

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВНЕСЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ СВИНОВОДЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА ОСВАИВАЕМЫХ ЗЕМЛЯХ ВЕРХНЕВОЛЖЬЯ

**В.А. Шевченко, ак. РАН, А.М. Соловьёв, д.с.-х.н., Г.И. Бондарева, д.т.н., Н.П. Попова, к.с.-х.н.
ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»
127434, Москва, ул. Большая Академическая, 44, корп. 2**

Установлено, что для улучшения экологической ситуации на сельскохозяйственных территориях, расположенных рядом с крупными животноводческими комплексами, с целью повышения плодородия малопродуктивных осваиваемых земель Нечернозёмной зоны, жидкие стоки следует вносить с помощью технологии шланговых систем на поля, удалённые до 4 км от лагуны, а твёрдую фракцию навоза — до 10 км от места их накопления. На удалённых полях следует применять в качестве основного удобрения расчётные дозы НРК под запланированную урожайность. Такая система удобрения обеспечивает при возделывании всех культур пятипольного плодосменного зерно-пропашного севооборота приемлемые затраты совокупной энергии, наибольший чистый энергетический доход и наименьшую энергетическую себестоимость продукции растениеводства.

Ключевые слова: жидкие стоки, твёрдая фракция навоза, минеральные удобрения, совокупные энергозатраты, чистый энергетический доход, коэффициент энергетической эффективности, энергетическая себестоимость.

Для цитирования: Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Попова Н.П. Энергетическая оценка внесения органических отходов свиноводческого комплекса на осваиваемых землях Верхневолжья// Плодородие. — 2023. — №4. — С. 46-49. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.11.

В производственном отношении внесение как жидких стоков, так и выделенной из нее твёрдой фракции навоза представляет собой форму тесного взаимодействия человека с природой, поскольку все сообщества культурных растений являются искусственными агрофитоценозами и могут существовать только под непосредственным управлением человека. Создание благоприятных условий для функционирования любого агрофитоценоза сопряжено с затратами определенного количества антропогенной энергии, расходы которой на производство сельскохозяйственной продукции во всем мире постоянно увеличиваются [1].

Согласно исследованиям [2], сельскохозяйственное производство базируется на использовании трех видов энергии. Во-первых, это неисчерпаемые и возобновляемые энергетические потоки солнечной радиации, которые в технологическом процессе производства продукции растениеводства крайне слабо регулируются. Во-вторых, антропогенная энергия в форме механической и интеллектуальной деятельности человека, направленная как на совершение механической работы, так и на создание различных технологических средств и методов производства продукции. В-третьих, ограниченные по запасам и не восполняемые природные энергетические источники, поступление которых в технологических процессах производства продукции растениеводства регулируется антропогенным воздействием.

Потоки различных видов энергии в земледелии сливаются в системе почва-растение-атмосфера, где происходит преобразование кинетической энергии солнца в потенциальную энергию органического вещества растений и где формируется круговорот биологических веществ в агроэкосистеме [3, 4].

Следовательно, при определении количества использования энергии необходимо руководствоваться принципом сбалансированного природопользования, т.е. размещение и развитие материального производства на определенной территории должны осуществляться в

соответствии с ее экологической выносливостью по отношению к техногенным воздействиям [5].

Следует отметить, что в современных условиях агро-энергетическим фактором в земледелии уделяется недостаточно внимания. В большинстве случаев проводят расчёт только затрат энергии на возделывание культур и в меньшей мере определяют функциональное воздействие энергетической составляющей почвы, удобрений, растительных остатков и других источников энергии на формирование урожая и поддержание плодородия почвы. На основании агроэнергетических показателей можно определить оптимальное количественное выражение антропогенной нагрузки на пашню, рассчитать соотношение прихода и расхода энергетической составляющей органического вещества в почве, а также установить необходимое соотношение между энергетическим балансом урожая и органическим веществом почвы [6].

