



А.В.Клочков, доктор технических наук, профессор
Белорусская сельскохозяйственная академия

УДК 633/633:57.087.1+631.5

Биометрия растений и требования агротехники

Взаимосвязи между биометрией, агротехническими факторами и культурами были изучены учеными. Эти взаимосвязи были отражены на представленном графике в виде интегральных кривых с четырьмя ступенями. Полные требования к агротехнике могут быть приняты только после изучения всех тенденций развития взаимосвязей. Выбор рациональных подходов агротехники будет основываться исходя из затрат на выполняемые работы, а также их эффективности для растений.

Специфика прогрессивных сельскохозяйственных технологий заключается в необходимости максимальным образом соответствовать биологическим особенностям возделываемых культур с целью получения наибольшего урожая определенного качества. Выполняемые различными машинами отдельные элементы технологии также должны удовлетворять требованиям прогрессивной агротехники. Однако до настоящего времени не все требования агротехники и возможности машин соответствуют биологическим особенностям растений. Допуски на агротехнические показатели следует принимать с учетом степени их влияния на условия развития растений и урожай. В случае завышения требований к соответствующим машинам усложняется их конструкция и снижается производительность. Известны и многие примеры определенной инерционности в системе взаимодействия "агрофактор-урожай". Например, на неравномерность высева семян по рядам существует допуск, который определяется коэффициентом вариации $\pm 3\%$. Однако установлено, что общее состояние посевов практически не изменяется при увеличении коэффициента вариации от 0 до 10% [1]. Только при дальнейшем повышении неравномерности распределения растений между рядами равномерность размещения растений по площади питания заметно ухудшается. На равномерность глубины вспашки определен допуск в 5%, в то же время 25-летние исследования по изучению глубины вспашки в пределах 20–30 см не выявили в условиях Беларуси достоверного изменения урожайности в севообороте сельскохозяйственных культур [2]. Однако приведенные примеры направлены не на обоснование возможности снижения уровня агротехники, а на необходимость реального учета требований растений к определенным параметрам технологии.

Научно-методическую базу для обоснованного назначения требований к параметрам выполняемых тех-

The interrelations between biometry, agrotechnics factors and crops have been expressed by researchers. These interrelations as an integral curve with four specific stages of influence of agrotechnical factors to crop yield have been shown by presented graphic.

The full requirements to agrotechnics can only be adopted after receiving all tendencies of the interrelations development. The choice of rational ways of agrotechnics will be based proceeding from both the expenses of the fulfilled work and their efficiency for plants.

нологических процессов обеспечивают методы биометрии. В широком смысле слова под биометрией понимается наука о статистическом анализе массовых явлений в биологии [3]. Закономерности развития растений являются одним из основных предметов изучения с использованием методов биометрии. Имеются многочисленные исследования по биометрическому анализу закономерностей развития растений с аналитическим описанием исследуемых взаимосвязей.

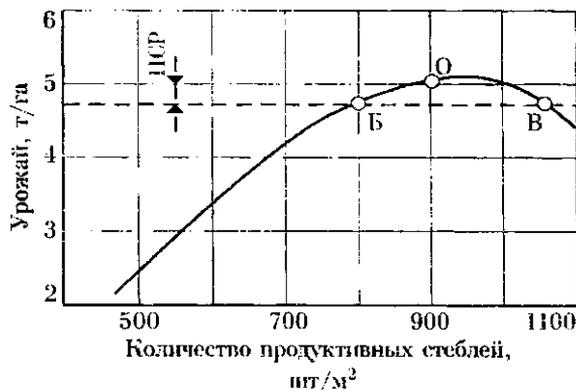


Рис. 1. Графический метод определения оптимальной нормы высева семян по экспериментальным данным.

