

- ekolohichnyi zhurnal – Ahroecological journal*, 3, 7–12 [in Ukrainian].
9. Chalavan, V.V. (2008). Evoliutsiia ahroekolohichnoi nauky ta stratehiiia vedennia suchasnoho silskohospodarskoho vyrobnytstva [Evolution of agroecological science and strategy of modern agriculture]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Ahroecological journal, Special Issue*, 259–269 [in Ukrainian].
 10. Furdychko, O.I., Boiko, A.L. (Eds.). (2013). Ekolohichna bezpeka ahropromysloвого vyrobnytstva [Environmental safety agroindustrial production]. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
 11. Dem'ianiuk, O.S. (2016). Zminy klimatu – hlobalna ekolohichna i prodovolcha problema liudstva [Climate change – a global environmental problem humanity and Food]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced Nature Management*, 4, 6–13 [in Ukrainian].
 12. Sozinov, O.O., Prydatko, V.I., Burda R.I. et al. (2005). Pro naivzhyvishi pokaznyky ta kilkisni-
iakisni vlastyvosti meha-ahroekosystem (ahrosfery) Ukrainy [On key indicators and quantitative and qualitative properties mega agro-ecosystems (agrosphere) Ukraine]. *Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady* [Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples]. O.O. Sozinov, V.I. Prydatko, O.I. Lysenko (Ed.). (Book 2). Kyiv: ZAT «Nichlava» [in Ukrainian].
 13. Sozinov, O.O., Prydatko, V.I.. (2005). Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady [Agrobiodiversity of Ukraine: Theory, Methodology, Indicators, Examples]. (Book 1). Kyiv: ZAT «Nichlava» [in Ukrainian].
 14. Furdychko, O.I., Dem'ianiuk, O.S. (2014). Yakist i bezpechnist silskohospodarskoi produktsiï v konteksti prodovolchoi bezpeky Ukrainy [The quality and safety of agricultural products in the context of food security of Ukraine]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Ahroecological journal*, 1, 7–12 [in Ukrainian].

УДК 631.11.1

ПЕРСПЕКТИВЫ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ АГРОЭКОСИСТЕМ

Ю.А. Тарарико, В.П. Ковальчук, А.П. Войтович

Институт водних проблем і меліорації НААН

Обґрунтовано необхідність підвищення родючості ґрунту як основи екологічно стійкої аграрної системи. За результатами стаціонарних дослідів і теоретичних досліджень наведено коефіцієнти корисної дії фотосинтетично активної радіації для різних ґрунтово-кліматичних умов. Серед проблем управління аграрними виробничими системами особливо увагу приділено відсутності комплексних планів розвитку виробництва. Запропоновано етапи розв'язання цієї проблеми на основі оптимізації співвідношення галузей рослинництва і тваринництва з використанням інформаційно-аналітичної системи.

Ключові слова: *рослинництво, тваринництво, міжгалузева оптимізація, родючість ґрунту, моделі розвитку господарства, інформаційно-аналітична система.*

Главная особенность сельскохозяйственного производства состоит в том, что его эффективность непосредственно связана с уровнем почвенного плодородия. Если в результате технологического цикла, например за ротацией севооборота, не обеспечивается воспроизводство исходных параметров плодородия почвы, то можно

утверждать о бесперспективности данного производства. Иными словами, невозобновляемое использование почвенных запасов легкодоступных питательных веществ и углерода в дальнейшем приводит к неуклонному снижению продуктивности посевов и экономической целесообразности ведения хозяйства даже при минимальных затратах ресурсов химико-техногенного происхождения, например,

в технологической цепочке «обработка почвы — посев — уборка урожая». Поэтому высокорентабельные, экологически устойчивые аграрные производственные системы могут функционировать только на основе воспроизводства и повышения почвенного плодородия [1–2]. При этом для наращивания производства продукции необходимо постоянно улучшать качество земельных ресурсов, повышать уровень почвенного плодородия по всем показателям, и в первую очередь по содержанию гумуса и основных элементов питания. Именно из соблюдения этого первого условия необходимо исходить при формировании плана развития любого хозяйственного формирования и распределении средств в процессе производственного цикла.

