормы высева в некачественной предпосевной обработке почвы и крайне неравномерной глубине заделки семян. Семена клевера лугового и люцерны успешно могут пробить слой почвы и вынести семядоли на поверхность с глубины 1 – 2 см. Заглубление их на 3 см снижает полевую всхожесть в 2-3 раза, а с глубины 4 см пробиваются лишь отдельные проростки.

У кормовых культур исследователи иногда пытаются ставить знак равенства между нормой высева, густотой стеблестоя и урожайностью, подразумевая при этом, что при более высокой норме высева должно быть больше растений на единице площади. На самом деле, в природе в зависимости от почвенно-климатических условий и, в первую очередь, от уровня увлажнения и обеспеченности элементами минерального питания, действует внутривидовая конкуренция и саморегуляция густоты растений.

Опытами установлено (Н.И. Можаяев, 1985), что саморегуляция резко проявляется у культур, имеющих пониженную реакцию на норму высева, в частности, у многолетних трав. Саморегуляция густоты растений идет за счет выпадения части растений из стеблестоя и снижения кустистости, уменьшения количества стеблей на одном растении, при этом урожайность от увеличения нормы высева семян не только не возрастает, а нередко даже снижается, что наглядно можно проследить на примере житняка в условиях естественного влагообеспечения. Нормы высева семян житняка на корм и семена изучались в большом интервале - от 2 до 14 млн. всхожих семян, то есть различие между крайними вариантами было в 7 раз, однако уже к концу первого года жизни травостоя разрыв сузился до 1:6, количество растений на 1 м² на крайних вариантах составило 120 и 598, а кустистость соответственно - 9 и 3,5. На 2-3 годах жизни независимо от нормы высева осталось на 1 м² почти одинаковое количество стеблей - 1300-1500 шт., а при более высоких нормах высева семян количество генеративных стеблей снизилось на втором году - до 606-908 и на третьем - до 281-741. Таким образом, норма высева семян многолетних трав и получаемое количество растений на единице площади не всегда находятся в прямой зависимости, поскольку в травостоях действует закон саморегуляции густоты, и, чем выше загущенность посевов и чем более жесткие условия по влагообеспеченности, тем интенсивнее протекает этот процесс. Процесс саморегуляции осуществляется не только за счет выравнивания количества растений вне зависимости от норм высева, но и существенного изменения элементов структуры урожая: стеблестоя, колосьев, бобов, семян в них, то есть проявляются выработавшиеся в процессе эволюции свойства растений, направленные на сохранение вида, а в более изреженных травостоях урожайность семян компенсируется за счет формирования на каждом растении большего их количества.

ЗАДАНИЕ 1. Назовите основные элементы структуры урожая зерновых культур?

ЗАДАНИЕ 2. Рассчитать возможные значения числа растений, продуктивной кустистости, числа зерен в колосе и массу 1000 зерен при стандартной влажности, если биологическая урожайность яровой пшеницы равна 41 ц/га?

ТЕМА 3. Оптимальная густота стеблестоя посевов и методика расчета нормы высева семян при программировании урожая

Рассчитывая норму высева семян культуры для определенного поля, следует учитывать запасы продуктивной влаги, условия увлажнения в течение вегетационного периода, плодородие почвы, засоренность и другие факторы. Это требует больших знаний и умений агронома, поскольку от густоты стеблестоя зависят особенности формирования площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза посевов культуры, сорта, а в конечном итоге - урожайности при возможно минимальном расходе семян. Оптимальные значения этих показателей находятся в прямой зависимости от теплового режима и условий увлажнения, т.к. оптимальной площадью листовой поверхности следует считать такую, которая обеспечивается влагой почвы для нормального протекания процесса транспирации посевов. Поэтому, чем хуже влагообеспеченность, тем меньше должна быть площадь листовой поверхности, а значит, меньше и густота стеблестоя (травостоя) в расчете на единицу площади. Можно отметить, что ошибки агрономов в определении норм высева культур нередко выправляет сама природа: у ряда культур при чрезмерном загущении происходит выпадение (гибель) растений, растения хуже кустятся, имеют меньшую массу и т.д., и, наоборот, в изреженных травостоях коэффициент кустистости выше, то есть происходит процесс саморегуляции густоты стеблестоя и формирование площади листовой поверхности посевов в зависимости от уровня увлажнения и других факторов. В интенсивном земледелии возлагать надежды на естественную регуляцию густоты ни в коем случае не следует, поскольку это приводит к непроизводительному расходу семян, а, следовательно, денежных средств, и снижению урожайности культуры. В производственных условиях применяются два основных метода расчета норм высева семян: - первая - через рекомендованную норму высева в млн. шт./га (коэффициент высева), - вторая – путем расчета под оптимальную густоту стеблестоя. Первый метод основан на полученных в опытах и рекомендованных научными

учреждениями средних показателей для зоны, области, района нормы высева в млн. шт. всхожих семян на 1 га (коэффициент высева семян). За многие годы научными учреждениями регионов (институты, опытные станции, сельхозинституты и др.) была проведена масса полевых опытов с культурами и сортами, при этом изучение норм высева семян нередко осуществлялось в большом диапазоне, например, от 1 до 10 млн. шт. всхожих семян на 1 га, при этом устанавливается, при какой из изученных норм высева получена самая высокая урожайность, на основании чего даются рекомендации производству. В пределах нашей республики, например, рекомендуется высевать ячмень на 1 га от 4,0 до 5,5 млн. всхожих семян, при этом для засушливых районов Закамья - 4,5-5,0, при лучшем увлажнении в Предкамье от 5,0 до 5,5. Аналогичные рекомендации имеются по всем культурам, технология возделывания которых изложена в учебниках по растениеводству, кормопроизводству и другим дисциплинам. Для пересчета этого показателя на весовую норму высева семян в кг/га берется рекомендуемая норма семян в млн. шт./га, масса 1000 семян и их посевная годность.

$$Нв = \frac{М * А * 100}{ПГ},$$

где Н – норма высева семян весовая, кг/га;

М - рекомендуемая норма высева в млн. шт. семян на 1 га (коэффициент высева);

А - масса 1000 семян, г;

ПГ - посевная годность семян, %.