Важными показателями агротехники являются характеристики посева или посадки сельскохозяйственных культур. К этим показателям относятся норма высева, глубина заделки семян, равномерность размещения по глубине и площади питания. Предложенный [4] графический метод определения оптимальной нормы высева зерновых культур в условиях Беларуси основывается (рис. 1) на учете наименьшей существенной разности (НСР) по отношению к максимальному значению продуктивности посевов. В приведенном примере в пределах точек "Б" и "В" формируется максимальная урожайность зерна при густоте продук-

тивных стеблей 800–1000 шт./м². Однако использование НСР для определения допустимых границ отклонения анализируемого показателя от оптимума требует накопления значительного статистического материала и проще задаться 5%-ным уровнем возможного отклонения, при котором чаще всего определяется НСР в агрономических исследованиях.

Существование определенного оптимума в густоте размещения растений прослеживается и на примере капусты /5/. Исследования влияния площади питания на урожай позволили установить аналитическую зависимость, графическое описание которой выражено параболой:

$$Y = 160,8 + 5600S - 11029S^2,$$

где S – площадь питания, кв.м;

Y – урожайность, ц/га.

Отклонения фактических значений урожая от расчетных при допущении параболической зависимости составляют только 0,1–7,2% (среднее 3,38%). Это говорит о достаточно высокой степени соответствия параболы закономерности взаимосвязи исследуемых показателей в рассматриваемом диапазоне.

Исследования оптимальной структуры высокопродуктивных посевов яровой пшеницы /6/ проводились с изменением расстояния между растениями в рядке от 1,5 до 10 см. Без орошения относительное увеличение урожая обеспечивается при расстоянии между растениями 2–3 см. В условиях орошения заметный максимум наблюдается при расстоянии между растениями 5 см. Рассмотренный пример иллюстрирует влияние условий возделывания на степень действия агротехнического фактора по смещению зоны оптимума урожая и изменению вида описывающей кривой.

Важным показателем качества посева является

глубина заделки семян и ее стабильность. Существующими агротребованиями на стабильность глубины заделки семян предусмотрено, чтобы отклонение более 15 мм от средней глубины посева не превышало 20%. Зависимости полевой всхожести (ПВ) и процента ослабленных растений (ОР) от глубины посева (построена по данным Чемберса) довольно полно описываются интегральными кривыми (рис.2). Этому способствуют довольно широкие пределы изменения фактора глубины посева. Сопоставляя данные обоих показателей, можно установить, что вначале более интенсивно увеличивается количество ослабленных растений, приводящее затем к снижению полевой всхожести. При повышенной глубине заделки полевая всхожесть уменьшается, но среди взшедших растений количество ослабленных несколько снижается. На графике изменения количества ослабленных растений отчетливо проявляются все стадии интегральной кривой и ее можно использовать для оценки фактора глубины посева. Показатель полевой всхожести в функции изменения глубины посева является более инерционным. Многие исследования подтверждают необходимость стабильной глубины заделки семян на уровне 2–4 см, хотя существующие сеялки с анкерными и двухдисковыми сошниками заделывают в слое 3–5 см только 56–68% семян /1/. Поэтому актуальны конструктивные и технологические решения для повышения стабильности заделки семян по глубине.

Продуктивность растений в значительной степени зависит от соблюдения сроков посева. Существует графический способ определения сроков посева и глубины заделки семян с учетом влагообеспеченности почвы /7/. Данный подход основан на графическом анализе верхней части кривой, построенной в координатах “влажность почвы – сроки посева”. В качестве

