

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>  
УДК 636.087.69+664.696



## Технологии экструдирования кормов и продуктов питания, включающих биомассу насекомых (обзор)

© 2020. В. И. Пахомов<sup>1</sup>, С. В. Брагинцев<sup>1</sup>, О. Н. Бахчевников<sup>1</sup>✉, А. С. Алферов<sup>1</sup>, Д. В. Рудой<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация,

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

*В обзоре рассмотрены вопросы экструдирования кормов и пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых. Включение насекомых в состав кормов и продуктов повышает их питательную ценность за счет обогащения протеином и жиром. Наибольшее распространение получило экструдирование измельченных и высушенных насекомых в форме муки в смеси с растительным сырьем, в основном измельченным зерном. Но смесь необработанных личинок насекомых и измельченного растительного сырья также может быть успешно подвергнута экструдированию. Выявлены частные закономерности процессов экструдирования биомассы насекомых и растительного сырья. Установлено, что при увеличении содержания насекомых в экструдате его цвет становится более темным, поверхность менее гладкой, структура более слоистой, снижается твердость, уменьшается значение индекса водопоглощения и увеличивается значение индекса водной растворимости экструдата, а также его влажность. Изменение скорости подачи сырья в экструдер позволяет изменять свойства готового экструдата. При увеличении подачи сырья уменьшается значение индекса водопоглощения экструдата и его влажность, но увеличивается индекс водной растворимости. В настоящее время не определены рациональные параметры процесса экструдирования, общие для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и характер их влияния на свойства готовых экструдатов. Тема экструдирования сырья для производства кормов и пищевых продуктов, содержащих биомассу насекомых, является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований.*

**Ключевые слова:** пища из насекомых, корм из насекомых, протеин, жир, смешивание, экструдирование, экструдат, мука из насекомых

**Благодарности:** работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (тема № 0706-2019-0006).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Пахомов В. И., Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С., Рудой Д. В. Технологии экструдирования кормов и продуктов питания, включающих биомассу насекомых (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(3):233-244. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>

Поступила: 07.04.2020 Принята к публикации: 13.05.2020 Опубликована онлайн: 23.06.2020

## Extrusion technologies of feed and food including biomass of insects (review)

© 2020. Viktor I. Pakhomov<sup>1</sup>, Sergey V. Braginets<sup>1</sup>, Oleg N. Bakhchevnikov<sup>1</sup>✉, Aleksander S. Alferov<sup>1</sup>, Dmitri V. Rudoy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

<sup>2</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

*The review deals with the problems of extrusion of feed and food including biomass of insects. Inclusion of insects into the composition of feed and food increases their nutritional value through enrichment with protein and fat. Extrusion of the flour from ground and dried insects blended with vegetable raw material, generally presented by grinded grain, is most commonly used. However, the blend of crude larvae of insects and grinded vegetable raw materials can be also successfully extruded. Specific regularities of processes of insect biomass and vegetable raw material extrusion have been developed. It has been established, that with increase in insect content in the extrudate, its color becomes darker, the surface less smooth, the structure more layered. The hardness declines, the value of water absorption index decreases, the value of water solubility index and its moisture content increase. Variation in the rate of raw material feed into the extruder allows to change the properties of a finished extrudate. As the value of raw materials feed increases, the water absorption index of the extrudate and its moisture content decrease, but the water solubility index increases. Rational parameters of the extrusion process general for all blends of vegetable raw materials and insect biomass as well as the nature of their influence on properties of finished extrudate have not been determined yet. The problem of extrusion raw materials for the production of feed and food containing biomass of insects is promising but requires carrying out supplementary studies.*

**Keywords:** insects as food, insects as feed, protein, fat, mixing, extrusion, extrudate, insect flour

**Acknowledgement:** the research was carried out within the state assignment of the Agricultural Research Centre Donskoy (theme No. 0706-2019-0006).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S., Rudoy D. V. Extrusion technologies of feed and food including biomass of insects (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(3):233-244. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.3.233-244>

Received: 07.04.2020

Accepted for publication: 13.05.2020

Published online: 23.06.2020

В настоящее время актуально повышение качества кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, в связи с чем необходимо обеспечить высокое содержание протеина в их составе [1]. Особенно важно включать в состав кормов компоненты животного происхождения с высоким содержанием протеина для удовлетворения потребности животных в незаменимых аминокислотах [2]. Но в последние годы происходит уменьшение объемов производства белкового кормового сырья животного происхождения, такого как рыбная и крилевая мука, приводящее к значительному повышению их стоимости [3, 4]. Это сопровождается ухудшением качества сырья и случаями его фальсификации [5]. Для кормов, предназначенных для ценных пород рыб, это имеет критическое значение [6].

В то же время в развивающихся странах Азии и Африки из-за быстрого роста населения имеет место дефицит пищевого сырья, богатого белками. Во всем мире ученые проводят исследования по поиску новых недорогих кормовых и пищевых компонентов с высоким содержанием протеина, в том числе незаменимых аминокислот [7, 8]. Одним из наиболее перспективных видов белкового кормового и пищевого сырья по экономическим критериям

и содержанию протеина является биомасса насекомых [9, 10, 11].

Насекомых как источник корма для сельскохозяйственных животных издавна использовали в развивающихся странах [12], где фермеры скармливали собранных вручную насекомых и их личинок птице [13]. Насекомых использовали при приготовлении пищи для людей в странах Африки и Юго-Восточной Азии [14], но при этом они не были объектом научного изучения как сырье для кормопроизводства и, тем более, пищевой промышленности.

Специально выращивать насекомых для использования в качестве кормов и пищи начали в 90-е годы XX века в странах Азии [14]. Тогда же началось изучение их питательной ценности и влияния на продуктивность животных и здоровье людей. В последнее десятилетие насекомых начали активно выращивать и использовать в качестве кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры [9, 11], а также пищевого сырья [15] по всему миру, в том числе в развитых странах Европы и Америки.

Начиная примерно с 2010 г., насекомые, как корм для животных и пища для людей, стали объектом активного научного изучения (рис. 1).

