УДК 577.3: 631.51:631.86

БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЫРАЩИВАНИЯ КУЛЬТУР В ЗЕРНОПРОПАШНОМ СЕВООБОРОТЕ

ДУДКИН И.В.,

доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела растениеводства ФГБНУ «Курский НИИ агропромышленного производства», e-mail: dudkinil@mail.ru.

ДУДКИНА Т.А.,

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории севооборотов и защиты растений ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии», e-mail: dudkinakaryh@mail.ru.

Реферат. Для биоэнергетической оценки различных технологий выращивания сельскохозяйственных культур были взяты материалы исследований, которые проводились в течение девяти лет в стационарном многофакторном полевом опыте. Применялись четыре варианта основной обработки почвы: 1) без основной обработки почвы; 2) мелкая безотвальная и поверхностная; 3) вспашка; 4) дифференцированная (отвальная обработка – под сахарную свёклу, мелкая и поверхностная – под другие культуры севооборота). На части делянок проводилась обработка химическими средствами борьбы с сорняками, на другой части противосорняковые препараты не вносились. Изучение этого фактора проводилось при двух видах основной обработки: нулевой и мелкой безотвальной. Использовались рекомендованные препараты по существующим регламентам. В условиях Центрально-Чернозёмного региона в зернопропашном севообороте дифференцированная система основной обработки почвы характеризовалась самой низкой энергоёмкостью основной продукции и обеспечила получение наибольшего чистого энергетического дохода. Наибольший уровень энергетической эффективности был достигнут при нулевой обработке. Лишь немного уступали ей дифференцированная и мелкая безотвальная обработка. По показателям комплексных факторов показало, что в рассматриваемом аспекте лучшим был вариант с мелкой безотвальной обработкой, без использования химических средств для уничтожения сорняков, с выращиванием в севообороте промежуточных культур и внесением минеральных удобрений вразброс осенью. Исследованиями в другом условном полевом опыте, где изучались системы основной обработки почвы и применение навоза, установлено, что предпочтительнее с биоэнергетических позиций выращивать сельскохозяйственные культуры при сочетании различных видов обработки почвы под отдельные культуры без применения навоза. Высокая биоэнергетическая эффективность отмечена также при технологии выращивания сельскохозяйственных культур, в основе которой система мелкой безотвальной и поверхностной основной обработки почвы тоже без применения органических удобрений. Биоэнергетическая оценка показала, что внесение 80 т/га навоза однократно на две ротации севооборота менее эффективно, чем применение этого удобрения при норме внесения 40 т/га один раз за ротацию.

Ключевые слова: биоэнергетическая эффективность, зернопропашной севооборот, системы основной обработки почвы, дифференцированная обработка, безотвальная обработка, без основной обработки почвы, навоз.

BIOENERGETIC EFFICIENCY OF GROWING CROPS IN ROTATIONS WITH GRAIN AND ROW CROPS

DUDKIN I.V.,

Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Department of Crop Production, FSBSI "Kursk Research Institute of Agroindustrial Production", e-mail: dudkinil@mail.ru.

DUDKINA T. A.,

Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Crop Rotations and Plant Protection, FSBSI "All-Russia Research Institute of Arable Farming and Soil Erosion Control", e-mail: dudkinakaryh@mail.ru.

Essay. For bioenergy evaluation of various technologies of cultivation of crops the materials of the studies that were conducted for nine years in a stationary multi-factor field experiment were taken. Four options of primary tillage were used: 1) no primary tillage; 2) shallow subsurface and surface tillage; 3) plowing; 4) differentiated (moldboard treatment for sugar beet, shallow and surface one for other crops). Part of the plots were treated with chemical means of weed control, on the other part weed control means were not applied. This factor was studied at two backgrounds primary tillage: zero and shallow subsurface. The recommended preparations according to the existing regulations were applied. In Central Chernozem Region in the crop rotation with grain and row crops differentiated system of primary tillage was characterized by the lowest energy intensity of main products and allowed to get the high-

est net energy income. Comparison of certain complexes of factors showed that the advantage had the option with shallow subsurface tillage without the application of herbicides, with the cultivation of catch crops and autumn broadcast application of mineral fertilizers. The highest energy efficiency was when no-till was used, it was a little less with shallow subsurface and differentiated tillage. Plowing was inferior in bioenergy indicators to all other systems of primary tillage studied.