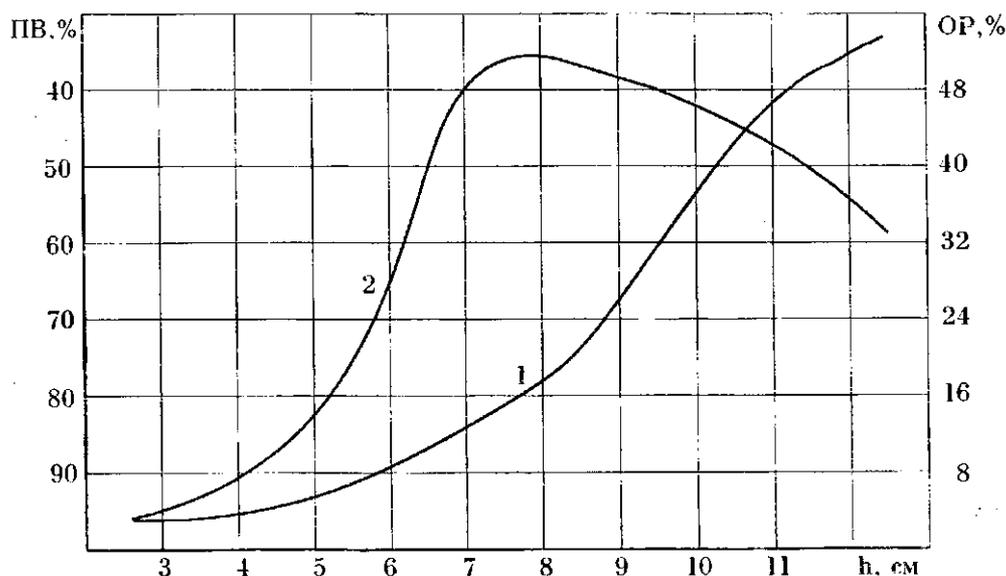


Рис.2. Влияние глубины посева h на полевую всхожесть ПВ (1) и количество ослабленных растений ОР (2) озимой пшеницы.

дополнительного фактора учитывается температура почвы, величина которой оказывает влияние на растянутость периода всходов. Однако данный подход теряет свою актуальность в условиях зон достаточного и избыточного увлажнения. Представляют методический интерес данные по влиянию сроков посева на урожайность озимой пшеницы [1]. Различные сроки начала работ приводят (рис.3) к плоскопараллельному сдвигу исходной кривой, полученной при оптимальной дате T_0 начала сева. Если задаться допустимыми потерями урожая 2% и начать сев в оптимальную дату, то закончить его необходимо не позднее 9 дней. Более раннее начало сева ($T-5$) позволяет расширить

сроки его проведения без существенного снижения урожайности. В данном случае возможна постановка задачи поиска обоснованного компромисса между сроками посева и его качественными показателями. Компромиссное решение должно обеспечивать наименьшую степень отрицательного влияния на величину будущего урожая при минимуме затрат.

Складывающиеся почвенные условия также определенным образом влияют на развитие растений и величину урожая. Увеличение активного объема почвы, приходящегося на одно растение картофеля, связано с приростом урожайности непропорциональной зависимостью. Она может быть описана интегральной

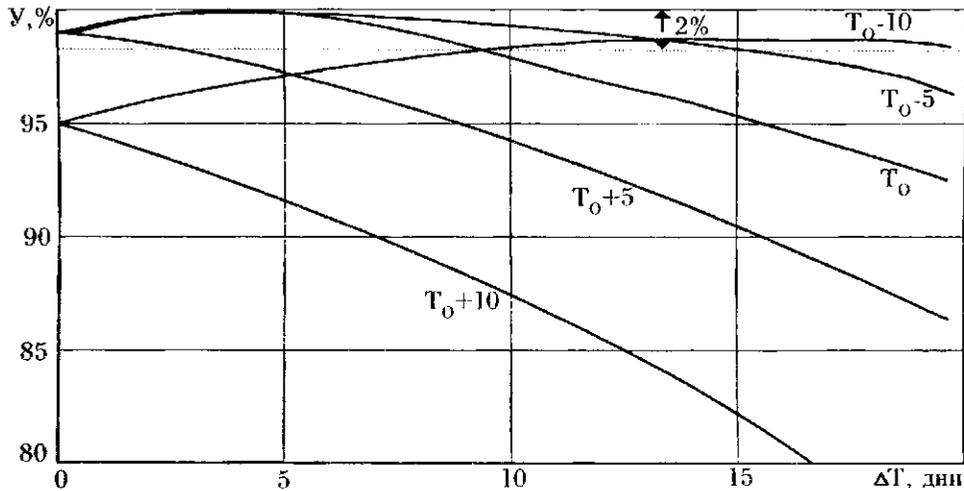


Рис.3. Зависимость урожайности Y озимой пшеницы от растянутости ΔT сроков сева (T_0 — оптимальная дата начала сева).