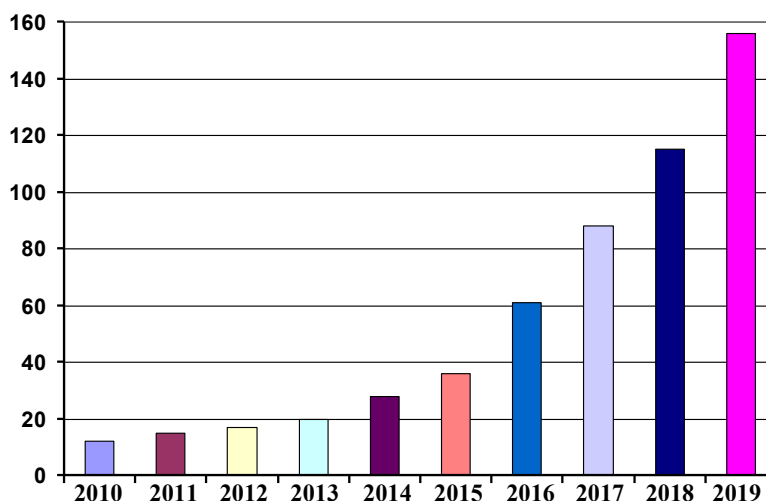


Рис. 1. Динамика количества опубликованных научных статей в библиографической базе «Scopus», посвященных использованию насекомых в пищу и как корм (2010-2019 гг.) /

Fig. 1. Dynamic of the number of published scientific articles devoted to insects as food and feed in the Scopus database (2010-2019)

За последнее десятилетие произошел переход от использования насекомых в целом виде к их переработке с целью обеспечения длительной сохранности, удобства введения в состав комбикормов и пищевых продуктов, и повышения усвояемости [16, 17]. Их высушивают, измельчают, а также перерабатывают в протеинсодержащую муку и жир, после чего часто смешивают с другим сырьем [9, 11]. Насекомых успешно включают в рационы домашней птицы, свиней, молодняка крупного рогатого скота и различных видов рыб [9, 10]. Установлено, что мука из насекомых может заменить в рационах животных рыбную муку [5, 9, 11], соответствуя ей по аминокислотному профилю [2, 9]. Насекомых успешно включают и в состав пищевых продуктов для людей, таких как снеки (закуски) [18].

Насекомые по своему составу и структуре отличаются от традиционных видов кормового и пищевого сырья [9, 19]. Поэтому их обработка с целью подготовки к включению в состав кормов и пищевых продуктов требует применения технологических операций, отличных от используемых при обработке традиционных сырьевых компонентов. Активное исследование технологий переработки насекомых ведется лишь в последние шесть лет (2014-2020 гг.), но эта тема все еще недостаточно изучена [20], а общепринятое мнение научного сообщества об оптимальных для этого технологических приемах пока отсутствует [21, 22].

При производстве комбикормов для сельскохозяйственных животных и рыб, а также многих пищевых продуктов, часть либо все входящие в их состав компоненты смешивают и подвергают экструдированию для улучшения структуры и повышения усвояемости питательных веществ [23]. Экструзионная обработка сырья при производстве комбикормов стала в последнее время общепринятым стандартом. В рамках этого подхода насекомых также подвергают экструдированию в смеси с другими видами сырья, чаще всего растительного происхождения [9]. При этом насекомых обрабатывают в двух различных формах. В первом случае их используют в виде обезжиренной и обезвоженной протеинсодержащей муки [24] либо высушенной и измельченной массы без отделения жира, т. е. применяют полностью переработанную биомассу насекомых. В другом варианте их используют в виде непереработанной биомассы [25]. Так как биомасса насекомых является новым видом сырья для комбикормового и пищевого производства,

то рациональные параметры ее экструдирования точно не установлены и являются предметом научных исследований.

**Цель обзора** – обобщение и анализ научных публикаций, посвященных технологиям экструдирования кормов для сельскохозяйственных животных и аквакультуры, а также пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых, изучение сведений о рациональных параметрах их осуществления и влиянии на свойства экструдатов.

**Материал и методы.** Отбор и систематический обзор научной литературы по заявленной теме был выполнен по методу С. Okoli [26] и R. J. Тоггасо [27]. Для отбора научных статей на русском и английском языках провели поиск по ключевым словам в библиографических базах «Google Scholar» и «Scopus». Также произвели обзор научных журналов по тематике исследования, в первую очередь ведущего журнала в этой области – «Journal of Insects as Food and Feed» [28]. В качестве временных рамок для отбора публикаций был принят интервал 2010-2020 гг., так как именно в последнее десятилетие тема использования насекомых в качестве корма и пищи стала объектом пристального изучения. Более ранние публикации изучали только при отсутствии статей по конкретному аспекту исследуемой темы.

В данном обзоре главное внимание уделено статьям, освещающим вопросы производства экструдированных кормов из насекомых. Так как тема экструдирования биомассы насекомых является новой и недостаточно изученной, то помимо статей, в которых исследовалось приготовление экструдированных кормов, изучали и статьи, описывающие приготовление пищевых продуктов из насекомых ввиду сходства процессов экструдирования сырья.

Вопросы биологической безопасности пищевых продуктов и кормов, содержащих биомассу насекомых, не являются предметом рассмотрения в данной статье.

**Основная часть. Особенности насекомых как кормового и пищевого сырья.** В качестве источника кормового сырья используют в основном личинки и предкуколки насекомых [9, 10]. Наиболее распространенным видом насекомых, личинки которых используют как корм, является муха черная львинка (*Hermetia illucens*) [29, 30]. Также используют личинки других видов синантропных мух [31]. Это обусловлено простотой и дешевизной их выращивания на субстратах из растительного

сырья или пищевых отходов [32] и высокой биоконверсией, достигающей 77 % [33]. Также в качестве корма часто используют личинки мучного хрущака (*Tenebrio molitor*) [9].