By the research in other conditional field experiment, where the systems of primary tillage and farm manure application were studied, it was found out that it was preferable from the point of view of bioenergy to grow crops using a combination of different types of tillage for certain crops without the application of manure. High bioenergetic efficiency was also noted in the crop cultivation technology, based on the system of shallow subsurface and surface primary tillage without the application of organic fertilizers. From the point of view of bioenergetics, the application of farm manure once in two rotation cycles with the rate of 80 t/ha was less effective than the application of 40 t/ha of that fertilizer once per cycle.

Key words: bioenergetic efficiency, grain-row crop rotation, systems of primary tillage, differentiated tillage, subsurface tillage, no primary tillage, manure.

Введение. Проблема экономии ресурсов, в том числе и энергоресурсов, выдвинулась в ряд важнейших проблем современности. Это касается многих отраслей и, в частности – производства сельскохозяйственной продукции. В последние годы в научных исследованиях по земледелию вопросам биоэнергетики уделяется много внимания [1-7].

Достичь снижения ресурсо- и энергоёмкости можно либо снижением энергозатрат на единицу продукции при фиксированном уровне продуктивности, либо посредством опережающего прироста продукции к приросту энергозатрат [8].

Ресурсосберегающие системы возделывания сельскохозяйственных культур имеют свои плюсы и минусы. К числу преимуществ можно отнести энергоресурсосбережение (30 л/га дизтоплива против 120 л/га при вспашке), мульчирующий эффект и сохранение влаги, защиту почвы от эрозии, дополнительное снегонакопление, улучшение структуры, возделывание рентабельных культур, повышение плодородия почв и т.д. Недостатками таких технологий являются невозможность внесения органических удобрений и мелиорантов из-за отсутствия в севообороте чёрного пара, переуплотнение почвы, усиление дефицита минерального азота, ухудшение фитосанитарной обстановки на полях и, как следствие этого, увеличение объёмов применения пестицидов [9].

Со второй части XX века в земледелии в мировом масштабе стал проявляться новый подход к обработке почвы, заключающийся в уменьшении кратности и глубины обработок почвы, как наиболее энергозатратных приёмов. Разрабатываются более совершенные приёмы обработки почвы для снижения нежелательного действия на почву тяжёлых машин, ветровой и водной эрозии, экономии времени, ресурсов энергии, сбережения плодородия почвы [10].

Вислобокова Л.Н. и др. [11] считают, что в современных условиях при дефиците энергоресурсов, постоянном росте цен на них правильное решение проблемы выбора системы основной обработки почвы в зоне чернозёмных почв приобретает значение большой производственной важности.

В опытах Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова [12] при технологиях с зяблевой вспашкой биоэнергетический коэффициент при возделывании яровой пшеницы был 1,5 без учёта побочной продукции и 3,4 – при её учёте. При проведении мелкой обработки коэффициент выше и равен 2,2 и 5,0. С биоэнергетических позиций самым эффективным был вариант при нулевой обработке почвы и прямом посеве яровой пшеницы в необработанную почву. Биоэнергетический коэффициент здесь равен 3,8 без учёта соломы и 8,6 с учётом побочной продукции.

Определение биоэнергетической эффективности даст необходимые дополнительные сведения для разработки эффективных энергосберегающих технологий выращивания сельскохозяйственных культур.

Материал и методика исследования. Биоэнергетическая оценка может производиться как дополнение к экономической оценке и в качестве самостоятельного исследования. Для осуществления такой оценки при проведении расчётов нами были использованы общепринятые методики и справочные материалы.

