

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПОДХОДОВ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ КОРМОВ В АКВАКУЛЬТУРЕ ПРИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СХЕМ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Шайхиев И.Г.¹, Свергузова С.В.², Сапронова Ж.А.³

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015, г. Казань, ул.К.Маркса, 68, e-mail: ildars@inbox.ru

²Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail: pe@intbel.ru

³Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, e-mail: sapronova.2016@yandex.ru

Аннотация. Обобщены сведения из зарубежных литературных источников о возможности выращивания атлантического лосося (*Salmo salar*) с включением в рационы кормов высушенной и/или обезжиренной биомассы личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*). Приведены краткие данные о физиологии и жизненном цикле названного насекомого, а также содержание белков и жирных кислот. Показано, что мука из высушенной биомассы личинок насекомого содержит большое количество аминокислот и жирных кислот. Кратко приведены сведения о влиянии муки из личинок насекомых на увеличение массы молоди и взрослых особей атлантического лосося, усвояемость сухого вещества корма, органолептические показатели филе рыб, аминокислотный и жирнокислотный состав и другие показатели при замене рыбной муки и соевого шрота полностью или частично мукой из личинок *Hermetia illucens*. Сделан вывод, что включение муки из биомассы насекомого в определенных пропорциях положительно сказывается на росте и жизнедеятельности рыб вида *Salmo salar*, однако, существуют пределы для включения в рацион питания. Также обобщены литературные сведения о возможности использования в рационе кормов для выращивания лососей биомассы криля, приведены кратко сведения об его объемах образования и составе.

Ключевые слова: аквакультура, лосось атлантический, рацион питания, мука из личинок *Hermetia illucens*, криль.

ВВЕДЕНИЕ

Растущий мировой спрос на продукты питания однозначно связан с ростом народонаселения на планете. Прогнозируется, что к 2050 году численность населения мира, с учетом настоящей тенденции увеличения численности людей, составит несколько менее 10 миллиардов человек [1]. Данное обстоятельство, несомненно, создаст определенные трудности в области охраны окружающей среды, обеспечения продуктами питания и пресной водой и, в целом, для рационального природопользования.

Рыбы и другие морепродукты оказывают существенное влияние на рацион питания людей, оказываясь в некоторых регионах Земли основными источниками пищи. К сожалению, интенсивный вылов рыб и морепродуктов привел к истощению последних и снижению их биомассы в Мировом океане. Данное обстоятельство привело к интенсивному развитию в мировом масштабе такой производственной отрасли, как аквакультура – выращивание морепродуктов в искусственных условиях [2]. Как указывается, объем выращивания рыб в условиях аквакультуры в настоящее время превышает объем биомассы вылавливаемой рыбы в Мировом океане. Указывается, что в настоящее время 52 % потребляемой человечеством рыбы, выращено в условиях аквакультуры [3].

К наиболее массовым породам рыб, выращиваемых в аквакультуре, относятся карпы и сазаны (45 %), лососевые (8,4 %), тилапия (8,1 %) [4]. Из лососевых наибольшее количество выращиваемых особей относится к виду атлантический лосось или семга (*Salmo salar*) – вид лососёвых рыб из рода лососей семейства лососевых (*Salmonidae*) [5]. Один из ценнейших промысловых видов среди лососей. Проходная рыба, живет в море или крупных озерах, а для икрометания входит в реки. Вид распространен в северной части Атлантического и западная часть Северного Ледовитого океанов, откуда входит в реки Европейского и Американского побережий. В России входит в реки Балтийского, Баренцева и Белого морей, на восток до реки Кары, в больших озерах образует пресноводную форму. Семга может достигать длины 150 см и массы 40 кг. Является объектом искусственного воспроизводства в аквакультуре.

Наибольшее количество семги в искусственных условиях разводится в Норвегии, что объясняется природными условиями страны. В частности, стоит отметить, что решающим фактором

является омывание северных берегов Скандинавского полуострова теплым течением Гольфстрим. Указывается, в частности, что в 2016 году в Норвегии всего было произведено в аквакультуре 1252573 т лосося, производство филе рыбы оценено в 814172 т [6]. Ранее, основным источником в рационе для кормления рыб была рыбная мука, получаемая из малоценных видов рыб и отходов от переработки последних. Так, в 1990 г содержание белков и жиров в рыбной муке в составе кормов для выращивания лосося составляло 65,4 % и 24 %, соответственно [6]. В последующем, продукты растительного происхождения, в основном соевый шрот, в значительной степени заменили более дорогостоящую рыбную муку из-за сокращения выловов «дикой» рыбы в морях и океанах, при поддержании оптимального объема производства рыбы [7]. В результате стоимость производства рыбы была значительно снижена. Показано, что в 2016 году только 14,5 и 10,4 % белков и жиров в рационе кормов атлантического лосося были в составе рыбной муки, а 40,3 и 20,2 % - в составе соевой муки, соответственно [6]. Т.е., произошла замена большей части рыбной муки в рационах семги растительным шротом и соевой мукой.