Личинки и предкуколки этих видов насекомых содержат большое количество протеина – 30-48 %, при этом на долю переваримого протеина приходится 85-95 % [34]. Содержание жира в личинках также высокое и составляет 20-45 % [9]. Личинки имеют очень высокую влажность – 60-65 % [9, 35], поэтому часто для включения в состав кормов их предварительно сушат [36]. Содержание питательных веществ в личинках колеблется в широких пределах и зависит от вида субстрата, на котором их выращивают [35, 37]. Из насекомых, используемых как корм для животных и пища для людей во взрослом состоянии, наиболее распространен домашний сверчок (*Acheta domestica*) [38]. В особях сверчков содержится 55-67 % протеина и 15-20 % жира [9, 39], их влажность составляет 50-60 % [9]. Сходный состав имеют саранча и кузнечики [40].

Насекомые и их личинки имеют невысокую механическую прочность и легко поддаются измельчению [9, 10]. Отличительной особенностью насекомых и их личинок как кормового и пищевого сырья является наличие достаточно прочной наружной оболочки (кутикулы), содержащей полисахарид хитин [9, 11]. Содержание хитина в насекомых колеблется от 5 до 15 % [9], в частности, личинки черной львинки содержат 5-8 % хитина [29, 41].

*Предварительная обработка биомассы насекомых.* Наибольшее распространение получил способ предварительной обработки, при котором насекомых подвергают измельчению и сушке, после чего производят разделение биомассы личинок насекомых на фракции механическими (отжим жира, сепарация) и химическими (экстракция) методами, результатом применения которых является выделение из нее белков, жиров и хитина [42]. Выделенный протеин подвергают измельчению и конвективной сушке, получая высушенную обезжиренную массу, представляющую собой аналог рыбной муки [43].

Наиболее простым способом предварительной подготовки биомассы насекомых к введению в состав кормов и пищевых продуктов является конвективная сушка при температуре 70-80 °C и последующее измельчение [36, 37]. Недостатком этой технологии является разрушение части протеина при длительном нагреве и наличие в корме прочного хитина.

Полученную в результате предварительной обработки биомассу насекомых либо протеин-содержащую муку смешивают с другими компонентами, в основном растительным сырьем (измельченным зерном и др.), и подвергают экструдированию [24, 25].

*Экструдирование кормов и пищевых продуктов, включающих муку из насекомых.* Коллектив африканских ученых (F. G. Irungu, C. M. Mutungi, H. Affognon и др.) в 2017-2018 гг. провел исследования по экструдированию кормов для рыб, включавших муку из личинок черной львинки и сверчков [24, 44, 45, 46]. Основу корма составляли растительные компоненты – измельченные зерна подсолнечника, пшеницы и кукурузы, а также клубни маниока.

Суть экспериментов заключалась в замене в составе экструдированных комбикормов для рыб муки из креветок на муку из личинок черной львинки или взрослых особей сверчков и сравнении свойств нового и традиционного экструдированных кормов. При этом в разных вариантах смеси заменяли 25, 50 и 75 % муки из креветок на соответствующее количество муки из личинок черной львинки или сверчков. Также изменяли влажность кормовой смеси, доводя ее до уровня 10, 20 и 30 %. Для приготовления муки насекомых бланшировали и сушили на солнце, затем измельчали на молотковой дробилке с диаметром решета 1 мм. Доля компонентов животного происхождения в смеси составляла 28,5 %. Остальными компонентами корма были измельченные семена подсолнечника, кукурузы, пшеницы и клубни маниока.

Корм экструдировали на одношнековом экструдере с отношением длины шнека к диаметру 9:1. Экструдирование производили при постоянных параметрах: частота вращения шнека 200 об/мин, температура 120 °C, подача 1 кг/мин, диаметр фильеры 2 мм. Кормовую смесь предварительно обрабатывали паром под давлением 4 бар.

Результаты экспериментов показали, что мука из насекомых может успешно заменить муку из креветок в кормах для рыб, так как содержащиеся их экструдаты имеют сходные показатели содержания питательных веществ, а также такие физические параметры как пластичность гранул, индекс расширения, плотность, стабильность гранул в воде. Установлено, что замена в составе корма креветок на насекомых не оказала существенного влияния ( $p > 0,05$ ) на физические параметры экструдата.

В то же время влажность исходного корма оказывала влияние на параметры экструдата. Значения некоторых параметров экструдированного корма приведены в таблице 1 [24]. В итоге F. G. Irungu и его соавторы пришли к выводу, что экструдированный корм для

рыб, включающий муку из насекомых с желательным составом питательных веществ и физическими параметрами, может быть получен при влажности исходной смеси до 30 %, а приведенные выше параметры процесса экструдирования являются оптимальными.

**Таблица 1 – Влияние вида насекомых, их содержания и влажности на физические параметры экструдированного корма (F. G. Irungu и др., 2018) /**

**Table 1 – Effect of insect type, level of insect inclusion and feed moisture content on physical parameters of extruded feed (F. G. Irungu et al., 2018)**

Физический параметр / Physical parameter	Влажность, % / Moisture content, %	Экструдат, не содержащий насекомых (контроль) / Extrudate without insects (control)	Экструдат, содержащий личинки черной львинки (уровень замены креветок 75 %) / Extrudate including black soldier fly larvae (level of substitution for shrimps 75 %)	Экструдат, содержащий сверчков (уровень замены креветок 75 %) / Extrudate including adult crickets (level of substitution for shrimps 75 %)
Плавучесть, % / Floatability, %	10	68,8	7,5	0
	20	98,8	12,5	51,3
	30	100	98,8	96,3
Коэффициент расширения, % / Expansion ratio, %	10	54,5	49,4	57,7
	20	59,5	52,5	54
	30	52,6	55,7	54,5
Объемный вес, г/л / Bulk density, g/l	10	570,5	861,3	822,9
	20	466,3	676,8	597,7
	30	453,8	428,1	520,7

Коллектив итальянских ученых (M. R. Alam, M. Scampicchio и др.) в 2019 г. исследовал влияние термопластической экструзии на свойства экструдированных продуктов [47]. Экструдированию подвергали смесь измельченных зерен кукурузы и высушенных и измельченных куколок черной львинки в соотношении 1:1 и 3:1, также экструдировали продукты, содержащие 100 % кукурузы либо 100 % насекомых. Для этого использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 40:1, диаметр фильеры 2 мм. Скорость подачи сырья в экструдер изменяли с 0,02 до 2,5 кг/ч. Температурный градиент в экструдере был обеспечен благодаря 7 независимым электрическим нагревательным сегментам, имевшим температуру соответственно 60, 80, 100, 100, 90 и 70 °C.

