

УДК 631.1/.5/.8/.95

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ В АГРОНОМИИ

Сутягин В.П., Тюлин В.А.

ФГБОУ ВО «Тверская государственная сельскохозяйственная академия», Тверь,
e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru

На основании наших многолетних исследований в Московской и Тверской областях, а также фундаментальных исследований отечественных и зарубежных учёных предлагаются основополагающие принципы формирования устойчивой продуктивности агрофитоценозов, их индикаторы и критерии. Агроэкологический принцип позиционирует структуру посевных площадей, которая выступает индикатором устойчивой продуктивности агрофитоценозов, а критериями – продуктивность севооборотов. Принцип относительности действия факторов жизни растений показывает совокупное единство среды и населяющих её организмов. Индикатором принципа относительности является эффект совокупного действия факторов, а критерием – количество биомассы на единицу площади и/или численность особей в популяции. Технологический принцип определяется применением различных агроприёмов возделывания культур в севооборотах. Индикатором системы обработки почвы можно использовать интенсивность обработки, а критерием – эффективность её применения. Биологический принцип предполагает использовать особенности сельскохозяйственных культур активно влиять на внешние факторы роста и развития агрофитоценоза. Возделывание культур «эдикаторов» в качестве предшественников позволяет их урожайность использовать в качестве индикаторов устойчивости агрофитоценозов, а её величину в качестве критерия устойчивости. Агроэнергетический принцип отражает часть малого биологического круговорота веществ и энергии в природе. Индикаторами агроэнергетического принципа следует признать прямые кумулятивные затраты, косвенные кумулятивные затраты и косвенные технологические затраты, а критериями – коэффициент энергетической эффективности, коэффициент использования энергии почвы и коэффициент полезного действия агроэкосистемы. Адаптивно-ландшафтный принцип реализуется через создание адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Индикаторами агроландшафтного принципа является пространственная вариабельность характеристик ландшафта, а критерии – направленность геохимических потоков питательных веществ, энергии и информации.

Ключевые слова: севооборот, фитоценоз, минеральные удобрения, многолетние травы, ячмень, сорные растения, фосфорные удобрения, калийные удобрения, агроэкологический принцип, Принцип относительности действия факторов жизни растений, Фитоценологический принцип, Технологический принцип, Биологический принцип, Адаптивно-ландшафтный принцип, урожай культур, агроценоз, бобовый компонент, клевер, структура посевных площадей

PRINCIPLES OF FORMING SUSTAINABLE PRODUCTIVITY IN AGRONOMY

Sutyagin V.P., Tyulin V.A.

Tver State Agricultural Academy, Tver, e-mail: sutiagin.victor2011@yandex.ru

Based on our many years of research in the Moscow and Tver regions, as well as fundamental studies of domestic and foreign scientists, the basic principles for the formation of sustainable productivity of agrophytocenosis, their indicators and criteria are proposed. The agroecological principle positions the structure of sown areas, which is an indicator of the sustainable productivity of agrophytocenosis, and the criteria are the productivity of crop rotation. The principle of the relativity of the action of plant life factors shows the cumulative unity of the environment and the organisms that inhabit it. The indicator of the principle of relativity is the effect of the combined effect of factors, and criteria is the amount of biomass per unit area and / or the number of individuals in the population. The technological principle is determined by the use of various agricultural methods of crop cultivation in crop rotations. The intensity of processing can be used as an indicator of the soil treatment system, and the efficiency of its application is the criterion. The biological principle presupposes the use of the characteristics of agricultural crops to actively influence the external factors of growth and development of agrophytocenosis. The emergence of cultures of «edificators» as precursors allows their yield to be used as indicators of the stability of agrophytocenoses, and its magnitude as a criterion of stability. The agroenergetic principle reflects part of the small biological cycle of substances and energy in nature. Indicators of the agro-energy principle should recognize direct cumulative costs, indirect cumulative costs and indirect technological costs, and the criteria – the coefficient of energy efficiency, the coefficient of use of energy of the soil and the efficiency of the agroecosystem. Adaptive-landscape principle is realized through the creation of an adaptive landscape system of agriculture. Indicators agrolanshaftnogo principle is the spatial variability of the characteristics of the landscape, and the criteria – the focus of geochemical flows of nutrients, energy and information.

Keywords: crop rotation, phytocenosis, mineral fertilizers, perennial grasses, barley, weeds, phosphorus fertilizers, potassium fertilizers, Agroecological principle, the Principle of the relativity of the action of plant, Phytocenological principle, the technological principle, the biological principle, Adaptive-landscape principle, crop yield, agrocenosis, bean component, clover, structure of sown areas

В мировом общественном мнении наиболее устойчивым развитием сельскохозяйственного производства обладает адаптивное земледелие. Для решения вопросов

адаптивного земледелия и стабильного его функционирования необходимо применять системный подход, рассматривать сельскохозяйственное производство как полу-

автономную саморегулирующую систему. Совершенствование технологий следует проводить на основе оптимизации потоков энергии в агроэкосистемах. Использование при этом биолого-энергетического подхода позволит получать устойчивую продуктивность в агроценозах. Важной составляющей для устойчивого развития общества является повышение экологической эффективности сельскохозяйственного производства. Все принципы, рассматриваемые в нашей работе, реализуются не в каком-то конкретном элементе системы земледелия, а соотносятся в целом для агроэкосистемы как полувавтономной саморегулирующей системы.

Современное состояние сельскохозяйственного производства рекомендует системное изучение формирования устойчивой продуктивности в агрономии, которое позволит показать пути совершенствования технологий возделывания сельскохозяйственных культур в Центральном Нечерноземье.

1. *Агроэкологический принцип* реализуется через структуру посевных площадей для конкретных эдафических условий и севообороты, способные работать в режиме саморегуляции. Конечно, агрофитоценозы, в отличие от естественных фитоценозов, не могут работать в режиме полной саморегуляции. Поэтому необходимо разработать структуру посевных площадей и севообороты, функционирование которых максимально приближено к естественным фитоценозам. Они должны обеспечивать видовую насыщенность агрофитоценозов за счёт культур и их чередования, смешанных посевов, сортосмеси и др. Индикаторами агроэкологического принципа формирования устойчивой продуктивности являются структура посевных площадей, тип и вид севооборотов, а критериями – продуктивность севооборотов.