Цель работы — показать, что комплексное планирование развития конкретного хозяйства целесообразно начинать с его межотраслевой оптимизации на эколого-экономических принципах. Информационно-аналитические системы могут служить инструментом реализации управления процессами выработки экологически и экономически обоснованных решений в сельскохозяйственном производстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наши теоретические исследования проводились исходя с результатов стационарных опытов научно-исследовательских учреждений НААН [3]. Опыты заложены в разных почвенно-климатических условиях с целью определения доз традиционных и альтернативных органических и минеральных удобрений, обеспечивающих воспроизводство плодородия почвы и высокую продуктивность посевов. Так, в Полесье на дерново-подзолистой почве коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации (КПД ФАР) без внесения удобрений не превышает 0,60%, а с их внесением максимально повышается до 1,14%, при средней многолетней продуктивности севооборота 38,5 и 63,2 ц к.е./га соответственно. В условиях неустойчивого увлажнения Левобережной Лесосте-

пи на чернозёме типичном без внесения удобрений КПД ФАР и продуктивность находятся на уровне соответствующих показателей Полесья. Применение удобрений обеспечивает максимальное увеличение этих показателей до 0,87% и 51,0 ц к.е./га. В Правобережной Лесостепи на чернозёме оподзоленном, в условиях достаточного увлажнения и без удобрений, КПД ФАР не превышает 0,68% и при совместном внесении органических и минеральных удобрений почти удваивается и достигает 1,29%, при продуктивности севооборота 43,4% и 76,1 ц к.е./га. В засушливых условиях степной зоны на чернозёмах типичных малогумусных КПД ФАР составляет 0,56%, а под влиянием удобрений максимально увеличивается до 1,09%. Однако, по мнению А.А. Ничипоровича [4], реально достижимый уровень КПД ФАР в условиях достаточного увлажнения составляет 2% и более. Это может свидетельствовать о том, что при закладке опытов дозы удобрений применялись произвольно, поскольку исследователю заранее точно предугадать оптимальные дозы азота, фосфора, калия и органического углерода в нужном соотношении, в сущности, невозможно. Только после их длительного применения на основе балансовых исследований удалось установить, что практически по всем вариантам стационарных опытов дозы органических и минеральных удобрений являлись несбалансированными, т.е. имело место чрезмерное накопление одних элементов питания и при этом — острый дефицит других. Во многих случаях в испытываемых системах удобрения нарушается оптимальное соотношение углерода к азоту (С:N, как 30:1) [2]. Это приводит к повышению непродуктивных потерь данных элементов, снижению активности гумификации свежего органического вещества. Такое положение можно считать одной из главных причин относительно невысокой продуктивности посевов и КПД ФАР даже на очень богатых агрофонах. Из этого вытекает предположение о том, что при соответствующей корректировке систем применения удобрений можно существенно повысить продуктив-

ность севооборотов. В результате оптимизации почвенных режимов в отдельных почвенно-климатических зонах Украины появляется возможность повысить КПД ФАР до 1,5–2%, что эквивалентно 80–90 ц/га и более озимой пшеницы. Между тем в США данная проблема в настоящее время успешно решается. К примеру, урожайность кукурузы в среднем по стране составляет 70–80 ц/га, и в ближайшее время этот показатель планируется повысить до уровня 100–110 ц/га. Обобщение результатов исследований в стационарных опытах, в конечном счёте, позволило скорректировать системы удобрения применительно к разным почвенно-климатическим условиям с целью дальнейшего повышения продуктивности посевов. В итоге, были установлены и формализованы основные закономерности формирования высокопродуктивных агроэкосистем, создан соответствующий алгоритм [1]. Таким образом, даже в длительных стационарных опытах добиться оптимизации всех параметров плодородия почвы чрезвычайно сложно. В производственных условиях полное решение данной проблемы несравнимо усложняется и практически невозможно даже при высокой квалификации персонала.