В результате экспериментов M. R. Alam и др. [47] установили, что цвет экструдата по мере увеличения в нем доли муки из насекомых с 0 до 100 % становится все более темным, структура все более неоднородной и слоистой, а поверхность менее ровной (рис. 2).

При увеличении содержания муки из насекомых уменьшается значение индекса водопоглощения (с 4,0 до 2,1 г/г) и увеличивается значение индекса водной растворимости (с 7,5 до 16,8 %) экструдата, а также его влажность (с 33,9 до 40,7 %). Индекс поглощения масла уменьшался (с 1,9 до 1,3 г/г) при увеличении доли муки из насекомых в экструдате.

Увеличение скорости подачи сырья в экструдер приводило к уменьшению индекса водопоглощения экструдата, увеличению индекса водной растворимости, уменьшению влажности экструдата. Величина подачи не оказывала существенного влияния на индекс поглощения масла. Таким образом, изменение скорости подачи сырья позволяет изменять параметры готового экструдата, добиваясь получения продукта с заданными свойствами.

M. R. Alam и его соавторы пришли к выводу, что муку из насекомых можно успешно использовать как источник протеина в смеси с растительным сырьем для приготовления экструдированных кормов и продуктов питания [47].

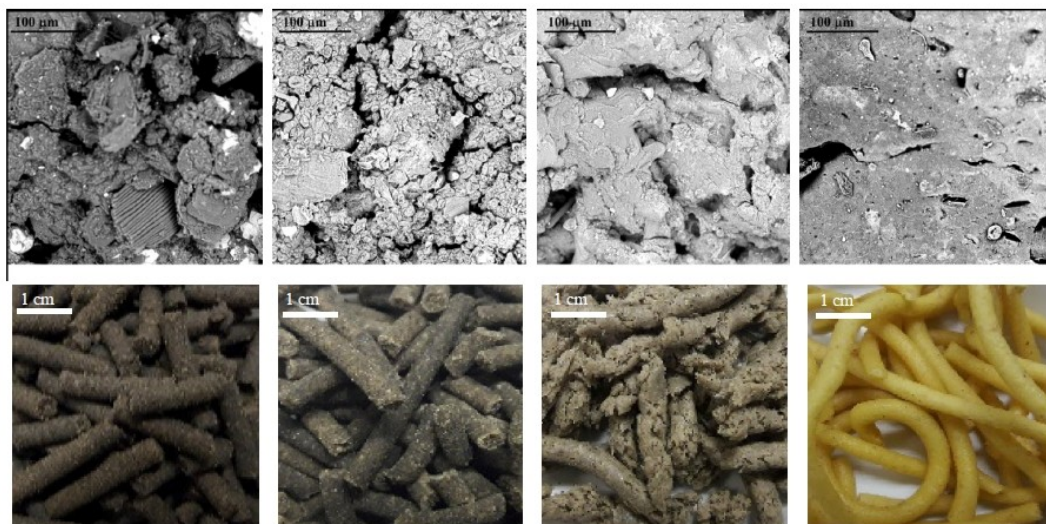


Рис. 2. Внутренняя структура и внешний вид экструдата (M. R. Alam и др., 2019). Образцы слева направо: 100 % муки из насекомых; 50 % муки из насекомых; 25 % муки из насекомых; 100 % зерновой муки /

Fig. 2. Internal structure and surface appearance of the extrudate (M. R. Alam et al., 2019). Samples from left to right are: 100 % insect flour; 50 % insect flour; 25 % insect flour; 100 % grain flour

Коллектив ученых из Кении (J. N. Kinyuru и др.) в 2015 г. исследовал приготовление экструдированного пищевого продукта, включавшего 10 % измельченных термитов [48]. Состав продукта: плоды амаранта 71 %, кукуруза 10,4 %, термиты 10 %, рыба *Dagaa* 3 %, масло растительное 0,6 %, сахар 5 %. Для сравнения экструдировали продукт, в котором отсутствовали рыба и термиты, а их доля была замещена амарантом.

Перед экструдированием термиты были бланшированы в течение 1 мин и высушены в печи в течение часа при температуре 120 °С, так же была обработана рыба. Растительные и животные компоненты продукта измельчали на молотковой дробилке с диаметром отверстий решета 2 мм. Затем компоненты смешивали, подвергали экструдированию и измельчали.

Использовали одношнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1. Параметры процесса экструдирования: влажность сырья – 12,0-14,4 %, ввод воды – 9 %, подача – 33 кг/ч, частота вращения шнека – 300 об/мин, температура корпуса 70 °С (зона 1), 100 °С (зона 2), 127 °С (зона 3). В результате экструдирования был получен пищевой продукт хорошего качества со сроком хранения 6 месяцев. Продукт, включавший термитов, имел более высокую пищевую ценность, чем контрольный продукт без них: содержание протеина – 19,1 % (контроль – 14,6 %), жиров – 26,1 % (контроль – 19,8 %), калорийность –

423,6 ккал (контроль – 407,2 ккал). Это компенсировало более высокую себестоимость нового продукта – на 14,7 % выше, чем у контрольного. Влажность экструдата составила 8,7 % (контроль 9,4 %), объемный вес 0,4 г/см<sup>3</sup> (0,5 г/см<sup>3</sup>), влагопоглощающая способность 19,8 мл/100 г (19,2 мл/100 г).

Недостатком этого исследования является то, что в состав нового пищевого продукта помимо термитов входила и рыба, поэтому сложность представляет определение вклада каждого из ингредиентов животного происхождения в изменение параметров экструдата.