Преимущество этого метода – простота расчета, а недостаток в том, что не учитываются условия, влияющие на полевую всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений в течение вегетационного периода, то есть роль агронома в управлении процессом формирования стеблестоя и урожайности можно назвать пассивной. Второй метод предусматривает определение величины оптимальной густоты стеблестоя с учетом всех показателей, влияющих на формирование количества растений к уборке, вносится прогнозируемая поправка на полевую всхожесть семян, сохранность растений, а также посевную годность семян. Применительно к

складывающимся условиям весны для каждого поля, культуры, сорта в зависимости от увлажнения, уровня агротехники уже не шаблонно, как в первом случае, моделируются условия роста и прогнозируются величины полевой всхожести семян и сохранности растений. Этот метод позволяет получать оптимальную предуборочную густоту стеблестоя (травостоя) при минимальном расходе семян на посев, при этом растения могут максимально проявить свои биологические особенности, в частности, способность к кущению, сводя до минимума межвидовую борьбу и саморегуляцию густоты, гибель растений, ухудшение соотношения показателей элементов структуры урожая и др. При расчетах норм высева есть некоторые особенности для кормовых и зерновых культур. При расчете нормы высева семян кормовых культур под оптимальную густоту стеблестоя (травостоя) необходимо исходить из того, что стеблестой (травостой) культуры с оптимальной густотой следует считать при наличии такого количества растений на единице площади, которое обеспечивает в определенных конкретных условиях рост и развитие растений и формирование максимального уровня урожайности. Для получения максимально возможного уровня урожайности с учетом влагообеспеченности, агротехники и других факторов следует заранее определить оптимальную для складывающихся конкретных условий предуборочную густоту стеблестоя культуры или группы культур, возделываемых в хозяйстве. Каждому агропроизводителю следует вести наблюдения и накапливать опыт по оценке влияния всех элементов технологии на формирование элементов структуры урожая и урожайности за весь период «от семени и до семени», в том числе полевую всхожесть семян, выживаемость и сохранность растений в зависимости от обеспеченности культуры влагой, пищей, засоренности, сроков посева, глубины заделки семян, а также густоте стеблестоя (травостоя), продуктивной кустистости и др., обеспечивающих в складывающихся условиях уровень урожайности. В качестве исходных данных для расчетов оптимальной густоты стеблестоя кормовых культур можно воспользоваться обобщенными материалами, полученными в полевых опытах и производственных условиях Республики Татарстан.

Оптимальная (предуборочная) густота растений, обеспечивающая максимальный уровень урожайности в условиях Республики Татарстан, шт./м²

Культуры	Агротехнологии		
	Экстенсивные, Базовые	Высокие	Интенсивные
Густота колосьев (метелок):			
Озимая пшеница	350-400	400-420	450-500
Озимая рожь, тритикале	300-350	350-400	450-500
Яровая пшеница	300	350	450
Ячмень	350	400	450
Овес	350-400	450	450
Густота растений:			
Горох	90	90	90
Гречиха	120	130	140
Картофель	4,2-4,4	4,5-4,8	4,9-5,0
Сахарная свекла	8,5	9,5	10,5
Яровой рапс	100-110	120-130	130-140
Подсолнечник	4-6	4-6	4-6
Кукуруза на зерно	4-6	4-6	4-6
Кукуруза на силос	15-17	18-20	20-22
Подсолнечник на силос	15-17	18-20	20-22
Клевер луговой	120-150	160-190	190-200
Люцерна на 2-4 годах жизни	80-100	100-110	110-120
Эспарцет на 2-4 годах жизни	90-100	100-120	120-130
Кострец безостый	120-160	160-180	180-200

В таблице цифры даны с определенным интервалом, учитывая, что максимального количества растений следует достигать при высоком уровне агротехники. Норма высева семян кормовых культур (в млн. шт./га) может рассчитываться по формуле:

$$M = \frac{R_p * 100 * 10000}{V_p},$$

где М — норма высева всхожих семян, млн. шт./га;

Р_п — оптимальное предуборочное (проектное) количество растений, шт./м² (согласно табл. 3.1);

В_р - выживаемость растений, % (табл. 3.2).

10000 – пересчет с 1 м² на 1 га.

Таблица 3.2

Средние значения полевой всхожести семян и сохранности растений, %

Культура	Полевая всхожесть	Сохранность растений, %
Озимая рожь, чистый пар	85	85
Озимая рожь, занятый пар	80	80
Яровая пшеница, ячмень, овес	85	80
Горох	90-85	90-85
Картофель	95-98	95
Сахарная свекла	80	95

Далее, взяв показатель массы 1000 семян и сделав поправку на посевную годность семян, можно вычислить весовую норму высева (кг/га) по методике, изложенной далее. Полевая всхожесть семян полевых культур и особенно многолетних трав бывает значительно ниже лабораторной, поэтому изучение возможностей сокращения разрыва между этими показателями имеет большое практическое значение. Полученные в опытах материалы по полевой всхожести семян в зависимости от агротехнологии дают возможность при решении задачи получения заданного количества растений вносить соответствующие поправки к норме высева.

Для зерновых культур норму высева следует рассчитывать, исходя из оптимального стеблестоя культуры к уборке на 1 м², применительно к конкретной зоне. Показатель программируемого оптимального стеблестоя следует брать с учетом почвенно-климатических условий хозяйства и предшественников. При расчете следует спрогнозировать полевую всхожесть семян, выживаемость растений, продуктивную кустистость с учетом факторов, влияющих на эти показатели, и посевных качеств семян. Расчет для зерновых культур можно произвести по формуле, предложенной М.С. Савицким (1973):

$$Нв = \frac{С * А * 100}{К * В * ПГ},$$

где Нв - норма высева, кг/га;

С - количество стеблей к уборке на 1 м², шт.;

А - масса 1000 семян, г;

К - продуктивная кустистость;

В - показатель выживаемости растений, %;

ПГ - посевная годность семян, %.