Переходя к практической стороне проблемы эффективного управления продуктивностью современных аграрных производственных систем, необходимо отметить, что в процессе реализации земельной реформы землепользователи Украины сталкиваются с множеством сложных, порой неразрешимых проблем. Прежде всего, это острый дефицит ресурсов и нерациональное использование имеющихся ограниченных средств. В результате образуется замкнутый круг: при завершении производственного цикла вложения либо не окупаются, либо приносят прибыль, недостаточную для эффективного развития производства. В этих условиях формирование высоко rentабельной производственной системы возможно при наличии у персонала четкого плана развития предприятия и приоритетов вложения капитала в процессе хозяйственной деятельности.

На практике, чаще всего, имеет место спонтанное, интуитивное принятие решений, целесообразность которых определяется огромным количеством факторов и зависит, главным образом, от опыта и уровня квалификации имеющихся специалистов. Напротив, при наличии комплексного плана развития производства хозяйство рассматривается как единая, с доведенными до совершенства кругооборотами вещества и потоками энергии система, в которой каждый чётко понимает своё место в общем производственном процессе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На наш взгляд, формирование комплексного плана развития конкретного хозяйства целесообразно начинать с его межотраслевой оптимизации. Наличие высокопродуктивного поголовья сельскохозяйственных животных является обязательным условием успешного развития растениеводства. Прежде всего, при отсутствии животноводческой отрасли теряется смысл в выращивании бобовых кормовых культур, в первую очередь многолетних бобовых трав, являющихся почвоулучшающими культурами, способных накапливать в почве огромное количество органического углерода и биологического азота. При этом в интенсивных севооборотах без трав обеспечить бездефицитный баланс гумуса за счёт применения всей малоценной части урожая на удобрение невозможно.

С другой стороны, сельскохозяйственные животные позволяют более полно утилизировать растительную биомассу, а также за счёт многократного использования биогенных элементов ощутимо сократить расходы на приобретение минеральных удобрений. Например, при реализации 100 т зерна за пределы хозяйства отчуждается около 3,5 т биогенных элементов. При скормливании этого зерна сельскохозяйственным животным с молоком из агроэкосистемы будет теряться 0,7 т элементов питания, с мясом — 0,3–0,4 т. Соответственно, вынос азота в зависимости от специализации животноводства сокращается в 4–8 раз, фосфора — в 10–25, калия — в 60 раз. Важ-

но отметить, что особенно существенно сокращается отчуждение фосфора и калия, поскольку, в отличие от азота, до 50% кругооборота которого можно пополнить из атмосферы биологическим путём в самой агроэкосистеме, запасы данных элементов в доступной для растений форме в почве ограничены, и пополнять их можно только за счёт дорогостоящих минеральных удобрений. При этом следует учитывать, что высокий уровень рециркуляции одних и тех же элементов питания возможен лишь при обеспечении «герметичности» их кругооборота в системе «почва — растение — животное — отходы животноводства — почва», что достигается соблюдением технологии накопления, хранения и внесения органических удобрений, в особенности навоза. При нарушении данного требования и применения навоза низкого качества потребность в минеральных удобрениях резко возрастает.

Таким образом, основополагающим условием повышения продуктивности и устойчивости агроэкосистем является адаптация специализации производства к конкретным почвенно-климатическим условиям на основе оптимизации соотношения отраслей растениеводства и животноводства. Результаты наших исследований относительно баланса удобрений в стационарных опытах и сельскохозяйственных предприятиях показали, что данный показатель должен составлять не менее 0,8 условных голов (у.г.) на 1 га сельскохозяйственных угодий, с максимальным уровнем до 2 у.г./га. При этом, чем выше насыщенность землепользования животными, тем больше рециркуляция элементов питания и органического углерода, которая приближается к 100% при плотности поголовья около 2 у.г./га.

