

НОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ БОЧКИ ДОБЕНЕКА

В.А. РАДОВНЯ, кандидат сельскохозяйственных наук
ORCID ID: 0000-0002-1681-0118, E-mail: wladrad@tut.by

УО «БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»,
Г. ГОРКИ, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

Аннотация. Бочка Добенека длительное время являлась моделью Закона минимума Либиха. В последние годы Закон минимума получил существенное развитие, соответственно, требуется провести усовершенствование бочки Добенека. Главным недостатком модели «бочка Добенека», является то, что она слишком механистична и статична, поэтому не учитывает адаптивные качества растений. Нами предложено новое изображение бочки Добенека: внесены дополнительные элементы ([сучок], [щель] [кран]), в дополнение длины клёпки введен параметр её ширины, клёпки получили фасонную (криволинейную) форму. Модель стала динамической. Каждый элемент модели получил экологическое обоснование: вода – урожай растения (посева), бочка – посев растений в границах агроэкосистемы, клёпки – доступные для растений ресурсы, обручи – регуляторные экологические механизмы экосистемы, щели и сучки – стрессы, вызванные неоптимальным соотношением или количеством факторов среды, кран – отчуждение части урожая с поля. В новой модели использована естественная способность древесины разбухать (взаимодействовать с водой), что позволяет бочке «самостоятельно заделывать» имеющиеся щели и выпавшие сучки и изменять размер клёпок в зависимости от текущей обеспеченности ресурсами. Таким образом, модель предполагает активную адаптацию растений к условиям произрастания. Площадь клёпки характеризует количество доступных для растения факторов жизни за период его вегетации, поэтому обусловлена двумя компонентами – генетической и экологической. Лимитирующими факторами в новой модели являются: наименьшая ширина клёпки (количество доступного фактора жизни), щель (неоптимальное соотношение факторов жизни), выпавший сучок (избыточное давление нескольких факторов или недостаток одного фактора). Новая бочка Добенека поясняет ряд законов земледелия и ориентирована в первую очередь на использование в учебном процессе. Кроме того, новая модель может использоваться для теоретических исследований – обосновывать существующие понятия и вводить новые, выступать в качестве самостоятельного объекта исследований.

Ключевые слова: Бочка Добенека, модель растения, Закон минимума Либиха, парадигма лимитирующих факторов, законы земледелия, стресс.

Для цитирования: Радовня В.А. Новая интерпретация бочки Добенека. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2025; 1(53):111-120. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-1-111-120

A NEW INTERPRETATION OF THE DOBENEK BARREL

V.A. Radovnya

EDUCATIONAL INSTITUTION «BELARUSIAN STATE AGRICULTURAL ACADEMY»,
Gorki, Republic of Belarus

Abstract: Dobenek Barrel has long been a model of the Liebig's Law of the Minimum. In recent years, the Minimum Law has been significantly developed, and accordingly, it is necessary to improve Dobenek Barrel. The main disadvantage of the Dobenek Barrel model is that it is too mechanical and static, therefore it does not take into account the adaptive qualities of plants. We

have suggested a new image of Dobenek Barrel: additional elements have been introduced ([knot], [gap] [tap]), in addition to the length of the rivet, the parameter of its width has been introduced, the rivets have received a shaped (curvilinear) form. The model became dynamic. Each element of the model received an ecological justification: water is the plant's harvest (crop), a barrel is the crop of plants within the boundaries of an agroecosystem, rivets are resources available to plants, hoops are regulatory ecological mechanisms of the ecosystem, cracks and knots are stresses caused by a non-optimal ratio or quantity of environmental factors, a tap is the alienation of part of the crop from the field. The new model uses the natural ability of wood to swell (interact with water), which allows the barrel to “self-seal” existing cracks and fallen knots and change the size of the rivets depending on the current resource availability. Thus, the model assumes active adaptation of plants to growing conditions. The area of the stave characterizes the number of life factors available to the plant during its vegetation period, therefore it is determined by two components - genetic and ecological. The limiting factors in the new model are: the smallest width of the riveting (the amount of available life factor), the gap (non-optimal ratio of life factors), the fallen knot (excessive pressure of several factors or a deficiency of one factor). The new Dobenek Barrel explains a number of agricultural laws and is primarily aimed at use in the educational process. In addition, the new model can be used for theoretical research - to substantiate existing concepts and introduce new ones, and act as an independent object of research.