В последнее время интенсивно развивается инновационное направление в аквакультуре – использование биомассы различных насекомых в рационах для выращивания рыб, в том числе и лососевых [8-14]. Рекомендовано использование в качестве добавок в кормовые смеси для выращивания рыб в аквакультуре 7 видов насекомых: личинки и/или куколки двукрылой (*Hermetia illucens*) и домашней мухи (*Musca domestica*), личинки мучного червя (*Tenebrio molitor*), саранча и кузнечики (*Acrididae*), сверчки (*Gryllidae*) и катидиды (*Tettigoniidae*), куколки тутового шелкопряда (*Bombyx mori*) [13, 15].

Как показывает анализ зарубежных источников, наибольшее количество публикаций посвящено выращиванию семги с использованием в качестве компонента рационов муки из личинок мухи вида *Hermetia illucens* – крупной мухи из семейства львинковых (*Stratiomyia chamaeleon*). В России данный вид носит название «Черная львинка», за рубежом – «Черный солдат» [16].

Жизненный цикл мух *Hermetia illucens* включает несколько фаз развития. Взрослые особи мухи спариваются на третий день жизни после вылупления из куколок и уже через несколько дней самка откладывает 600-800 яиц во влажный органический субстрат. В качестве последнего возможно использование навоза животных [16-19], куриного помета [19, 20], пищевых отходов [21-23], отходов от переработки сельскохозяйственного сырья [23, 24] и др.

Через несколько дней из яиц вылупляются личинки размерами до 5 мм, которые развиваются в течение 14-20 дней в зависимости от условий окружающей среды. За этот отрезок времени личинки *Hermetia illucens* усиленно усваивают органический субстрат, наращивая свою биомассу и увеличивая свои размеры до 30 мм в длину, до 6 мм в ширину. Выявлено, что личинки Черной львинки могут утилизировать более 50 % органического субстрата, превращая его в ценное удобрение. Когда личинки достигают финальной стадии развития, они превращаются в предкулолок, последние окукливаются и из них впоследствии выводятся взрослые особи мух и жизненный цикл повторяется.

Отличительной чертой личинок *Hermetia illucens* является их состав, который состоит из сырого белка, жирных кислот, хитина и др. Указывается, что сухое вещество личинок на 32-40 % состоит из белков и на 13-42 % - из жиров в зависимости от субстрата, на котором они развивались [25-27]. В составе белков личинок *Hermetia illucens* содержатся такие аминокислоты как аргинин, гистидин, лейцин и изолейцин, лизин, фенилаланин, тирозин, валин и другие [28], а также такие кислоты как лауриловая, миристиновая, пальмитиновая, стеариновая, олеиновая, ленолевая, ленолеиновая и др. [29]. Указывается, что личинки *Hermetia illucens* содержат в своем составе витамин Е и некоторые минеральные соединения [30]. Точный состав макроэлементов и микроэлементов может быть изменен путем изменения состава субстрата.

Данное обстоятельство делает высушенную биомассу личинок *Hermetia illucens* весьма питательной, способной заменить, в частности, рыбную муку при кормлении и выращивании рыб в аквакультуре, в том числе и атлантического лосося.

В частности, проводилось откармливание мальков лосося массой 2,8±0,1 г. диетой, состоящей из концентратов соевого и кукурузного белка в соотношении 70:30 путем замены 100, 200 или 300 г/кг эталонной смеси мукой из *Hermetia illucens*. Выявлено, что молодь лосося, которая откармливалась кормом, содержащим 20 % муки из личинок *Hermetia illucens*, показали аналогичные показатели роста с особями, питавшихся контрольной диетой. Сделан вывод, что

включение муки из личинок Черной львинки в количестве 200 г/кг в рацион для питания молоди атлантического лосося, перспективно в качестве дополнительного источника белка в низкокалорийной муке из растительных компонентов [31].

Исследовано влияние замены 6,25 %, 12,5 % и 25 % белков в коммерческой смеси гранулами из муки личинок *Hermetia illucens* или пастой из личинок насекомого, консервированной с использованием муравьиной кислоты, на рост, потребление корма и усвояемость питательных веществ у атлантического лосося (*Salmo salar*) [32]. Выявлено, что добавление муравьиной кислоты в пищевую композицию снижало вкусовые качества корма, что уменьшало его потребление, способствуя снижению роста рыб. Отмечено, что при увеличении доли гранул в составе корма, наблюдается снижение усвоения белков и липидов и увеличение усвоения крахмала. Предполагается, что данное обстоятельство связано с повышением содержания азота в хитине, который имеет низкую усвояемость у атлантического лосося [32]. Обработка личинок *Hermetia illucens* для удаления хитина привела к увеличению показателя роста рыб [33]. Также выявлено, что добавка пробиотических бактерий с мукой из личинок насекомого, приводит к увеличению массы лососей [33].

