ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-27

ASSESSMENT METHODOLOGY OF ENVIRONMENTAL LOAD LEVEL OF PIG BREEDING ENTERPRISES

N. V. Byshov¹, N. V. Limarenko², I. A. Uspensky¹,
I. A. Yukhin¹, A. A. Tsymbal³

¹*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev»*

²*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Don State Technical University»*

³*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Russian State Agrarian University named after K. A. Timiryazev»*

Received 21.11.2019

Submitted 04.02.2020

Summary

The article analyzes the existing methods for assessing the environmental load of pig enterprises on bio- and agrocenoses. A coefficient is proposed that takes into account the relationship between the initial moisture content of bedded manure and its final volume, and a mathematical model for its assessment. According to the proposed model, the calculation of the level of environmental load in accordance with the presented dynamics was carried out.

Abstract

Introduction. Rational nature management and ensuring environmental safety of utilization cycles are impossible without the use of effective methods of diagnostics of ecological load on ecosystems, in particular, on bio and agrocenoses. An essential component characterizing the level of anthropogenic impacts is the assessment of the volume of waste produced by agricultural enterprises. Implementation of the industrial approach to farming, within the concept of food security has led to increase production capacity of pig farms and increase the amount they produce waste. An important factor in the greening of industrial pig production is a liquid content, which results in a large amount of liquid waste to technological humidity of 88 %. It is established that the average daily yield of liquid manure from one pig is about 12 l/day (8 l feces, 2 l urine and 2 l water), and the average daily yield of excrement is about 5% of the live weight, which is a significant environmental burden and makes it relevant to solve the problem of its adequate assessment and forecasting. The purpose of this study is to create a methodology for assessing the level of environmental load of pig farms. Under the environmental load of pig waste is understood as the dependence of the volume formed liquid pig manure on such technological factors as: the number of heads of each age group, method, duration of feeding and stall period, method of waste disposal and technology of their accumulation. An adequate assessment of the waste output of a pig-breeding enterprise is impossible without taking into account the following conditions: a two-phase system for growing and fattening; reproduction of cycle duration (7 days – preparation for insemination, weaning, fertilization, 115 days – gestation, 46 days – lactation period when weaning piglets at the age of 42 ± 3.5 days); division into groups in preparation for insemination with a frequency of a multiple of the reproduction cycle (every 56 days, $168: 6 = 3$); content by gender and age groups. **Object.** The object of the study is the methods of forecasting and assessing the environmental load. The subject is the parameters that characterize the scale of anthropogenic impacts of pig farms on bio and agrocenoses. **Materials and methods.** The empirical base of the study was Rosstat data, as well as the results of preliminary studies. It was established that the number of pigs from 2007 to 2018 increased by 37 %, and the central federal district is the most productive region including Moscow, Belgorod, Bryansk, Vladimir, Voronezh, Ivanovo, Kaluga, Kostroma, Kursk, Lipetsk, Oryol, Ryazan, Smolensk, Tambov, Tver, Tula and Yaroslavl regions. The article analyzes the existing methods of assessing the environmental load of pig farms on bio and agrocenoses. A coefficient-

cient is proposed that takes into account the relationship between the initial moisture content of liquid manure with its final volume and a mathematical model for its evaluation. The proposed model is used to calculate the level of environmental load in accordance with the presented dynamics. The dynamics of growth of pigs in the Russian Federation in the period from 2007 to 2018, a growth of environmental load by 37%, which requires improvement of existing and development of new solutions to the greening of the recycling cycle of waste. **Results and conclusion.** Trends in the dynamics of growth of the pig population and the level of environmental load created by them on the bio- and agrocenoses, the obtained mathematical model allows to define the level of environmental load of pig-breeding enterprises based on the construction according to the total daily mass of formed solid and liquid waste and process liquids to remove them, the mass of bedding, number of animals of each age and sex group, introduced the factor of dependence of the output of manure from the source of the moisture before fractionation, which improves the accuracy of the data for 8...10 %. A mathematical model is obtained that characterizes the dependence of the level of environmental load and anthropogenic impacts created by pig farms, taking into account the trend of the dynamics of animal population growth. The obtained results are the initial input data for creating systems for automated assessment of the dynamics of the environmental load of the anthropogenic impacts of pig enterprises depending on technological factors.