В 2019 г. группа ученых из Кении (S. M. Kiiru, J. N. Kinyuru и др.) провела исследования процесса экструдирования смеси соевого белкового изолята и обычной и обезжиренной муки из сверчков [49]. Содержание муки из сверчков в смеси составляло 15, 30 и 45 %, контроль – 100 % соевый изолят. Использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1, диаметр шнека – 16 мм. Параметры процесса экструдирования: частота вращения шнека – 150 об/мин, подача сырья – 1 кг/ч. Температура экструдирования составляла 120, 140 и 160 °С, подача воды – 10 мл/мин.

Результаты экспериментов показали, что корреляция температуры экструдирования и усвояемости белка отрицательная, в то время как корреляция содержания муки из сверчков и усвояемости белка положительная. Самая

высокая усвояемость белка в готовом продукте (50 %) была зафиксирована при содержании соевого изолята 45 % и температуре 120 °С. Твердость экструдата увеличивалась при повышении температуры, но уменьшалась при увеличении содержания муки из насекомых в смеси.

S. M. Kiiru и его соавторы сделали вывод, что экструдированные продукты, содержащие сырье из насекомых, являются хорошей альтернативой мясным продуктам [49].

Немецкие ученые S. Smetana и др. в 2018 г. исследовали процесс производства аналога мяса, состоящего из соевого протеинового концентрата (содержание – 60 %) и протеиновой муки из личинок мучного жука (*Alphitobius diaperinus*) – 40 %, методом влажной экструзии [50]. Для этого использовали двухшнековый экструдер, частота вращения шнека которого составляла 400 об/мин, скорость подачи – 3,41 кг/ч, температура – 160-170 °С. Но так как целью этой работы было изучение внутренней структуры полученного экструдата на предмет ее схожести со структурой мяса, то в ней не приводятся значения параметров экструдата и их зависимость от параметров экструдирования.

S. Smetana и соавторы в 2019 г. продолжили исследования процесса производства аналога мяса методом влажной экструзии смеси сои и измельченных личинок насекомых [51]. Они установили, что температура экструдирования и содержание насекомых в смеси влияют на физические свойства экструдата. Так, увеличение температуры или уменьшение подачи воды повышает твердость волокон экструдата. Оптимальная мясоподобная структура экструдата была достигнута при самом высоком содержании биомассы насекомых 40 % и максимальной температуре 170 °С.

Итальянские ученые D. Azzollini, A. Derossi и др. в 2018 г. исследовали процесс приготовления снеков (закусок) методом экструзии [52]. Снеки готовили из смеси пшеничной муки и измельченных личинок мучного хрущака (*Tenebrio molitor*). Содержание насекомых в исходной смеси составляло 0, 10 и 20 %. Использовали двухшнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 36:1. Частота вращения шнека составляла 240, 320 и 400 об/мин, температура – 120, 140 и 160 °С. В результате экспериментов было установлено, что микроструктура снеков (пористость, размеры пор, волокнистость и др.) с со-

держанием насекомых 10 % улучшается при увеличении температуры и частоты вращения шнека. В то же время снеки с содержанием насекомых 20 % имели худшую микроструктуру по причине увеличения жирности сырья. D. Azzollini и его соавторы сделали вывод, что насекомые как сырье могут быть включены в небольшом количестве (до 10%) в состав зерновых снеков для повышения содержания белка [52].

Группа испанских ученых (M. Igual и др.) в 2020 г. также исследовала процесс приготовления зерновых снеков (закусок) методом экструзии [53]. Их готовили из смеси измельченной кукурузы и муки из сверчков, содержание которой составляло 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 и 15,0 %. Для этого использовали одношнековый экструдер с отношением длины шнека к диаметру 25:1, частота вращения шнека которого составляла 150 об/мин, скорость подачи – 1,58 кг/ч, температура нагревательных секций корпуса – 25, 70, 170 и 175 °С.

В результате экспериментов было установлено, что параметры экструдатов зависят от содержания в них муки из сверчков. В частности, увеличение содержания насекомых приводит к уменьшению коэффициента расширения экструдата, индекса водной растворимости и пористости, но увеличивает индекс водопоглощения и объемный вес. При этом структура экструдатов, содержащих более 10 % насекомых, была менее однородной, а поверхность менее гладкой, цвет более темный, т.е. потребительские свойства снеков ухудшились.

M. Igual и др. сделали вывод, что мука из сверчков может быть использована для обогащения экструдированных зерновых снеков протеином, причем оптимальное ее содержание в продукте для обеспечения его потребительских свойств составляет 7,5 % [53].

*Экструдирование кормов, включающих необработанную биомассу насекомых.* Коллективом итальянских и бельгийских ученых (M. Ottoboni, T. Sprangers и др.) в 2017 г. выполнены экспериментальные исследования экструдирования корма, включающего необработанные личинки и куколки черной львинки [25].

На одношнековом экструдере экструдировали смесь измельченной пшеницы и личинок либо куколок черной львинки в соотношении 75:25 с добавлением или без добавления подсолнечного масла. Экструдер был снабжен

нагревателями, сообщавшими его корпусу температуру 60, 70, 80 и 90 °С. Частота вращения шнека составляла 100 об/мин. В качестве критерия эффективного осуществления процесса экструдирования М. Ottoboni и др. использовали эффективный крутящий момент (NTV) на валу экструдера:  $NTV < 100$  Н·см – смесь хорошо экструдирована,  $NTV > 100$  Н·см – смесь плохо экструдирована.