В качестве исходных материалов для биоэнергетического анализа различных технологий выращивания сельскохозяйственных культур были взяты материалы исследований, которые проводились в течение девяти лет в стационарном многофакторном полевом опыте. Опыт был заложен на склоне северной экспозиции крутизной 0-3°. Почва опытного участка – чернозём типичный тяжелосуглинистый с содержанием в пахотном слое гумуса 5,9 %. Культуры выращивались в зернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: однолетние травы (вико-овёс) – озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень – яровая пшеница.

В полевом эксперименте изучались следующие факторы: основная обработка почвы, гербициды, промежуточные культуры, способы применения органических и минеральных удобрений. Применялись четыре варианта основной обработки почвы: 1) без основной обработки почвы; 2) мелкая безотвальная и поверхностная; 3) вспашка; 4) дифференцированная (отвальная обработка – под сахарную свёклу, мелкая

и поверхностная – под другие культуры севооборота).

Опыт содержал варианты без применения и с применением промежуточных культур. Для промежуточных посевов использовали горохоовсяную смесь. Выращивали промежуточные культуры с дополнительным внесением удобрений – компенсирующей дозы NPK. После уборки промежуточной культуры почва обрабатывалась в соответствии с уровнем фактора «обработка почвы».

Часть делянок подвергалась обработке химическими средствами борьбы с сорняками, на другой части гербициды не применялись. Данный фактор изучался на двух фонах основной обработки почвы: нулевой и мелкой безотвальной. Гербициды вносились на всех культурах кроме однолетних трав. Применялись различные рекомендованные препараты в соответствии с регламентами.

В дополнение к сказанному, на вариантах нулевой обработки почвы после уборки викоовсяной смеси перед посевом озимой пшеницы, а также на третий день после посева промежуточных культур (до появления их всходов), вносили препарат реглон.

Удобрение навозом выполняли по двум схемам: 40 т/га один раз за ротацию и 80 т/га один раз за две ротации. Были также предусмотрены варианты без внесения навоза. Минеральные удобрения вносили осенью вразброс или весной локально комбинированным агрегатом.

Варианты полевого эксперимента объединялись в два условных полевых опыта. В первом на двух фонах основной обработки почвы (нулевая и мелкая безотвальная) изучалось действие таких факторов, как применение гербицидов, возделывание промежуточных культур, способы применения удобрений. Второй условный полевой опыт содержал варианты, отличающиеся между собой по двум факторам: системе подготовки почвы (отвальная, мелкая безотвальная, дифференцированная) и внесению органических удобрений (без навоза, навоз вносится в расчёте на 1 ротацию, навоз вносится в расчёте на 2 ротации).

Сравнение всех изучавшихся систем основной обработки почвы в рассматриваемом опыте возможно, если выбрать отдельные варианты. В этих вариантах не проводились посевы промежуточных культур и не применялся навоз, для борьбы с сорняками использовались гербициды, минеральные удобрения вносили локально-ленточным способом весной перед посевом культур.

Результаты исследования. В результате биоэнергетического анализа было установлено, что при дифференцированной основной обработке почвы в надземной фитомассе культурных растений аккумулировалось наибольшее количество энергии – 104953 МДж/га. При мелкой безотвальной основной обработке этот показатель снижался на 646, а при нулевой – на 1200 МДж/га (таблица 1).

В варианте со вспашкой затраты совокупной, а также антропогенной невозобновляемой энергии бы-

ли наиболее высокими. Меньше всего энергии затрачено было при нулевой обработке.

Самый высокий чистый энергетический доход был получен при сочетании в севообороте разных видов основной обработки – 70559 МДж/га. Другие виды основной обработки в порядке убывания этого показателя располагались в ряду: мелкая безотвальная, нулевая, отвальная. Низкой энергоёмкостью основной продукции выделялась дифференцированная основная обработка почвы.

Благодаря меньшим энергетическим затратам в варианте без основной обработки почвы, в сравнении с другими вариантами обработки почвы, была выше и биоэнергетическая эффективность. Незначительно уступали ему варианты, где применялись мелкая безотвальная и дифференцированная системы обработки. Биоэнергетическая эффективность при отвальной основной обработке почвы была ниже, чем при других системах обработки.