Key words: *environmental load, animal husbandry, waste disposal, waste volume estimation method, liquid pig manure.*

Citation. Byshov N. V., Limarenko N. V., Uspensky I. A., Yukhin I. A., Tsymbal A. A. Assessment methodology of environmental load level of pig breeding enterprises. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 1(57). 268-278 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-27.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК: 631.152:636.4:502.175

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ СВИНОВОДЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Н. В. Бышов¹, доктор технических наук, профессор

Н. В. Лимаренко², кандидат технических наук, доцент

И. А. Успенский¹, доктор технических наук, профессор

И. А. Юхин¹, доктор технических наук, доцент

А. А. Цымбал³, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

¹ФГБОУ ВО «Рязанский агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»

³ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева»

Дата поступления в редакцию 21.11.2019

Дата принятия к печати 04.02.2020

Актуальность. Рациональное природопользование и обеспечение экологической безопасности утилизационных циклов невозможны без использования эффективных методик диагностики экологической нагрузки на экосистемы, в частности, на био- и агроценозы. Существенной составляющей, характеризующей уровень антропогенных воздействий, является оценка объема отходов, производимых сельскохозяйственными предприятиями. Реализация индустриального подхода к животноводству в рамках концепции продовольственной безопасности привела к росту производственных мощностей свиноводческих предприятий и увеличению объема производимых ими отходов. Важным фактором экологизации индустриального свиноводства является бесподстилочное содержание, результатом которого является образование большого количества жидких отходов технологической влажностью более 88 %. Установлено, что среднесуточный выход бесподстилочного навоза от одной свиньи составляет порядка

12 л/сутки (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды), а среднесуточный выход экскрементов порядка 5 % от живой массы, что оказывает существенную экологическую нагрузку и делает актуальным решение проблемы, её адекватной оценки и прогнозирования. Целью данного исследования является создание методики оценки уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий. Под экологической нагрузкой отходов свиноводства понимается зависимость объёма бесподстильного свиного навоза от таких технологических факторов, как число голов каждой половозрастной группы, способ, продолжительность кормления и стойлового периода, способ удаления отходов и технология их накопления. **Объект.** Объектом исследования являются методы прогнозирования и оценки экологической нагрузки. Предметом – параметры, характеризующие масштаб антропогенных воздействий свиноводческими хозяйствами на био- и агроценозы. **Материалы и методы.** Эмпирическую базу исследования составили данные Росстата, а также результаты предварительных исследований. **Результаты и выводы.** В статье проведён анализ существующих методов оценки экологической нагрузки свиноводческих предприятий на био- и агроценозы. Предложен коэффициент, учитывающий взаимосвязь исходной влажности бесподстильного навоза с его конечным объёмом, и математическая модель для его оценки. По предложенной модели проведён расчёт уровня экологической нагрузки в соответствии с представленной динамикой. Представлена динамика роста поголовья свиней в Российской Федерации в период с 2007 по 2018 годы, установлен рост экологической нагрузки на 37 %, что требует совершенствования имеющихся и разработки новых решений экологизации утилизационного цикла отходов. Обозначены тренды динамики роста поголовья свиней и уровня создаваемой ими экологической нагрузки на био- и агроценозы, получена математическая модель, позволяющая определить оценку уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий, основанную на построении зависимости суммарной ежесуточной массы образуемых твёрдых и жидких отходов и расхода технологических жидкостей для их удаления, массы подстилки, количества животных каждой половозрастной группы, введён коэффициент учёта зависимости выхода навоза от исходной влажности до фракционного разделения, что позволяет повысить точность получаемых данных на 8-10 %. Получена математическая модель, характеризующая зависимость уровня экологической нагрузки и антропогенных воздействий, создаваемых свиноводческими предприятиями, с учётом тренда динамики роста поголовья животных.

Ключевые слова: экологическая нагрузка, животноводство, утилизация отходов, методика оценки объёма отходов, бесподстильный свиной навоз.