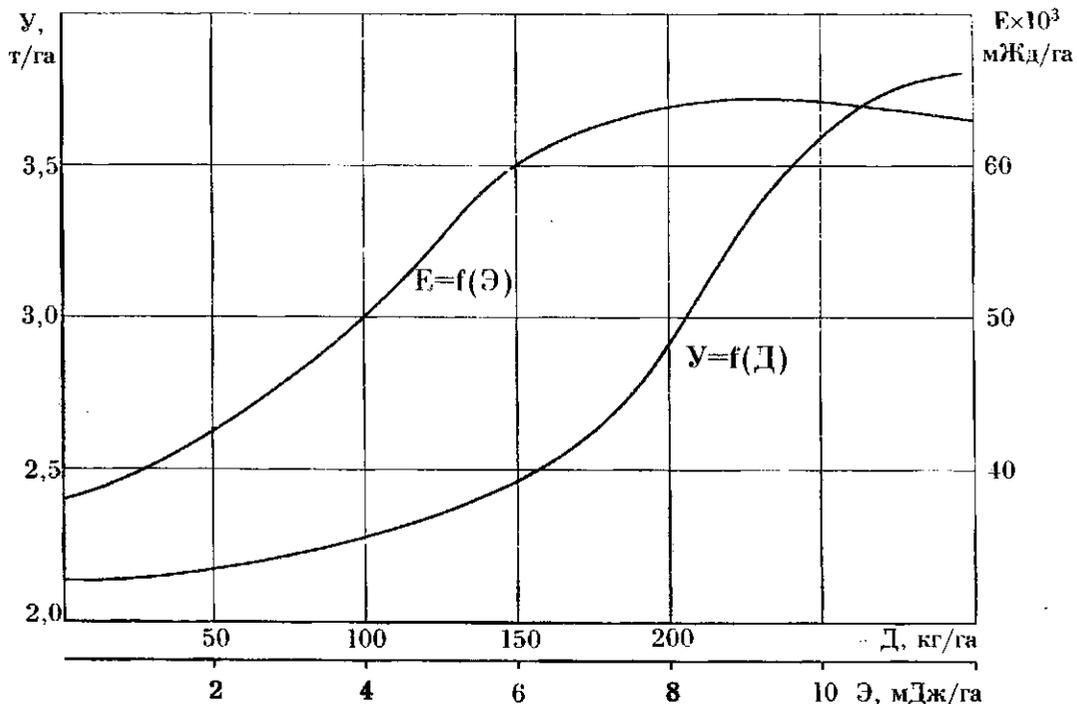


Рис.4. Зависимость урожая озимой ржи Y и его энергетической ценности E от дозы внесения D и энергозатрат удобрений \mathcal{E} .

кривой с интенсивным приростом урожая при увеличении активного объема почвы от 360 до 420 куб. см /8/. Можно считать указанную взаимосвязь существенной, а показатель активного объема почвы – комплексной характеристикой размеров клубнеобитаемого слоя.