Keywords: Dobenek Barrel, plant model, Liebig's Law of the Minimum, limiting factors paradigm, laws of agriculture, stress.

Бочка Добенека, являющаяся графической моделью Закона минимума (рис. 1), широко используется в образовательном процессе и научной работе. Модель отражает пропорциональный рост урожая при наличии факторов роста и выход на плато (прекращение роста) при наличии лимитирующего фактора. Однако, данная модель хорошо описывает только интенсивность протекания отдельных физиологических процессов (фотосинтез, дыхание) или рост одноклеточных организмов (водоросли), но мало применима для моделирования продукционных процессов у растений.

С момента своего появления и до настоящего времени в научной литературе имеется мнение, что парадигма лимитирующих факторов (Закон минимума) игнорирует большую гибкость растений в плане морфологической и физиологической адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды и требует пересмотра [1].

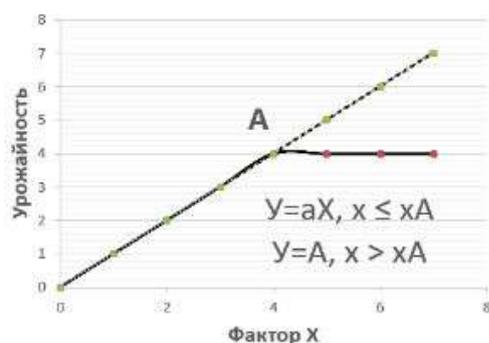


Рис. 1. Упрощенная модель формирования урожая в соответствии с Законом минимума

Вместе с тем, сторонники Закона минимума считают, что крайне неправильным упрощать Закон минимума до строгой линейной формы. Ещё Ю.Либих указывал на ограничение роста, но не полное его прекращение.

Согласно А.Gorban [2] недавно для Закона минимума была создана сильная математическая основа. В настоящее время теория лимитирующих факторов вместе со статическим и динамическим ограничением в химической кинетике рассматривается как реализация деквантования Маслова и идемпотентного анализа. Автор в своих работах по математическому обоснованию Закона минимума ввёл условное понятие «адаптационной

энергии», или «энергия адаптации Селье», подразумевая под ней внутренний ресурс, затрачиваемый растениями для своей адаптации. И уже однофакторно-ресурсные модели адаптации (по Либиху) привели к Закону толерантности.

Ранее мы пришли к выводам, что бочка Добенека в настоящее время не соответствует современным взглядам на Закон минимума, но в силу художественной выразительности обладает огромным образовательным эффектом [3]. В данной работе мы попытались усовершенствовать бочку Добенека для её применения в образовательном процессе и научной работе.

Главным недостатком модели «бочка Добенека», является то, что она слишком механистична и статична, поэтому не учитывает адаптивные качества растений. В современном виде она отражает три возможных состояния системы – накопление урожая при наличии факторов жизни, прекращение роста урожая при наличии лимитирующего фактора, потенциальный размер урожая при оптимальном значении факторов роста.

Совершенно очевидно, что усовершенствованная бочка Добенека должна базироваться не только на Законе минимума, но и на других законах земледелия и растениеводства. Только в таком случае она может стать адекватной моделью растения. В связи с этим в своей работе мы поставили следующие задачи:

1) новая модель должна быть динамической и отражать динамику формирования урожая;

2) новая модель должна быть более сложной, и, в отличие от существующей, учитывать взаимодействие факторов жизни и адаптивные свойства растений.

Основная часть

Бочка Добенека за время своего существования прошла определенный генезис и её современное изображение (рис. 2) несколько отличается от первоначально предложенного Добенека. Новыми принципиальными элементами бочки являются: [капли воды, падающие в бочку], [незавершенный верхний обруч], [клепки без надписей].

Нами предложено новое изображение бочки Добенека (рис. 3). При этом полностью сохранена структура первоначальной модели, внесены лишь некоторые дополнительные элементы ([сучок], [щель] [кран]). В дополнение длины клёпки введен параметр её ширины, а сами клёпки получили фасонную (криволинейную) форму. Это позволило существенно расширить взаимосвязи между элементами, но главное, модель стала динамической, т.е. отображает динамику накопления урожая с течением времени.

В новой модели использована естественная способность древесины разбухать (взаимодействовать с водой), что позволяет бочке «самостоятельно заделывать» образовавшиеся щели и выпавшие сучки.