Энергетические затраты на выращивание сельскохозяйственных культур рекомендуется начинать с составления технологических карт их возделывания, которые являются основным документом для планирования технологических процессов и операций.

Основную базу данных получают в стационарных полевых опытах, где определяются параметры накопления и распределения органического вещества в агроэкосистемах, включая товарную и дополнительную продукцию, корма, растительные и корневые остатки; коэффициенты минерализации органического вещества почвы под различными культурами и коэффициенты трансформации поступающего в почву органического вещества; поступление ФАР и эффективность её использования в зависимости от уровня и структуры затрат антропогенной энергии; соотношение биологических и антропогенных ресурсов, обеспечивающих хозяйственную и экологическую эффективность производственных процессов и воспроизводство плодородия почв [7].

Чем больше получено информации в процессе исследований, тем репрезентативнее анализ энергетических потоков агроэкосистемы.

В итоге, для объективной оценки эффективности функционирования и воспроизводства агроэкосистемы необходимо столько показателей, чтобы максимально полно описать закон максимизации энергии и информации в эволюции. При этом наилучшими шансами на самосохранение обладает система, в наибольшей степени способствующая поступлению, выработке и эффективному использованию энергии.

Цель наших исследований – изучить энергетическую эффективность применения различных видов удобрений в зависимости от радиуса их транспортировки при возделывании полевых культур в плодосменном зернопропашном севообороте на осваиваемых землях Верхневолжья.

Методика. Исследования проводили в ООО «Ручьевское-1» Ржевского района Тверской области в 2012–2022 г. Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного горизонта 16–18 см, осушена открытым дренажем. Исходное содержание в почве (2012 г.): гумуса 1,69–1,83% – очень низкое, P_2O_5 106–109 мг/кг – повышенное, K_2O 90–100 мг/кг – среднее, pH_{KCl} 4,78–4,83 – реакция почвенного раствора среднекислая. Почва не использовалась с 1994 по 2010 г. в 2011 г. были проведены культуртехнические работы, а с 2012 г. начали возделывание сельскохозяйственных культур. На момент повторного освоения участок относился к средневозрастной залежи с запасами надземной биомассы (травяной покров и кустарники) до 60 т/га.

Опыт заложен в 4-кратной повторности, расположение вариантов – рендомизированное, учётная площадь делянки 50 м².

Жидкие стоки нормой 80 м³/га вносили с помощью шланговой системы, которая позволяет одновременно с утилизацией заделывать их в пахотный слой на глубину 10–15 см, что исключает потери газообразных форм азота.

Твёрдую фракцию навоза в дозе 40 т/га вносили разбросным способом перед основной обработкой почвы прицепом ПРТ-10 и сразу запахивали в почву.

Агрохимические исследования динамики содержания изучаемых элементов в почве проведены по общепринятым методикам в соответствии с Федеральным законом «О государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» сотрудниками ФГБНУ Станция агрохимической службы «Нелидовская». В почвенных образцах определяли: влажность по ГОСТу 28268–89, гидролитическую кислотность по ГОСТу 26212–91, азот нитратный по ГОСТу 26951–86, pH – по ГОСТу 26483–85, азот аммонийный по ГОСТу 26489–85, подвижные фосфор по ГОСТу 26204, калий по ГОСТу 26204. Качественные характеристики органических удобрений определялись: влажность по ГОСТу 26713–85, зола – по ГОСТу 26714–85, общий фосфор – по ГОСТу 26717–85, общий калий – по ГОСТу 26718–85, pH – по ГОСТу 27979–88, азот аммонийный – по ГОСТу 26716–85, азот общий – ГОСТ 26715–85 (табл. 1).

С учетом содержания питательных веществ в органических удобрениях дозы их внесения рассчитывали, исходя из максимально безопасных доз в данных условиях, учитывающих почвенные и ландшафтные особенности участка. Внесение жидкой фракции в норме 80 м³/га обеспечило поступление 80 кг/га азота, а внесение твердой фракции в норме 40 т/га соответствует внесению 200

кг/га азота. При посеве также применялась стартовая доза суперфосфата в расчете 10 кг д.в./га. Органические удобрения вносили под основную обработку почвы.