Существенная роль удобрений в комплексе агротехнических мероприятий подтверждается многочисленными примерами. Наиболее четко характер интегральной зависимости прослеживается при сопоставлении энергозатрат и полученной энергии урожая. Исследования /9/ зависимости урожайности озимой ржи от уровня минерального питания позволили подсчитать и энергетические характеристики данной взаимосвязи (рис.4). Сопоставлены величины доз удобрений по действующему веществу “Д” и масса урожая “У”, а также их энергетические эквиваленты “Э” и “Е”. Обе зависимости описываются характерными интегральными кривыми, имеющими вначале вогнутый участок, затем близкий к пропорциональному и заканчиваются по выпуклой кривой. Окончание стадии интенсивного прироста урожая обычно совпадает с уровнем предельно допустимой концентрации нитратов в получаемой продукции.

Все большую актуальность приобретают экологические аспекты сельскохозяйственных технологий. Проследим характер влияния биологической токсичности почвы на развитие растений яровой пшеницы по результатам точных лабораторных опытов /10/. Биологическая токсичность является функцией количества спор гриба-ингибитора. С увеличением количества спор масса растений снижалась с постоянной закономерностью по обратной интегральной кривой для верхнего, среднего и нижнего пределов полученных данных. В качестве графического описания отрицательного влияния развития парши яблони на массу плодов /11/ использована логистическая кривая (рис.5). При этом развитие парши до уровня 5% не может считаться порогом вредоносности. Только достигнув значения 10–15 %, фактор начинает существенно влиять на массу пораженных плодов.

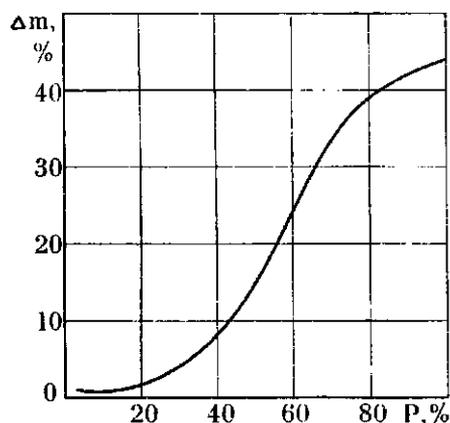


Рис.5. Зависимость потери массы плодов яблони Δm от степени развития на них парши p.

Можно привести другие многочисленные примеры, в которых характер влияния фотосинтетически активной радиации, почвенной влаги, доз внесения пестицидов и других факторов агротехники описывается различными вариантами интегральной кривой. В итоге общая закономерность роста растений также в общем виде наиболее полно характеризуется интегральной кривой. Обобщая результаты проведенного анализа, можно отметить, что во всех случаях следует считать основополагающим принципом имеющихся описаний закон убывающей отдачи. В соответствии с этим законом при увеличении равными приращениями одного фактора производства и неизменном объеме использования других факторов общий продукт будет увеличиваться, но начиная с определенной точки размер этого увеличения будет становиться все меньше. Математическое выражение данной взаимосвязи имеет вид:

$$Y = f(X_1 / X_2, \dots, X_n),$$

где Y – общий продукт;
 X_1 – переменный фактор;
 X_2, X_n – другие факторы системы.

Среди множества количественных моделей развития растений наиболее применима логистическая функция, выражаемая уравнением Ферхюльста. Графической интерпретацией исследуемой функции развития растений является закон интегральной кривой, который академик В.П.Горячкин характеризовал как общую схему явлений. В соответствии с этой схемой всякое явление может начаться только под действием положительного ускорения по вогнутой кривой и заканчиваться под действием отрицательного ускорения по выпуклой кривой. В середине явление может развиваться по инерции, приближаясь к прямой линии. Данное описание характера протекания процессов применимо не только к закономерностям развития растений, но и ко многим явлениям изменения одних величин под влиянием других.