Рис. 2. Бочка Добенека в современном виде (оригинальный рисунок в соответствии с [4])



Рис. 3. Новое изображение бочки Добенека (авторский рисунок)

Рассмотрим подробнее структуру и связи модели растений «бочка Добенека» в новой интерпретации (рис. 4).

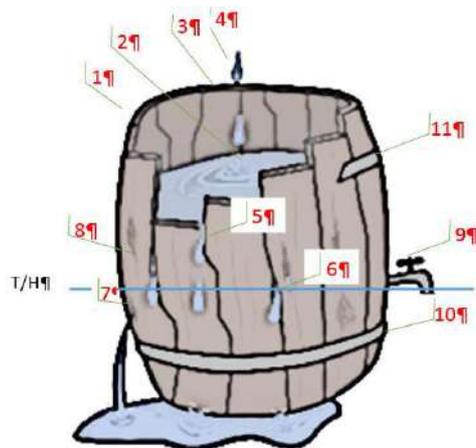


Рис. 4. Структура модели «бочка Добенека» в новой интерпретации

Обозначение	Элемент	Описание
1	Бочка, наполненная водой	ниша культурных растений в агроценозе, продуктивность посевов, ограниченная доступными факторами жизни
2	Вода в бочке	биологический урожай – масса сухого вещества растений (надземная и подземная), ещё более точно – содержание энергии в биомассе. Уровень воды в бочке связан со стадией развития и параметром времени
3.	Клёпка бочки	факторы жизни растений (в расширенном понимании), которые растение может усвоить из агроэкосистемы (свет, тепло, вода, элементы минерального и воздушного питания)
4.	Капли воды, падающие в бочку	обозначение времени и динамичности протекающих процессов, а также символ, указывающий, что агроэкосистема является открытой
5.	Капли воды, вытекающие из бочки	символ энергии, которая не усвоена посевом (недополученный урожай ввиду абиотических и биотических стрессов). Сюда не входят прямые потери хозяйственного урожая (например, осыпание зерна при перестое)
6.	Щель между клёпками	стресс растений, обусловленный недостатком факторов жизни, частично компенсирующих друг друга
7.	Выпавший сучок	стресс растений, обусловленный острым недостатком или избытком фактора жизни и малосвязанный с количеством других факторов жизни
8.	Невыпавший сучок	зона повышенной напряженности фактора жизни, возможный стресс
9.	Кран	символ агроэкосистемы, в которой проводится уборка урожая (отчуждение энергии из системы)
10.	Нижний обруч (сплошной)	символ регуляторных экологических механизмов, обеспечивающих стабильность экосистем
11.	Верхний обруч (разорван)	символ регуляторных экологических механизмов, обеспечивающих подвижность искусственных экосистем
T/N	Уровень распределения надземной (товарной и нетоварной) продукции и количества пожнивно-корневых остатков	

Свет, воду и другие ресурсы растения потребляют во взаимодействии с сорняками и микроорганизмами (конкуренция или в симбиоз), поэтому нужно отличать количество ресурсов, входящее в агросистему, и количество ресурсов, доступное для культурных растений.

Поэтому в новой модели бочка – это не столько сама агроэкосистема, сколько ниша культурных растений в агроэкосистеме (по В.И. Вернадскому агроэкосистема - единство среды и населяющих ее организмов). Это границы, в пределах которых реализуется продукционный процесс растений: превращение поступающей энергии солнца в энергию химических связей органического вещества и формирование биологического урожая (вода в бочке).

Падающие в бочку капли – параметр времени. Они, наподобие песчинок в песочных часах, отображают динамичность процесса. Одновременно падающие капли символизируют возможность поступления в систему энергии и вещества (система – открытая), которая в данной системе преобразуется в урожай.

Клѐпки бочки, формирующие границы агроэкосистемы, это параметры факторов жизни растений (в расширенном составе): интенсивность и спектральный состав света, температура воздуха, влажность почвы и воздуха, содержание доступных элементов питания, кислотность почвы, освещенность культурных растений и др.

В упрощенном виде, вода в бочке – это посев растений (биомасса), занимающий центральное место в агросистеме, в расширенном – энергия, накопленная посевом. Культурные растения – это основной элемент в агроценозе, преобразующий солнечную энергию в органическое вещество, используемое гетеротрофными организмами. Растения в своём росте ограничены параметрами внешней среды, как вода в бочке. Чем больше объем бочки (площадь клѐпок), тем больше воды может в ней поместиться.

