



УДК 631. 171: 621.3

ЭКОЛОГИЯ СЕЛЬХОЗПРОИЗВОДСТВА: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

ПОПОВ В.Д.,
академик РАН,

МАКСИМОВ Д.А.,
канд. техн. наук,

БРЮХАНОВ А.Ю.,
канд. техн. наук

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Филътровское шоссе, 3, п. Тярлево, С.-Петербург, 196625, Российская Федерация, e-mail: nii@sznii.ru

Представили информацию по исследованиям ученых Северо-Западного федерального округа России и европейских стран, направленным на снижение экологической нагрузки сельскохозяйственного производства на окружающую среду. Привели результаты, полученные в ходе реализации международных проектов BaltHazar, ERAB, BASE, «Лу́га-Балт», выполненные совместно с ведущими иностранными экспертами при поддержке министерств сельского хозяйства и охраны окружающей среды Финляндии, Швеции, Дании, Германии и других стран. Показали, что наибольшее негативное воздействие на окружающую среду исходит от систем переработки и использования навоза и помета. Установили, что основную угрозу представляют потери биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, что может быть связано несовершенством технологий и отсутствием экологического менеджмента на предприятиях. Выявили, что обобщенным экологическим показателем работы сельхозпредприятия является коэффициент эффективности использования питательных веществ. Предложили методику принятия решений по экологически безопасному размещению и функционированию сельхозпредприятий. Определили значения потерь биогенов в ходе основных технологических операций переработки навоза и помета. Разработали математическую модель для определения потерь биогенов на стадиях производственного цикла биоконверсии отходов животноводства. Показали, что наименьшие потери биогенов достигаются по технологии переработки навоза или помета с использованием биореактора барабанного типа, на который получены патенты на полезную модель. Установили, что обобщенным показателем экологической нагрузки животноводческого предприятия на окружающую среду служит расчетное значение баланса азота и фосфора. В соответствии с требованиями Комиссии по защите морской среды Балтийского моря для расчета приняты ограничения по внесению не более 170 кг/га азота и не более 25 кг/га фосфора.

Ключевые слова: экологическая нагрузка, сельхозпроизводство, международные проекты, окружающая среда.

В этом году по инициативе зарубежных представителей сельскохозяйственной и лесотехнической инженерии, экономики, организации труда и образования в сельском и лесном хозяйстве в Санкт-Петербурге впервые в России прошла XXXVI Международная конференция CIOSTA (Международной комиссии по научно обоснованной организации труда в сельском хозяйстве) и секции V CIGR (Международной комиссии по инженерным вопросам в сельском хозяйстве) под девизом «Экологически дружественное сельское и лесное хозяйство для будущих поколений». Конференция вызвала большой интерес международной научной общественности. Ученые и специалисты

из 29 стран представили около 140 докладов и 65 постерных презентаций.

Особое внимание было уделено вопросам экологии сельскохозяйственного производства. Отмечалось, что решение проблемы продовольственной безопасности возможно только с использованием промышленных технологий, которые в свою очередь усиливают антропогенную нагрузку на окружающую среду.

Данной проблемой активно занимается Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП), который расположен в СЗФО, где действует ряд международных конвенций, предъявляющих особые требо-



вания к охране окружающей среды. За последние 10 лет институт участвовал в выполнении 8 международных проектов, направленных на разработку мер по снижению негативного воздействия сельского хозяйства на окружающую среду, в том числе *BaltHazar*, *ERAB*, *BASE*, «Луга-Балт», «Устойчивое обращение с навозом/пометом в животноводческих хозяйствах Ленинградской области». Проекты выполняли совместно с ведущими иностранными экспертами при поддержке министерств сельского хозяйства и охраны окружающей среды Финляндии, Швеции, Дании, Германии и других стран.