Своеобразный севооборот существовал до тех пор, пока не начался ощущаться дефицит в свободных площадях. На смену пришла паровая система земледелия. Другим примером могут служить данные Д.Н. Прянишникова о введении плодосмена в Западной Европе, что позволило повысить урожайность пшеницы с 7...8 до 25...30 ц/га [23]. Однако в «Предисловии» к трудам Д.Н. Прянишникова (1962) В.П. Сотников и И.И. Синягин уже упрекают его в преувеличении роли севооборотов, поскольку в это время уровень развития сельскохозяйственного производства позволял обозначенные автором причины необходимости севооборотов решать за счёт техногенного фактора [26]. В восьмидесятые годы прошлого столетия широко декларировалось введение

севооборотов, но применение органических и минеральных удобрений, мелиорация почв и использование химических средств борьбы с сорняками, вредителями и болезнями позволяли относиться к севообороту достаточно вольно, постоянно нарушая схему чередования культур. В настоящее время опять вернулись к проблеме севооборотов в связи с ограниченными возможностями техногенного поддержания плодородия почв и повышения продуктивности пашни.

Значение севооборота, как фактора стабильности земледелия, изменяется в зависимости от зоны и уровня развития конкретного хозяйства. А.М. Тулайков (1963) утверждал, что в чернозёмной зоне при урожайности пшеницы 15 ц/га севообороты не нужны. Повышение урожайности до 20...25 ц/га уже требует чередования культур [30].

Севооборот часто входит в противоречие с рынком. Начиная с 1917 года до 1990 года, сельскохозяйственное производство работало по государственным плановым заданиям, что серьёзно тормозило внедрение севооборотов. Низкая продуктивность пашни биологического земледелия сдерживает её распространение в странах Запада, где площади экологически чистого растениеводства составляют от 1...2 до 5...8% [6, 25].

С момента появления земледелия, как формы общественной деятельности, накоплено значительное количество материала о влиянии севооборотов на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур. В большинстве случаев отмечается положительное влияние чередования культур на плодородие почвы с одновременным повышением продуктивности пашни. Тем не менее, в большинстве случаев исследования севооборотов проводились с использованием высоких норм минеральных и органических удобрений, которые позволяли повышать их продуктивность и обеспечивали расширенное воспроизводство плодородия почвы.

В настоящее время при ограниченных возможностях использования удобрений и при нарушении границ землепользования многих хозяйств необходим другой подход к структуре посевных площадей и севооборотам. Одним из путей решения данной проблемы является внедрение севооборотов с короткой ротацией и включение многолетних бобовых трав, которые позволяют решить некоторые вопросы плодородия почв и фитосанитарного состояния посевов. Имеются многочисленные исследования о положительном влиянии многолетних бобовых трав на продуктивность пашни при сохранении плодородия почв.

Исследования в различных зонах Российской Федерации свидетельствуют о том, что не только севооборот как агроприём оказывает влияние на продуктивность пашни, засорённость, видовой состав сорняков, агрофизические свойства почвы, но и структура посевных площадей изменяет средообразование в системе, что приводит к изменению всех показателей вегетации сорных и культурных растений, плодородия почв, продуктивности пашни [5, 28].

Изучение баланса гумуса в различных ландшафтных условиях проводилось во ВНИИМЗ. На склонах холма, поступление в почву органического вещества в виде растительных остатков снижается, по сравнению с вершиной, на 8-10%. В то же время, коэффициент гумификации растительных остатков имеет тенденцию увеличения от вершины к подножию [17].

Количество оставляемого в почве азота в корневых остатках козлятника 5-го года жизни в отдельных случаях превышает 300 кг/га или в 3 раза больше, чем в корнях многолетней бобово-злаковой смеси той же продолжительности жизни. Помимо кормовой надземной массы растений козлятник накапливает большую корневую (подземную) массу, значительно превышающую надземную, т.е. доля корней и пожнивных остатков запаханых в почву составляет 74-80% от всей биомассы и до 300 кг/га азота [11].

2. *Принцип относительности действия факторов жизни растений* показывает совокупное единство среды и населяющих её организмов. Закон единства растений и среды Вернадского В.И. говорит о том, что жизнь развивается в результате постоянного обмена веществом и информацией на базе потоков энергии в совокупном единстве среды и населяющих ее организмов. Согласно правилу Вильямса В.Р., четыре основных экологических фактора: свет, тепло, питание и вода – являются равнозначными и незаменимыми (замещаемость существует лишь в некоторых пределах).

Закон компенсации факторов Рюбеля Э. Свидетельствует о том, что отсутствие или недостаток некоторых экологических факторов может быть компенсирован другим близким фактором. Например, недостаток света частично может быть компенсирован для растений обилием диоксида углерода. Увядание растений можно приостановить как увеличением количества влаги в почве, так и снижением температуры воздуха, что уменьшает испарение. В ряде случаев, климатические факторы могут быть замещены эдафическими. Сухость и теплота известковых почв замедляет более южный климат. Потребность растений в определенных фак-

торах жизни может быть уменьшена за счет взаимовлияния других факторов.

Закон совокупности действия факторов (закон эффективности факторов, закон совокупности действия), сформулированный Митчерлихом Э., Бауле Б., Тинеманом А. Говорит о том, что взаимосвязь экологических факторов и их взаимное усиление и ослабление определяют их воздействие на организм и успешность его жизни. При этом, важны не только воздействие извне, но и физиологическое состояние организма.

Закон неоднозначного (селективного) действия фактора на различные функции организма гласит, что любой экологический фактор неодинаково влияет на функции организма, оптимум для одних процессов – не есть оптимум для других.

Закон минимума Либиха Ю. Свидетельствует о том, что успешный рост и урожайность сельскохозяйственных культур зависят от веществ, находящихся в минимуме, по сравнению с другими агрохимическими необходимыми веществами.

По закону минимума Блэкмана Ф., факторы среды, имеющие в конкретных условиях наихудшие значения, особенно ограничивают возможность существования вида в данных условиях, вопреки и несмотря на оптимальное сочетание других отдельных условий.