Продуктивная кустистость озимых зерновых культур в Татарстане находится в пределах - от 1,5 до 3,0, яровых зерновых в пределах от 1,2 до 2,5 с колебаниями в различные годы на разных полях в зависимости от увлажнения, предшественников, технологии, культуры, сорта - от 1 до 2,5-3,0. Полевая всхожесть семян в среднем 80-85%, выживаемость растений – 68-76%, с колебаниями - от 55 до 85%. Оптимальная величина количества стеблей (колосьев) (С) зерновых культур перед уборкой в пределах региона в зависимости от влагообеспеченности может колебаться от 300 до 500 шт./м². В практической работе каждому агроному следует накапливать собственные наблюдения по указанным вопросам, чтобы затем вполне обоснованно для каждого поля с учетом влагообеспеченности, культуры, сорта, засоренности, плодородия, уровня агротехники, сроков посева и других факторов делать расчеты нормы высева под программируемую густоту стеблестоя. Для расчета оптимальной густоты стеблестоя кормовых культур можно воспользоваться разработками, полученными на основании проведенных полевых опытов или представленных в таблице 3.1 справочных материалов.

Достигнуть для каждой культуры в конкретных почвенно-климатических условиях оптимальной предуборочной густоты стеблестоя – значит получить максимальный урожай при наименьшем расходе семян, а в конечном итоге при минимальных затратах труда и материальных средств.

Разработка теоретических основ получения оптимальной предуборочной густоты и норм высева семян - один из важных вопросов программирования урожаев, поскольку решение этих вопросов позволяет для конкретных условий в конечном итоге формировать посевы с лучшими параметрами площади листовой поверхности, фотосинтетического потенциала, чистой продуктивности фотосинтеза.

Контрольные вопрос

1. Перечислите, какие основные требования предъявляются к посевным качествам семян полевых культур? Каковы показатели кондиционности семян?
2. Как определяется «посевная годность семян»?
3. Как Вы понимаете полевую всхожесть семян. Значение и методика ее определения.
4. Основные различия между полевой и лабораторной всхожестью? Возможности и основные агротехнические приемы, способствующие сокращению этого разрыва.
5. Как понимаете «сохранность» и «выживаемость» растений, методика их определения и основные агротехнические приемы, способствующие повышению этих показателей?
6. Основные понятия об оптимальной густоте стеблестоя разных культур. Зависит ли она от факторов внешней среды и почвенно-климатических условий?
7. Какие методы расчета норм высева полевых культур, применяемые в настоящее время Вам известны?
8. Как рассчитывают нормы семян под планируемую (оптимальную) предуборочную густоту с учетом посевной годности семян, их полевой всхожести и сохранности растений?

ТЕМА 4. Обоснование методов расчета доз удобрений под запрограммированный уровень урожайности полевых культур

Система удобрения, это комплекс агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий по наиболее рациональному применению удобрений для повышения урожайности культур и плодородия почвы. Разработка этой системы с учетом плодородия почвы является одним из принципов программирования урожайности.

Подробнее рассмотрим метод элементарного баланса, который, в свою очередь, подразделяется на интенсивный, экстенсивный и бездефицитный. Интенсивный (положительный) – поступление элементов питания растений в почву превышает их вынос с урожаем и потерь из почвы и удобрений. Экстенсивный (отрицательный или дефицитный) – вынос с урожаем и потери элементов питания превышают их поступление в почву. Бездефицитный (нулевой) – статьи прихода и расхода и элементов питания равновелики.

В этом методе используют справочные данные по выносу питательных веществ на единицу основной продукции урожая (на 1 тонну или на 10 т) с учетом побочной, коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвы, удобрений и пожнивно-корневых остатков (обычно бобовых культур). Недостающая часть питательных веществ почвы для создания планируемого урожая восполняется внесением органических и минеральных удобрений. Коэффициенты, которые можно использовать для расчета доз удобрений, даны в таблицах 4.1; 4.2; 4.3. Последствие удобрений отражено в таблице 4.4.

Таблица 4.1

Использование щелочно-гидролизующего азота (по Корнфилду) из почвы, %

Культуры	При умеренном увлажнении	При обильных осадках и орошении
Озимые по чистым парам	35 – 40	40 – 50
По занятым парам	25 – 30	35 – 40
Яровые зерновые, зернобобовые	20 – 25	25 – 35
Картофель, кукуруза, сахарная свекла, кормовые корнеплоды, травы	30 – 35	40 – 50

Таблица 4.2

Использование запасов подвижного фосфора из почвы, %

Культуры	P ₂ O ₅ по Кирсанову и Чирикову (мг/1000 г почвы)				
	50	50-100	110-150	160-200	210-250
Зерновые	10	8	7	6	5
Пропашные, травы	15	14	12	10	8

Примечание. На карбонатных черноземах, где P₂O₅ определяется по методу Мачигина, коэффициенты усвоения для соответствующих групп почв по степени обеспеченности увеличивают в 1,5 раза

Таблица 4.3

Использование запасов обменного калия из почвы, %

Мг на 1000 г почвы	Зерновые	Пропашные, травы
	По Кирсанову	
Ниже 80	20	40
80-120	15	30
120-170	13	26
170-240	10	20
240 и более	9	17
	По Чирикову	
Ниже 30	30	50
30-50	25	45
50-80	20	40
80-120	15	30
120-180	13	25
Больше 180	10	20

Таблица 4.4

Использование питательных веществ растениями из удобрений, %

Год действия	Из минеральных удобрений			Из органических удобрений		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Первый	50 – 70	20 – 25	50 – 70	25 – 30	30 – 40	50 – 60
Второй	5	10 – 15	20	20	10 – 15	10 – 15
Третий	5	5	-	10	5	-

Таблица 4.5

Вынос питательных веществ с урожаем в Республике Татарстан (в кг) в расчете на 1 т основной продукции при соответствующем количестве побочной

Культуры	Вид продукции	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Соотношение зерно : солома
Рожь озимая	Зерно	30	12	25	1:1,5
Пшеница озимая	-«-	37	13	23	1:2,0
Пшеница яровая	-«-	35	12	25	1:1,5
Овес	-«-	29	14	29	1:1,5
Ячмень	-«-	25	11	22	1:1,4
Просо	-«-	33	10	34	1:1,8
Гречиха	-«-	44	30	75	1:4
Горох	-«-	66*	20	25-30	1:1,5
Вика	-«-	65	25	45	1:1,2
Сахарная свекла	Корнеплоды	5,9	1,8	7,5	1:1,0
Картофель поздний	Клубни	6,0	2,0	8,0	1:1,0