С 2003 г., институт представляет Российскую Федерацию в Целевой группе по химически активному азоту (ЦГХАА) в составе Рабочей группы по стратегиям и обзору Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния Европейской экономической комиссии ООН. Министерство природных ресурсов и экологии РФ письмом № 05-10-43/9926 от 25 сентября 2008 г. определило институт российским опорным пунктом ЦГХАА, который осуществляет ее взаимосвязь с Минприроды России. В 2012 г. в рамках ЦГХАА создана группа экспертов по азоту в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии (ВЕКЦА)

Проведенные исследования показали, что наибольшее негативное воздействие на окружающую среду в настоящее время исходит от систем переработки и использования навоза и помета. Основную угрозу представляют потери биогенных элементов, прежде всего азота и фосфора, которые могут происходить из-за несовершенства технологий, отсутствия экологического менеджмента на предприятиях и в силу ряда других причин. По оценочным данным, потери азота и фосфора от сельхозпредприятий СЗФО в год могут составлять около 50 тыс. т по азоту и около 4,5 тыс. т по фосфору.

Вопросам эффективности использования питательных веществ и, соответственно, экологической нагрузке уделяют пристальное внимание в странах Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР). Эти темы отражены в руководящих документах Гётеборгского протокола. Широкое использование получили балансовые методы, применяемые на разных уровнях. Так, в странах ОЭСР баланс по азоту сельскохозяйственных предприятий включен в перечень 37 агроэкологических индикаторов для отчетности об экологической ситуации в сельском хозяйстве. Исходные значения этих балансов (поступление–выход) обеспечиваются в демонстрационных хозяйствах, репрезентативных с точки зрения различных систем и типовых условий ведения сельского хозяйства.

Материалы и методы. Расчетные формулы для

определения балансов питательных веществ показаны на примере расчета баланса по азоту N , (где $N_{изб}$ – избыток азота, кг/га и $N_{эф}$ – коэффициент эффективности использования азота для сельхозпредприятия) [1]:

$$N_{изб} = [N_{удобрения} + N_{корм} + Ni_{навоз} + N_{компост} + БФА + N_{атмосфер} + N_{семен}] - \quad (1)$$

$$- [N_{животные} + N_{урожай} + Ne_{навоз}]$$

$$N_{эф} = \frac{N_{животные} + N_{урожай} + Ne_{навоз}}{\sum N}, \quad (2)$$

где $\sum N = N_{удобрения} + N_{корм} + Ni_{навоз} + N_{компост} + БФА + N_{атмосфер} + N_{семен}$;

$N_{удобрения}$ – количество азота в удобрениях внесенных в хозяйство, кг/га;

$N_{корм}$ – количество N в кормах для животных, внесенных в хозяйство, кг/га;

$Ni_{навоз}$ – количество N в навозе, внесенном в хозяйство, кг/га;

$N_{компост}$ – количество N в компосте, внесенном в хозяйство, кг/га;

$БФА$ – количество N , биологически фиксированного бобовыми культурами, кг/га;

$N_{атмосфер}$ – количество N из атмосферных осадков, кг/га;

$N_{семена}$ – количество N , поступившего с внесенными семенами и растениями, кг/га

$N_{животные}$ – количество N в животных, вывезенных из хозяйства (то есть количество, включающее павших животных, скорректированное на вывезенных животных), кг;

$N_{урожай}$ – количество N в убранный урожай, вывезенный из хозяйства, включая остатки, кг/га;

$Ne_{навоз}$ – количество N в навозе, вывезенном из хозяйства, кг.

Фосфорный баланс ($P_{изб}$ – баланс фосфора, кг/га и $P_{эф}$ – коэффициент эффективности использования фосфора) рассчитан аналогично, исключены входы «азотфиксация» и «выпадение».

Коэффициент эффективности использования питательных веществ, получаемых в результате расчета, является обобщенным экологическим показателем. Анализ отчетов по агроэкологическим показателям 30 стран ОЭСР показывает, что чем выше этот показатель, тем меньше потерь, поступающих в окружающую среду; просматривается четкая тенденция снижения загрязнения воды, выбросов парниковых газов.