В результате экспериментов было установлено, что смеси куколок черной львинки и зерна пшеницы с низким содержанием растительного масла и без масла плохо экструдировались (табл. 2) [25]. Напротив, смесь с высоким содержанием масла показала удовлетворительную экструдированность. Но самую лучшую экструдированность имела смесь личинок

черной львинки и зерна пшеницы без масла. Объясняется это тем, что личинки насекомых содержат значительно больше жира, чем куколки [9, 25]. Это согласуется с другими публикациями [13, 24, 30, 36, 37], в которых для приготовления кормов и продуктов используют именно личинки черной львинки, а не взрослых особей. М. Ottoboni и его соавторы объясняют полученные результаты также тем, что содержащийся в личинках насекомых жир оказывает положительное влияние на процесс экструдирования кормовой смеси, в частности снижает его удельную энергоёмкость. По их мнению, жир уменьшает трение между экструдатом и шнеком, а также корпусом экструдера, что приводит к уменьшению эффективного крутящего момента (NTV).

Таблица 2 – Экструдированность изучаемых смесей пшеницы и насекомых (М. Ottoboni и др., 2017) /  
Table 2 – Extrudability of tested mixtures including wheat and insects (M. Ottoboni et al., 2017)

Состав смеси, % / Mixture composition, %	Эффективный крутящий момент, Н·см / Net torque value, N·cm	Экструдированность / Extrudability
Куколки + пшеница 25:75 (без масла) / Prepupae + wheat 25:75 (no oil)	200-400	Неэкструдированная / Not extrudable
Куколки + пшеница 25:75 (малое содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (low oil content)	> 400	Неэкструдированная / Not extrudable
Куколки + пшеница 25:75 (среднее содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (medium oil content)	100-130	Плохая / Poor
Куколки + пшеница 25:75 (высокое содержание масла) / Prepupae + wheat 25:75 (high oil content)	50-100	Удовлетворительная / Acceptable
Личинки + пшеница 25:75 (без масла) / Larvae + wheat 25:75 (no oil)	80-120	Хорошая / Good

Анализ содержания протеина в экструдате показал, что наибольшее его количество было в смесях личинки + пшеница (без масла) – 5,37 % и куколки + пшеница (высокое содержание масла) – 4,62 %. Это объясняется лучшими условиями протекания процесса экструдирования. Также было установлено, что высокая влажность личинок насекомых не является препятствием для успешного экструдирования кормовой смеси, в ходе которого происходит испарение из сырья излишней влаги.

Результаты исследования М. Ottoboni и др. показывают, что личинки насекомых возможно успешно включать в состав экструдированных кормов в целом виде без предварительного отделения жира и измельчения [25], что снижает себестоимость приготовления кормов.

Этот вывод подтвердили и результаты проведенных авторами настоящей статьи экспериментальных исследований экструдиро-

вания смеси личинок черной львинки и зерна пшеницы, подробно изложенные в статье [54].

**Заключение.** Анализ научных публикаций по исследуемой теме показал, что экструдирование находит все большее применение при производстве кормов и пищевых продуктов, включающих биомассу насекомых. Введение насекомых в состав кормов и продуктов повышает их питательную ценность за счет обогащения протеином и жиром. Но эта тема все еще недостаточно исследована, о чем говорят и сами авторы научных публикаций [17, 47, 55].

Наибольшее распространение получило экструдирование измельченных и высушенных насекомых в форме муки в смеси с растительным сырьем, в основном измельченным зерном пшеницы и кукурузы. Однако результаты исследований, проведенных М. Ottoboni и др. [25], показали, что в случае использования личинок насекомых их предварительное

измельчение и сушка не являются обязательными технологическими операциями подготовки сырья к экструдированию. Смесь необработанных личинок насекомых и измельченного растительного сырья может быть успешно подвергнута экструдированию. К такому же выводу пришли и отечественные исследователи [54].

Авторы проанализированных научных публикаций исследовали лишь частные вопросы технологии экструдирования конкретных продуктов и кормов, содержащих биомассу насекомых. При этом параметры процесса экструдирования сырья ученые чаще всего принимали, исходя из возможностей имеющегося в их распоряжении экструдера и вспомогательного оборудования. Предметом исследования служила возможность получения при заданных параметрах процесса качественного экструдированного продукта с заданными свойствами, а не выявление общих закономерностей процесса экструдирования.

Исследований, выявляющих общие закономерности процесса экструдирования смесей растительного и животного сырья (насекомых), не проводилось, обобщающие научные публикации по этому вопросу отсутствуют. Таким образом, не определены параметры процесса экструдирования, общие для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и характер их влияния на свойства готовых экструдатов.

Тем не менее, на основе анализа научных публикаций выявлены некоторые частные закономерности процессов совместного экструдирования биомассы насекомых и растительного сырья. Установлено, что при увеличении содержания насекомых в экструдате его цвет становится более темным, а поверхность менее гладкой, структура более слоистой, снижается твердость. При этом уменьшается значение индекса водопоглощения и увеличивается значение индекса водной растворимости экструдата, а также его влажность. Изменение скорости подачи сырья в экструдер позволяет изменять параметры готового экструдата. Так, при увеличении подачи сырья уменьшается значение индекса водопоглощения экструдата и его влажность, но увеличивается индекс водной растворимости.

Тема экструдирования сырья для производства кормов и пищевых продуктов, содержащих биомассу насекомых, является перспективной, но требует проведения дополнительных исследований для определения параметров процесса экструдирования, общих для всех смесей растительного сырья и биомассы насекомых, и закономерностей их влияния на свойства готовых экструдатов.

Авторы надеются, что данный обзор будет полезен отечественным ученым в качестве отправной точки для их научно-исследовательских работ по перспективной тематике включения биомассы насекомых в состав кормов и пищевых продуктов.