Группу экспериментальных лососей в течение 8 недель кормили типичной диетой, содержащей рыбную муку и соевый белковый концентрат в соотношении 1:1, а также рыбий жир и растительное масло в соотношении 1:2, в которой 85 % белка заменялись на муку из личинок насекомых, а растительное масло заменялось на масло из личинок *Hermetia illucens* [34]. Определено, что наличие муки из личинок Черной львинки в рационе лососей не изменяло потребление корма и содержание липидов в организме рыб. Несмотря на высокое содержание насыщенных жирных кислот в рационах на основе насекомых, коэффициенты переваримости всех жирных кислот были высокими [35].

Выявлено, что замещение рыбной муки высушенной биомассой личинок не ухудшает качество филе лосося [36]. Кроме того, зафиксировано увеличение содержания полиненасыщенных жирных кислот в составе филе лососей из экспериментальной группы [37]. Также оценены характеристики филе *Salmo salar* после 16-ти недельного кормления диетой, содержащей замену рыбной муки на 33 %, 66 % и 100 % мукой из личинок *Hermetia illucens*. Определялось содержание тяжелых металлов, мышьяка, диоксинов, микотоксинов, пестицидов, которое показало, что все концентрации анализируемых соединений в кормах и филе ниже максимальных уровней требований Евросоюза [38].

Так же определено, что замена рыбной муки в рационе рыб мукой из личинок *Hermetia illucens* не влияет на состояние кишечника атлантического лосося [39].

Найдено, что замена рыбной муки и соевого концентрата на белок насекомых, значительно увеличивало, как гепатосоматический, так и висцеральный соматический индекс атлантического лосося. На протеиназную активность в кишечнике рыб не влияло диетическое включение личинок *Hermetia illucens* в рацион, в то время как активность лейцин-аминопептидазы была ниже у особей, получавших ингредиенты насекомых, чем в контрольной группе. Определено, что содержание белка, липидов, аминокислот и минералов в организме не зависит от источника белка или липидов [35]. Отмечено, что произошло уменьшение размеров печени лосося, питавшихся экспериментальной диетой, по сравнению с контрольными особями [36, 40].

Изучалось влияние замены рыбной муки на муку из личинок на генные реакции, связанные с воспалением, эйкозаноидным путем и реакцией рыб на стресс в изолированных лейкоцитах, выделенных из головы лососей после бактериального или вирусного воздействия. Сделан вывод, что замена рыбной муки из личинок *Hermetia illucens* в диете для кормления атлантического лосося не влияла на транскрипцию генов в клетках головы рыб [41, 42]. Определено, что особи, питавшиеся мукой из насекомых, имеют повышенную экспрессию генов, свидетельствующую о стрессовой реакции, иммунной толерантности и повышенной активности детоксикации [43].

В целом, исследования показали, что белковая мука и масло из личинок *Hermetia illucens* имеют большой потенциал в качестве источника питательных веществ для выращивания атлантического лосося. Но, указывается, что стоимость муки из насекомых выше, чем стоимость рыбной муки и она производится в небольших количествах [44]. Ожидается, что эта ситуация изменится, т.к. сектор экономики по искусственному выращиванию насекомых быстро развивается и производство муки из *Hermetia illucens* должно значительно увеличиться в ближайшем будущем. Поэтому, по словам производителей кормов, корм для лосося на основе насекомых, похоже,

находится на грани появления на рынке [44]. Делается вывод, что выращивание насекомых в цепочке производства кормов для лосося, расширяет выбор источников кормов за счет возможности использования органических отходов, но повышает уровень неопределенности в отношении возможного возникновения негативных побочных эффектов [45].

Как говорилось ранее, уменьшение количества рыбной муки в аквакормах привело к массовым исследованиям для выявления альтернативных источников белка [46]. Таковым, в частности, оказался криль – мелкие морские планктонные ракообразные промысловых размеров (10-65 мм), образующие промысловые скопления в поверхностных слоях воды умеренных и высоких широт океанов обоих полушарий Земли.

Анализ литературных источников показал, что наибольшее количество исследований посвящено использованию муки из антарктического криля (*Euphausia superba*) для частичной или полной замены рыбной муки в рационах для выращивания атлантического лосося [47-57].