С нашей точки зрения, в наибольшей степени лимитирующими рост и развитие растений являются те факторы почвенного плодородия, которые обуславливают наибольшие затраты энергии при развитии на этих почвах растений. Следует отметить, что для сельскохозяйственных культур в разные периоды их роста и развития ведущими являются разные экологические факторы (при прорастании – температура, в период колошения – количество влаги, во время созревания – количество питательных веществ в почве и т.д.). В каждый период жизни объекта будут и свои факторы, определяющие его развитие, в том числе и свойства почв.

По закону относительности действия лимитирующих факторов Лундегарда-Полетаева, форма кривой роста численности популяций (ее биомассы) зависит не только от одного вещества с минимальной концентрацией, но и от концентрации и свойств других ионов, имеющихся в среде. Следует отметить, что одни факторы являются ведущими, другие сопутствующими. Однако, для разных условий, объектов и фаз развития экологические факторы оказывают неодинаковое воздействие. При этом, ведущий фактор может стать сопутствующим, а стимулирующий – угнетающим.

Влияние экологических факторов изучалось во ВНИИМЗ на агроэкологической трансекте. Время и его сочетания с другими факторами определяет около 30% вариативности агрофона. Особенности растений в среднем меньше 10%, однако, по мере развития агроценозов их влияние на агрофон многократно возрастает. Растения являются основным фактором замедления темпов геологического круговорота веществ. Подбирая культуры и адаптивно размещая их посадки на конкретной территории можно управлять процессами производства продукции при изменении агрохимических свойств почв [8]. Индикатором принципа относительности является эффект совокупного действия факторов, а индикатором – величина биомассы на единицу площади и/или численность особей в популяции.

3. *Фитоценологический принцип* охватывает фитоценологические аспекты организации агрофитоценозов, акцентирует внимание на оптимуме и максимуме вида. Сорный компонент агрофитоценоза представляется как нежелательный, но обязательный элемент посевов сельскохозяйственных культур. Столь сложное отношение к сорным растениям вынуждает вести широко масштабные исследования по изучению их экологической приспособленности, биологических особенностей роста и развития, закономерностей взаимоотношений культурных и сорных растений. Критические фазы чувствительности являются индикатором устойчивости агрофитоценозов, а время совместного произрастания культурных и сорных растений в посевах является их критерием устойчивости.

Сельскохозяйственное производство само породило данную проблему. Например, до 90-тых годов прошлого столетия в производстве был сорт ячменя «Московский 121», который имел неплохие характеристики по энергии роста, облиственности, накоплению сырой надземной массы, и по нашим данным не уступал в конкурентной способности овсу. Пришедшие ему на смену интенсивные сорта ячменя «Абава», «Зазерский 85», имеют низкую облиственность, короткие стебли накапливают меньше, чем их предшественник, надземную массу, а, значит, менее конкурентоспособны по отношению к сорнякам и без помощи человека не способны к борьбе за выживание.

В агрофитоценозе чаще всего происходит взаимное влияние культурных и сорных растений, но в большинстве случаев отмечается заметное отрицательное воздействие сорняков на культурные растения своими растительными выделениями над-

земных органов и корней. Примеры положительного действия сорняков на культурные растения и культуры на сорные растения позволяют надеяться на создание устойчивых агрофитоценозов при незначительном (ниже критического уровня вредности) обилии сорных растений в посевах культур. Тем более, что в естественных фитоценозах концентрация физиологически активных веществ может значительно отличаться от условий опытных работ. Кроме того, одни и те же физиологически активные вещества при низкой концентрации выступают как стимуляторы роста, а при высокой концентрации проявляют ингибирующие свойства [22].

Сообщество сорных растений в течение определённых временных (достаточно продолжительных) периодов претерпевает существенные изменения. Связано это с изменением на протяжении определённых временных промежутков, условий произрастания растений (в т.ч. и сорных). В первую очередь это относится к почвенному покрову, который, являясь результатом взаимодействия всех компонентов ландшафта, трансформируется при изменении любого из них, антропогенная деятельность, изменение климатических условий и др.

Закон необходимости разнообразия утверждает, что система не может сформироваться из абсолютно одинаковых элементов или на принципе монополизма. Монокultura не обладает свойствами саморегуляции агрофитоценоза. Эффект группы состоит в том, что нормальное развитие многих видов возможно лишь при объединении их в различные группы. «Эффектом группы» называют улучшение физиологических процессов, ведущее к повышению устойчивости и жизнеспособности при совместном существовании. С биоразнообразием связаны и особенности сообществ, как надорганизменных систем: 1) сообщества всегда возникают из готовых частей – представителей различных видов или целых комплексов их, имеющих в окружающей среде; 2) части сообщества заменяемы: один вид (или комплекс видов) может занять место другого со сходными экологическими требованиями, без ущерба для системы; 3) сообщества существуют, в основном, за счет уравнивания противоположно направленных сил; 4) сообщества основаны на количественном регулировании одних видов другими; 5) размеры сообществ определяются внешними причинами, а предельные размеры организмов ограничены их внутренней наследственной программой. Приспособительные возможности у популяции гораздо выше, чем у слагающих ее индиви-

дуумов. Чем сложнее структура популяции, тем выше ее приспособительные возможности. Взаимовлияние популяций двух видов может быть нейтральным, положительным, нейтральным для одного и отрицательным для другого, положительным для одного и отрицательным для другого.

Многолетние травы являются высоко-эдификаторной культурой и снижают засоренность. Мозаичные травостои более адаптированы к различным условиям местообитаний. Созданные искусственно одно-, двух- и трехкомпонентные микроценозы, различающиеся по видовому и количественному составу, являются более сомкнутыми и высокопродуктивными по выходу кормовой массы и сырого протеина, что позволяет эффективнее использовать многолетние травы для борьбы с сорной растительностью и обогащения почвы органическим [10, 12]. Подбор компонентов в состав травосмесей определяется на основе ценотической активности видов. Она зависит от числа компонентов, режима использования, режима удобрений. В течение 6 лет в Тверской ГСХА изучались 7 травосмесей, с разным числом компонентов: доля участия бобового компонента 30-40%. В первые два года пользования имели преимущества в урожайности простые трехкомпонентные травосмеси 8,7 – 10,3 т с 1 га сухой массы [35].