#### Список литературы

1. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019;7(1):17.1-17.23. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014838>
2. Ayadi F. Y., Rosentrater K. A., Muthukumarappan K. Alternative protein sources for aquaculture feeds. *Journal of Aquaculture Feed Science and Nutrition*. 2012;4(1):1-26. DOI: <https://doi.org/10.3923/joafsnu.2012.1.26>
3. Olsen R. L., Hasan M. R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. *Trends in Food Science & Technology*. 2012;27(2):120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
4. Singh P., Paul B. N., Giri S. S. Potentiality of new feed ingredients for aquaculture: A review. *Agricultural Reviews*. 2018;39(4):282-291. DOI: <https://doi.org/10.18805/ag.r-1819>
5. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds. *Feeds for the Aquaculture Sector*. 2018;1-28. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1)
6. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: opportunities and challenges. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2018;6(2): 3087-3094. URL: <http://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAJ/6-1-130-287.pdf>
7. Carlberg H., Lundh T., Cheng K., Pickova J., Langton M., Gutierrez J. L. V., Kiessling A., Brannasa E. In search for protein sources: Evaluating an alternative to the traditional fish feed for Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.). *Aquaculture*. 2018;486:253-260. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.12.027>
8. Khan S. H. Recent advances in role of insects as alternative protein source in poultry nutrition. *Journal of Applied Animal Research*. 2018;46(1):1144-1157. DOI: <https://doi.org/10.1080/09712119.2018.1474743>
9. Makkar H. P. S., Tran G., Heuze V., Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 2014;197:1-33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>

10. Sogari G., Amato M., Biasato I., Chiesa S., Gasco L. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*. 2019;9(4):119. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9040119>
11. Van Huis A., Dicke M., van Loon J. J. A. Insects to feed the world. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):3-5. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.x002>
12. Halloran A., Roos N., Flore R., Hanboonsong Y. The development of the edible cricket industry in Thailand. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2016;2(2):91-100. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.0091>
13. Pomalegni S. C. B., Gbemavo D. S. J. C., Kpade C. P., Kenis M., Mensah G. A. Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(3):187-192. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0061>
14. Yen A. L. Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):33-55. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2014.0017>
15. Payne C. L. R., Dobermann D., Forkes A., House J., Josephs J., McBride A., Muller A., Quilliam R. S., Soares S. Insects as food and feed: European perspectives on recent research and future priorities. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2016;2(4):269-276. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0011>
16. Lock E. J., Biancarosa I., Gasco L. Insects as Raw Materials in Compound Feed for Aquaculture. *Edible Insects in Sustainable Food Systems*. 2018;263-276. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74011-9_16)
17. Van Huis A. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):27-44. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0017>
18. Severini C., Azzollini D., Albenzio M., Derossi A. On printability, quality and nutritional properties of 3D printed cereal based snacks enriched with edible insects. *Food Research International*. 2018;106:666-676. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.034>
19. Kourimska L., Adamkova A. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*. 2016;4:22-26. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
20. Van Huis A. Edible insects and research needs *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(1):3-5. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.x002>
21. Dobermann D. Insects as food and feed: can research and business work together? *Journal of Insects as Food and Feed*. 2017;3(2):155-160. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2016.0040>
22. Aarts K. W. P. How to develop insect-based ingredients for feed and food? A company's perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):67-68. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2018.x008>
23. Coffey D., Dawson K., Ferket P., Connolly A. Review of the feed industry from a historical perspective and implications for its future. *Journal of Applied Animal Nutrition*. 2016;4(e3):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1017/jan.2015.11>
24. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Kibet N., Tanga C., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Physico-chemical properties of extruded aquafeed pellets containing black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and adult cricket (*Acheta domesticus*) meals. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(1):19-30. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0008>
25. Ottoboni M., Sprangers T., Pinotti L., Baldi A., De Jaeghere W., Eeckhout M. Inclusion of *Hermetia Illucens* larvae or prepupae in an experimental extruded feed: process optimisation and impact on in vitro digestibility. *Italian Journal of Animal Science*. 2017;17(2):418-427. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051x.2017.1372698>
26. Okoli C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. *Communications of the Association for Information Systems*. 2015;37:879-910. DOI: <https://doi.org/10.17705/1cais.03743>
27. Torraco R. J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. *Human Resource Development Review*. 2016;15(4):404-428. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
28. Yen A. L. Foreword: Why a Journal of Insects as Food and Feed? *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(1):1-2. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2015.x001>
29. Tomberlin J. K., van Huis A. Black soldier fly from pest to «crown jewel» of the insects as feed industry: an historical perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020;6(1):1-4. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2020.0003>
30. Wang Y. S., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*. 2017;6(10):91. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
31. Fitches E. C., Dickinson M., De Marzo D., Wakefield M. E., Charlton A. C., Hall H. Alternative protein production for animal feed: *Musca domestica* productivity on poultry litter and nutritional quality of processed larval meals. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(2):77-88. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0061>
32. Ganda H., Zannou-Boukari E. T., Kenis M., Chrysostome C. A. A. M., Mensah G. A. Potentials of animal, crop and agri-food wastes for the production of fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(2):59-67. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0064>
33. Ушакова Н. А., Бастраков А. И., Карагодин В. П., Павлов Д. С. Особенности биоконверсии органических отходов личинками мухи *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). *Успехи современной биологии*. 2018;138(2):172-182. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34882931>
- Ushakova N. A., Bastrakov A. I., Karagodin V. P., Pavlov D. S. *Osobennosti biokonversii organicheskikh otkhodov lichinkami mukhi Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae, Linnaeus, 1758). [Specific Features of Bio-

conversion of Organic Waste by *Hermetia illucens* Larvae (*Diptera: Stratiomyidae*, Linnaeus, 1758)]. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2018;138(2):172-182. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=34882931>

34. Jozefiak D., Jozefiak A., Kieronczyk B., Rawski M., Swiatkiewicz S., Dlugosz J., Engberg R. M. 1. Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – A Review. *Annals of Animal Science*. 2016;16(2):297-313. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2016-0010>

35. Sprangers T., Ottoboni M., Klootwijk C., Olyn A., Deboosere S., De Meulenaer B., Michiels J., Eeckhout M., De Clercq P., De Smet S. Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017;97(8):2594-2600. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>

36. Nekrasov R., Zelenchenkova A., Chabaev M., Ivanov G., Antonov A., Pastukhova N. PSIII-37 Dried Black Soldier Fly larvae as a dietary supplement to the diet of growing pigs. *Journal of Animal Science*. 2018;96(S\_3):314. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.691>

