

## БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ АГРОЭКОСИСТЕМЫ НА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ЗЕМЛЯХ ПОЛЕСЬЯ

**Ю.А. Тарарико, А.И. Лычук**

Институт водных проблем и мелиорации НААН,  
ННЦ «Институт земледелия НААН»  
Украина, Киев

**Ключевые слова:** мелиорированные земли, биоэнергетическое аграрное производство, компьютерное моделирование, кормовая база, валовое производство

### Введение

Современные системы сельскохозяйственного производства необходимо формировать с учетом потенциала накопления растительной биомассы и с оценкой эффективности различных приемов интенсификации. Объективно оценить агресурсный потенциал сельскохозяйственных территорий позволяют стационарные агротехнические опыты [1]. Варианты этих опытов рассматриваются как элементарные модели агроэкосистем разной специализации. Например, варианты без удобрений, с минеральной системой удобрения, сидерацией, соломой имитируют растениеводческую специализацию, средние дозы навоза 10-12 т/га – смешанную отраслевую структуру, высокие дозы с внесением 20-24 т/га органических удобрений моделируют чисто животноводческое направление с использованием всей продукции растениеводства на корм и подстилку. Ранее такие исследования были проведены в разных почвенно-климатических условиях Украины [2, 3, 4]. На их основе обоснованы перспективные модели развития аграрного производства с адекватной агресурсному потенциалу региона отраслевой структурой.

### Методика проведения исследований

В данной работе представлены результаты компьютерного моделирования на примере стационарного опыта и землепользования Сарненской опытной станции Института водных проблем и мелиорации НААН, расположенной в зоне осушения Западного Полесья Украины.

### Результаты и их обсуждение

Опыт заложен в 1965 г., его схема: 1. Контроль - без удобрений, 2.  $P_{60}K_{120}$ , 3.  $N_{45}P_{60}K_{120}$ . Севооборот: 1 – тимофеевка, 2 – озимая рожь, 3 – картофель, 4 – ячмень, 5 – овес, 6 – кукуруза. Почва торфяная с объемной массой 0,6 г/см<sup>3</sup>, рН – 4,0-4,2, содержание подвижного фосфора – 250 и обменного калия – 80-120 мг/кг.

На первом этапе исследований прорабатывалась информационная база стационарного опыта, установлены потенциал производства продукции растениеводства и закономерности круговорота вещества и потоков энергии при разной специализации агроэко-

систем, предложен базовый вариант развития инфраструктуры [5].

На следующем этапе на основе этого варианта проводилось компьютерное моделирование отраслевой структуры производства применительно к особенностям землепользования станции. Оно включает 434,7 га пашни, в т.ч. на осушаемых торфяниках – 309,8 га, на дерново-подзолистых глинисто-песчаных почвах – 125,1 га.

Рассматривались следующие варианты межотраслевой оптимизации:

**Модель №1** – базовый сценарий, отраслевая структура с действующей осушительно-увлажнительной системой (ОУС) и молочным животноводством.

**Модель №2** – Модель №1 + биоэнергетический комплекс (БЭК), переработка и хранение молочных и мясопродуктов.

**Модель №3** – Модель №2 + приобретение концентрированных кормов.

**Модель №4** – Модель №3 + замена традиционной кукурузы севооборотом с новыми или мало распространенными в регионе кормовыми культурами.

Модели №1 и №2 рассматриваются для понимания значения наличия в инфра-

**Таблица 1 – Производственные показатели по моделям развития предприятия**

Показатель		Единицы измерения	Модель			
			№1	№2	№3	№4
Площадь пашни		га	440			
Площадь	зерновых		340	340	-	-
	кормовых		100	100	440	440
Урожайность	зерновых	т/га	6,2	6,2	-	-
	кормовых	52,0	52,0	52,0	91,4	
Поголовье КРС		голов	1045	1045	2870	5040
Поголовье коров			525	525	1440	2530
Продуктивность по молоку		тыс. кг	10			
Жирность молока		%	3,5			
Жирность нормализованной смеси			-	2,3	2,3	2,3
Нормализованная смесь на 1 т сыра		т	-	13,8	13,8	13,8
Убойный вес выбракованных коров		кг	-	525	525	525
Убойный вес бычков на откорме			-	370	370	370
Выход мяса		%	-	40	40	40
Переходит в навоз сухой биомассы			50			
Выход биогаза из сухой массы навоза			45			
Выход электроэнергии с 1 м <sup>3</sup> биогаза			2,4			
Выход тепловой энергии с 1 м <sup>3</sup> биогаза		кВт-час	2,8			
Рециркуляция	азота	%	55	78	152	159
	фосфора		80	92	194	210
	калия		90	99	119	123
Баланс органического углерода			129	129	227	520