Картофель ранний	-«-	5,0	1,5	7,0	-
Кукуруза	Зелен. масса	3,6	1,0	3,8	-
Суданская трава	-«-	4,0	1,1	3,0	-
Сорго сахарное	-«-	2,5	1,4	2,0	-
Кормовая свекла	Корнеплоды	3,5-4	1,1-1,5	4,2-4,5	-
Клевер	Сено	19,7	5,6	15,0	-
Люцерна	-«-	26	6,5	15,0	-
Тимофеевка	-«-	15,5	7,0	34,0	-
Культурные пастбища	Зел. корма	0,3	0,1	0,5	-
Травосмесь	Сено	22	6-7	20	-
Рапс, сурепица	Семена	60	30	50	-
Рапс, сурепица	Зел. масса	45	15	50	-
Горчица	Семена	70	30	60	-

*При программировании урожайности гороха в расчет закладывается 22 кг на тонну зерновой продукции, так как 2/3 своей потребности в азоте культура в нормальных условиях удовлетворяет за счет атмосферы.

Рассмотрим метод элементарного баланса на конкретном примере.

Планируется получить урожай картофеля 20 т с 1 га на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. По картограмме двухлетней давности в почве содержится 50...100 мг P_2O_5 и 80...120 мг K_2O на 1000 г почвы (по методу Кирсанова). Намечается внести органических удобрений 30 т на 1 га. По данным агрохимического анализа, в них содержится 0,3% N, 0,15% P_2O_5 и 0,4% K_2O .

Картофель выращивается в звене севооборота: ячмень + многолетние травы, травы 1-го года пользования, травы 2-го года пользования, озимая

пшеница, картофель. Под ячмень было внесено N80P160K180 (с учетом обеспеченности фосфором и калием многолетних трав), под озимую пшеницу – N50P80K80. Ежегодный урожай сена многолетних трав составил 4 т с 1 га.

Учитывая эти данные, необходимо определить дозу минеральных удобрений под планируемый урожай картофеля.

10 т клубней картофеля вместе с ботвой выносят 60 кг N, 20 кг P₂O₅ и 80 кг K₂O (табл. 4.5). Следовательно, с урожаем в 20 т будет вынесено 120 кг N, 40 кг P₂O₅ и 160 кг K₂O.

Поскольку последствие удобрений на практике обычно учитывается не более двух лет, то в примере определяется только последствие от удобрений, внесенных под озимую пшеницу. Если бы данные агрохимического анализа почвы по содержанию подвижного фосфора и калия были текущего года (чего практически не бывает), то последствие фосфора и калия ранее внесенных удобрений на картофель не надо было учитывать. Последствие азота органических удобрений и пожнивно-корневых остатков бобовых должно учитываться во всех случаях, так как картограмму содержания подвижных соединений азота в почве не составляют.

В примере общий урожай сена клевера с тимopheевкой за 2 года составил 8 т с 1 га. Как показывают исследования, 1 т сена оставляет после себя в виде пожнивно-корневых остатков 10...15 кг на 1 га азота. Следовательно, в корневых и пожнивных остатках многолетних трав на 1 га будет содержаться примерно 120 кг азота. Первая культура после трав (в данном случае озимая пшеница) может использовать около 25% азота из пожнивно-корневых остатков, или 30 кг, вторая культура (картофель) – примерно 15% азота, или 18 кг.

Использование из почвы питательных веществ определяется так. Почва содержит (по картограмме) в среднем 70 мг P₂O₅ и 100 мг K₂O на 1000 г почвы. Следовательно, в пахотном слое на 1 га содержится 210 кг P₂O₅ и 300 кг K₂O. Для пересчета на 1 га показатели щелочно-гидролизующего азота, P₂O₅ и K₂O в мг на 1000 г почвы умножают, с учетом глубины пахотного слоя и гранулометрического состава почвы, на коэффициенты, указанные в таблице 4.6. Картофель сможет усвоить из почвы примерно 8% подвижного фосфора (17 кг P₂O₅) и 17% обменного калия (51 кг K₂O) (табл. 4.2 и 4.3).

Таблица 4.6

Коэффициенты перевода питательных веществ от мг на 1000 г почвы в кг на 1 га.

Гранулометрический состав	Пахотный слой, см			
	0 – 22	0 – 25	0 – 28	0 – 30
Суглинистый	2,6	3,0	3,4	3,6
Супесчаный	2,8	3,2	3,6	3,9
Песчаный	3,0	3,5	3,9	4,2

Труднее определить использование азота из почвы. Это можно сделать двумя способами.

1-й способ – определение выноса азота по элементу, находящемуся в минимуме в почве после азота. Так, на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве в первом минимуме находится азот, во втором, как правило, фосфор. Фосфора используется из почвы 17 кг, что может обеспечить урожай картофеля 8,5 т с 1 га (вынос P_2O_5 на 1 т клубней вместе с ботвой составляет 2 кг). Если бы почва была дерново-подзолистая супесчаная или песчаная, где во втором минимуме находится калий, то возможный урожай следовало определять по калию. С урожаем клубней 8,5 т с 1 га будет использовано из почвы 51 кг азота, так как 10 т клубней вместе с ботвой выносят, по справочным данным, 60 кг азота.

2-ой способ – определение использования азота почвы по примерному содержанию в ней легкогидролизуемого азота. Если нет данных агрохимического анализа, то можно примерно считать, что связные дерново-подзолистые почвы среднего плодородия содержат 40...60 мг легкогидролизуемого азота, повышенного плодородия – 60...80 мг, высокого – 80...100 мг на 1000 г почвы. В данном примере 1000 г почвы содержат приблизительно 50 мг легкогидролизуемого азота. Это составляет 150 кг азота в пахотном слое на 1 га (50 мг x 3). Из почвы картофель сможет использовать около 33% легкогидролизуемого азота, или 49,5 кг.

Весь ход расчета годовой нормы минеральных удобрений под картофель можно представить в виде следующей схемы.