Результаты и обсуждение. Проведенные балансовые расчеты на примере типовых сельхозпредприятий Ленинградской области показали, что коэффициенты $N_{изб}$ не превышают 60 кг/га, что свидетельствует об относительно невысоком потенциальном риске загрязнения окружающей среды сель-

скохозяйственной деятельностью. Предприятия имеют достаточно земли для использования производимого навоза. На 1 га сельскохозяйственных земель приходится около 0,6 гол. КРС. Значения коэффициента эффективности использования питательных веществ находятся в границах диапазона для данного класса смешанных производств ($N_{эф} \approx 0,3$). Основные резервы повышения эффективности использования питательных веществ для данных предприятий заключаются в развитии растениеводства.

В то же время исследования показали, что даже при наличии общего положительного баланса могут возникать существенные экологические проблемы, связанные с утилизацией навоза и помета, обусловленные сложностью освоения современных технологий по их переработке и использованию.

Для решения этих задач в институте были разработаны рекомендации по принятию решений для органов исполнительной власти, ответственных за развитие сельского хозяйства, при размещении новых и модернизации существующих комплексов с точки зрения воздействия последних на окружающую среду: технологии переработки и логистика использования навоза/помета [2, 3]. Предложенный методический подход позволит организовать

модействие между двумя заинтересованными сторонами: сельхозпредприятием (инвестором) и региональными отраслевыми органами исполнительной власти, отвечающими за функционирование сельхозпредприятий. Преимущественно рассматривается ситуация, когда планируется строительство нового предприятия или увеличение производственной мощности уже существующего.

Пошаговый порядок действий (обозначен цифрами) в соответствии с *рисунком*:

- уточнение вида деятельности и производственной мощности предприятия (источник исходных данных – сельхозпредприятие).
- выбор площадки для строительства (источник исходных данных – сельхозпредприятие, региональный комитет или Минсельхоз).
- уточнение объемно-планировочных и технико-технологических решений (источник исходных данных – сельхозпредприятие).
- проверка соответствия критериям ограничения: СЗЗ, водные объекты, нормативы и т.д. (источник исходных данных – сельхозпредприятие, региональный комитет или Минсельхоз).
- сопоставление баланса питательных веществ N, P планируемого предприятия и баланса N, P района, в котором планируется размещение (источник

исходных данных – сельхозпредприятие, региональный комитет или Минсельхоз).

- принятие решения о размещении или расширении производства. В случае избытка N и/или P в планируемом сельхозпредприятии и невозможности их экономически обоснованного использования на уровне района/районов необходимо вернуться к пересмотру результатов действий 1, 2, 3. Обобщенным показателем экологической нагрузки жи-



Рисунок. Структурная схема принятия решений экологически безопасного размещения и функционирования сельхозпредприятия

координацию мероприятий по обеспечению экологической безопасности сельхозпроизводства на уровне области.

Как видно из *рисунка*, основой предлагаемой схемы является метод баланса питательных веществ. При расчете балансов определяли взаимосвязь потоков питательных элементов на входе, поступающих в составе кормов удобрений, и на выходе – в составе реализуемой продукции.

Работа по данной схеме предусматривает взаи-

мдействие между двумя заинтересованными сторонами: сельхозпредприятием (инвестором) и региональными отраслевыми органами исполнительной власти, отвечающими за функционирование сельхозпредприятий. Преимущественно рассматривается ситуация, когда планируется строительство нового предприятия или увеличение производственной мощности уже существующего.

Основные исследования по международным проектам *BaltHazar*, *BASE*, *ERAB* и другим проводили в Ленинградской области, имеющей наиболее развитое сельское хозяйство (41% всей валовой сель-



хозпродукции при 7,3% площадей сельхозугодий по СЗФО). В результате было определено, что ежегодно с навозом и пометом образуется около 28280 т азота и 5220 т фосфора, при этом потери азота достигают 75%, а фосфора – 29%.

Основное влияние на потери оказывают несовершенство используемых технологий и отсутствие экономического стимулирования использования качественных органических удобрений.