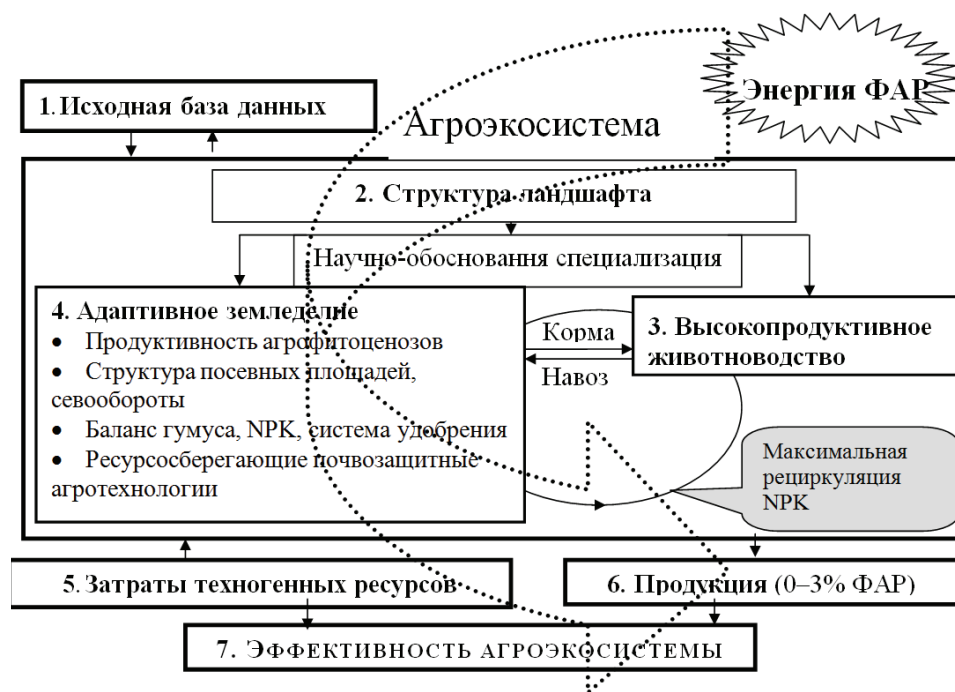
После решения проблемы межотраслевой оптимизации в проекте развития хозяйства необходимо отработать большое количество других направлений: системы применения удобрений, средств защиты растений, севообороты, кормопроизводство, семеноводство, техническое обеспечение и т.д. Комплексно увязать такую мно-

гофакторную систему с целью получения намеченного эффекта очень сложно. Однако подобные задачи эффективно решаются при помощи современных информационных технологий. Такие разработки уже существуют и применяются на практике. Примером может служить универсальный информационно-аналитический компьютерный комплекс «AIS.AGRO», который позволяет оперативно разрабатывать множество сценариев производственной деятельности любого сельскохозяйственного предприятия, моделировать различные варианты применительно к существующим или запланированным производственным показателям (рис.).

В процессе создания комплексного технологического проекта развития хозяйства (3–5-летнего плана) его руководитель и специалисты осваивают технологию работы с ним. Понятно, что при реализации разработанного проекта будут возникать различные корректировки, уточнения, связанные с непредвиденными обстоятельствами, в т.ч. с экстремальными погодными условиями, изменением цен и спроса на определённые виды продукции.

Также в процессе повседневной работы специалисты, принимающие управленческие решения, вводят в банк данных возможные или произошедшие изменения — урожайности культур, структуры посевных площадей, продуктивности животных, их численности и т.д. Самостоятельно оперативно проводят необходимый анализ и выбирают близкий к оптимальному вариант или несколько перспективных вариантов действий, учитывающие интересы всех производственных секторов предприятия.

Для реализации на практике разработанного проекта составляются переходные таблицы: в растениеводстве — от фактического размещения культур по полям к намеченным севооборотам; в животноводстве — от фактического поголовья животных к запланированной структуре, количественному и породному составу стада. Согласно этим таблицам, по переходным годам необходимо стремиться к жесткому соблюдению плана. В процессе и после



Универсальный информационно-аналитический комплекс «AIS.AGRO»

освоения севооборотов и системы применения удобрений необходимо обеспечить постоянный рост продуктивности посевов.