1. Химический состав органических удобрений свиноводческого комплекса

№ п/п	Показатели	Жидкие стоки	Твердая фаза навоза	ПДК, мг/кг
1	pH, ед.	7,4	7,9	
2	Влажность, %	97,0	70,2	
3	Азот, мг/кг сух. в-ва: общий	154	300	
	аммиачный	112	212	
	нитратный	42	84	130
4	P_2O_5 , мг/кг сух. в-ва	45	68	200
5	K_2O , мг/кг сух. в-ва	74	83	360
6	Ca, мг/кг сух. в-ва	33	64	
7	Mg, мг/кг сух. в-ва	25	56	500
8	Na, мг/кг сух. в-ва	54	70	
9	Cl, мг/кг сух. в-ва	90	52	560
10	Яйца гельминтов, шт/кг ест. влажности	162	434	1,0

Расчетные дозы минеральных удобрений определены с учетом запланированной урожайности возделываемых культур (табл. 2).

2. Расчетные дозы минеральных удобрений на запланированную урожайность возделываемых культур

Культура	Планируемая урожайность, ц/га	Требуется внести с учетом коэффициентов использования NPK из удобрений, кг д.в./га		
		N	P_2O_5	K_2O
Люпин узколистный	18	115,53	10	44,52
Кукуруза на силос	400	43,18*	10,0	72,50
Озимая пшеница	45	130,4	10,0	46,20
Яровой рапс на семена	20	70,95	10,0	16,27
Ячмень на фураж	40	68,45	10,0	43,10

* При расчете азотного питания кукурузы учитывался симбиотический азот, оставленный предшественником в севообороте в количестве 105 кг/га.

Минеральные удобрения вносили дробно: основную часть фосфорно-калийных удобрений осенью под основную обработку, азотные удобрения – весной и в подкормки.

Энергетическая оценка выращивания полевых культур выполнена по методическим указаниям [8]. Переводные единицы содержания энергии по всем расходным материалам и видам выполненной работы взяты из [2].

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена методом дисперсионного анализа для многофакторных полевых опытов в изложении Б.А. Доспехова [9] с использованием компьютерной программы Statistika.

Результаты и их обсуждение. Проведённый нами энергетический анализ по использованию промышленных минеральных и органических удобрений свиного комплекса на осваиваемых землях в плодосменном зернопропашном севообороте позволяет заключить, что эффективность внесения как жидких стоков, так и твёрдой фракции навоза в значительной мере зависит от расстояния их транспортировки (табл. 3). Так в среднем по опыту, при использовании в качестве основного удобрения жидких стоков под культуры севооборота на полях, расположенных на расстоянии до 4 км от лагуны, совокупные затраты составляют 37,534 ГДж/га, а до 8 км увеличиваются на 28,3% и равны 48,141 ГДж/га. При транспортировке твёрдой фракции навоза на расстояние до 10 км от свиного комплекса совокупные затраты энергии в среднем

составляют 43,671 ГДж/га, а до 15 км – 55,607 ГДж/га (+27,3%). По мере удаления полей от накопителей органических удобрений снижаются чистый энергетический доход и коэффициент энергетической эффективности, соответственно, на 12,062 ГДж/га и 0,416 ед. при внесении жидких стоков; на 11,936 ГДж/га и на 0,302 ед. при применении твёрдой фракции навоза.

Чистый энергетический доход – это разница между энергосодержанием урожая и общими затратами на его возделывание. Коэффициент энергетической эффективности – отношение чистого дохода к энергозатратам. Энергетическая себестоимость продукции – это затраты совокупной энергии на единицу урожая.