Обсуждаемые материалы позволяют предложить количественное соотношение между компонентами агрофитоценозов в качестве индикаторов устойчивости агрофитоценозов, а критические и экономические пороги вредоносности в качестве критериев его устойчивого функционирования.

4. *Технологический принцип* определяется применением различных агроприемов возделывания культур в севооборотах, что особенно четко просматривается при применении удобрений, способах и глубине их заделки. Оптимизация глубины заделки удобрений позволит повысить эффективность их использования культурными растениями и снизить уровень засоренности посевов. Внесение минеральных удобрений и их позиционная доступность может использоваться в качестве индикатора устойчивости агрофитоценозов, а эффективность их использования – в качестве критерия устойчивости.

В Тверской ГСХА изучено изменение продуктивности многолетних трав в зависимости от травосмесей, доз и соотношений минеральных удобрений [39]. Для бобово-злаковых травостоев устойчивость бобового компонента определяется дифференцированным удобрением по укосам

и годам пользования. В условиях осушенной дерново-глеевой супесчаной почвы обеспечено максимальное использование биологической фиксации азота бобовыми. За счет этого урожайность бобово-злаковой травосмеси в первые два года пользования при внесении Р60К120 достигала 80-90 ц/га сухой массы в год. Внесение азотных удобрений оправдано только на третий год пользования [1].

Влияние минеральных удобрений на сорный компонент агрофитоценоза неоднозначен. Анализ научной литературы показывает и отрицательное и положительное их действие на обилие сорняков в посевах полевых культур, потому что в результате применения минеральных удобрений изменяются экологические условия в агрофитоценозе. Удобрения оказывают разнообразное и глубокое воздействие на весь комплекс факторов, определяющих характер и направленность видовых взаимоотношений. А.М. Туликов (1983) выделяет группу «элемент-позитивных» сорных растений, положительно реагирующих на увеличение в почве элементов питания, и группу «элемент-негативных» сорняков, которые резко снижают свою конкурентную способность по отношению к культурам при внесении минеральных удобрений [31].

Конкуренция компонентов агрофитоценоза за элементы питания – важный фактор его организации. Интенсивность их использования из минеральных удобрений можно менять, варьируя расположением удобрений относительно корня растений, создавая оптимальную их позиционную доступность. В изменении позиционной доступности минеральных удобрений существенную роль играет их способ заделки, который создаёт фон в различных слоях почвы и оказывает влияние на доступность для растений агроценоза. Причём, глубина обработки почвы не всегда соответствует глубине заделки удобрений.

Правило меры преобразования природных систем запрещает при их эксплуатации переходить некоторые пределы, за которыми теряется их способность к самоподдержанию (самоорганизации и саморегулированию). В наиболее уязвимых районах коренным преобразованием может быть охвачено не более 1% площади экосистем, находящихся в природно-естественном состоянии. Площадь коренным образом измененных экосистем в наиболее благоприятных условиях может достигать 40%, после чего ущерб резко возрастает [24].

Правило цепных реакций «жесткого» управления природой свидетельствует

о том, что создание объектов, меняющих природные процессы, ведет к природным цепным реакциям, значительная часть которых оказывается экологически, социально и экономически неприемлемыми в длительном интервале времени. Биосистема, попадая в экстремальные условия, упрощается, становится более «жесткой», у нее уменьшается число степеней свободы.

Гербициды являются одним из наиболее эффективных химических средств борьбы с сорняками. Многочисленные исследования показывают повышение устойчивости агрофитоценозов при их применении. Технология возделывания всех культур Нечернозёмной зоны имеет в своём составе отработанный способ применения гербицидов в посевах.

В научной литературе имеется большое количество сведений о роли обработки почвы в системе земледелия. Однако до сих пор не уточнены критерии техногенной нагрузки на различные типы почв, разных по гранулометрическому составу, гидрофизическим свойствам.

Жученко А.А. сообщает, что затраты на возобновляемой энергии в количестве 15 ГДж/га являются той границей, за которой ее дополнительное потребление представляет реальную опасность для окружающей среды. На обработку почвы приходится свыше 40 % энергетических затрат. Поэтому важнейшим фактором интенсификации земледелия должны стать энергосберегающие технологии [6].

Важнейшим звеном зональных систем земледелия являются более экономичные приёмы и технологии энергосберегающей обработки почвы. В условиях интенсивного земледелия они обеспечивают не только снижение энергетических и трудовых затрат, но и позволяют уменьшить воздействие на почву, защитить от эрозии и обеспечить расширенное воспроизводство плодородия почв.

В настоящее время системы обработки почвы для севооборотов разной специализации интенсивного земледелия разработаны с учётом зональных и почвенных условий, степени эродированности почв, биологических особенностей культур.

Для биологизированного экологического земледелия системы обработки почвы не утратят своего значения. Тем не менее, система обработки почвы при биологизации земледелия будет иметь некоторые отличия по своей функциональной нагрузке. Индикатором системы обработки почвы можно использовать интенсивность обработки, а критерием – эффективность её применения.

Общая задача заключается в том, чтобы создать благоприятные физические условия для возделывания растений и функционирования полезных почвенных организмов, сохранить и накопить влагу, удалить влагу в районах избыточного увлажнения, эффективно бороться с сорняками, вредителями и болезнями.

Критерием устойчивости формирования агрофитоценозов при обработке эрозионно-опасных почв следует признать степень смытости. Кочетов И.С. (1999) приводит результаты исследований, которые показывают влияние обработки почвы на склонах различной крутизны на смыв почвы [19].

Функции системы обработки почвы следующие: оптимизация физических и агрофизических свойств почвы, регулирование водного режима почв и агроландшафтов, борьба с водной и ветровой эрозией почв, регулирование баланса органического вещества почвы и ускорение круговорота веществ и энергии в агрофитоценозах, регулирование фитосанитарного состояния посевов, оптимизация позиционной доступности удобрений, создание оптимальных условий для посева и получения дружных всходов, энергосбережение и экономичность.