В отличие от животноводства, где выход продукции находится в контролируемых условиях, в растениеводстве получить запланированный урожай практически никогда не удаётся. Это связано с тем, что каждый год по погодным условиям, фитосанитарному состоянию посевов и по многим другим показателям — уникален, соответственно, посевы различных культурных растений по-разному реагируют на складывающиеся специфические условия определённого года. Даже при соблюдении оптимальных параметров почвенного плодородия, создании благоприятных агрохимических, агрофизических, физико-химических, микробиологических и других свойств почвы, возможны либо недобор продукции (неблагоприятный год), либо получение большей продуктивности культур, чем предполагалось (благоприятный год). С помощью блока программы «Балан-

сы», созданного на основе формализации результатов исследований в стационарных опытах и позволяющего производить балансовые исследования в действующих сельскохозяйственных предприятиях, при вводе в блок «Исходная информация» фактической урожайности предыдущей культуры пользователь точно устанавливает дозы удобрений под последующую при помощи модуля расчета доз и подбора определенных торговых марок. Таким образом, удаётся постоянно поддерживать питательный режим почвы в оптимальном состоянии. В результате возникают предпосылки для целенаправленного подъёма продуктивности севооборотов, и при соблюдении закона возврата уровень плодородия почвы будет неуклонно повышаться. Это обеспечит стабильный рост продуктивности пашни.

Отдельные возможности совершенствования землепользования с помощью комплекса «AIS.AGRO» показаны на примере сельскохозяйственного предприятия,

расположенного в северной части Полтавской области. Структура агроландшафта и землепользования является типичной для Левобережной Лесостепи Украины. Преобладающая почва — чернозем типичный малогумусный со средней обеспеченностью доступным для растений фосфором и калием.

При разработке моделей развития этого хозяйства использовалась информация относительно основных характеристик землепользования и следующих параметров:

1. Ретроспективная модель — продуктивность растениеводства на уровне 40 ц к.е./га; поголовье животных — 0,5 у.г./га.
2. Современная модель — продуктивность растениеводства на уровне 30 ц к.е./га; поголовье — 0,4 у.г./га.
3. Перспективная модель — продуктивность растениеводства на уровне 50 ц к.е./га; поголовье — 1 у.г./га.

В процессе определения векторов межотраслевой оптимизации и совершенствования структуры землепользования равнинные земли, в отличие от традиционного радиального размещения полей в севооборотах, предложено дифференцировать по их расстоянию от объектов животноводства. Из отдаленных полей сформированы зернотравяные севообороты с долей трав до 40%, система удобрения в которых базируется на использовании всей побочной продукции на удобрение и внесении NPK, исходя из запланированного уровня продуктивности. На земельных массивах, прилегающих к животноводческим комплексам, созданы интенсивные зернопропашные севообороты с внесением высоких доз навоза. Такая организация территории дает возможность полностью реализовать систему воспроизводства плодородия почвы при сокращении затрат на 10%.

Баланс гумуса без учёта компенсирующего действия

наличных органических удобрений в современной модели значительно ухудшился (−0,55 т/га) в сравнении с его исходным значением (−0,35 т/га). Это объясняется как снижением продуктивности растениеводства и накопления растительных остатков, так и сокращением площади многолетних трав. В перспективной модели баланс гумуса приближается к бездефицитному (−0,1 т/га). Таким образом, если при исходных и современных производственных показателях растениеводства и животноводства для воспроизводства гумусного состояния почвы объемов навоза не хватает, то при реализации перспективной модели его накопление будет превышать потребность (табл.).

Для определения объемов применения на удобрение излишков соломы устанавливается общий объем ее производства, а также учитывается потребность животноводства. Во всех моделях при целенаправленном использовании имеющихся ресурсов органического вещества в севооборотах можно обеспечить бездефицитный баланс гумуса, однако при снижении урожайности культур и поголовья животных, относительно модели 2, будет ощу-

Характеристика производственных моделей

Показатель	Модель		
	1	2	3
Поголовье, у.г./100 га	49,8	38,1	100,0
Потребность в корме, тыс. т к.е.	11,9	8,5	24,3
Протеин, г/кг	105,4	103,6	112,2
Площадь трав, %	17,5	11,9	23,8
Продуктивность, ц к.е./га	41,1	32,3	52,9
Необходимо навоза, т/га	7,3	10,0	5,9
Производство навоза, т/га	6,7	5,6	13,3
Потребность в NPK, кг/га	65,0	58,0	63,0
Азотфиксация, кг/га	32,0	23,0	65,0
Рециркуляция, %	56,0	51,0	60,0
Кээ	6,1	5,2	6,4

шаться дефицит органического углерода. Для воспроизводства гумусного состояния почвы в близлежащих зернопропашных севооборотах без трав необходимо вносить до 20 т/га навоза, что подтверждают результаты исследований в стационарном опыте Полтавской опытной станции при аналогичных почвенно-климатических условиях.