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ планируемым урожаем 20 т с 1 га (в кг)	120	40	160
Последействие ранее внесенных минеральных удобрений (N50P80K80) (в кг).....	-	8 (10%)	16 (20%)
Последействие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг)	18	-	-
Используется питательных веществ из почвы (в кг)	51	17	51
С 30 т органических удобрений на 1 га вносятся питательных веществ (в кг)	90	45	120
Коэффициенты использования питательных веществ в 1-й год из органических удобрений (в %)	27	35	55
Используется питательных веществ в 1-й год из внесенных органических удобрений (в кг)	24	16	66
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг)	27	7	43
Коэффициенты использования питательных веществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %)	60	20	60
С учетом коэффициентов использования следует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га)	45	35	72

Расчетные дозы обычно округляются с точностью до 5 или 10 кг.

Вычисленные дозы питательных веществ для внесения с минеральными удобрениями можно пересчитать на физические туки:

$$\text{аммиачная селитра} = \frac{45 \cdot 100}{34} = 132 \text{ кг, или } 0,13 \text{ т на } 1 \text{ га,}$$

где 34 – содержание азота в аммиачной селитре (в %);

$$\text{простой суперфосфат} = \frac{35 \cdot 100}{20} = 175 \text{ кг, или } 0,18 \text{ т на } 1 \text{ га;}$$

$$\text{хлористый калий} = \frac{72 \cdot 100}{60} = 120 \text{ кг, или } 0,12 \text{ т на } 1 \text{ га.}$$

ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать возможные дозы питательных веществ для внесения с минеральными удобрениями при формировании 28 т с 1 га урожайности картофеля на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

ТЕМА 5. Определение доз минеральных удобрений на планируемую прибавку урожая

Принцип метода заключается в следующем. Зная урожай культуры в данных почвенно-климатических условиях на неудобренном фоне (по результатам опытов агрохимслужбы), определяют прибавку урожая от применения органических и минеральных удобрений. Установленные дозы минеральных удобрений корректируются по содержанию в почве подвижных питательных веществ с использованием соответствующих поправочных коэффициентов (табл. 5.1).

Поправочные коэффициенты к дозам удобрений с учетом содержания подвижных форм фосфора и калия в почве

Содержание в почве питательных веществ по картограмме	Зерновые культуры, травы, лен, пропашные	Овощные культуры
А з о т н ы е у д о б р е н и я		
P ₂ O ₅		
Очень низкое	1,2	-
Низкое	1,1	1,2
Среднее	1,0	1,1
Повышенное	0,9	1,0
Высокое	0,8	0,9
Очень высокое	0,7	0,8
Ф о с ф о р н ы е и к а л и й н ы е у д о б р е н и я		
P ₂ O ₅ или K ₂ O		
Очень низкое	1,5	-
Низкое	1,2...1,3	1,5
Среднее	1,0	1,2...1,3
Повышенное	0,7...0,8	1,0
Высокое	0,4...0,6	0,7...0,8
Очень высокое	0,1...0,3	0,4...0,6

Рассмотрим метод определения доз минеральных удобрений на предыдущем примере. Урожай картофеля без удобрений 5 т с 1 га. Планируемая прибавка 15 т на 1 га. Вынос питательных веществ на 10 т клубней вместе с ботвой составляет (по справочным данным) 60 кг N, 20 кг P₂O₅ и 80 кг K₂O. Расчет ведется по следующей схеме.

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ на планируе- мую прибавку урожая 15 т с 1 га (в кг) ...	90	30	120
Последствие ранее внесенных минераль- ных удобрений (N50P80K80) (в кг)	-	8 (10%)	16 (20%)
Последствие по азоту пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в кг)	18	-	-
Используется питательных веществ в 1-й год из 30 т органических удобрений (в кг) ...	24	16	66
Требуется питательных веществ минеральных удобрений (в кг)	48	6	38
Коэффициенты использования питательных ве- ществ растениями в 1-й год из минеральных удобрений (в %)	60	20	60
С учетом коэффициентов использования сле- дует внести с минеральными удобрениями (в кг на 1 га)	80	30	63
С учетом корректировки почвенного плодo- родия (табл. 5.1) следует внести (в кг)	80*1=80	30*1=30	63*1=63

ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать возможные дозы питательных веществ под планируемую прибавку в 23 т с 1 га урожайности картофеля на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

ТЕМА 6. Определение доз минеральных удобрений с использованием нормативов баланса питательных веществ за севооборот

Баланс питательных веществ в почве состоит из приходной и расходной частей. В приходную часть баланса входит поступление питательных веществ в почву с удобрениями, семенами и из атмосферы (в том числе азот клубеньковых бактерий бобовых культур и свободноживущих бактерий-азотфиксаторов). В расходную часть включается вынос питательных веществ с увозимым с поля урожаем, потери элементов питания из почвы и удобрений с поверхностным стоком воды, вымывания (инфильтрации), газообразные потери (например, азота в результате денитрификации). Различают полный, или экологический, баланс (его еще иногда называют биологическим), учитывающий все статьи прихода и расхода элементов питания, и упрощенный, или хозяйственный, баланс, предусматривающий только поступление питательных веществ в почву с удобрениями и дополнительного количества азота от бобовых культур (оставленного ими в почве сверх выноса с урожаем) в сопоставлении с выносом урожаем и возможными потерями из удобрений. В хозяйственном балансе другие статьи прихода питательных веществ (с осадками, семенами, азота от свободноживущих бактерий-азотфиксаторов) и расхода (потери элементов питания из почвы) не учитываются, так как в итоге они принимаются равными. Баланс может быть: интенсивный (положительный), если поступление питательных веществ в почву превышает вынос с урожаем и потери из почвы и удобрений; экстенсивный (отрицательный, или дефицитный), если вынос и потери превышают поступление в почву; бездефицитный (нулевой), если статьи прихода и расхода элементов питания равновелики.

Процентное (или доленое) участие отдельных статей прихода и расхода питательных веществ в балансе составляет его структуру. В основу данного метода положен баланс питательных веществ за ротацию севооборота. В таблице 6.1 приводятся примерные нормативы баланса питательных веществ для дерново-подзолистых и серых лесных почв. Можно пользоваться также обратной величиной цифр нормативов баланса – коэффициентом выноса питательных веществ из почвы и удобрений с урожаем (табл. 6.1).