Технологический принцип определяется применением различных агроприёмов возделывания культур в севооборотах. Следовательно, интенсивность технологических приёмов можно использовать в качестве индикатора технологического принципа, а эффективность их – в качестве критерия устойчивости, что особенно чётко просматривается при применении удобрений, способах и глубине их заделки.

5. Биологический принцип предполагает использовать особенности сельскохозяйственных культур активно влиять на продуктивность пашни, фитосанитарное состояние посевов, плодородие почвы. Для Центрального Нечернозёмья на современном этапе развития сельскохозяйственного производства к ним следует отнести многолетние бобовые и бобово-злаковые смеси. Многолетние бобово-злаковые и бобовые культуры выступают не только источниками органического вещества, биологического азота (энергетические акцепторы), но и как растения-эдификаторы, влияющие на фитосанитарное состояние посевов, поражённость болезнями и вредителями и т.д. Биологический принцип создания устойчивости агрофитоценозов охватывает так же промежуточные культуры, сидеральные удобрения. Существенное влияние возделываемых культур в качестве предшественников и как растений эдификаторов позволяет урожайность культур использовать

в качестве индикаторов устойчивости агрофитоценозов, а её величину в качестве критерия устойчивости. Поскольку количество органического вещества, которое поступает в почву с растительными остатками, существенно влияет на показатели плодородия почвы, то пожнивно-корневые остатки можно использовать в качестве индикатора устойчивости агрофитоценозов, а их количество в качестве критерия устойчивости агрофитоценозов.

При создании устойчивых агроэкосистем необходимо учитывать биологические особенности и других сельскохозяйственных культур. Особенно важна оценка полевых культур по их отношению к климатическим условиям региона, отношению к свету, влагообеспеченности, физическим и агрофизическим свойствам почв, потребности к элементам питания, реакции почв, фитосанитарным условиям. При этом необходимо учитывать не только требования культур, но их взаимное влияние на выше названные факторы.

Особое внимание следует обратить на видовой состав экосистемы, совместимость отдельных видов, их пластичность и возможность создания многовидовых растительных сообществ.

К биологическим приемам воспроизводства плодородия почв следует отнести пожнивно-корневые или растительные остатки особенно многолетних бобово-злаковых трав, промежуточные культуры на корм или зелёное удобрение, сидеральные пары, солому злаковых и зернобобовых культур, органические удобрения. В последнее десятилетие в Центральном Нечерноземье биологическому направлению уделяется особое внимание по двум причинам. Во-первых, экономический кризис сельскохозяйственного производства привёл к недоступности для многих хозяйств использования техногенных средств повышения плодородия почв. Снижение поголовья скота резко сократило возможность применения органических удобрений.

В последние десятилетия активно обсуждается вопрос о необходимости использования биологических особенностей культур и травосмесей в системе земледелия для сохранения плодородия почвы, контроля обилия сорной растительности в посевах культур, стабилизации продуктивности пашни и т.д. В этой связи, особое внимание уделяется культурам, которые более интенсивно оказывают влияние на свойства почвы, обладают высокой конкурентной способностью по отношению к сорнякам, сдерживают размножение вредителей и болезней, оставляют большое количество

в почве энергетического материала в виде пожнивно-корневых остатков, усиливают микробиологическую активность почв и тому подобное. Их активная роль в биологическом круговороте веществ и энергии в агрофитоценозах выделяет их в группу отличных предшественников для остальных культур [28, 38].

Эффективность биологических источников воспроизводства плодородия почвы связана с их количественными и качественными показателями. Количество поступающего в почву органического вещества определяется рядом факторов: ботаническим составом фитомассы, технологией уборки, свойствами почвы, погодными условиями, и т. д. Их качественные параметры определяют скорость разложения и доступность элементов питания, количество поступающих элементов, качество обработки почвы, что определяет скорость малого биологического круговорота веществ и энергии в агрофитоценозах. Большинство учёных обращают внимание не на абсолютный химический состав биомассы, а на соотношение углерода к азоту, поскольку этот показатель в основном определяет качественные параметры биологических источников органического вещества. Широкое соотношение C:N вызывает необходимость внесения дополнительного количества [28]

Длительное использование многолетних трав не всегда способствуют повышению содержания гумуса в почве, а чаще стабилизируют его параметры на определённом уровне. Так, в исследованиях В.А. Тюлина [37], Ковалёва Н.Г., Иванова Д.А., Тюлина В.А. [18] установлено, что стабилизация органического вещества почвы наступает на четвёртый год использования многолетних трав. Кирюшин В.И. [9] полагает, что направленность трансформации органических остатков в почве во многом определяется гидрологическими условиями агроландшафта.

К шестому году исследований с дифференцированным распределением в течении вегетации азотных удобрений на злаковых травостоях, запасы органического вещества, кислотность почвы сохранились на исходном уровне. Содержание подвижных форм калия во всех вариантах снизилось, подвижного фосфора в почве некоторых вариантов даже возросло [29].

6. *Агроэнергетический принцип* отражает часть малого биологического круговорота веществ и энергии в природе. Сельскохозяйственное производство представляет собой аккумуляцию, перемещение и трансформацию кинетической энергии солнца в потенциальную энергию органического

вещества. Влияя на направленность энергетических потоков при возделывании культур, имеется возможность увеличить эффективность использования энергии солнца, ускорить обмен веществ и энергии в системе «атмосфера-растение-почва», стабилизировать работу агрофитоценозов. Индикаторами агроэнергетического принципа следует признать прямые кумулятивные затраты, косвенные кумулятивные затраты и косвенные технологические затраты, а критериями – коэффициент энергетической эффективности, коэффициент использования энергии почвы и коэффициент полезного действия агроэкосистемы (в данном случае – севооборотов).