Цитирование. Бышов Н. В., Лимаренко Н. В., Успенский И. А., Юхин И. А., Цымбал А. А. Методика оценки уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий. *Известия НВ АУК.* 2020. 1(57). 268-278. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-27.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Рациональное природопользование и обеспечение экологической безопасности утилизационных циклов невозможны без использования эффективных методов диагностирования экологической нагрузки на экосистемы, в частности, на био- и агроценозы. Существенной составляющей, характеризующей уровень антропогенных воздействий, является оценка объёма отходов, производимых сельскохозяйственными предприятиями. Реализация индустриального подхода к животноводству в рамках концепции продовольственной безопасности привела к росту производственных мощностей свиноводческих предприятий, что подтверждается данными Росстата. Известно, что одним из ключевых факторов экологизации индустриального свиноводства является бесподстильное содержание, результатом которого является образование бесподстильного навоза, эффективность утилизации которого зависит от динамики роста

экологической нагрузки, что делает актуальным создание методик оценки и прогнозирования её состояния. В данной работе под экологической нагрузкой отходов свиноводства понимается зависимость объёма образуемого бесподстилочного свиного навоза от таких технологических факторов, как число голов каждой половозрастной группы; способ, продолжительность кормления и стойлового периода; способ удаления отходов и технология их накопления.

Целью данного исследования является создание методики оценки уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий.

Адекватная оценка выхода отходов свиноводческого предприятия невозможна без учёта следующих условий:

- двухфазная система выращивания и откорма;
- продолжительность цикла воспроизводства (7 дней – подготовка к осеменению, отъем, оплодотворение, 115 дней – супоросность, 46 дней – подсосный период при отъеме поросят в возрасте $42 \pm 3,5$ дня);
- деление на группы при подготовке к осеменению с периодичностью кратной циклу воспроизводства (каждые 56 дней, $168:6=3$);
- содержание по половозрастным группам.

Материалы и методы. Объектом исследования являются методы прогнозирования и оценки экологической нагрузки. Предметом – параметры, характеризующие масштаб антропогенных воздействий свиноводческих хозяйств на био- и агроценозы.

Эмпирическую базу исследования составили данные Росстата, а также результаты предварительных исследований [1]. Установлено, что поголовье свиней с 2007 по 2018 годы увеличилось на 37 %, а наиболее высокопроизводительным регионом является Центральный федеральный округ, включающий Московскую, Белгородскую, Брянскую, Владимирскую, Воронежскую, Ивановскую, Калужскую, Костромскую, Курскую, Липецкую, Орловскую, Рязанскую, Смоленскую, Тамбовскую, Тверскую, Тульскую и Ярославскую области.

Рисунок 1 – Динамика роста поголовья свиней в РФ с 2007 по 2018 годы

Figure 1 – Dynamics of growth of the pig population in the Russian Federation from 2007 to 2018

На основании анализа эмпирических данных и результатов исследований была выведена следующая аналитическая зависимость, характеризующая тренд динамики числа голов свиней (ЧГС) в зависимости от календарного года:

$$\text{ЧГС} = 5,7462 \cdot X_{year}^3 - 38,842 \cdot X_{year}^2 + 440,7 \cdot X_{year} + 15808, \quad (1)$$

где X_{year} – календарный год, для которого происходит оценка уровня экологической нагрузки.

На рисунке 1 приведена графическая интерпретация модели (1). Проанализировав уравнение (1) и рисунок 1, можно сделать следующие выводы:

– полиномиальное уравнение (1) адекватно по критерию Фишера, характеризует динамику роста голов с учётом годовых трендов при уровне значимости $\alpha = 0,05$, о чём также свидетельствует коэффициент корреляции $r = 0,9833$.

На рисунке 2 представлено распределение голов свиней за 2017/18 годы по регионам Российской Федерации (РФ) [1].

Рисунок 2 – Распределение поголовья свиней по регионам РФ за 2017/18 годы

Figure 2 – Distribution of pig population by regions of the Russian Federation for 2017/18

В общем виде нормы выхода бесподстилочного свиного навоза в зависимости от технологических факторов (половозрастной группы, способа содержания, климатических условий, технологии удаления навоза, способа обеззараживания и др.) систематизированы и представлены в РД-АПК 1.10.15.02-17. Однако данный подход является недостаточно точным и не позволяет учесть ряда специфических особенностей [1, 4, 6-15], поэтому с целью их учета необходимо внести соответствующие факторы в имеющиеся модели.