Для оценки потерь биогенов в ИАЭП разработана математическая модель их определения на стадиях производственного цикла биоконверсии отходов животноводства:

$$Y_{N_{общ}} = \sum_{i=1}^{kop} Y_{Ni}, \quad (3)$$

где $Y_{N_{общ}}$ – потери биогенов на стадиях производственного цикла биоконверсии отходов животноводства;

Y_{Ni} – потери азота на i -ой технологической операции;

kop – количество технологических операций.

В случае последовательного выполнения технологических операций цикла биоконверсии уравнение потерь принимает следующий вид:

$$Y_{Ni} = \sum_{i=1}^{kop} [(1 - k_{tv1} \times k_{tv2} \times k_{tv3}) \times (1 - k_{tv1} \times k_{tv2} \times k_{tv3}) \times \dots \times (1 - k_{tv1} \times k_{tv2} \times k_{tv3}) \times \dots \times (1 - k_{tv1} \times k_{tv2} \times k_{tv3}) \times 100] \rightarrow \min[\%], \quad (4)$$

где $k_{tv1}, k_{tv2}, k_{tv3}$ – определяемые технологическим воздействием коэффициенты сохранности биогенов, выражающие зависимость от технологической операции, оборудования и режима работы.

Для функционирования математической модели аналитическим путем были определены значения потерь биогенов для 11 основных технологических операций.

С целью подтверждения значений потерь биогенов, полученных аналитическим путем, проведены экспериментальные исследования (таблица) [4, 5].

Экспериментальные исследования показали, что наименьшие потери биогенов достигаются по технологии переработки навоза или помета с использованием биореактора барабанного типа, на который получены патенты на полезную модель (№ 145378, 146604).

В передовых странах мира в результате многолетнего усиленного внимания к вопросам продовольственной и экологической безопасности сложилась высокоэффективная система рекомендуемых к применению наилучших доступных технологий (*Best Available Techniques – BAT*) на основе экономически обоснованных затрат, рационального природопользования, научно организованного технологического регламента работ, включая очист-

Таблица		
ПОТЕРИ БИОГЕНОВ НА СТАДИИ БИОКОНВЕРСИИ НАВОЗА И ПОМЕТА БАЗОВЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ		
Технологии переработки	Потери	
	N _{общ} , %	P _{общ} , %
Биоферментация в установках камерного типа	12,9	0,6
Биоферментация в установках барабанного типа	6,1	0,7
Пассивное компостирование в полевых условиях	25,0	7,0
Глубокая переработка жидкого свиного навоза (биологическая очистка)	19,6	4,6

ку сточных вод, выбросов в атмосферу и использование отходов. Рекомендательные справочники *BAT*, именуемые документами *BREF (Best Available Techniques Reference Document)*, планируется использовать как основу при создании аналогичных российских справочников наилучших доступных технологий (НДТ).

Внедрение принципов НДТ требует разработки новых методов, способов, систем по оценке, контролю и прогнозированию состояния окружающей среды от воздействия сельскохозяйственных технологий. Обоснование НДТ базируется на синтезе методов и средств получения сельскохозяйственной продукции заданного количества и качества с учетом природно-климатических условий конкретного региона и эколого-экономических показателей технологий.

Для реализации такого подхода в ИАЭП разрабатывают концепцию и методику формирования системы наилучших доступных технологий. Эта работа ведется при поддержке Минприроды России и в сотрудничестве с Федеральным агентством охраны окружающей среды Германии. В рамках проекта предложены обобщенные критерии для обоснования создания НДТ переработки, хранения и использования навоза [6]:

$$K_{spv} = \frac{\sum_{i=1}^{kop} (Z_{si} + Z_{oi} + Z_{di})}{M_{N_1} - \sum_{i=1}^{kop} \left[\left(1 - \frac{M_{Ni+1}}{M_{Ni}} \right) \times M_{Ni-1} \right]}, \quad (5)$$

$$Es_{pv} = \frac{\sum_{i=1}^{kop} E_{spvgi}}{M_{N_1} - \sum_{i=1}^{kop} \left[\left(1 - \frac{M_{Ni+1}}{M_{Ni}} \right) \times M_{Ni-1} \right]}, \quad (6)$$