Ряд учёных полагают, что для более адекватного описания свойств биологических процессов целесообразно применение термодинамики необратимых процессов, потому что в отличие от классической термодинамики в термодинамике необратимых процессов их течение рассматривается во времени [40]. В классической термодинамике есть понятие равновесного состояния, что адекватно стационарному состоянию в термодинамике необратимых процессов. Возможность применения законов термодинамики необратимых процессов для биологических процессов, в частности, систем агрофитоценозов подтверждается характером условий их функционирования. Во-первых, система агрофитоценозов в стационарном состоянии является открытой и функционирует за счёт притока извне и оттока энергии в окружающую среду, т.е. открыта для потоков и веществ. Во-вторых, процессы в агрофитоценозах имеют необратимый характер. В-третьих, системы агрофитоценозов работают далеко от равновесного состояния и функционируют в напряжении за счёт сокращения видового разнообразия и конкуренции видов. В-четвёртых, агрофитоценозы гетерогенны и структурированы. В-пятых, имеет место линейный поток через экосистему, т.е. энергетический потенциал может быть использован только один раз.

Идею универсального показателя естественных производительных сил выдвинул в конце 20-х годов прошлого века академик В. И. Вернадский [3]. Особое значение это имеет в земледелии, потому что только в земледелии может идти накопление энергии. Следовательно, энергетическая оценка может служить общим критерием процессов для оценки как совершающихся в природе процессов, так и трудовой деятельности возделывания сельскохозяйственных культур [41]. «Только энергетическая концепция

обладает изоморфностью независимо от разнообразия явлений и систем...» – [2].

В настоящее время ряд учёных предлагают оценивать не только технологию возделывания культур или отдельные агроприёмы [7, 27], но и функционирование агроэкосистемы в целом [2, 4], в том числе и энергетические функции органического вещества почвы [20].

Володин В.М. предлагает для оценки плодородия почвы использовать количество энергии, которое необходимо для производства продукции [4]. В этой связи, автор предлагает определять плодородие почвы как способность почв в конкретных условиях обеспечивать оптимальные режимы связывания растениями солнечной энергии. По нашему мнению данное определение упускает такой важный момент как почвообразовательный процесс, поскольку плодородие почвы является следствием почвообразовательного процесса. Исследование энергетических потоков в системе земледелия имеет большое значение, потому что изменение их направленности или количественного приложения энергии позволяют регулировать формирование агрофитоценозов и их продуктивность. Поэтому нами вводится понятие агроэнергетического принципа формирования устойчивости агрофитоценозов.

Популяциям свойственны рост, развитие, способность поддерживать существование в постоянно меняющихся условиях. Когда среда не оказывает ограничивающего влияния, скорость роста популяции на особь для данных климатических условий постоянна и максимальна. В то же время, благодаря саморегулированию, прирост массы и распределение отдельных членов экосистемы всегда подчинены функциональному целому, и популяции не растут безгранично.

В биосфере сама биота, в соответствии с принципом Ле-Шателье, обеспечивает стабильность окружающей среды. Биосфера, в целом и естественные экосистемы, обладают предельной хозяйственной ёмкостью; превышение верхнего порога этой ёмкости нарушает устойчивость биоты и окружающей среды. В пределах хозяйственной ёмкости биосфера и земные экосистемы, подчиняясь принципу Ле-Шателье, быстро восстанавливают все нарушения окружающей среды, и последняя остаётся устойчивой; способность восстановления в абсолютных величинах, как и предел хозяйственной ёмкости. Превышение хозяйственной ёмкости приводит к размыканию биогенов и деформации окружающей среды. Нарушения окружающей среды обу-

словливают изменения экологических ниш, как следствие, ведут к распаду геномов и, в дальнейшем, к исчезновению многих видов организмов

Необходимо ограничение максимальной продуктивности агроценозов, в связи с техногенной нагрузкой, токсичными по величине потоками вещества и энергии, предельно допустимый уровень которых, обусловлен буферными свойствами почв, ландшафтов. С этой точки зрения, нельзя создавать почву с высоким фоном элементов питания, по загрязняющую грунтовые воды, воздух, сельскохозяйственную продукцию. Избыток каких-либо элементов в почве, уменьшение степени разнообразия экологических ниш приводит к уменьшению степени самоорганизации системы, что, в дальнейшем, требует и гораздо больше энергии для ее оптимизации.

Агроэнергетическая устойчивость многолетних агрофитоценозов зависит от распределения минеральных удобрений в течение вегетационного периода.

В условиях Верхневолжья злаковый травостой с преобладанием овсяницы луговой обеспечил максимальный выход кормовых единиц при трехукосном использовании и внесении азота под каждый укос уменьшающимися к осени дозами. Увеличение числа укосов сопровождалось снижением урожайности сухой массы трав (с 94,8 до 82,3 ц/га) и повышением сбора сырого протеина (с 11,6 до 13,6 ц/га). Интенсивное скашивание способствовало накоплению в золе, кальция, фосфора, калия, каротина, уменьшению содержания сырой клетчатки при неизменной концентрации сырого жира [21].

Исследования по формированию продуктивности злакового травостоя при дифференцированном распределении минерального азота по укосам проводили на дерново-подзолистой супесчаной слабокислой почве. В схему опыта включены три блока делянок 2, 3 и 4 – х укосные. Анализ эффективности использования азотных удобрений показал, что она выше при трехкратном скашивании травостоя. Прибавка абсолютно сухого вещества на 1 кг азота в варианте N120 + 80 + 40 составляла 21,0 кг [34].

7. Адаптивно-ландшафтный принцип реализуется через создание адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Центральным моментом формирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия (АСЗ) является выделение элементарных агроареалов (микроландшафтов) в пределах агроландшафта на основе физико-географического микрорайонирования территории

и изучения адаптивных реакций на него сельскохозяйственных растений. На основании исследований, проведенных на ландшафтном стационаре ВНИИМЗ, определили лимитирующие факторы произрастания сельскохозяйственных растений. В результате исследований было установлено, что одним из важных факторов, определяющих изменение продуктивности плодосменного севооборота в пределах агроландшафта, является пространственная вариабельность микроклиматических характеристик (суммы температур > 10 °С, суммарной энергии ФАР и т.д.). Привязка комплекса мелиоративных и агрономических мероприятий к конкретному микроландшафту осуществляется на основе коррекции взаимосвязей элементов системы земледелия – севооборотов, систем защиты растений, удобрений, обработки почв и т.д... [14]. Количественные показатели факторов произрастания динамичны. Факторы жизни растений, которыми их обеспечивает почва, тесно взаимосвязаны друг с другом. Изменение одного параметра почв до пределов, нехарактерных для почвы, но необходимых для развития определенного вида растений, приводит и к изменению всех других параметров почв, в большей или меньшей степени. Оптимизация одних свойств почв приводит к ухудшению других свойств. Поэтому для развития растений необходима не гомогенная, а гетерогенная почва (например, оптимизируя рН до рН = 6,5-7,0, мы вызываем осаждение поливалентных металлов, увеличивая окислительно-восстановительный потенциал почвы, мы уменьшаем доступность для растений соединений железа и марганца). Оструктурирование почв приводит к возникновению разнокачественных зон на поверхности и внутри структурных отдельностей, что увеличивает устойчивость системы к внешним воздействиям.