Рассмотрим аналитические подходы к оценке выходных объёмов отходов животноводства. Суммарный годовой выход (Γ) отходов свиноводческого предприятия при влажности $90\% \pm 3\%$ определяется:

$$\Gamma = C_{\text{вк}} \cdot (1 - K) \cdot k_{\text{эмп}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{вк}}$ – масса твёрдой фракции корма, т; K – коэффициент переваримости кормов для свиней принимается равным 0,7; $k_{\text{эмп}}$ – эмпирический коэффициент учёта технологических жидкостей для удаления отходов ≈ 10 .

Согласно [2, 3, 5, 16, 17], средний суточный выход бесподстилочного навоза от одной свиньи – 12 л (8 л кала, 2 л мочи и 2 л воды), при этом суточный выход экскрементов составляет порядка 5 % от живой массы. В работе [5] проведён анализ методов укрупнённой оценки объёма навоза/помёта в зависимости от исходной информации. Установлены ос-

новые классификационные критерии оценки выхода отходов животноводческих предприятий, среди которых: масса животных, годовой объём продукции, масса и состав кормов. В. Н. Письменным был предложен метод определения выхода отходов животноводства, основанный на оценке степени перевариваемости кормовых смесей и их твёрдых фракций, критический анализ предложенной зависимости проведён в [5, 16]:

$$H = \left[(C_{\text{свр}} - A) \cdot \frac{100-K}{100} + A \right] \cdot 10 + П, \quad (3)$$

где $C_{\text{свр}}$ – исходная масса сухого вещества кормовой смеси, т; A – масса сухого вещества кормовой смеси, попадающая в навоз, т; K – коэффициент перевариваемости сухого вещества кормовой смеси, % (70 % – для свиней); $П$ – масса используемой подстилки, т.

Достоинством данного подхода является возможность учёта выхода отходов животноводства исходя из объёмов затрачиваемых кормов.

Недостатком является малое достоверное значение получаемого результата и низкая точность за счёт использования большого количества коэффициентов. Также это значение, представленное формулой (3), не позволяет учесть зависимость объёма выхода от исходной влажности отходов.

Автором [5, 16] представлена методика определения объёма отходов животноводства, суть которой заключается в определении структуры животноводческого хозяйства в виде количества половозрастных групп.

Суть способа определения суммарного объёма выхода отходов животноводческих производств с помощью нормативно-технологического метода заключается в использовании следующей модели [16]:

$$Q_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^m (Q_a + Q_t + Q_n + Q_p) \cdot n_j, \quad (4)$$

где Q_a – суммарный ежесуточный объём твёрдой и жидкой фракции отходов, кг; Q_t – ежесуточный расход технологической воды, м³; Q_n – ежесуточный расход воды для удаления отходов, м³; Q_p – масса подстилки на голову животного (в случае подстилочного содержания), кг; n_j – количество голов половозрастной группы, шт; m – количество половозрастных (технологических) групп, шт.

На основании анализа информационных источников и нормативных документов Брюхановым А. Ю. предложены коэффициенты для оценки выхода отходов животноводческих предприятий в зависимости от типа животных, половозрастной группы и способа их содержания, представленные в работах [2, 3, 5, 16].

Преимуществом является достаточно достоверное значение результата при условии точных данных о количестве половозрастных групп животных, способе их содержания и технологии удаления отходов.

Недостатком является достаточно большое количество исходных данных, необходимых для получения достоверного результата, что зачастую является затруднительным, особенно при укрупнённом анализе: так, представленная формула (4) не позволяет также учесть зависимость объёма выхода от исходной влажности отходов.

Результаты и обсуждение. На основании проведённого анализа установлено, что существующие методики оценки выхода отходов не учитывают такой фактор, как влияние исходной влажности на конечное значение объёма, что особенно актуально при бесподстилочном содержании животных. Установлено, что в производственных условиях в зависимости от технологии содержания и сбора отходов конечный объём может быть увеличен до 25 % по сравнению с объёмом экскрементов, соответственно, важным является введение коэффициента, учитывающего данное свойство.