В литературе относительный баланс, выражаемый в процентах к выносу, или интенсивность баланса (норматив баланса), иногда называют коэффициентами возмещения или коэффициентами возврата и выражают

десятичной дробью. Например, если норматив баланса (относительный баланс) по азоту 120%, а по фосфору 200%, то в переводе на коэффициент возмещения (или возврата) это будет 1,2 и 2,0 соответственно. Коэффициент выноса питательных веществ иногда называют также балансовым коэффициентом. Он показывает, какую часть (в процентах) составляет вынос питательных веществ с урожаем от их количества, внесенного с удобрениями. Определяют его обычно за ротацию севооборота. Например, если этот коэффициент по какому-либо из элементов питания равен 100, то, следовательно, поступление питательного вещества с удобрениями и вынос его с урожаями компенсируют друг друга. Если же он меньше или больше 100, то поступление элемента питания с удобрениями соответственно превышает или не возмещает вынос его с урожаями.

Таблица 6.1

Примерные нормативы баланса питательных веществ за севооборот (в % от выноса с урожаем) и коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем (в % от питательных веществ внесенных удобрений) в зависимости от содержания элементов питания в дерново-подзолистых и серых лесных почвах

Клас с почв	Содержание в почве подвижных фосфора и калия	Внесение питательных веществ с удобрениями за севооборот (в % от выноса с урожаем)			Коэффициенты выноса питательных веществ с урожаем (в %)		
		N*	P ₂ O ₅	K ₂ O	N*	P ₂ O ₅	K ₂ O
1...2	Очень низкое и низкое	120- 130	200- 250	130- 150	85-75	50-40	80-65
3	Среднее				85-75	60-50	90-80
4	Повышенное	120- 130	170- 200	110- 130	90-85	70-60	125- 100
5	Высокое				100-90	100-70	
6	Очень высокое	110- 120	140- 170	80-100	125- 100	140-100	170- 125
		100- 110	100- 140	60-80 40-60			250- 170
		80-100	70-100				

*В зависимости от содержания подвижного фосфора в почве.

При разработке данных нормативов баланса исходят из того, что для поддержания прежнего уровня азота, фосфора, калия в почве достаточно внести с органическими и минеральными удобрениями 120...130% азота, 100% фосфора и 100% калия от выноса с урожаем. Указанные в таблице 6.1 нормативы баланса направлены на поддержание в почве азота на среднем или повышенном уровне, фосфора на высоком и калия на повышенном. Величины баланса и коэффициенты выноса питательных веществ за ротацию севооборота дают перспективу регулирования плодородия почвы (повышения или поддержания его на определенном уровне), позволяют агроному творчески подходить к использованию земельных ресурсов.

В данном случае приходится также пользоваться коэффициентами распределения питательных веществ по годам (обычно берется не более трех лет). Эти коэффициенты (табл. 6.2) являются производными от коэффициентов использования питательных веществ из удобрений. В сумме за 3 года величина каждого элемента питания выражается как 100%.

Таблица 6.2

Примерные коэффициенты распределения питательных веществ удобрений и азота пожнивно-корневых остатков бобовых культур (в %)

Год действия удобрений	Органические удобрения			Минеральные удобрения			Азот пожнивно-корневых остатков бобовых культур
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1-й	40	65	80	100	55	70	50
2-й	40	25	20	-	30	30	30
3-й	20	10	-	-	15	-	20
Всего	100	100	100	100	100	100	100

Рассмотрим данный метод определения доз минеральных удобрений на планируемый урожай картофеля в 20 т с 1 га при тех же условиях его выращивания, как и в предыдущих методах.

Показатели	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Вынос питательных веществ с планируемым урожаем (в кг)	120	40	160
Баланс питательных веществ за севооборот (в % от выноса)	130	200	120
или коэффициенты выноса (в %)	75	50	85
С учетом поправок на баланс или на коэффициенты выноса требуется всего питательных веществ удобрений на планируемый урожай (в кг на 1 га)	$\frac{120 \cdot 130}{100} = 156$	80	192
	или		
	$\frac{120 \cdot 100}{75} = 160$	80	188
(При обоих способах поправок получены практически одинаковые результаты)			
Последствие пожнивно-корневых остатков многолетних трав (в них содержится на 1 га около 120 кг азота) (в кг)	36	-	-
Последствие минеральных удобрений (N50P80K80) (см. табл. 6.2) (в кг)	-	24	24
Действие 30 т органических удобрений (N90P45K120) в 1-й год (см. табл. 6.2) (в кг)	36	29	96
Требуется питательных веществ за счет мине-			

ральных удобрений (в кг) $156-72=84$ $80-53=27$ $192-120=72$

Коэффициенты распределения в 1-й год (в %) 100 55 70

С учетом коэффициентов распределения

следует внести с минеральными удобре-

ниями (в кг на 1 га) $\frac{84 \cdot 100}{100} = 84$ $\frac{27 \cdot 100}{55} = 50$ $\frac{72 \cdot 100}{70} = 103$

При низкой обеспеченности минеральными и органическими удобрениями на почвах, богатых гумусом, а также в засушливой зоне (где эффективность минеральных удобрений очень низкая) балансы азота, фосфора и калия складываются иначе.

К каждому методу определения доз удобрений надо подходить творчески, а правильность установления доз под отдельные культуры в севообороте контролировать балансом питательных веществ за ротацию, который позволяет судить о возможном урожае и перспективе изменения почвенного плодородия.

ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать данным методом возможные дозы питательных веществ для внесения с минеральными удобрениями при формировании 28 т с 1 га урожайности картофеля на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве.