Площадь клѐпки характеризует количество доступных ресурсов за период вегетации растения (ценоза). Но при этом параметр длины клѐпки характеризует потенциальное количество доступных ресурсов (среднегодовое выпадение осадков или содержание элементов питания в почве) и связан с продолжительностью вегетации (стадией развития). Параметр ширины клѐпки следует понимать, как наличие ресурса, доступного для растения в текущий момент времени. Таким образом, в связи с тем, что модель является динамической (развивающейся во времени) параметры клѐпки над уровнем воды (длина и ширина) изменяются в соответствии с погодными условиями.

Недостаток доступного ресурса означает сокращение ширины клѐпки бочки. При этом согласно Закону компенсации (взаимозаменяемости) факторов жизни Э. Рюбеля дефицит ресурса может быть частично компенсирован другим ресурсом, имеющимся в достаточном количестве – ширина соседней клѐпки увеличится. Однако в соответствии с Законом незаменимости фундаментальных факторов В.Р. Вильямса полное отсутствие фундаментальных экологических факторов не может быть полностью компенсировано другими факторами. Следовательно, существует некий минимальный уровень каждого фактора, который не может быть компенсирован другими, т.е. имеется минимальная по ширине клѐпка.

Различная конфигурация клѐпок бочки (соответственно, и объем бочки) обусловлена двумя компонентами:

а) генетическая: видовые и сортовые особенности растений, их различия по требованиям к факторам жизни в различные периоды вегетации, стрессоустойчивость и адаптивность;

б) экологическая: количество ресурсов (факторов жизни) и соотношение между ними в различные периоды роста растений, их влияние на активность почвенной микрофлоры, как важный параметр доступности элементов питания, влияние вредных организмов, токсинов и загрязняющих веществ на количество и доступность факторов жизни.

В новой интерпретации бочки лимитирующий фактор описывается, главным образом, не длиной, а шириной клѐпки, что снижает эмоциональное восприятие. Поэтому в новой

модели сохранены короткие клёпки, которые обозначают прекращение роста культурного растения при отсутствии доступных ресурсов только на завершающих этапах развития (обычно – это тепло и свет).

Отметим, что количество доступных ресурсов может определяться генетическими факторами. Например, естественное созревание зерновых культур в середине лета: даже при наличии всех факторов жизни их потребление снижается в связи с прекращением ассимиляционных процессов.

Верхний и нижний обручи бочки символизируют организованность биосферы или гомеостаз по В.И. Вернадскому, наличие регуляторных экологических механизмов, обеспечивающих стабильность экосистем (нижний обруч), но допускающих определенную их подвижность (верхний обруч).

Форма и конусность бочки является важным параметром новой модели, т.к. показывает направление роста:

– активный рост (прямая конусность бочки) означает активный вегетативный роста при увеличивающемся поступлении факторов жизни (например, к началу лета увеличивается поступление тепла, за счет этого усиливается минерализация гумуса);

– ограниченный рост (прямая или обратная конусность бочки) наблюдается при ограничении поступления одного или нескольких факторов жизни и адаптации растений к ним. Это ведёт к снижению доступности факторов жизни (например, снизилось поступление воды → почвенные элементы питания стали менее доступными → растение реутилизировало азот из старых листьев и сократило листовую поверхность → уменьшилось потребление света и транспирация воды).

Уровень воды в бочке обозначает стадию жизни (стадию развития) растения. Обычно она связана с суммой активных температур (соответствует площади клёпки «тепло» до уровня воды) и пропорциональна продолжительности вегетации. На вегетативной стадии развития стресс обычно приводит к ускорению развития при небольшом объеме биомассы. В модели это соответствует повышению уровня воды за счет обратной конусности бочки (растение адаптируется к условиям среды, лимитирующий фактор компенсируется за счет других). В дальнейшем увеличение прихода факторов жизни будет способствовать активизации продукционных процессов (переход к прямой конусности бочки), но растение, уже адаптированное к росту в условиях дефицита факторов жизни, не сможет реализовать полный потенциал продуктивности. Такое поведение модели новой бочки Добенека полностью соответствует закону критических периодов в жизни растений.