37. Некрасов Р. В., Чабаяев М. Г., Зеленченкова А. А., Бастратов А. И., Ушакова Н. А. Питательные свойства личинок *Hermetia Illucens* L. – нового кормового продукта для молодняка свиней (*Sus Scrofa Domesticus Erxleben*). *Сельскохозяйственная биология*. 2019;54(2):316-325. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>

Nekrasov R. V., Chabaev M. G., Zelenchenkova A. A., Bastrakov A. I., Ushakova N. A. *Pitatel'nye svoystva lichinok Hermetia Illucens L. – novogo kormovogo produkta dlya molodnyaka sviney (Sus Scrofa Domesticus Erxleben)*. [Nutritional properties of *Hermetia illucens* L., a new feed product for young pigs (*Sus scrofa domesticus* Erxleben)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2019;54(2):316-325. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.2.316rus>

38. Straub P., Tanga C. M., Osuga I., Windisch W., Subramanian S. Experimental feeding studies with crickets and locusts on the use of feed mixtures composed of storable feed materials commonly used in livestock production. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;255:114215. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114215>

39. Montowska M., Kowalczewski P. L., Rybicka I., Fornal E. Nutritional value, protein and peptide composition of edible cricket powders. *Food Chemistry*. 2019;289:130-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.062>

40. Mariod A. A. Nutrient Composition of Desert Locust (*Schistocerca gregaria*). *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*. 2020;257-263. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-32952-5_18)

41. Smets R., Verbinen B., Van De Voorde I., Aerts G., Claes J., Van Der Borgh M. Sequential extraction and characterisation of lipids, proteins, and chitin from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, prepupae, and pupae. waste and biomass valorization. *Waste Biomass Valorization*. 2020;1-12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00924-2>

42. Caligiani A., Marseglia A., Leni G., Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Research International*. 2018;105:812-820. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.012>

43. Van Huis A., Oonincx D. G. A. B. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 2017;37(5):43-56. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>

44. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Proximate composition and in vitro protein digestibility of extruded aquafeeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* fractions. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2018;4(4):275-284. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0089>

45. Irungu F. G., Mutungi C. M., Faraj A. K., Affognon H., Tanga C., Ekesi S., Nakimbugwe D., Fiaboe K. K. M. Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fractions. *International Aquatic Research*. 2018;10(2):101-113. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0191-8>

46. Irungu F. G. Effects of extrusion processing on the physico-chemical and nutritional characteristics of fish feeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* meals (Doctoral dissertation). Nakuru: Egerton University, 2017.

47. Alam M. R., Scampicchio M., Angeli S., Ferrentino G. Effect of hot melt extrusion on physical and functional properties of insect based extruded products. *Journal of Food Engineering*. 2019;259:44-51. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.04.021>

48. Kinyuru J. N., Konyole S. O., Onyango-Omolo S. A., Kenji G. M., Onyango C. A., Owino V. O., Owuor B. O., Estambale B. B., Roos N. Nutrients, functional properties, storage stability and costing of complementary foods enriched with either termites and fish or commercial micronutrients. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015;1(2):149-158. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0011>

49. Kiiru S. M., Kinyuru J. N., Kiage B. N., Marel A. K. Partial substitution of soy protein isolates with cricket flour during extrusion affects firmness and in vitro protein digestibility. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;6(2):169-177. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0024>

50. Smetana S., Ashtari Larki N., Pernutz C., Franke K., Bindrich U., Toepfl S., Heinz V. Structure design of insect-based meat analogs with high-moisture extrusion. *Journal of Food Engineering*. 2018;229:83-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.06.035>

51. Smetana S., Pernutz C., Toepfl S., Heinz V., Van Campenhout L. High-moisture extrusion with insect and soy protein concentrates: cutting properties of meat analogues under insect content and barrel temperature variations. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019;5(1):29-34. DOI: <https://doi.org/10.3920/jiff2017.0066>

52. Azzollini D., Derossi A., Fogliano V., Lakemond C. M. M., Severini C. Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;45:344-353. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.017>

53. Igual M., Garcia-Segovia P., Martinez-Monzo J. Effect of *Acheta domesticus* (house cricket) addition on protein content, colour, texture, and extrusion parameters of extruded products. *Journal of Food Engineering*. 2020;282:110032. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110032>

54. Пахомов В. И., Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н., Алферов А. С., Рухляда А. И., Бабаджанян А. С. Результаты экспериментальных исследований экструдирования кормов, содержащих зерно пшеницы и биомассу личинок черной львинки. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(1):28-42. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

Pakhomov V. I., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Alferov A. S., Rukhlyada A. I., Babadzhanyan A. S. *Rezultaty eksperimental'nykh issledovaniy ekstrudirovaniya kormov, soderzhashchikh zerno pshenitsy i biomassu lichinok chernoy l'vinki*. [The results of experimental studies of extrusion of feed containing wheat grain and black soldier fly larvae biomass]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(1):28-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.28-42>

55. Govorushko S. Global status of insects as food and feed source: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;91:436-445. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.032>

#### Сведения об авторах

**Пахомов Виктор Иванович**, доктор техн. наук, зам. директора по науке по механизации и электрификации, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, e-mail: vniptim@gmail.com

**Брагинцев Сергей Валерьевич**, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Бахчевников Олег Николаевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

**Алферов Александр Сергеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

**Рудой Дмитрий Владимирович**, кандидат техн. наук, декан факультета «Агропромышленный», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, e-mail: spu-38@donstu.ru

#### Information about the authors

**Viktor I. Pakhomov**, DSc in Engineering, Deputy Director for Science of Mechanization and Electrification, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, e-mail: vniptim@gmail.com

**Sergey V. Braginets**, PhD in Engineering, leading researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>, e-mail: sbraginets@mail.ru

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, PhD in Engineering, researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

**Aleksander S. Alferov**, PhD in Engineering, researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5210-781X>, e-mail: alfa-8303@yandex.ru

**Dmitri V. Rudoy**, PhD in Engineering, Dean of Agro-Industrial Department, Don State Technical University, sq. Gagarin, 1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344010, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1916-8570>, e-mail: spu-38@donstu.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author