Следует отметить, что с энергетической точки зрения наименьшие затраты совокупной энергии при возделывании всех культур севооборота, а также максимальное энергосодержание в основной продукции, наибольший чистый энергетический доход и наименьшая энергетическая себестоимость продукции растениеводства получены при возделывании полевых культур с применением минеральных удобрений в расчётных дозах НРК на запланированную урожайность.

Особенно отчетливо преимущество минеральной системы удобрения проявляется при выращивании продукции растениеводства на удаленных полях. Так, коэффициент энергетической эффективности на таких посевах составляет 0,411–1,046 ед. при использовании минеральной системы удобрения, в то время как при

внесении жидких стоков он находится в интервале от 0,005 до 0,599 ед., а при заделке твёрдой фракции навоза еще опускается и составляет – 0,076–0,451 ед.

Необходимо отметить, что наибольшее снижение коэффициента энергетической эффективности от использования органических удобрений обнаружено при возделывании кукурузы на силос (–0,128...–0,005 ед.), а наименьшее – при выращивании озимой пшеницы (0,451–0,599 ед.) и ячменя (0,314–0,445 ед.).

Тем не менее, при ведении сельскохозяйственного производства на землях, расположенных вблизи животноводческих комплексов, утилизация отходов животноводства является глобальной проблемой, поскольку позволяет не только предотвратить загрязнение окружающей среды, но и одновременно произвести экологически безопасные продукты питания для населения.

Особенно остро проблема утилизации органических отходов стоит в крупных агрохолдингах и животноводческих комплексах, значительная часть которых располагается в Нечернозёмной зоне России на выбывших из оборота мелиорированных землях или рядом с ними. Животноводство может быть источником загрязнения природной среды, поскольку в составе органических отходов, кроме тяжелых металлов и радионуклидов, могут присутствовать все те гормоны и витамины, а также остатки лекарственных препаратов, которые добавляют в корм или используют при лечении и вакцинации животных.

3. Энергетическая эффективность внесения минеральных удобрений и органических отходов свиноводческого комплекса на осваиваемых землях (в среднем за 2016–2020 г.)