В условиях острого стресса (заморозок при прорастании семян, тепловой стресс в репродуктивной фазе, обработка физиологически активным агентом и др.) продукционные процессы резко замедляются, растение не растет, не развивается, либо, напротив, резко переходит к завершающим фазам развития. Для обозначения такой ситуации в модель введен элемент «выпавший сучок», который ограничивает уровень воды в бочке. С течением времени (капли падают в бочку) давление стрессового фактора прекращается или растение адаптируется к стрессу – отверстие от сучка заделывается, но длина клёпки фактически уменьшается на размер сучка - растение сокращает период активной вегетации и «недобирает» потенциальный урожай.

Наименьшую по высоте клепку бочки (в классическом виде – лимитирующий фактор) следует рассматривать как частный случай такого резко наступившего стресса, к которому растение не смогло адаптироваться.

Невыпавший сучок – это зона повышенной напряженности фактора жизни, критические периоды роста и развития растений, когда растения наиболее уязвимы к стрессовым явлениям.

Новая модель допускает рост растения при небольшом дефиците доступных ресурсов – когда оно находится на стадии адаптации, не способно потребить полностью имеющиеся ресурсы в связи с чем интенсивность продукционных процессов снижается. Для обозначения такой ситуации подходит щель между клепками – факторами жизни, которая хорошо

отображает форму протекания стресса, вызванного недостатком того или иного фактора, и последующей адаптации растений с учетом использования других факторов жизни (некоторого замещения или сокращения потребления).

Таким образом, небольшому количеству фактора жизни (доступного ресурса) соответствуют узкая клёпка (лимитирующий фактор) и искривление соседних клёпок. Это означает, что растение адаптировано к имеющемуся объёму ресурсов. Если ресурсов имеется недостаточно, а растение ещё не адаптировалось, получается щель, если ресурсы имеются в избытке – ширина бочки увеличится до некоего редела, определенного генетическими возможностями и экологическими условиями (ширина клёпки). Если давление фактора увеличится сверх пределов, из бочки выскочат имеющиеся сучки – растения окажутся в состоянии стресса.

В новой интерпретации бочки по устоявшейся традиции мы также не приводим наименования клёпок. Заметно, что в новой модели большое значение придается взаимодействию и совместному влиянию факторов жизни на формирование урожая, и не правильно было бы считать, что факторы жизни взаимодействуют только попарно как соседние клёпки бочки. Отсутствие надписей на клёпках бочки означает, что они в соответствии с Законом совокупного действия Митчерлиха взаимодействуют и действуют на урожай совместно, компенсация одного фактора жизни также осуществляется совместно.

В то же время при изображении конкретных ситуаций (с указанием исходных данных) мы считаем возможным приводить надписи: либо только на одной клёпке (острый стресс), либо также и на соседних клёпках – главных 2-3 сублимитирующих факторах жизни (хронический стресс).

Высота установки крана на бочке обозначает границу (уровень Т/Н) между урожаем, отчуждаемым с поля, и урожаем, оставляемым на поле (количеством пожнивно-корневых остатков). Энергия и вещество, содержащиеся в нетоварной части биологического урожая частично теряются из агроэкосистемы (испарение и газообразные потери, вымывание), но в преобладающем количестве они используются микробиотой в почвообразовательных процессах (выветривание, минерализация органического вещества или накопление гумуса, азотфиксация), или переходит в труднодоступные соединения.

На начальных этапах роста растения уровень Т/Н отображает распределение между надземной и подземной биомассой, что также является важным параметром, характеризующим доступность воды, минеральных элементов питания, или света и CO₂.

Обсуждение

Принятое допущение, что клёпки бочки могут самостоятельно изменять свою форму и заделывать появляющиеся сучки и щели, помогло максимально реализовать потенциал, заложенный в бочку Добенека. Теперь бочку Добенека можно рассматривать как полноценную систему, состоящую из отдельных взаимодействующих элементов и динамически изменяющуюся во времени.

Новую бочку Добенека уже сложно назвать аналоговой моделью, первоначально предложенную А.Добенеком. Скорее это абстрактная графическая модель - конструкция, призванная визуализировать возможные сценарии роста и развития растений при различных уровнях обеспеченности ресурсами. Такая абстрактная модель может быть полезна для целостной оценки «поведения урожая» (протекания продукционных процессов) в изменяющихся условиях.