где K_{spv} – капитальные затраты на сохранение питательных веществ;

kop – количество технологических операций во всем цикле биоконверсии;

Z_{si} – затраты на сооружения, необходимые для i -ой технологической операции;

z_{oi} – затраты на оборудование, необходимые для i -ой технологической операции;

z_{dt} – затраты на технические средства, необходимые для i -ой технологической операции;

M_{N1} – начальная масса азота общего перед полным циклом биоконверсии (на начало первой технологической операции);

V_{Ni} – масса азота общего после i -ой технологической операции;

E_{spv} – эксплуатационные затраты на сохранение питательных веществ;

$E_{spv gi}$ – эксплуатационные затраты для i -ой технологической операции;

Опыт зарубежных стран показывает, что очень большую роль во внедрении НДТ имеет государственная экономическая поддержка [2, 3].

Выводы. Среди подходов к агроэкологической оценке можно выделить два взаимосвязанных метода, основанных на балансе питательных веществ и внедрении наилучших доступных технологий (НДТ). Разрабатываемую в России систему НДТ планируется применять для сельхозпредприятий

свиноводства и птицеводства. Обоснование выбора НДТ на примере переработки навоза, помета, хранения и внесения органических удобрений с одновременным внедрением системы регулирования на основе балансов питательных веществ показало, что эти меры позволят снизить потери азота и фосфора на 60 и 28% соответственно. Расчеты балансов питательных элементов N и P показали, что коэффициент эффективности их использования находится в допустимых пределах для смешанных производств в соответствии с рекомендациями для европейских стран.

Определили, что наименьшие потери биогенов достигаются по технологии переработки навоза или помета с использованием биореактора барабанного типа, на который получены патенты на полезную модель. Установили, что обобщенным показателем экологической нагрузки животноводческого предприятия на окружающую среду служит расчетное значение баланса N и P, для расчета приняты ограничения по внесению N не более 170 кг/га и P не более 25 кг/га.

Литература

1. Брюханов А.Ю., Максимов Д.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Субботин И.А., Козлова Н.П. и др. Рекомендации по обоснованию экологически безопасного размещения и функционирования животноводческих и птицеводческих предприятий // *Промышленная политика в РФ.* – 2014. – № 7-9. – С. 32-38.

2. Максимов Д.А., Брюханов А.Ю., Субботин И.А., Васильев Э.В., Шалавина Е.В., Козлова Н.П. Методика принятия решения об экологически безопасном размещении сельхозпредприятия // *Техника в сельском хозяйстве.* – 2014. – № 5. – С. 24-26.

3. Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Порядок выбора машинных технологий биоконверсии отходов животноводства на примере птицефабрики // *Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: Сб. науч. тр. по матер. заочной Междунар. науч.-практ. конф.* – Рязань: ВНИМС. – 2014. – С. 212-219.

4. Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Изменение содержания азота и фосфора в жидкой фракции свиного навоза при биологической очистке // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства.* – 2014. – № 85. – С. 146-150.

5. Субботин И.А. Выбор наилучших доступных технологий переработки навоза и помета // *Проблемы механизации агрохимического обслуживания сельского хозяйства: Сб. науч. тр. по материалам заоч. Междунар. науч.-практ. конф.* – Рязань: ВНИМС. – 2014. – С. 195-199.

6. Уваров Р.А., Слободянюк П.А. Анализ интенсивных технологий переработки навоза, помета // *Перспективы инновационного развития агропромышленного комплекса и сельских территорий. Матер. Междунар. агропромышленного конгресса. Северо-Западный региональный научный центр РАСХН, Санкт-Петербургский ГАУ, ООО «ЭФ – ИНТЕРНЭШНЛ».* – 2014. – С. 52-53.