ТЕМА 7. Методика расчета коэффициентов использования доступных питательных веществ из почвы и удобрений

Многочисленными полевыми исследованиями установлено, что из доступного количества питательных веществ, содержащихся в почве, зерновые культуры используют ежегодно в среднем до 5-10% - фосфора, до 9-20% - калия и до 20-25% - легкогидролизуемого азота, при хорошем естественном увлажнении и орошении коэффициенты использования питательных веществ, как почвы, так и удобрений повышаются (табл. 4.1 - 4.3). Более точные коэффициенты выноса питательных веществ можно получить при проведении полевых опытов в каждой конкретной зоне, хозяйстве, почве, для определенной культуры, которые будут зависеть от условий увлажнения и уровня агротехники. В производственных условиях и

полевых опытах коэффициенты использования растениями NPK из почвы и удобрений можно определить, вычислив вынос питательных веществ с урожаем на участках той или иной культуры без внесения удобрений и при внесении удобрений. Расчет производится по формулам, которые выводятся из приведенного ранее баланса:

$$K_{\text{п}} = \frac{B_1 * Y * 100}{P_1 * K_{\text{м}}},$$

$$K_{\text{у}} = \frac{B_1 * Y * 100}{D},$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент использования питательного элемента из почвы, %;

$B_1 * Y$ – вынос питательного вещества с урожаем на участке без удобрений, кг/га;

$P_1 * K_{\text{м}}$ - содержание питательного вещества в почве (показатель картограммы, умноженный на 30), кг/га;

$K_{\text{у}}$ – коэффициент использования питательного вещества из внесенного удобрения, %;

$B_1 * Y$ – вынос питательных веществ с прибавкой урожая, где Y - прибавка урожая от внесенных в опыте удобрений (при расчете $K_{\text{у}}$);

D – доза действующего вещества элемента питания, внесенного с удобрениями, кг/га.

Коэффициент выноса питательных веществ из почвы ($K_{\text{п}}$ представляет из себя отношение вынесенного с урожаем одного из элементов питательных веществ (кг/га) к количеству содержащихся доступных питательных веществ в пахотном горизонте почвы (кг/га), выраженное в процентах.

Коэффициент выноса питательных веществ из удобрений ($K_{\text{у}}$) представляет из себя отношение количества питательных веществ, вынесенных с полученной прибавкой урожая от внесенного действующего вещества удобрения (кг/га) к количеству внесенной дозы удобрений в кг/га действующего вещества, выраженное в процентах. Поскольку в справочной литературе рецептов для всех частных случаев, отдельных хозяйств, полей и культур получить невозможно, подобные расчеты позволяют уточнить величины коэффициентов выноса питательных веществ и на этом основании делать более обоснованные расчеты доз удобрений в условиях хозяйства.

Пользуясь приведенными выше материалами, можно рассчитать по уровню эффективного плодородия почвы потенциальные возможности ее ДВУ без внесения удобрений. Расчеты можно проводить по формуле, выведенной из баланса, приведенного ранее, в числителе которой количество доступных растениям питательных веществ в пахотном горизонте почвы:

$$П1 * Км * Кп, \text{ кг/га},$$

в знаменателе – вынос питательных веществ каждой единицей продукции, $B1$, кг/т.

$$У = \frac{П1 * Км * Кп}{B1 * 10},$$

где $У$ (ДВУ) – урожайность потенциальная или действительно возможная по содержанию доступных элементов минерального питания, т/га. Пользуясь этой методикой, можно прогнозировать и ожидаемую прибавку урожая от внесенных в почву минеральных и органических удобрений с учетом коэффициентов использования питательных веществ из внесенных удобрений и выноса питательных веществ на 1 т продукции.

Пример расчета урожайности ячменя. Согласно материалам картограммы содержание элементов питания в почве (в мг/1000 г почвы): азота - 70, фосфора - 120, калия - 160. Пересчитаем эти показатели в кг на 1 гектар пахотного слоя путем умножения на коэффициент 3, получим: азота - 210, фосфора - 360, калия - 480 кг/га, из которых растениями будет использовано: азота - 25%, фосфора - 7%, калия - 13%, или соответственно 52,5; 25,2 и 62,4 кг. Для формирования 1 т зерна ячменя и соответствующего количества побочной продукции требуется: азота - 25 кг, фосфора - 11, калия - 22. Поделив количество питательных веществ, выносимых из почвы, на эти показатели, получим уровень урожайности по азоту - $52,5:25=2,1$ т/га; по фосфору – $25,2:11=2,3$ т/га и по калию – $62,4:22=2,8$ т/га. В соответствии с законом минимума уровень урожайности может быть в данном случае 2,1 т/га.

ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать по уровню эффективного плодородия почвы ДВУ ячменя, при содержании элементов питания в почве (в мг/1000 г почвы): азота - 90, фосфора - 180, калия - 210.

ТЕМА 8. Приемы оптимизации плодородия почв

На основании экспериментальных материалов научно-исследовательских учреждений в стационарных опытах с удобрениями в Географической сети были даны рекомендации по применению методики оптимизации плодородия почвы по агрохимическим и агрофизическим показателям на планируемую высокую ее продуктивность. Показатели плодородия почвы являются оптимальными в том случае, если они обеспечивают формирование высокого планируемого урожая и качества продукции всех культур севооборота, а оптимальные параметры должны соответствовать биологическим требованиям всех культур севооборота и способствовать реализации их потенциальной продуктивности (В.Г. Минеев, 1990). Оптимизация плодородия предусматривает учет агрофизических, агрохимических и физико-химических свойств почвы:

Агрофизические свойства: учитывается пахотный слой, см; плотность почвы, г/см³; пористость общая, %; влажность, % от массы; водопрочные агрегаты 0,25 мм, %.

Агрохимические и физико-химические – гумус, % и т/га; азот, % и т/га; фосфор подвижный, мг/кг почвы; калий обменный, мг/кг почвы. По данным В.Г. Минеева (1990), для черноземов обыкновенных эти показатели должны соответствовать следующим параметрам:

1. Агрофизические свойства почвы:

- а) пахотный слой, см – 35;
- б) плотность, г/см³ – 1,10;
- в) пористость общая, % - 59;
- г) влагоемкость, % от массы – 30;
- д) водопрочные агрегаты 0,25 мм, % - 60.

2. Агрохимические и физико-химические свойства почвы:

- а) гумус, % - 7,0, т/га – 270;
- б) азот, % - 0,30, т/га – 12,0;
- в) фосфор подвижный, мг/кг почвы – 200;
- г) калий обменный, мг/кг почвы – 350.