Например, в соответствии с Законом активности растения обладают определенной степенью активности в потреблении, поиске и подготовке факторов жизни. Факторы жизни для растений являются не только ресурсами, они обладают также регуляторными функциями, т.к. способны индуцировать адаптивные реакции растений. В новой бочке Добенека это соответствует изменению конфигурации клёпок, стремлению их к увеличению своих размеров. Но происходит это в пределах оброчей - регуляторных экологических механизмов, которые сдерживают резкое увеличение доступности факторов. «Нормальное» состояние клёпок (достаточная обеспеченность ресурсами) в таком случае предполагает

наличие некоего повышенного давления между клёпками (возможно, внешние или внутренние запасы доступных ресурсов) и в таком состоянии достигается максимальная интенсивность продукционных процессов. В случае отсутствия такого давления между клёпками появится щель, потребуются некие ресурсы, чтобы её устранить (возможно, энергия адаптации по А.Gorban). Чрезмерное поступление ресурса, когда он из доступного превращается в избыточный, напротив, увеличит давление и приведет к стрессу – сучки выскочат. Но сучки могут также выпасть и при избыточном давлении других клёпок (антогонизм, несбалансированное развитие), или резком сужении клёпки (стресс от минимального количества ресурса – заморозок, влияние гербицидов и других физиологически активных веществ).

Таким образом, анализ модели заставляет использовать новые понятия (доступные и избыточные ресурсы, внутренние запасы доступных ресурсов) и соотношения (давление факторов жизни), необходимые для проведения ресурсного моделирования. Появляются существенные различия между понятиями «фактор жизни» и «ресурс», которые в экологической и агрономической литературе обычно используются в качестве синонимов. Становится заметным огромное значение в моделях растений энергии адаптации и влияния различных видов стресса. Выявляются различия между понятиями «продолжительность вегетации» и продолжительность активной вегетации», когда растения не находятся в фазе острого стресса. И главное, появляется новый уровень лимитирования урожая – регуляторные экологические механизмы (обручи). Следует отметить, что данные направления до настоящего времени не нашли широкого изучения в агрономической науке.

Можно утверждать, что новая бочка Добенека теперь базируется на *гипотезе множественных ограничений*, которая утверждает, что растения адаптируются к условиям окружающей среды таким образом, что они одновременно ограничены несколькими ресурсами. Однако модель допускает ситуации острого стресса, когда в соответствии с её классическим видом рост урожая определяется только одним фактором (ресурсом) в соответствии с *Законом минимума Либиха*.

Нужно сказать, что современные исследования по сравнению данных моделей ограничений растительных ресурсов не смогли однозначно выявить преимущества той или иной модели лимитирования [5, 6].

Новая бочка Добенека даёт понять, что если в полевых условиях (т.е. семена высеяны в почву, где имеется определенный запас элементов питания и влаги) дефицит ресурса обнаруживается на ранней (вегетативной) стадии роста, следует ожидать ограничение роста по модели множественных ограничений. В таком случае растение адаптируется и «реализует экономичную программу роста» с максимальным перераспределением ресурсов.

Жесткое лимитирование по Закону минимума – остановка роста и его возобновление только в случае дополнительного прихода ресурса, более вероятны на завершающих стадиях развития, когда адаптационный потенциал растений ограничен. Либо в случае, если адаптационный потенциал снижается ввиду прямого повреждения растений (вредители, болезни).

Следовательно, при оценке лимитирующих факторов важным методологическим вопросом является *определение начальной точки лимитирования*. Например, можно ли однозначно утверждать, что урожайность лимитировалась исключительно дефицитом воды в период налива зерна, или она была также связана с сильным развитием корневых гнилей или неоптимальным соотношением надземной массы и корней, обусловленными высокой влажностью и доступностью азота в стадию вегетативного роста.

Проявление множественных ограничений можно рассматривать в качестве частного случая Закона минимума, наблюдаемого на стадии роста после адаптации растений. Парадокс Закона минимума [2], утверждает, что в случае ограничения роста по Закону минимума после адаптации многие факторы (максимально возможное их количество) становятся одинаково важными. Заметно, что такое состояние организма, лимитированного в

своём росте несколькими факторами, вполне соответствует модели множественных ограничений.

Заключение

Новая модель «бочка Добенека» позволяет не только прогнозировать возможное поведение системы (посева растений) при конструировании агротехнологий, но и обосновывать существующие и вводить новые понятия, т.е. изучать теоретические вопросы земледелия.