Применение химических препаратов для уничтожения сорняков в зернопропашном севообороте при проведении мелкой безотвальной обработки и без основной обработки почвы с позиций биоэнергетики не дало ожидаемого результата. В вариантах, где основная обработка не проводилась, энергетический эффект при применении противосорняковых препаратов возрастал только в вариантах без промежуточных посевов.

Фактор «промежуточные культуры» оказал наибольшее положительное действие на энергетическую эффективность. При насыщении севооборота тремя промежуточными культурами происходил рост этого показателя на 12 – 18 %.

Применение проводимого весной локального внесения туков взамен их разбросного внесения осенью дало хороший результат с точки зрения биоэнергетики только при проведении мелкой безотвальной основной обработки почвы, без опрыскивания посевов гербицидами и без посева промежуточных культур. Во всех остальных случаях эффект был обратным.

Если анализировать данные по отдельным культурам, то видно, что при выращивании однолетних трав и озимой пшеницы в энергетическом аспекте преимущество принадлежит дифференцированной системе основной обработки почвы. Для сахарной свёклы одинаково приемлемы в плане биоэнергетики дифференцированная, отвальная и мелкая безотвальная основная обработка почвы. При возделывании ячменя и яровой пшеницы преимущество было за нулевой обработкой.

В первом условном полевом опыте наибольшие выход кормовых единиц и энергия надземной фитомассы были отмечены при возделывании полевых культур без основной обработки почвы, при химической защите растений от сорняков, возделывании в севообороте промежуточных культур и осеннем разбросном способе применения минеральных удобрений. В этом варианте также был получен максимальный энергетический доход.

Таблица 1 - Энергетическая оценка возделывания сельскохозяйственных культур в зернопропашном севообороте при разных системах основной обработки почвы

Наименование показателя	Система основной обработки почвы			
	без основной обработки	Мелкая безотвальная	отвальная	дифференцированная
Выход кормовых единиц основной продукции с 1 гектара севооборотной площади, ц	40,8	41,6	42,0	42,3
Энергия надземной фитомассы (E_{Φ}), МДж/га	103753	104307	104688	104953
Совокупные энергетические затраты (E_A), МДж/га	33723	33994	34958	34394
Затраты антропогенной невозобновляемой энергии ($E_{АНЭ}$), МДж/га	29671	29947	30911	30336
Чистый энергетический доход, МДж/га	70030	70313	69730	70559
Энергоёмкость основной продукции (Σ), МДж/ц корм. ед.	727	720	736	717
Энергетическая эффективность ($\Sigma\Sigma$)	3,50	3,48	3,39	3,46

При выращивании культур по фону нулевой основной обработки почвы, без применения гербицидов и без промежуточных культур, отмечены самые низкие затраты антропогенной энергии.

По показателям энергетической ёмкости основной продукции и энергетической эффективности первенствовал вариант, где проводилась мелкая безотвальная основная обработка почвы, отсутствовала химическая борьба с сорняками, возделывались промежуточные культуры и выполнялось разбросное осеннее внесение минеральных удобрений.

Во втором условном полевом опыте наибольшая энергия надземной фитомассы была накоплена в варианте, где проводили вспашку и вносили навоз один раз за ротацию севооборота. Ниже всего этот показатель был при безотвальной мелкой основной обработке почвы без внесения органических удобрений.

Больше всего затрачено антропогенной энергии было, согласно расчётам, в варианте, где сельскохозяйственные культуры выращивались на фоне отвальной основной обработки почвы и при внесении навоза один раз за две ротации, а меньше всего – при мелкой безотвальной основной обработке почвы без внесения навоза.

По энергетической доходности преимущество имел вариант, где органические удобрения не применялись и в севообороте сочетались различные обработки почвы под разные культуры. В этом варианте, кроме того, отмечена наименьшая энергоёмкость основной продукции.

В рассматриваемом условном полевом опыте по коэффициенту энергетической эффективности первенство принадлежало двум вариантам: уже упомянутому ранее варианту с дифференцированной обработкой без внесения навоза и варианту с мелкой безотвальной основной обработкой почвы тоже без

применения органических удобрений. Однако, анализируя полученные данные, по комплексу энергетических показателей предпочтение мы отдали первому из названных вариантов.