Система удобрения	Культура севооборота				
	Люпин узколистный на семена	Кукуруза на силос	Озимая пшеница	Рапс яровой на семена	Ячмень
<i>Совокупные энергозатраты, ГДж/га</i>					
Контроль (без удобрений)	17,109/17,183	25,045/33,410	19,324/20,568	13,099/13,170	18,770/19,642
Расчётные дозы НРК на запланированную урожайность	20,055/20,795	47,836/55,482	35,955/48,979	22,027/26,615	31,065/42,017
Жидкие стоки, 80 м ³ /га	26,373/32,285	57,147/73,264	38,680/55,418	28,245/34,157	37,227/52,857
Твёрдая фракция, 40 т/га	37,636/42,536	61,392/81,174	43,637/59,245	33,384/38,284	42,306/56,797
НСР ₀₅	1,542/1,720	2,967/3,896	2,167/3,040	1,549/1,827	2,102/2,836
<i>Энергосодержание в основной продукции, ГДж/га</i>					
Контроль (без удобрений)	18,930/18,930	47,168/47,168	24,254/24,254	14,560/14,560	30,248/30,248
Расчётные дозы НРК на запланированную урожайность	42,544/42,544	78,320/78,320	95,258/95,258	41,664/41,664	80,274/80,274
Жидкие стоки, 80 м ³ /га	39,730/39,730	72,864/72,864	88,603/88,603	36,950/36,950	76,396/76,396
Твёрдая фракция, 40 т/га	39,292/39,292	70,822/70,822	85,982/85,982	35,392/35,392	74,652/74,652
НСР ₀₅	2,143/2,248	4,239/4,375	4,706/4,926	2,089/2,121	4,251/4,447
<i>Чистый энергетический доход, ГДж/га</i>					
Контроль (без удобрений)	1,821/1,747	22,123/13,758	4,930/3,686	1,461/1,390	11,478/10,606
Расчётные дозы НРК на запланированную урожайность	22,489/21,749	30,484/22,838	59,303/46,279	19,637/15,049	49,209/38,257
Жидкие стоки, 80 м ³ /га	13,357/7,445	15,717/–0,400	49,923/33,185	8,705/2,793	39,169/23,539
Твёрдая фракция, 40 т/га	1,656/–3,244	9,430/–10,352	42,345/26,737	2,008/–2,892	32,346/17,855
НСР ₀₅	0,638/0,521	1,283/0,722	2,582/1,815	0,477/0,366	2,214/1,579
<i>Коэффициент энергетической эффективности, ед.</i>					
Контроль (без удобрений)	1,064/0,102	0,883/0,412	0,255/0,179	0,112/0,106	0,612/0,540
Расчётные дозы НРК на запланированную урожайность	1,121/1,046	0,637/0,411	1,649/0,945	0,891/0,565	1,584/0,911
Жидкие стоки, 80 м ³ /га	0,506/0,231	0,275/–0,005	1,291/0,599	0,308/0,082	1,052/0,445
Твёрдая фракция, 40 т/га	0,044/–0,076	0,154/–0,128	0,970/0,451	0,060/–0,076	0,765/0,314
НСР ₀₅	0,036/0,025	0,039/0,019	0,083/0,054	0,027/0,017	0,081/0,044
<i>Энергетическая себестоимость продукции, ГДж/га</i>					
Контроль (без удобрений)	21,934/22,029	0,935/1,247	12,230/13,018	20,152/20,262	12,032/12,591
Расчётные дозы НРК на запланированную урожайность	10,232/10,610	1,075/1,247	7,569/10,311	11,842/14,309	7,503/10,149
Жидкие стоки, 80 м ³ /га	14,411/17,642	1,380/1,770	8,811/12,624	17,118/20,701	9,448/13,415
Твёрдая фракция, 40 т/га	20,793/23,500	1,527/2,019	10,243/13,907	21,129/24,230	10,989/14,752
НСР ₀₅	1,179/1,198	0,088/0,107	0,670/0,873	1,123/1,312	0,700/0,878

*Примечание. До черты – при транспортировке жидких стоков до 4 км и твёрдой фракции навоза до 10 км, после черты – при транспортировке жидких стоков до 8 км и твёрдой фракции навоза до 15 км.

Реальность такова, что только 60% стоков животноводческих ферм и комплексов используют в качестве удобрения, а остальное количество сбрасывают бесконтрольно на выводные поля, в пониженные места рельефа местности и во временные навозохранилища, представляющие собой обвалованные земляным валом полевые площадки.

По самым скромным подсчетам животноводческие комплексы нашей страны ежегодно производят 180–190 млн т этих удобрений, нерациональное использование которых наносит экологический ущерб от 10 до 12 млрд руб. в год.

Для снижения экологической опасности при утилизации органических отходов животноводческих комплексов следует переходить к внесению жидких стоков с помощью технологии шланговых систем, которая обеспечивает их равномерное распределение по площади, исключает стекание на соседние участки, позволяет регулировать дозу внесения с учетом уровня грунтовых вод и гранулометрического состава корнеобитаемого слоя почвы, а также значительно сокращает потери аммиачного азота от их испарения в атмосферу.

Выводы. 1. Утилизация органических отходов животноводческих комплексов является глобальной проблемой человечества, поскольку при бесконтрольном сбрасывании на выводные поля и в пониженные места рельефа происходит загрязнение подземных вод, почвы и атмосферного воздуха.

2. Для снижения экологической опасности и повышения плодородия малопродуктивных осваиваемых земель Нечернозёмной зоны внесение жидких стоков животноводческих комплексов следует проводить с помощью технологии шланговых систем на поля в радиусе до 4 км от лагуны. При таком удалении совокупные затраты энергии в среднем по севообороту составляют 37,534 ГДж/га, что на 32,2% меньше, чем при транспортировке жидких стоков на расстояние до 8 км за счёт установки дополнительной насосной станции.