Бочка Добенека может выступать в качестве самостоятельного объекта изучения. Каждый из её элементов обладает многими свойствами и может рассматриваться в качестве подсистемы, имеющей свою структуру и связи.

Несмотря на простоту новая модель «бочка Добенека» обладает всеми блоками современных моделей растений: блок роста при оптимальных условиях, блок адаптации при наличии лимитирующих факторов, блок потерь урожая при различного типа стрессовых ситуациях, учет влияние корней на формирование урожая. Возможно, она будет полезна для разработки принципиально новых структур ресурсных моделей.

Вместе с тем, новая бочка Добенека ориентирована в первую очередь на использование в учебном процессе. На её примере имеется возможность пояснять ряд законов земледелия, что поможет показать студентам целостную картину проблематики формирования урожая и сформировать у них биологическое системное мышление.

Ресурсный подход, реализованный в бочке Добенека, остаётся наиболее приемлемым для практического применения в агрономической работе. Ведь главной задачей специалиста по-прежнему является управление ресурсами (оптимизация их использования), а целью – максимальное наполнение зерном бочек (т.е. современных силосных хранилищ). И наиболее важным является то, что в новой бочке Добенека сохранена эмоциональность. Как и прежде, рисунок побуждает зрителя починить бочку, чтобы увеличить объем воды в ней. Но в отличие от оригинала, где предполагается поиск «проблемной» клёпки и её замена, зритель обращает внимание на необходимость точной подгонки клёпок между собой, а также на множество щелей и сучков, появление которых нужно избегать, или оперативно их заделывать, не ожидая «автокоррекции». Если старая бочка Добенека ориентировала специалистов скорее на увеличение использования ресурсов, то новая бочка предполагает точное управление ресурсами.

Литература

1. Lemaire G., Tang L., Bélanger G. Forward new paradigms for crop mineral nutrition and fertilization towards sustainable agriculture // *European Journal of Agronomy*, 2021. - Volume 125. - Pp. 126 -148. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126248
2. Gorban A., Pokidysheva L., Smirnova E. Law of the Minimum Paradoxes // *Bulletin of mathematical biology*. - 2010. - № 11. DOI: 10.1007/s11538-010-9597-1.
3. Радовня В.А. «Бочка Добенека» как модель растения. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2024. – № 3 (51). – С. 58-69. DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-58- 69.
4. Закон ограничивающего фактора [Электронный ресурс]. – Википедия. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B3%D0%BE_%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0. – Дата доступа: 25.01.2023.
5. Sinclair T. R., Park W. I. Inadequacy of the Liebig Limiting-Factor Paradigm for Explaining Varying Crop Yields // *Agron. J.*, 1993. - №85: - P. 742-746. DOI:10.2134/agronj1993.00021962008500030040x
6. Tang J., Riley W.J. Finding Liebig ' s law of the minimum // *Ecological*, 2021. - № 31, (8). DOI:10.1002/eap.2458

References

1. Lemaire G., Tang L., Bélanger G. Forward new paradigms for crop mineral nutrition and fertilization towards sustainable agriculture. *European Journal of Agronomy*, 2021, V. 125, pp. 126-148. DOI: 10.1016/j.eja.2021.126248
2. Gorban A., Pokidysheva L., Smirnova E. Law of the Minimum Paradoxes. *Bulletin of mathematical biology*, 2010, no. 11. DOI: 10.1007/s11538-010-9597-1.
3. Radovnya V. A. Dobeneck barrel as a crop model. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2024, no. 3 (51), pp. 58-69. (in Russian) DOI: 10.24412/2309-348X-2024-3-58- 69.
4. The Law of the Limiting Factor [Electronic resource]. – Wikipedia. - Mode of access: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%BD_%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B5%D0%B3%D0%BE_%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0. – Date of access: 25.01.2023. (in Russian).
5. Sinclair T. R., Park W. I. Inadequacy of the Liebig Limiting-Factor Paradigm for Explaining Varying Crop Yields. *Agron. J.*, 1993, no.85, pp. 742-746. DOI:10.2134/agronj1993.00021962008500030040x
6. Tang J., Riley W.J. Finding Liebig' s law of the minimum. *Ecological*, 2021, no. 31, (8). DOI:10.1002/eap.2458