Рассматривая графическое изображение типичной интегральной кривой применительно к факторам агротехники, можно выделить четыре стадии развития процесса (рис.6, линия 1). Стадия 1 характеризуется неадекватным приростом измеряемого показателя Y с увеличением исследуемого фактора X. Поэтому стадия 1 может рассматриваться как экстенсивный уровень агротехнического показателя X по влиянию на Y. Однако длительность стадии 1 оказывает существенное влияние на дальнейшее развитие взаимосвязи и является показателем динамики процесса. Линии 2 и 3 имеют отличную от линии 1 степень интенсивности роста на стадии 1. Это приводит к смещению зоны максимальных значений и изменению масштабных границ других стадий. Рассматривая в качестве основного оценочного показателя величину урожая или ее составляющие, необходимо совершенствовать приемы агротехники, добиваясь сокращения длитель-

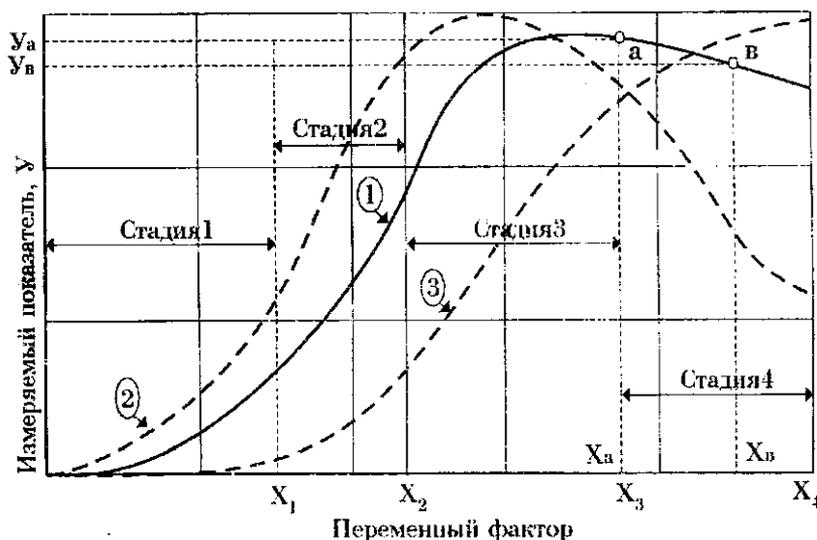


Рис.6. Общая схема влияния факторов агротехники на показатели растений (1 – исходная интегральная кривая; 2,3 – изменение соотношения отдельных стадий).

ности стадии 1. Последующая стадия 2 определяет участок пропорционального увеличения результатов действия исследуемого фактора X . Этот этап может рассматриваться как зона интенсивного развития технологии с желательным достижением показателя X_2 . Дальнейшее увеличение переменного фактора X приводит к переводу взаимосвязи в стадию 3, где прирост влияния существенно замедляется. Для получения максимального значения измеряемого показателя Y часто требуется неадекватно большое увеличение X от X_3 до X_4 . После достижения зоны оптимума в силу различных причин обычно наступает снижение итогового оценочного показателя Y .

Интенсивность изменения исследуемых показателей и длительность отдельных стадий зависят от специфики рассматриваемых процессов. Для большинства агротехнических показателей при достаточно высоком технологическом уровне наибольший интерес представляет верхняя часть интегральной кривой в пределах стадий 3–4. В ряде случаев она описывается уравнением параболы. При этом практическая задача по определению целесообразных значений технологического фактора X требует обычно поиска компромисса между затратами и их результатом. Для поиска этого компромисса можно воспользоваться известным в теории векторной оптимизации принципом абсолютной или относительной справедливой уступки.

Принцип справедливой абсолютной уступки состоит в том, что справедливым считается такой компромисс, при котором суммарный абсолютный уровень снижения одного или нескольких критериев не превосходит абсолютного уровня повышения других критериев. Для точек "а" и "в" (рис.6), принадлежащих кривой 1, величина суммарной абсолютной уступки при переходе от точки "в" к точке "а" составит:

$$A = (X_a + Y_a) - (X_b + Y_b).$$

Оптимальным будет такое решение, которое обеспечивает $A < 0$ при переходе в любую соседнюю точку.