3. Твёрдую фракцию навоза целесообразно вносить на поля, удалённые от свиного комплекса на расстояние до 10

км. При этом затраты энергии в среднем составляют 43,671 ГДж/га, что на 27,8% меньше, чем при их транспортировке до 15 км.

4. Наименьшие затраты совокупной энергии при возделывании всех культур пятипольного плодосменного зернопропашного севооборота, а также максимальное энергосодержание в основной продукции, наибольший чистый энергетический доход и наименьшая энергетическая себестоимость продукции растениеводства установлены при использовании минеральных удобрений в расчётных дозах NPK под запланированную урожайность. Это особенно отчётливо проявляется по сравнению с применением органических отходов свиного комплекса на удалённых полях от места складирования удобрений.

Литература

1. Жученко А.А. Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства (концепция) / А.А. Жученко. — Пушкино, 1994. — 148 с.
2. Сутягин В.П., Туликов А.М., Сутягина Т.И. Системный анализ энергетических потоков в земледелии. — Тверь: Агросфера, 2008. — 140 с.
3. Матюк Н.С., Шевченко В.А., Соловьёв А.М., Бондарева Г.И., Полин В.Д. Роль природных и антропогенных факторов в трансформации показателей плодородия мелиорированных земель Нечернозёмной зоны // В сб.: Современные проблемы развития мелиорации и пути их решения (Костяковские чтения) // Материалы международной научно-практической конференции, 2020. — С. 241–261.
4. Шевченко В.А., Просвирик П.Н. Продуктивность смешанных посевов зерновых и бобовых культур в зависимости от доли их семян в норме высева / В.А. Шевченко, П.Н. Просвирик // Кормопроизводство. — 2012. — № 4. — С. 13–15.
5. Володин В.М. Агроэкологические принципы разработки систем земледелия / В.М. Володин // Земледелие. — 1988. — № 10. — С. 29–31.
6. Матюк Н.С., Цвирко Э.А., Шевченко В.А. Оптимальные параметры пахотного слоя почвы и способы их поддержания в современном земледелии / Н.С. Матюк, Ф.А. Цвирко, В.А. Шевченко // Плодородие. — 2005. — № 1. — С. 33–35.
7. Копытовский В.В. Влияние длительного орошения животноводческими стоками на свойства почвы / В.В. Копытовский // Мелиорация и водное хозяйство. — 2014. — № 1. — С. 45–52.
8. Посыпанов Г.С., Долгоров В.Е. Энергетическая оценка возделывания полевых культур. — М.: МСХА, 1995. — 22 с.
9. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): 5-е издание, переработанное и дополненное. — М.: Агропромиздат, 1985. — 351 с.

ENERGY ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF ORGANIC WASTE OF A PIG-BREEDING COMPLEX ON THE DEVELOPED LAND OF THE UPPER VOLGA REGION

V.A. Shevchenko, Academician of the Russian Academy of Sciences, A.M. Solovyov, Doctor of Agricultural Sciences, G.I. Bondareva, Doctor of Technical Sciences, N.P. Popova, Ph.D.

FGBNU "VNIIGiM im. A.N. Kostyakov"

127434, Moscow, st. Bolshaya Akademicheskaya, 44, bldg. 2

It has been established that in order to improve the environmental situation in agricultural areas located next to large livestock complexes, in order to increase the fertility of unproductive developed lands of the Non-Chernozem zone, liquid waste should be applied using hose system technology to fields located up to 4 km from the lagoon, and the solid fraction of manure – up to 10 km from the place of their accumulation. In remote fields, calculated doses of NPK for the planned yield should be used as the main fertilizer. Such a fertilizer system ensures, when cultivating all crops in a five-field grain-row crop rotation, acceptable total energy costs, the highest net energy income and the lowest energy cost of crop production.

Key words: liquid waste, solid fraction of manure, mineral fertilizers, total energy costs, net energy income, energy efficiency coefficient, energy cost.