Применение навоза один раз за две ротации в дозе 80 т/га с точки зрения биоэнергетики, оказалось менее эффективным, чем внесение 40 т/га этого удобрения один раз за ротацию.

Выводы. В условиях Центрально-Чернозёмного региона в зернопропашном севообороте дифференцированная система основной обработки почвы обеспечила получение наибольшего чистого энергетического дохода. Эта система обработки выделялась также самой низкой энергетической ёмкостью основной растительной продукции. В то же время, самым высоким результатом по энергетической эффективности отличался вариант без основной обработки почвы. Немного уступали нулевой обработке мелкая безотвальная и дифференцированная.

Сравнение вариантов опыта с разным сочетанием факторов показало, что по показателям биоэнергетики лучшим был вариант, где в качестве основной обработки почвы применялась мелкая безотвальная обработка, гербициды не использовались, возделывались промежуточные культуры, а минеральные удобрения вносились осенью разбросным способом.

Исследованиями в другом условном полевом опыте, где изучались системы основной обработки почвы и применение навоза, установлено, что предпочтительнее с биоэнергетических позиций выращивать сельскохозяйственные культуры при сочетании различных видов обработки почвы под отдельные культуры без применения навоза. Высокой энергетической эффективностью выделялась также система безотвальной основной обработки почвы на глубину не более 10 см, тоже без применения органических удобрений.

Список использованных источников

1. Федорищев В.Н., Старовойтов Н.А., Дудинцев Е.В. Экономия энергозатрат в технологиях возделывания озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. – 1999. - № 8. – С. 9-12.
2. Гулидова В.А. Теоретические основы повышения урожайности культур и снижение энергозатрат в севообороте с рапсом при разных системах основной обработки почвы в лесостепи ЦЧР: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. - Воронеж, 2000. - 46 с.
3. Туликов А.М., Сутягин В.П. Некоторые аспекты оценки энергетических потоков в агроэкосистемах // Вестник РАСХН. - 2004. - № 4. - С. 62-65.
4. Гармашов В.М. Обработка почвы в ландшафтных системах земледелия // Пути сохранения плодородия почвы и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: материалы заседания Территориального координационного совета «Проблемы земледелия ЦЧЗ» (Каменная Степь, 29 мая 2009 г., Ч. 1). – Воронеж: Истоки, 2009. – С. 25-29.
5. Дудкин И.В. Научное обоснование приёмов и систем регулирования засорённости посевов сельскохозяйственных культур в ландшафтном земледелии лесостепи Центрального Черноземья: автореф. дисс. ... докт. с.-х. наук. – Курск, 2009. – 38 с.
6. Турусов В.И. Резервы повышения плодородия чернозёмов и урожайности сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ // Пути сохранения плодородия почвы и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: материалы заседания Территориального координационного совета «Проблемы земледелия ЦЧЗ» (Каменная Степь, 29 мая 2009 г., Ч. 1). – Воронеж: Истоки, 2009. – С. 3-8.
7. Дудкин И.В., Дудкина Т.А. Биоэнергетическая оценка факторов биологизации земледелия // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. - № 2. – С. 6-10.
8. Булаткин Г.А., Ларионов В.В. Энергетическая эффективность земледелия и агроэкосистем: взаимосвязи и противоречия // Агрохимия. – 1997. - № 3. – С. 63-66.
9. Алёхин В.Т. Роль защиты растений в ресурсосберегающих технологиях возделывания сельскохозяйственных культур // Пути сохранения плодородия почвы и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья: материалы заседания Территориального координационного совета «Проблемы земледелия ЦЧЗ» (Каменная Степь, 29 мая 2009 г., Ч. 2). – Воронеж: Истоки, 2009. – С. 3-4.
10. Дедов А.В., Лукин Л.Ю., Косилова А.Н. Эффективность использования удобрений при возделывании озимой пшеницы // Плодородие. – 2002. - № 1. – С. 27-28.
11. Вислобокова Л.Н., Скорочкин Ю.П., Воронцов В.А. Эффективность ресурсосберегающих приёмов основной обработки чернозёмных почв // Сохранение и воспроизводство плодородия почв в адаптивно-ландшафтном земледелии (к 70-летию со дня рожд. А.П. Щербакова): материалы Всероссийской научно-практической конференции (ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 13-15 сентября 2011 г., Курск). – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2011. – С. 62-65.
12. Михайлова З.И., Михайлов А.А., Вакуленко А.В. Влияние способов обработки почвы на продуктивность зерновых культур // Вестник КрасГАУ. – 2016. - № 4. – С. 10-15.