Принцип справедливой относительной уступки гласит, что справедливым является такой компромисс, при котором относительный уровень снижения одного или нескольких локальных критериев не превосходит суммарного относительного уровня повышения эффективности по остальным критериям. Применительно к рассматриваемым точкам "а" и "в" величина суммарной относительной уступки определяется:

$$C = \frac{X_a - X_b}{X_b} + \frac{Y_a - Y_b}{Y_b}$$

Лучшему решению соответствует максимум "С". Важным преимуществом критерия относительной уступки является то, что он инвариантен к масштабу измерений анализируемых показателей. Так, для примера с определением оптимальной нормы высева (рис.1) в рассматриваемом диапазоне точек "Б", "О", "В" по принципу относительной уступки точка "О" дает лучшее решение, чем точка "Б", но вариант точки "В" предпочтительнее точки "О".

Выводы

Исследования биометрии растений по факторам агротехники приводят к выводу о существовании общей закономерности в характере их взаимосвязи с урожаем. Графическим выражением данной взаимосвязи является интегральная кривая с характерными четырьмя стадиями влияния агротехнических показателей на урожай или его составляющие. Требования агротехники могут быть обоснованно назначены только после изучения полной картины развития взаимосвязи. Последующий выбор рациональных значений

факторов агротехники может быть основан на ограничении уровня отклонения от максимальной продуктивности или поиске компромиссного варианта между затратами на выполнение технологических операций и окупаемостью урожая.

Литература

1. Хоменко М.С. и др. Механизация посева зерновых культур и трав: Справочник М.С.Хоменко, В.А.Зырянов, В.А.Насонов. Киев: Урожай, 1989. – 166 с.
2. Вострухин Н.П. Основные результаты 25-летних исследований по изучению способов и глубины основной обработки дерново-подзолистой суглинистой почвы в севообороте.// Пути повышения урожайности полевых культур: Межвед. темат. сб./БелНИИЗ. – Мн., 1983. – Вып.14. – С.94–105.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.:Высшая школа, 1980, – 293 с., ил.
4. Мухаметов Э.М. Корреляционные связи урожайности с элементами структуры урожая и агроэкологическими факторами.// Вопросы интенсификации растениеводства: сб. науч. тр./БСХА. Горки. 1992. – С.5–9.
5. Никитина Л.В. Площадь питания и урожайность белокачанной капусты Белорусская 85.// Биология и агротехника сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр./БСХА.

Горки. 1970. – Т. 64. – С.30–34.

6. Устенко Ю.Г., Карпова Е.А. Об оптимальной структуре высокопродуктивных посевов яровой пшеницы.// Биологические основы растениеводства: сб. статей/ Волгогр. с.-х. ин-т. Волгоград. 1974. – Т. 54. – С.16–22.

7. Программирование урожаев. Постановка и обоснование проблемы. Труды Волгоградского СХИ. – Волгоград. 1971. – Т. 36. – 574 с.

8. Лехтвезр Р.В., Нугис Э.Ю. К вопросу о принципах оценки физического состояния почв в связи с механическим воздействием.// Изменение физико-механических и технологических свойств почв в результате механического воздействия мобильных технических средств на почву. Таллин, 1982. – С.15–16.

9. Путырский Н.В., Путырская Е.М. Урожайность зерна озимой ржи в зависимости от уровня минерального питания.// Вопросы интенсификации растениеводства/ БСХА. Горки. 1992. – С.15–17.

10. Веденяпина Н.С., Мамина Г.А. Влияние биологической токсичности почвы на рост растений.// Биологические основы растениеводства./Волгогр. с.-х. ин-т. Волгоград. 1974. – Т. 54. – С.156–159.

11. Калснич Ф.С., Нескоруженый В.Ф. Математическое моделирование влияния парши яблоки на массу плодов.// Вестник с.-х. науки, 1985. – N 8. – С.75–79.