В Республике Татарстан наибольшее распространение в общей площади сельскохозяйственных угодий получили черноземы, занимающие площадь 1739,1 тыс. га или 39,8%. Основное количество черноземов 1472,5 тыс. га распространены в районах Закамья. В западной части Закамья распространены в основном выщелоченные черноземы, а юго-восточная часть Закамья, расположенная на Бугульминской возвышенности, представлена преимущественно типичными и карбонатными черноземами. В Предволжье черноземы занимают 254,4 тыс. га, значительные площади занимают оподзоленные и выщелоченные черноземы, в небольшом количестве типичные и карбонатные. В Предкамье Татарстана черноземы занимают лишь 12,2 тыс. га.

Второе место по распространению в почвенном покрове сельскохозяйственных угодий республики занимают серые лесные почвы. Их площадь составляет 1616,7 тыс. га или 37%. В Предкамье они занимают около 58,2% (818,2 тыс. га) площади сельскохозяйственных угодий. Светло – серым лесным почвам принадлежит первое место по распространенности. Темно – серые почвы в Предкамье составляют незначительный процент и встречаются по шлейфам склонов или над луговыми террасами рек. В Предволжье серые лесные почвы занимают 262,4 тыс. га или 41,2% от общей площади сельскохозяйственных угодий. В северной ее части преобладают преимущественно серые и темно – серые лесные почвы. В Закамье серые лесные почвы занимают 536,1 тыс. га или 23% и представлены в основном темно – серыми почвами.

Дерново-подзолистые почвы занимают 6,6% (292,1 тыс. га) от общего состава почвенного покрова сельскохозяйственных угодий республики и основная масса, а именно 258,6 тыс. га, находится в Предкамье.

Оценка почвенного покрова невозможна без наблюдений за динамикой содержания гумуса. В составе гумуса концентрируются более 90% почвенного азота, значительное количество фосфора, кальция, калия, микроэлементов и поэтому с повышением гумусированности почвы способность ее обеспечивать растений элементами минерального питания, как правило, возрастает. Благодаря наличию функциональных групп, гуминовые кислоты обладают высокой поглотительной способностью по отношению к катионам. Образуя с ними устойчивые соединения, они предохраняют от вымывания такие элементы, как кальций, магний, калий, а также обеспечивают проявление важного свойства почвы – ее буферной способности (Авдонин, 1965; Минеев, 1990). Учитывая многоплановые

функции гумуса, необходимо решение вопроса его оптимизации в почве. Гумусное состояние почв находится в равновесии с экономическими условиями, но при распашке почв и использовании их под посевами сельскохозяйственных культур эти условия в значительной мере изменяются. Почва утрачивает основные черты гумусообразования целинных земель, минерализация гумуса начинает преобладать над их образованием. Отмечается устойчивое нарастание отрицательного баланса гумуса на пахотных землях (на склонах от 2 до 5° потеря плодородной почвы с 1 га, в среднем, составляет 8 – 10 т, в зоне Предкамья и Предволжья 20 – 22 т/га, вместе с ней потеря гумуса в пахотном слое составляет 300 – 400 кг). В целом по РТ, за последние 40 лет содержание гумуса в пахотном слое снизилось на 0,8% (с 5,7% в 1970 г. до 4,9% в 2010 г.). По данным агрохимического обследования почв ФГУ «ЦАС «Татарский» и ФГУ «САС «Альметьевская», 567,5 тыс. га пашни (13%) имеют очень низкое содержание гумуса, 1039,5 тыс. га (23,8%) – низкое, 791,5 тыс. га (18,1%) – среднее, 645,7 тыс. га (14,8%) – повышенное, и всего 402,8 тыс. га (9,2%) – высокое. В среднем за первое десятилетие XXI века степень восполнения выноса NPK с урожаем составила лишь 80-88%, в том числе по азоту – 65-70%, по фосфору – 60-63% и по калию лишь 40-43%. Значительной проблемой остается несбалансированность минерального питания.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные методы и методики расчета доз удобрений?
2. Основные законы земледелия и растениеводства, которые следует учитывать при программировании урожаев и оценке обеспеченности посевов факторами внешней среды и реализация их на практике за счет применения соответствующих элементов технологии возделывания полевых культур.
3. Каковы принципы построения балансовой формулы (приходная и расходная часть) по элементам питания?
4. Существующие методики расчета доз минеральных удобрений с учетом уровня урожайности и плодородия почвы.
5. В чем особенности методики расчета доз минеральных удобрений при внесении органических удобрений?

6. В чем сущность методики расчета доз минеральных удобрений без применения расчетных формул?
7. Выведите формулы для расчета: а) доз удобрений; б) уровня урожайности по эффективному плодородию; в) коэффициентов выноса питательных веществ из почвы и удобрений.
8. Какова методика расчета уровня урожайности в зависимости от эффективного плодородия почвы?
9. Какова методика расчета коэффициента выноса питательных веществ из почвы и удобрений?
10. Каковы особенности методики расчета и внесения минеральных удобрений под многолетние травы?
11. По каким агрофизическим, агрохимическим свойствам почв осуществляется оптимизация плодородия почвы (по В.Г. Минееву)?
12. В чем сущность оптимизации плодородия почвы по содержанию в ней гумуса?
13. Фактическое состояние с внесением органических и минеральных удобрений за последние 40 лет в Республике Татарстан.
14. Дать анализ баланса по выносу питательных веществ и их возврату в почву в настоящее время.

Литература:

1. Алиев, Ш.А. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв Республики Татарстан /Ш.А. Алиев, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев. – Казань. Центр инновационных технологий, 2005. – 160 с.
2. Амиров, М.Ф. Программирование урожаев полевых культур /М.Ф. Амиров. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2018. – 140 с.
3. Зиганшин, А.А. Факторы запрограммированных урожаев /А.А. Зиганшин, Л.Р. Шарифуллин. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1974. – 176 с.
4. Каюмов, М.К. Справочник по программированию продуктивности полевых культур. – М., Россельхозиздат, 1982. – 288 с., ил.

5. Можаяев, Н.И. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур /Н.И. Можаяев, Н.А. Серикпаев, Г.Ж. Стыбаев. – Астана: Фолиант, 2013. – 160 с.
6. Минеев, В.Г. Химизация земледелия и природная среда / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1990. – 286 с.
7. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций. Ч. 1. Общие аспекты системы земледелия. – Казань: Центр инновационных технологий, 2014. – 168 с.
8. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожая (принципы АСУ ТП в земледелии) [Текст] / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.