структуре мощностей по переработке и хранению продукции животноводства, а всех отходов на энергоносители и органические удобрения (табл. 1).

Урожайность наиболее продуктивной в севообороте кукурузы принимается максимальной за годы исследований (имитируется работа ОУС) в стационарном опыте на удобренном фоне – 140 ц/га кормовых единиц (к. ед.), плотность крупного рогатого скота (КРС) – 2,0 условные головы (у. г.) на гектар, годовая продуктивность дойной коровы – 10 тыс. кг молока.

Для обеспечения годовой продуктивности дойной коровы необходимо: 10 т кукурузы на силос при урожайности 52 т/га и площадь 100 га, или кукурузы на зерно при урожайности 6 т/га и 340 га с валовым производством силоса 5,2 тыс. т, стеблей – 3,4 и зерна – 2,1 тыс. т. Если на 1 дойную корову со шлейфом необходимо 3,3 тыс. к. ед. грубых и сочных кормов, то имеющихся запасов будет достаточно для содержания 525 коров. При этом на каждую из них без шлейфа приходится 4 тыс. к. ед. в год концентрированных кормов, вместе с грубыми и сочными – 6,1 тыс. к. ед. или в сутки – 16,8 к. ед. В результате валовое производство молока составит 5,2 тыс. т, с учетом потребностей молодняка – около 5,0 тыс. т (табл. 2).

Таблица 2 – Производство продукции

Продукция	Модель			
	№1	№2	№3	№4
Живой вес, т	174	-	-	-
Молоко, тыс. т	5	-	-	-
Электроэнергия, млн кВт-час	-	3,2	5,7	10,0
Тепло, млн кВт-час	-	3,7	6,6	11,6
Экономия минеральных удобрений, т	300	380	825	1450
Мясо, т	-	70	190	340
Сыр, т	-	320	880	1550
Сливки, т	-	330	915	1605

Эта кормовая база также рассчитана на выращивание телочек и бычков. При забойной массе выбракованной коровы 525 кг, а бычка 370 кг можно рассчитывать на получение в живом весе около 80 т телятины и до 100 т говядины в год [6].

Важно также, что благодаря такой отраслевой структуре с органическими удобрениями в почву возвращается 55% азота, 80% фосфора и 90% калия от выноса урожаем, что позволяет сэкономить значительное количество минеральных удобрений и обеспечить положительный баланс органического углерода (табл. 1).

Таблица 3 – Составляющие инфраструктуры

Составляющие инфраструктуры	Модель			
	№1	№2	№3	№4
Элеватор, тыс. т	2	2	6	10
Хранилище для силоса, тыс. т	10	10	23	40
Животноводческий комплекс, тыс. голов	1	1	3	5
Приобретение коров, тыс. голов	0,5	0,5	1,4	2,5
Переработка мяса, т	-	200	500	900
Переработка молока, тыс. т	-	5	14	25
Склады для хранения готовой продукции, тис. т	-	0,7	2,0	3,5
БЭК, тыс. т навоза КРС	-	14	25	44
Хранилище для органических удобрений, тыс. т	15	3	5	9
ОУС, га	440	440	440	440
Комплекс техники в растениеводстве	1	1	1	1

Для такого производства нужна инфраструктура с элеватором, хранилищами для грубых и сочных кормов, животноводческим комплексом, хранилищем для навоза, действующей ОУС с закупкой 500 голов маточного поголовья КРС (табл. 3).

Как отмечалось, Модель №2 отличается дополнением инфраструктуры БЭК и модулями по переработке и хранению продукции животноводства. Их мощность должна составлять: 200 т живого веса КРС, 5 тыс. т молока, 14 тыс. т навоза и отходов бойни, хранение продукции – 0,7-1,0 тыс. т (табл. 3).