Вынос биогенных элементов в модели 1 суммарно составляет 251 кг/га, в модели 2 — 192, в модели 3 — 330 кг/га, при продуктивности пашни — 40, 30 и 50 ц к.е./га соответственно. За счет рециркуляции и азотфиксации в моделях 1, 2, 3 в почву поступает: азота — 82, 74 и 96%, фосфора — 62, 56 и 83, калия — 70, 64 и 71% от выноса соответственно. В зернопропашных севооборотах в моделях 1 и 2 потребность в минеральных удобрениях за счет высоких доз навоза незначительная, а в модели 3 поступление элементов питания с навозом преобладает над их выносом.

ВЫВОДЫ

На примере имитационного сценарного моделирования доказано, что формирование комплексного плана развития конкретного хозяйства целесообразно начинать с его межотраслевой оптимизации. При этом главным условием повышения продук-

тивности и устойчивости агроэкосистем является адаптация специализации производства к конкретным почвенно-климатическим условиям на основе оптимизации соотношения отраслей растениеводства и животноводства.

Показано, что при повышении общей продуктивности перспективной модели 3 до 52,9 ц к.е./га, в сравнении с современной моделью 2 (32,3 ц к.е./га), потребность в минеральных удобрениях для достижения бездефицитного баланса питательных веществ повышается лишь на 8,6%. Это объясняется повышением уровня рециркуляции элементов питания с 51 до 60%, а также увеличением использования биологического азота с 23 до 65 кг на 1 га пашни. В результате коэффициент энергетической эффективности (Кээ) возрастёт с 5,2 до 6,4, поступление денежных средств увеличится на 40%, чистая прибыль — в 1,8 раза.

Провести комплексный расчет, оперативную разработку множества сценариев производственной деятельности любого сельскохозяйственного предприятия, смоделировать различные варианты применительно к существующим или запланированным производственным показателям позволяет разработанный авторами универсальный информационно-аналитический компьютерный комплекс «AIS.AGRO».

ЛИТЕРАТУРА

1. Тараріко Ю.О. Енергозберігаючі агроекосистеми. Оцінка та раціональне використання агроресурсного потенціалу України / Ю.О. Тараріко. — К.: ДІА, 2011. — 576 с.
2. Тараріко Ю.О. Формирование устойчивых агроэкосистем / Ю.О. Тараріко. — К.: ДІА, 2007. — 560 с.
3. Довгострокові стаціонарні польові досліді України. Реєстр атестатів — Х.: Вид-во «Друкарня № 13», 2006. — 119 с.
4. Ничипорович А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах: методы и задачи учета в связи с формированием урожаев / А.А. Ничипорович. — М.: Изд-во АН ССР, 1961. — 135 с.

REFERENCES

1. Tarariko, Yu.O. (2011). *Energozberigayuchi agroekosistemy. Otsinka ta ratsionalne vykorystannya agroresursnogo potentsialu Ukrainy [Energy-saving agro-ecosystems. Assessment and rational use of agrarian resources potential of Ukraine]*. Kyiv: DIA [in Ukrainian].
2. Tarariko, Yu.O. (2007). *Formirovanie ustoychiviyh agroekosistem [Formation of sustainable agroecosystems]*. Kiev: DIA [in Russian].
3. *Dovgostrokovi statsionarni polovi doslidy Ukrainy. Reiestr atestativ [Long-term stationary field experiments Ukraine. Registry certificates]*. (2006). Harkiv: «Drukarnya № 13» [in Ukrainian].
4. Nichiporovich, A.A. (1961). *Fotosinteticheskaya deyatel'nost rasteniy v posevah: metody i zadachi ucheta v svyazi s formirovaniem urozhav [Photosynthetic activity of plants in crops: methods and tasks of accounting in connection with the formation of crops]*. Moscow: AN SSR [in Russian].