List of sources used

1. Fedorishchev V. N., Starovoytov N. A. Dudintsev E.V. Energy savings in the technologies of winter wheat cultivation // Achievements of science and technology of agriculture. – 1999. - No. 8. – S. 9-12.
2. Gulidova V. A. Theoretical principles of increasing crop yields and reducing energy consumption in the crop rotation with oilseed rape in different systems of primary tillage in the forest-steppe of Central Chernozem Region: theses of diss. ... Doctor of Agricultural Sciences. - Voronezh, 2000. - 46 p.
3. Tulikov, A. M., Sutyagin V. P. Some aspects of the evaluation of energy flows in agroecosystems // Bulletin of the RAAS. - 2004. - No. 4. - S. 62-65.
4. Garmashov V. M. treatment of the soil landscape systems of agriculture // conservation of soil fertility and productivity of agricultural crops in adaptive-landscape agriculture of the Central Chernozem region / proceedings of a meeting of the Territorial coordination Council "problems of agriculture CCZ" (Stone Steppe, may 29, 2009, CH. 1). – Voronezh: Istoki, 2009. – P. 25-29.
5. Dudkin I. V. Scientific substantiation of methods and systems of regulating weed infestation of crops in the landscape agriculture of the forest-steppe of Central Chernozem Region: theses of dis. ... Doctor of Agricultural Sciences. – Kursk, 2009. – 38 S.
6. Turusov V. I. Reserves for increasing the fertility of chernozems and the yield of crops in Central Chernozem Region//The ways of conservation of soil fertility and crop productivity in adaptive-landscape agriculture of the Central Chernozem Region / Proceedings of a meeting of the Territorial Coordination Council "Problems of agriculture in Central Chernozem Region " (Stone Steppe, May 29, 2009, Part 1). – Voronezh: Istoki, 2009. – P. 3-8.
7. Dudkin I. V., Dudkina T. A. Bioenergetic assessment of factors of biological agriculture // Bulletin of Kursk State Agricultural Academy. – 2017. - No. 2. – P. 6-10.

8. Bulatkin G. A., Larionov V. V. Energy efficiency of agriculture and agro- and contradictions ecosystems: interrelations // Agrochemistry. – 1997. - No. 3. – P. 63-66.

9. Alekhin V. T. The role of plant protection in resource-saving technologies of crop cultivation // The ways of conservation of soil fertility and crop productivity in adaptive-landscape agriculture of the Central Chernozem Region / Proceedings of a meeting of the Territorial Coordination Council "Problems of agriculture in Central Chernozem Region " (Stone Steppe, May 29, 2009, Part 2). – Voronezh: Istoki, 2009. – P. 3-4.

10. Dedov A.V., Lukin L. Y., Kosilova A. N. The efficiency of fertilizer application in the cultivation of winter wheat // Fertility. – 2002. - No. 1. – P. 27-28.

11. Vislobokova, L. N., Skorochkin Yu.P., Vorontsov V. A. Efficiency of resource-saving practices of primary tillage of chernozem soils // Conservation and reproduction of soil fertility in adaptive-landscape agriculture / Proceedings of the All-Russia scientific-practical conference 13-15 September 2011, Kursk). – Kursk., 2011. – S. 62-65.

12. Mikhailova, Z. I., Mikhailov A. A., Vakulenko A.V. Influence of tillage methods on grain crop productivity // Bulletin of Krasnodar State Agricultural University. – 2016. - No. 4. – P. 10-15.