Принималось, что молоко обезжиривается с получением 20% сливок и нормализованной смеси жирностью 2,3%. Ее расход на производство 1 т твердого сыра – 13,8 т, а расход цельного молока на 1 т сливок – 16,7 т. Выход всех категорий мяса – 40% от живого веса (табл. 1) [6].

Расчеты потенциала производства электро- и тепловой энергии строились на том, что при хранении портится 20% грубых и сочных кормов, 50% сухого вещества скормленных кормов трансформируется в навоз [7], в биогаз переходит 45% массы сухого вещества навоза и испорченных кормов, отходы бойни – 20% от живого веса, из 1 т которых получают 300 м<sup>3</sup> биогаза с массой 1 м<sup>3</sup> 1,2 кг. Из 1 м<sup>3</sup> биогаза на когенерационной установке производится 2,4 кВт-час электро и 2,8 кВт-час тепла (таблица 1) [8, 9].

Таким образом, по условиям Модели №2 годовое производство мяса – 70 т, сыра – 320 т, сливок – 330 т. Генерация тепловой и электроэнергии составит 3,7 и 3,2 млн кВт-час.

За счет сокращения отчуждения биогенных элементов за пределы землепользования с переработанной продукцией рециркуляция азота увеличится до 78, фосфора – до 92 и калия – до 99%, а объемы сэкономленных минеральных удобрений составят 380 т (табл.1).

Результаты, полученные в стационарном опыте, показали, что зерновые культуры в сравнении с кормовыми отличаются более низкой продуктивностью. Зерновая кукуруза часто не вызревает. При этом для обеспечения оптимального баланса между грубыми, сочными и концентрированными кормами в структуре посевных площадей зерновые должны занимать около 75%. С другой стороны, разница между себестоимостью зерна и ценой его реализации незначительна и по ячменю составляла в среднем за 2010-2013 гг. по Украине 14,4 у.е./т. Поэтому согласно условиям Модели №3 на всей площади пашни предприятия предусматривается возделывание кукурузы на силос с покупкой зерна в количестве, обеспечивающем сбалансированные рационы кормления животных.

Выращивание на всей площади пашни силосной кукурузы с урожайностью 52 т/га позволит получать 23 тыс. т силоса. Для балансирования рациона кормления нужно приобрести 5,8 тыс. т зерна. Соответственно изменится инфраструктура: элеватор должен быть на 6 тыс. т, хранилища для сочных кормов – 23 тыс. т, животноводческий комплекс – 3 тыс. голов КРС, приобретение маточного поголовья – 1,4 тыс. голов, модули по переработке молока и мяса соответственно на 14 и 0,5 тыс. т в год, склады для хранения готовой продукции – на 2 тыс. т, биоэнергетический комплекс – на 25 тыс. т отходов, хранилище для органических удобрений – 5 тыс. т (табл. 3). При этом производство всех видов продукции увеличится в 2,7-2,8 раза (табл. 2). За счет приобретенного зерна поступление в почву азота, фосфора и калия будет составлять 150, 200 и 120% от выноса урожаем с экономией 825 т минеральных удобрений.

Модель №4 аналогична предыдущей с заменой кукурузы более продуктивными нетрадиционными однолетними и многолетними кормовыми культурами. Действительно, с 1965 г. ведения опыта вклад кукурузы в продуктивность севооборота является наиболее весомым. Но временные опыты показали, что некоторые кормовые культуры существенно превосходят кукурузу по продуктивности. Так, урожайность зеленой массы козлятника восточного в благоприятные годы, моделирующие работу ОУС, достигает 80 т/га, горчица – 130 т/га, редьки масличной – 90 т/га, пайзы – 80 т/га. В севообороте из этих культур продуктивность пашни повысится до 90 т/га зеленой массы (18 т/га к. ед.) с ее валовым производством 40 тыс.т. В результате объемы производства возрастут почти в 2 раза.