Разработка типовых моделей ландшафтно-мелиоративных систем земледелия подразумевает дифференцированное использование элементарных геохимических ландшафтов в сельскохозяйственном производстве и определяет технологическую неоднородность в пределах конкретного агроландшафта. Для каждого типа агроландшафтов создается набор вариантов типовой модели, учитывающих не только разнообразие природной среды, но и специфику хозяйств, условия рынка, особенности мелиоративных систем и т.д., то есть все природно-экономико-технологические факторы территории, образующие ландшафтную систему земледелия. Таким образом, создается региональная ЛМС земледелия, в отличие от зональных систем земледелия,

основанных на усредненных значениях природной среды учитывающая характер ландшафтного разнообразия [13]. Мозаичность географической оболочки, обусловленная устройством любого ПТК на любом таксономическом уровне в виде чередования подчиненных геокомплексов, должна влиять на разработку ландшафтно-адаптивных систем земледелия посредством определения оптимального количества моделей на каждом иерархическом уровне [16].

Как показали исследования, особенности роста и развития зерновых культур зависят от совокупности агроландшафтных условий. По годам больше всего менялась продуктивность овса. Урожайность озимой ржи в различные сезоны более стабильна.

Предложено индикаторами агроландшафтного принципа принять пространственную вариабельность характеристик ландшафта, а критерием – направленность геохимических потоков питательных веществ, энергии и информации.

Из агрохимических показателей большее влияние на продуктивность оказало содержание подвижных форм калия. Водно-воздушный режим почвы больше всего влиял на урожайность ячменя. Корреляционная зависимость его продуктивности от влажности почвы самая тесная ($-0,726$), для овса и ржи коэффициент корреляции составил соответственно $0,160$ и $-0,596$. Взаимосвязь порозности аэрации почвы и урожайности у овса, ячменя и озимой ржи находилась в пределах от средней до тесной и составила соответственно $-0,499$; $0,615$ и $0,706$. Для ячменя лучше суглинистые почвы. Таким образом, формирование продуктивности зерновых культур зависит от комплекса природных факторов. Учет основных черт ландшафтного строения территории хозяйства позволит получать продукцию заданного качества с наименьшими затратами [15].

По степени отзывчивости на почвенно-гидрологические условия культуры располагаются в порядке убывания в следующей последовательности: картофель, ячмень и горохо-овсяная смесь, овес, озимая рожь, многолетние травы. Изучение пространственной изменчивости урожая культур показало, что она не зависит от междренних расстояний. При размещении сельскохозяйственных культур в условиях ландшафтно-мелиоративной системы земледелия необходимо соблюдать следующие принципы: – соответствие требований культур условиям ландшафтного устройства территории; – положительная реакция растений на проведение агромелиоративных мероприятий в определенном микроландшафте. Про-

дуктивность сельхозкультур определяется почвенно-гидрологическими условиями, складывающимися под влиянием рельефа. Интенсификация земледелия позволяет объединить различные микроландшафты в единое поле севооборота [33, 36].

Размещение сельскохозяйственных культур зависит от агроландшафтных особенностей территорий: из зерновых культур озимая рожь обеспечивает наиболее устойчивую продуктивность. С целью создания единого севооборотного массива из сопряженных агроландшафтов возможно применение глубокого рыхления почв [32].

Следует иметь в виду, что чем более контрастна и сложна структура почвенного покрова, тем устойчивее почвенный покров к стрессовым ситуациям и антропогенным воздействиям. (Однако это не значит, что он более пригоден для сельскохозяйственного производства). Сформированные в течение длительного времени горизонты почв не только являются отражением предыстории их развития и эволюции, но служат пакетом геохимических барьеров, обуславливающих развитие почв с другими компонентами экосистемы, являются факторами развития растений. Чем более сложен фракционный состав соединений элементов в почве, тем она более устойчива к факторам, изменяющим их подвижность. Естественные ценозы, содержащие большое число видов растений более устойчивы к стрессовым ситуациям и антропогенным воздействиям, чем культурные ценозы. Любой уровень антропогенной нагрузки на почву приводит к изменению ее свойств и сдвигает равновесие, а при длительном действии приводит к достижению новых условий равновесия. Эти новые достигнутые условия требуют для сохранения равновесия постоянного воздействия на почву тех же уровней антропогенной нагрузки (в качественном и количественном отношении).

Список литературы

1. Афанасьев Р.А. Влияние азотных удобрений на продуктивность бобово-злакового травостоя на осушенной дерново-глеевой супесчаной почве / Р.А. Афанасьев, В.А. Тюлин // Бюллетень ВИУА, 1991. – № 105. С. 44-51.
2. Булаткин Г.А. Эколого-энергетические проблемы оптимизации продуктивности агроэкосистем. Пушкино, ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1991. – 42 с.
3. Вернадский В.И. О задачах и организации прикладной научной работы АН. СССР. – Л.: Изд-во АН СССР, 1928. – 43 с.
4. Володин В.М. Агроэкологические принципы разработки систем земледелия // Земледелие, 1988. – № 10. – С. 29-31.
5. Воробьев С.А. Основы полевых севооборотов. – М.: Колос, 1969. – 200 с.

6. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство. – Кишинёв, Штиница, 1990. – 432 с.
7. Захаренко А.В. Гербициды. – М.: Агропромиздат, 1990. – 240 с.
8. Иванов Д.А. Мониторинг агрохимических свойств почв в пределах агроэкологического стационара / Д.А. Иванов, В.А. Тюлин, О.В. Карасева, М.В. Рублюк, С.И. Агеева, А.И. Гришина // Агрохимия, 2014. № 5, С. 27-31.
9. Киришин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Из-во МСХА, 2000. – 473 с.
10. Ковалев Н. Г., Тюлин В. А., Родионова А. Е., Петрова Л.И. Мозаичный посев как способ разделения бобовых и злаковых видов по экологическим нишам. Сельскохозяйственная биология. 2003. № 2. С.95-100
11. Ковалев Н.Г. Влияние агроландшафтных условий на формирование продуктивности козлятника восточного / Н.Г. Ковалев, В.А. Тюлин, А.М. Бакланов, Д.А. Иванов, Н.Н. Иванова // Кормопроизводство. 2009. № 10. С. 14-17
12. Ковалев Н.Г., Родионова А.Е., Тюлин В.А. Экологически безопасный способ борьбы с сорняками. Защита и карантин растений. 2002. № 4. С.25
13. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А. Разработка типовых моделей ландшафтно-мелиоративных систем земледелия // Доклады Россельхозакадемии. – 1999. – № 1. – С.18-21.
14. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А. Формирование адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Земледелие. – 1999а. – № 5. – С.22-23.
15. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А., Пугачева Л.В. Роль природных ресурсов в адаптивном растениеводстве // Мелиорация и водное хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 13-15.
16. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А., Озолин В.Е. Анализ компонентов природной среды при разработке моделей ландшафтно-адаптивных систем земледелия // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2000. – № 4. – С. 50-54.
17. Ковалев Н.Г., Тюлин В.А., Иванов Д.А., Сутягин В.П. Баланс гумуса в агроландшафтном земледелии // Бюллетень ВИУА. – 2003а. – № 119. – С.77-78.
18. Ковалев Н.Г. Формирование продуктивности бобово-злаковой травосмеси в условиях агроландшафтов Центрального района Нечерноземной зоны РФ / Н.Г. Ковалев, В.А. Тюлин, А.М. Бакланов, Д.А. Иванов, Н.Н. Иванова // Российская сельскохозяйственная наука. 2007. № 2. С. 23-25.
19. Кочетов И.С. Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. – М.: Колос, 1999. – 224 с.
20. Масютенко Н.П., Панкова Т.И. Энергетические функции органического вещества чернозёмов // Земледелие. – 2004. – № 3. – С. 11-12.
21. Мерзлая Г.Е., Тюлин В.А., Нечушкин С.М., Тельбиз В.В. Влияние числа укусов и распределение сезонной нормы азота на продуктивность злакового травостоя в условиях Калининской области. Известия ТСХА, 1982. – Вып. 5. 305 с.
22. Прутенская Н.И. Наличие ингибиторов и стимуляторов горчицы полевой в прорастающих семенах культурных растений // В кн. Физиолого-биохимические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Под ред. А.М. Груздева. Киев. Из-во Наукова думка, 1972. – вып. 3. – с. 73-75.
23. Прянишников Д.Н. Об удобрении полей и севооборотах. М.: Изд. МСХ РСФСР, 1962. – 255 с.
24. Реймерс Н.Ф., Экология. М.: 1994. – 367 с.
25. Саранин Е.К. Биологизация земледелия теория и практика. М.: Изд. «ИКАР», 1996. – 130 с.
26. Синягин И.И., Анчихорова О.П., Жукова Л.М. О развитии некоторых культурных растений и сорняков при различных уровнях минерального питания. // Докл. ВАСХНИЛ, 1964, № 2. – С. 2-5.
27. Скрюманс А.А., Анспок П.И., Тимбаре Р.Я., Балашова И.И. Энергетическая оценка удобрений // Земледелие. – 1988. – № 11. – С. 58-60.
28. Сутягин В.П. Принципы формирования устойчивости агрофитоценозов адаптивно-ландшафтного земледелия. 2006. – 287 с.
29. Сутягин В.П., Тюлин В.А. Минеральное питание в адаптивном земледелии Успехи современного естествознания. – 2016а. – № 11. – С. 80-85.
30. Тулайков Н.М. Избран. Произведения. – М.: Сельхозиздат, 1963. – 312 с.
31. Туликов А.М. Конкурентоспособность культур и засорённость их посевов // Земледелие. – 1983. – № 6. – С. 40-43.
32. Тюлин В.А., Иванов Д.А., Петрова Л.И., Саликов Р.А. Продуктивность сельскохозяйственных культур в различных микроландшафтах // Земледелие. – 2000. – № 2. – С.18-19.
33. Тюлин В.А., Карасева О.В., Петрова Л.И., Салихов Р.А., Иванов Д.А. Дифференциация агроприемов в условиях ландшафтного земледелия // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2001. – № 3. – С.61-63.
34. Тюлин В.А., Сутягин В.П. Дифференцированное удобрение мятликовых культур Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 6-3. – С. 526-532.
35. Тюлин В.А., Сутягин В.П., Видовое разнообразие луговых травостоев // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12-1.
36. Тюлин В.А., Озолин В.Е., Иванов Д.А., Пугачева Л.В. Принципы размещения сельскохозяйственных культур в ландшафтно-мелиоративной системе земледелия // Мелиорация и водное хозяйство. – 2000. – № 1. – С.18-20.
37. Тюлин В.А. Формирование устойчивой продуктивности бобово-злаковых и злаковых травостоев / Тюлин В.А. – Тверь: Изд. ООО «Губернская медицина», 2000а. – 224 с.
38. Тюлин В.А. Многолетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья / В.А. Тюлин, Н.Н. Лазарев, Н.Н. Иванова, Д.А. Вагунин. – Тверь: «Тверская ГСХА», 2014.
39. Тюлин В.А. Продуктивность многолетних трав в зависимости от травосмесей, доз и соотношений минеральных удобрений. Развитие научных идей академика Н.Г. Андреева. Сборник научных трудов к 100-летию со дня рождения Н.Г. Андреева-М., 2000б. С. 207 – 219.
40. Храмцов Л.И. К концепции ландшафтного земледелия // Земледелие, 1996. – № 1. – С. 13-16
41. Фёдоров В.М. Биосфера – земледелие – человечество. – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.