AGRICULTURAL PRODUCTION ECOLOGY: PROBLEMS AND SOLUTIONS

V.D. Popov, D.A. Maksimov, A.Yu. Bryukhanov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production, Fil'trovskoye road, 3, set. Tyarlevo, St.Petersburg, 196625, Russian Federation

Researches of scientists of the Northwest Federal District of the Russian Federation and the European countries are directed on decrease in an environmental pressure of agricultural production on environment. The international projects BaltHazar, ERAB, BASE, Luga Balt are completed together with the leading foreign experts with support

of the ministries of agriculture and environmental protection of Finland, Sweden, Denmark, Germany and other countries. The greatest negative impact on environment proceeds from systems of processing and use of manure and poultry litter. The main threat is posed by losses of biogenous elements, first of all nitrogen and phosphorus that can be connected by imperfection of technologies and lack of ecological management at the enterprises. The generalized ecological indicator of agricultural enterprise work is the effectiveness ratio of nutrient utilization. A decision-making technique on ecologically safe placement and functioning of agricultural enterprises was offered. The authors defined values of losses of biogenes during the main technological operations of processing of manure and poultry litter, developed mathematical model for definition of losses of biogenes at stages of a production cycle of bioconversion of waste of animal industry. The least losses of biogenes are reached at technology of of manure or poultry litter processing with use of the bioreactor of drum type on which patents for useful model are taken out. The generalized indicator of an environmental pressure of a livestock enterprise is the calculated value of balance of nitrogen and phosphorus. According to requirements of the Helsinki Commission (HELCOM) limitations of introduction of nitrogen no more than 170 kg/ha and phosphorus no more than 25 kg/ha are accepted.

Keywords: Environmental pressure; Agricultural production; International projects; Environment.

References

1. Bryukhanov A.Yu., Maksimov D.A., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V., Subbotin I.A., Kozlova N.P. i dr. Rekomendatsii po obosnovaniyu ekologicheski bezopasnogo razmeshcheniya i funktsionirovaniya zhivotnovodcheskikh i ptitsevodcheskikh predpriyatiy [Recommendations about justification of ecologically safe placement and functioning of the livestock and poultry enterprises]. *Promyshlennaya politika v RF*. No. 7-9. pp. 32-38 (Russian).
2. Maksimov D.A., Bryukhanov A.Yu., Subbotin I.A., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V., Kozlova N.P. Metodika prinyatiya resheniya ob ekologicheski bezopasnom razmeshchenii sel'khozpredpriyatiya [Technique of making decision on ecologically safe placement of agricultural enterprise]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2014. No. 5. pp. 24-26 (Russian).
3. Vasil'ev E.V., Shalavina E.V. Poryadok vybora mashinnykh tekhnologiy biokonversii otkhodov zhivotnovodstva na primere ptitsefabriki [Order of choice of machine technologies of bioconversion of animal husbandry waste on example of poultry farm]. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obsluzhivaniya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. tr. po mater. zaочноy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ryazan': VNIMS*. 2014. pp. 212-219 (Russian).
4. Vasil'ev E.V., Shalavina E.V. Izmenenie soderzhaniya azota i fosfora v zhidkoy fraktsii svinogo navoza pri biologicheskoy ochistke [Change of nitrogen and phosphorus content in liquid fraction of pig manure at biological treatment]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2014. No. 85. pp. 146-150 (Russian).
5. Subbotin I.A. Vybór nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy pererabotki navoza i pometa [Choice of the best available technologies of processing of manure and poultry manure]. *Problemy mekhanizatsii agrokhimicheskogo obsluzhivaniya sel'skogo khozyaystva: Sb. nauch. tr. po materialam zaоч. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ryazan': VNIMS*. 2014. pp. 195-199 (Russian).
6. Uvarov R.A., Slobodyanyuk P.A. Analiz intensivnykh tekhnologiy pererabotki navoza, pometa [Analysis of intensive technologies of digestion of manure, poultry manure]. *Perspektivy innovatsionnogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i sel'skikh territoriy. Mater. Mezhdunar. agropromyshlennogo kongressa. Severo-Zapadnyy regional'nyy nauchnyy tsentr RASKhN, Sankt-Peterburgskiy GAU, OOO «EF – INTERNESHNL»*. 2014. pp. 52-53 (Russian).