При этом с приобретенными 10 тыс. т зерна в круговорот макро- и микроэлементов будет вовлекаться примерно 160 т азота, 60 т фосфора и 40 т калия, а в почву с органическими удобрениями будет поступать 160, 210 и 120% этих элементов от выноса урожаем и

Таблица 4 – Экономические показатели перспективных вариантов развития предприятия, млн. у.е.

Показатели	Модель			
	№1	№2	№3	№4
Капитальные затраты				
Осушительно-увлажняющая система	4,3	4,3	4,3	4,3
Техническое обеспечение растениеводства	0,4	0,4	0,3	0,3
Элеватор	0,1	0,1	0,2	0,3
Животноводческий комплекс	1,3	1,3	3,5	6,1
Оборудование для животноводческого комплекса	0,1	0,1	0,3	0,5
Маточное поголовье	1,0	1,0	2,7	4,8
Биоэнергетический комплекс	-	1,8	2,1	3,6
Переработка молока	-	0,4	1,1	2,0
Переработка мяса	-	0,1	0,1	0,2
Склады для хранения продукции	-	0,0	0,1	0,1
Хранилища для грубых и сочных кормов	-	0,4	1,2	2,0
Хранилища для органических удобрений	-	0,1	0,1	0,2
Всего	7,1	9,8	15,6	24,3
<b>Тыс. у.е./га</b>	<b>16,1</b>	<b>22,3</b>	<b>35,5</b>	<b>55,2</b>
Производственные затраты				
Эксплуатация ОУС и БЭК	0,01	0,19	0,19	0,19
Производство и приобретение кормов	0,45	0,45	1,63	2,60
Содержание животных	0,68	0,68	2,44	4,28
Переработка молока	-	0,23	0,81	1,43
Переработка мяса	-	0,06	0,19	0,33
Всего	1,14	1,59	5,24	9,05
<b>Тыс. у.е./га</b>	<b>2,6</b>	<b>3,6</b>	<b>11,9</b>	<b>20,6</b>
Валовой доход				
Молоко или молочные продукты	1,78	3,81	10,68	18,73
Живой вес или мясопродукты	0,29	0,35	0,96	1,69
Экономия минеральных удобрений	0,14	0,16	0,34	0,60
Электроэнергия	-	0,54	0,95	1,68
Тепловая энергия	-	0,13	0,24	0,41
Всего	2,20	5,06	13,16	23,09
<b>Тыс. у.е./га</b>	<b>5,0</b>	<b>11,5</b>	<b>29,9</b>	<b>52,5</b>
Чистая прибыль				
Млн у.е.	1,06	3,48	7,93	14,04
<b>Тыс. у.е./га</b>	<b>2,4</b>	<b>7,9</b>	<b>18,0</b>	<b>31,9</b>
Срок окупаемости инфраструктуры				
<b>Лет</b>	<b>6,7</b>	<b>2,8</b>	<b>2,0</b>	<b>1,7</b>

экономией 1450 т минеральных удобрений.

Для сравнительной экономической оценки рассмотренных моделей использовались следующие показатели: капитальные вложения и сроки их окупаемости, валовой доход, производственные затраты, чистая прибыль (табл.4).

Согласно Модели №1 на возрождение животноводства, реконструкцию ОУС, техническое оснащение растениеводства и строительство элеватора необходимо израсходовать 7,1 млн у.е. Включение в инфраструктуру БЭК, модулей по переработке, хранению продукции, кормов и органических удобрений увеличит ее стоимость до 9,8 млн у.е (Модель №2). Приобретение концкормов позволит значительно увеличить поголовье КРС, что потребует существенного расширения инфраструктуры животноводства с возрастанием капитальных вложений по Модели №3 до 15,6 млн у.е и по Модели №4 до 24,3 млн у.е.

Текущие технологические расходы в растениеводстве, животноводстве, приобретение концентрированных кормов, эксплуатация перерабатывающих модулей, БЭК и ОУС образуют производственные затраты. Согласно условий Модели №1 этот показатель составит 1,14 млн у.е., по Моделям №2-4 возрастут соответственно в 1,4, 5,2 и 7,9 раза.