На основании анализа информационных источников и априорной информации [5, 6, 9, 16, 17] была выведена экспоненциальная зависимость, характеризующая коэффициентом, учитывающим взаимосвязь исходной влажности бесподстилочного навоза с его конечным объёмом, описываемая зависимостью:

$$k_{вн} = 65,369 \cdot e^{0,3017 \cdot W_H}, \quad (5)$$

где $k_{вн}$ – коэффициент учёта объём навоза в зависимости от общей исходной влажности материала до фракционного разделения, %; W_H – влажность навоза, %.

На рисунке 3 приведена графическая интерпретация модели (5). Анализ уравнения (5) и рисунок 3 показал следующее:

– экспоненциальное уравнение (5) адекватно по критерию Фишера и характеризует зависимость объёма выхода навоза от его исходной влажности при уровне значимости $\alpha = 0,05$, что подтверждается коэффициентом корреляции $r = 0,95221$;

– рост исходной влажности рассматриваемого диапазона приводит к росту объёма бесподстилочного навоза.

Рисунок 3 – Зависимость выходного объёма бесподстилочного навоза от исходной влажности

Figure 3 – Dependence of the output volume of bespodstilochny manure from the initial humidity

Таким образом, на основании вышеизложенного предложена универсальная модель оценки выхода отходов животноводческих предприятий:

$$Q_{\text{общ}} = [\sum_{j=1}^m (Q_{\text{тв}} + Q_{\text{жид}} + Q_{\text{техвод}} + Q_{\text{подст}}) \cdot n_j] \cdot k_{вн}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{тв}}$ – суммарный ежесуточный объём твёрдой и жидкой фракции отходов, кг; $Q_{\text{жид}}$ – суммарный ежесуточный объём жидкой фракции отходов, м³; $Q_{\text{техвод}}$ – суммарный ежесуточный объём расхода технологической воды для удаления отходов, м³; $Q_{\text{подст}}$ – масса подстилки на голову животного (в случае подстилочного содержания), кг; n_j – число голов в каждой половозрастной группе, шт; m – количество половозрастных (технологических) групп, шт; $k_{вн}$ – коэффициент учёта объём навоза в зависимости от общей исходной влажности материала до фракционного разделения, %.

На рисунке 4 представлена динамика роста экологической нагрузки, создаваемой свиноводческими предприятиями Российской Федерации с 2007 по 2018 годы.

На основании анализа статистических данных динамики роста экологической нагрузки было выведено уравнение регрессии, позволяющее прогнозировать динамику создаваемых свиноводческими предприятиями антропогенных воздействий на био- и агроценозы, описываемую зависимостью:

$$\begin{aligned} \text{ЭН} = & 1683,45 \cdot \text{ЧГС}^4 - 3696,40 \cdot \text{ЧГС}^3 + \\ & + 27747 \cdot \text{ЧГС}^2 - 20772 \cdot \text{ЧГС} + 448092, \end{aligned} \quad (7)$$

где ЧГС – коэффициент учёта тренда динамики поголовья свиней.

Рисунок 4 – Динамика роста экологической нагрузки создаваемой свиноводческими предприятиями

Figure 4 – Dynamics of growth of ecological load created by pig-breeding enterprises

На рисунке 5 приведена графическая интерпретация модели (7). Анализ уравнения (7) и рисунок 5 позволил установить следующее:

– полиномиальное уравнение (7) адекватно по критерию Фишера и характеризует зависимость уровня экологической нагрузки и антропогенных воздействий, создаваемых свиноводческими предприятиями, с учётом тренда динамики роста поголовья животных, при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Об этом свидетельствует коэффициент корреляции $r = 0,9926$.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– обозначены тренды динамики роста поголовья свиней и уровня создаваемой ими экологической нагрузки на био- и агроценозы;

– получена математическая модель (6), позволяющая определить оценку уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий, основанную на построении зависимости суммарной ежесуточной массы образуемых твёрдых и жидких отходов и расхода технологических жидкостей для их удаления, массы подстилки, количества животных каждой половозрастной группы, введён коэффициент учёта зависимости выхода навоза от исходной влажности до фракционного разделения, что позволяет повысить точность получаемых данных;

– получена математическая модель (7), характеризующая зависимость уровня экологической нагрузки и антропогенных воздействий, создаваемых свиноводческими предприятиями, с учётом тренда динамики роста поголовья животных.