Если без переработки молока, мяса и навоза валовой доход будет составлять 2,2 млн у.е., то при реализации готовой продукции и энергоносителей этот показатель возрастет более чем в 2 раза. Расширение инфраструктуры и увеличение объемов производства за счет покупки зерна позволит повысить доход по условиям Модели №3 до 13,2 млн у.е., по Модели №4 – до 23,1 млн у.е.

Чистая прибыль определялась как разница между валовым доходом и производственными затратами. От Модели №1 до Модели №4 этот показатель изменяется в возрастающем ряду: 1,1 → 3,5 → 7,9 → 14,0 млн у.е. Такая прибыльность позволяет окупить капитальные затраты на инфраструктуру за период от 7 (Модель №1) до 2 лет (Модели №3 и №4).

### **Выводы**

Дополнение животноводства мощностями по переработке молока, мяса и отходов при относительно невысоких капитальных затратах позволяет резко увеличить прибыльность и сроки окупаемости финансовых вложений. В условиях избыточного увлажнения на органогенных почвах концентрированные корма выгоднее закупать, чем производить. В этих условиях некоторые кормовые культуры имеют потенциал продуктивности выше, чем традиционная кукуруза. Благодаря высокому уровню рециркуляции макро- и микроэлементов достигается расширенное воспроизводство плодородия почвы без применения минеральных удобрений. Полная стерилизация всех отходов и освобождение их от семян сорняков на БЭК, а также освоение севооборота с оптимальными предшественниками со временем позволит свести к минимуму применение пестицидов и перейти на принципы «органического» производства. Значительные затраты на восстановление ОУС быстро окупаются если она функционирует как составляющая адаптированной к агроресурсному потенциалу территории производственной инфраструктуры. Формирование биоэнергети-

ческих систем аграрного производства требует значительных инвестиций, но они быстро окупаются, а чистая прибыль после модернизации предприятия может достигать 30 тыс. у.е./га. Проведенные исследования подтвердили результаты, полученные в других почвенно-климатических условиях, в том числе и в зоне орошения.

**Библиографический список**

1. Коваленко, П.И. Долгосрочные стационарные полевые опыты Украины. Реестр аттестатов / П.И. Коваленко. – Харьков: Друкарня №13, 2006. – 120 с.
2. Тарарико, Ю.А. Формирование биоэнергетических агроэкосистем в зоне Полесья Украины: рекомендации / Ю.А. Тарарико, О.М. Бердников. – К.: ДИА, 2012. – 170 с.
3. Тарарико, Ю.А. Биоэнергетические орошаемые агроэкосистемы / Ю.А. Тарарико. – К.: ДИА, 2010. – 86 с.
4. Тарарико, Ю.А. Рекомендации по формированию биоэнергетических агроэкосистем (Левобережная Лесостепь) / Ю.А. Тарарико. – К.: ДИА, 2010. – 156 с.
5. Тарарико, Ю.А. Потенциал продуктивности органогенных почв Полесья / Ю.А. Тарарико, Н.Г. Стецюк // Вестник аграрной науки. – 2014. – №3. – С. 60-64.
6. Кальченко, С.В. Справочная книга директора совхоза / С.В. Кальченко. – М.: Сельхозгиз, 1956. – Ч. 2. – 1016 с.
7. Прянишников, Д.Н. Справочник по удобрениям / Д.Н. Прянишников. – М.: Колос. – 1964. – С. 93-122.
8. БГУ для перерабатывающей промышленности // ЭКОТЭНК [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://ekotenk.com.ua/>. – Дата доступа: 10.05.2014.
9. Биогазовые установки // ZORG [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://zorgbiogas.ru/biogazovye-ustanovki/vygody>. – Дата доступа: 11.03.2013.

**Summary.**

*Ju. Tarariko, A. Lychuk*

**BIOENERGETIC AGROECOSYSTEMS ON RECLAIMED LAND OF POLESIE**

The principles of sustainable use of drained land of Polyssya in bioorganic farming system are grounded. By multivariate imitation computer modeling the search of most perspective variants of branch structure of agricultural production. It is based on the creation of complete cycles of biogenic macro- and micronutrients. Creating of infrastructure adapted to biomass production potential requires significant capital expenditures. However, the cost of modern infrastructure pays off in 2-3 years, after which net income may reach 30 thousand \$/ ha.

*Поступила 3.10.2014*