Полученные результаты являются первичными исходными данными для создания систем автоматизированной оценки динамики экологической нагрузки антропогенных воздействий свиноводческих предприятий в зависимости от технологических факторов.

Библиографический список

1. Адсорбционно-окислительная технология переработки сточных вод предприятий агропромышленного комплекса / А. Ю. Измайлов, Я. П. Лобачевский, А. В. Федотов, В. С. Григорьев, Ю. С. Ценч // Вестник Мордовского университета. 2018. № 2 (28). С. 207-221.
2. Анализ современных технологий использования животноводческих стоков / П. А. Тиво, А. С. Анженков, Л. А. Саскевич, Е. А. Бут // Мелиорация. 2017. № 3 (81). С. 54-63.
3. Барановский И. Н., Бабенко М. В. Влияние фракций свиного навоза на содержание и состав органического вещества в дерново-подзолистой почве // Вестник ТвГУ. Серия «Химия». 2013. Вып. 16. С. 33-40.

4. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37-43.
5. Брюханов А. Ю., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1 (31). С. 78-85.
6. Буклагин Д. С. Анализ технологических разработок в сфере сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности России // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 10-3 (64). С. 6-12.
7. Исследование распределения плотности вероятностей патогенных маркеров свиного бесподстильного навоза / Н. В. Бышов, Н. В. Лимаренко, С. Д. Фомин, М. Н. Чаткин, И. А. Успенский, И. А. Юхин // Известия НВ АУК. 2019. 4(56). 215-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.
8. Лимаренко Н. В., Жаров В. П. Определение закона распределения плотности вероятностей числа колониеобразующих единиц в технологическом процессе обеззараживания стоков животноводческих ферм // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. Т.17, № 2. С. 136-140. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-2-136-140.
9. Морозов Н. М., Цой Л. М., Рассказов А. Н. Передовые технологии в свиноводстве России // Вестник ВИЭСХ. 2018. № 2 (31). С. 19-28.
10. Поголовье скота и птицы в хозяйствах всех категорий: [Электронный ресурс] // ЕМИСС Государственная статистика. Официальные статистические данные URL: <https://fedstat.ru/indicator/31325> (Дата обращения 21.11.2019).
11. Современные технологии уборки и переработки жидкого навоза / Х. Х. Губейдуллин, В. Г. Артемьев, И. И. Шигапов, О. П. Гришин, С. А. Бормотин // Сельский механизатор. 2018. № 6. С. 30-31.
12. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства / Б. Ч. Месхи, Н. В. Лимаренко, В. П. Жаров, Б. Г. Шаповал // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. 2017. Т.18, № 4. С. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.
13. Тарасов С. И., Мёрзлая Г. Е. Использование бесподстильного навоза. приоритетные направления исследований. Производство бесподстильного навоза. актуальные направления исследований // Плодородие. 2018. № 6 (105). С. 53-56. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.17.
14. Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Методический подход к определению потерь питательных веществ при переработке навоза/помета в органическое удобрение // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. № 3 (13). С. 267-270.
15. Dong S., Lu J., Plewa M. J. Comparative Mammalian Cell Cytotoxicity of Wastewaters for Agricultural Reuse after Ozonation // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (21). P. 11752-11759. DOI: 10.1021/acs.est.8b01675.
16. Method of designing of manure utilization technology / A. Briukhanov, I. Subbotin, R. Uvarov, E. Vasilev // Agronomy Research. 2017. V. 15. № 3. P. 658-663.
17. The Composite Material from the Recycled Raw Materials in the Purification of oily Wastewater Technology / E. V. Moskvicheva, A. V. Moskvicheva, E. P. Doskina, P. A. Sidyakin, D. V. Shchitov, E. Y. Lykova, L. N. Fesenko // Key Engineering Materials. 2017. V. 736. P. 187-190. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.187.

Conclusions. Based on the study, the following conclusions can be drawn:

- trends in the dynamics of growth of the pig population and the level of environmental load created by them on bio-and agrocenoses are indicated;
- obtained mathematical model (6) to determine the assessment level of environmental burden of pig farms based on the construction according to the total daily mass of formed solid and liquid waste and process liquids to remove them, the mass of bedding, number of animals of each age and sex group, introduced the factor of dependence of the output of manure from the source of the moisture before fractionation which improves the accuracy of the data;

– the obtained mathematical model (7) characterizes the dependence of the level of environmental load and anthropogenic impacts created by pig farms, taking into account the trend of growth of the animal population.

The results obtained are the primary source data for creating systems for automated assessment of the dynamics of the environmental load anthropogenic impacts of pig farms depending on technological factors.

References

1. Adsorbcionno-okislitel'naya tehnologiya pererabotki stochnyh vod predpriyatij agropromyshlennogo kompleksa / A. Yu. Izmajlov, Ya. P. Lobachevskij, A. V. Fedotov, V. S. Grigor'ev, Yu. S. Cench // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2018. № 2 (28). P. 207-221.
2. Analiz sovremennyh tehnologij ispol'zovaniya zhivotnovodcheskih stokov / P. A. Tivo, A. S. Anzhenkov, L. A. Saskevich, E. A. But // Melioraciya. 2017. № 3 (81). P. 54-63.
3. Baranovskij I. N., Babenko M. V. Vliyanie frakcij svinogo navoza na sodержание i sostav organicheskogo veshchestva v dernovo-podzolistoj pochve // Vestnik TvGU. Seriya "Himiya". 2013. Vyp. 16. P. 33-40.
4. Bryuhanov A. Yu., Vasil'ev Je. V., Shalavina E. V. Problemy obespecheniya jekologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodstva i nailuchshie dostupnye metody ih resheniya // Regional'naya jekologiya. 2017. № 1 (47). P. 37-43.
5. Bryuhanov A. Yu., Shalavina E. V., Vasil'ev Je. V. Metodika ukрупnennoj ocenki su-tochnogo i godovogo vyhoda navoza/pometa // Molochnohozyajstvennyj vestnik. 2014. № 1 (31). P. 78-85.
6. Buklagin D. S. Analiz tehnologicheskikh razrabotok v sfere sel'skogo hozyajstva i pererabatyvayushej promyshlennosti Rossii // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. № 10-3 (64). P. 6-12.
7. Issledovanie raspredeleniya plotnosti veroyatnostej patogennyh markerov svinogo bespodstilochnogo navoza / N. V. Byshov, N. V. Limarenko, S. D. Fomin, M. N. Chatkin, I. A. Uspenskij, I. A. Yuhin // Izvestiya NV AUK. 2019. 4(56). P. 215-227. DOI: 10.32786/2071-9485-2019-04-26.
8. Limarenko N. V., Zharov V. P. Opredelenie zakona raspredeleniya plotnosti veroyatnostej chisla kolonieobrazuyuschih edinic v tehnologicheskom processe obezzarazhivaniya stokov zhivotnovodcheskih ferm // Vestnik Don. gos. tehn. un-ta. 2017. T.17, № 2 . P. 136-140. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-2-136-140.
9. Morozov N. M., Coj L. M., Rasskazov A. N. Peredovye tehnologii v svinovodstve Rossii // Vestnik VIjeSX. 2018. № 2 (31). P. 19-28.
10. Pogolov'e skota i pticy v hozyajstvah vseh kategorij: [Elektronnyj resurs] // EMISS Gosudarstvennaya statistika. Oficial'nye statisticheskie dannye URL: <https://fedstat.ru/indicator/31325> (Data obrascheniya 21.11.2019).
11. Sovremennye tehnologii uborki i pererabotki zhidkogo navoza / H. H. Gubejdullin, V. G. Artem'ev, I. I. Shigapov, O. P. Grishin, S. A. Bormotin // Sel'skij mehanizator . 2018. № 6. P. 30-31.
12. Sozdanie matematicheskoy modeli dlya ocenki Jnergojmkosti processa obezzarazhivaniya stokov zhivotnovodstva / B. Ch. Mesxi, N. V. Limarenko, V. P. Zharov, B. G. Shapoval // Vestnik Don. gos. tehn. un-ta. 2017. T.18, № 4 . P. 129-135. DOI: 10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135.
13. Tarasov S. I., Mjorzlaya G. E. Ispol'zovanie bespodstilochnogo navoza. prioritetnye napravleniya issledovanij. Proizvodstvo bespodstilochnogo navoza. aktual'nye napravleniya issledovanij // Plodorodie. 2018. № 6 (105). P. 53-56. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.17.
14. Shalavina E. V., Vasil'ev Je. V. Metodicheskij podhod k opredeleniyu poter' pitatel'nyh veshchestv pri pererabotke navoza/pometa v organicheskoe udobrenie // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2015. № 3 (13). P. 267-270.
15. Dong S., Lu J., Plewa M. J. Comparative Mammalian Cell Cytotoxicity of Wastewaters for Agricultural Reuseafter Ozonation // Environmental Science and Technology. 2016. Vol. 50 (21). P. 11752-11759. DOI: 10.1021/acs.est.8b01675.

16. Method of designing of manure utilization technology / A. Briukhanov, I. Subbotin, R. Uvarov, E. Vasilev // Agronomy Research. 2017. V. 15. № 3. P. 658-663.

17. The Composite Material from the Recycled Raw Materials in the Purification of oily Wastewater Technology / E. V. Moskvicheva, A. V. Moskvicheva, E. P. Doskina, P. A. Sidiyakin, D. V. Shchitov, E. Y. Lykova, L. N. Fesenko // Key Engineering Materials. 2017. V. 736. P. 187-190. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.736.187.

Authors Information

Nikolai Byshov, Professor of the Department of Machine and Tractor fleet operation of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University. P. A. Kostycheva (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical Sciences, Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-9803> **E-mail:** byshov63@mail.ru

Nikolay Limarenko, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and electronics of the Federal state budgetary educational institution of higher education, Don state technical University (344000, southern Federal district, Rostov region, Rostov-on-don, 1 Gagarin square), candidate of technical Sciences. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3075-2572> **E-mail:** limarenkodstu@yandex.ru

Ivan Uspensky, Head of the Department of Technical Operation of Transport of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University. P. A. Kostycheva (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical Sciences, Professor.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4343-0444> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Yukhin Ivan Alexandrovich, Head of the Department of Automotive Engineering and Heat Power Engineering of the Federal state budgetary educational institution of higher education Ryazan state agrotechnological University. P. A. Kostycheva (390044, Ryazan, Kostycheva str., 1), doctor of technical Sciences, associate Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0928> **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Tsybmal Alexander Andreevich, Professor of the Department of Heat Engineering, Hydraulics and Power Supply of Enterprises of the Federal state budgetary educational institution of higher education Russian state agrarian University named after K. A. Timiryazev (127550, Moscow, 49 Timiryazevskaya street), doctor of agricultural Sciences, Professor. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3643-2434> **E-mail:** tcimbalaa@yandex.ru

Информация об авторах

Бышов Николай Владимирович, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, профессор. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7673-9803>. **E-mail:** byshov63@mail.ru

Лимаренко Николай Владимирович, доцент кафедры «Электротехника и электроника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» (344000, ЮФО, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3075-2572>.

E-mail: limarenkodstu@yandex.ru

Успенский Иван Алексеевич, заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, профессор. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4343-0444>.

E-mail: ivan.uspensckij@yandex.ru

Юхин Иван Александрович, заведующий кафедрой автотракторной техники и теплоэнергетики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева» (390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1), доктор технических наук, доцент. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3822-0928>. **E-mail:** ivan.uspensckij@yandex.ru

Цымбал Александр Андреевич, профессор кафедры теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет имени К.А. Тимирязева» (127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49), доктор сельскохозяйственных наук, профессор. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3643-2434>. **E-mail:** tcimbalaa@yandex.ru