Объемы криля в Мировом океане огромны. Так, например, масса антарктического криля у берегов Антарктиды в различные годы по оценкам составляла 342-536 млн. тонн [50]. В составе биомассы антарктического криля содержатся аминокислоты и жирные кислоты. В частности, определено содержание аминокислот (мг/г) в составе белков в сыром *Euphausia superba*: глутамин – 109,0, лизин – 59,7, аланин – 52,2, лейцин – 50,2 и другие в меньших количествах. Из жирных кислот более всего содержится (в %): эйкозапентаеновой кислоты – 20,31, докозагексаеновая кислота – 19,4, пальмитиновой – 17,89, миристиновой – 12,2 и другие в меньших количествах [51].

Приготовлено шесть изопротеиновых и изолипидных рационов для атлантического лосося с заменой от 0 до 100 % белка рыбной муки (0–68 % рациона в пересчете на сухую массу) на антарктического криля. Указывается, что состав аминокислот и жирных кислот в рационах был сопоставимым [52]. Коэффициент конверсии корма повышался при высоких уровнях крилевой муки в рационах - с 0,94 в контрольной диете до 1,26 в диете со 100 % замены рыбной муки сухой биомассой *Euphausia superba*. Выявлено, что экспериментальные диеты не влияли на такие параметры, такие как гемоглобин в крови, количество эритроцитов, белок плазмы, холестерин, триацилглицерины и уровни глюкозы. Клинические показатели клеточного повреждения (аланинаминотрансфераза и аспаратаминотрансфераза) были сходными, что указывало на отсутствие повреждения ткани, вызванного диетой, во время исследования [52]. Выявлено, что замена рыбной муки сухим мясом антарктического криля не влияет на усвояемость азота, но рыба, питавшаяся контрольной диетой, имела более высокую усвояемость треонина, серина, глутамина, гистидина и лизина. Для триацилглицеролов, свободных жирных кислот, глюкозы, общего белка, альбумина, глобулина, мочевины и общего билирубина не было выявлено существенных различий в плазме. Сделан вывод, что частичное включение муки из криля в рацион питания может успешно заменить рыбную муку в качестве единственного источника белка для атлантического лосося [53].

Диетические качественные тесты на усвояемость *in vitro* соответствовали исследованиям роста и указали на возможность включения в рацион муки криля с заменой на 50–60 % рыбной муки [54].

В других экспериментах, лососей кормили рационом с добавлением 75 или 150 г/кг муки антарктического криля взамен рыбной муки в течение 13 недель. Кажущийся коэффициент усвояемости для неочищенного белка и большинства аминокислот был несколько ниже в кормах с добавленной мукой криля (около 83,5 %), чем в контрольной диете (84,9 %), тогда как усвояемость неочищенных липидов, сухого вещества и энергии не существенно отличались среди трех диет. Выявлено, что добавление муки из криля привело к более высокому потреблению корма и, соответственно, к более высоким темпам роста и конечной массе тела рыб. Во втором эксперименте крупным лососям давали диету, содержащую 100 г/кг муки криля за 6 недель до убоя. Найдено, что частичная замена рыбной муки приводила к значительному увеличению скорости роста по сравнению с контрольной рыбой [55]. Также выявлено, что лососи, которых откармливали диетой, содержащей муку из криля, имели более объемную форму тела, более стройные сердца и улучшенную целостность филе, твердость и цвет [56].

Другой проблемой кормления атлантического лосося является наличие в криле (до 350 мг/кг) и, соответственно, в теле рыб и филе фторидов. Выявлено, что при кормлении особей *Salma salar* кормом, в котором до 300 г/кг рыбной муки заменено мукой из антарктического криля, содержание фторидов в филе рыб составляло 0,3-1,4 мг/кг, во всем теле рыб – 3,3-6,6 мг/кг [57].

Также, кроме антарктического криля, в рационах кормов для выращивания атлантического лосося и других видов рыб возможно использовать арктический криль (*Thysanoessa inermis*), арктический амфипод (*Themisto libellula*) и калянус (*Calanus finmarchicus*) [59-63]. Все указанные виды объединятся под названием макрозоопланктон [59-63]. Последний богат сырыми белками (60-78 % массы сухого вещества), жирными кислотами (7-30 % от массы сухого вещества), зольность составляет 12-17 %. Наиболее распространенными свободными аминокислотами (85-91 %) в составе макрозоопланктона являются таурин, глицин, пролин, β-аланин и аланин [59, 60].

Определено, что мука из макрозоопланктона имеет более низкое содержание белка (524-641 г/кг) по сравнению с рыбной мукой (732 г/кг). Данное обстоятельство объясняется наличием хитина в составе ракообразных: 100 г/кг муки, если последняя была изготовлена из *Themisto libellula*, и 30 г/кг и 40 г/кг в составе муки из *Thysanoessa inermis* и *Euphausia superba*, соответственно. Мука из арктического криля отличалась самым высоким содержанием липидов (182 г/кг), что более чем вдвое выше такового показателя у муки из других ракообразных [59]. Определено, что уровни содержания кадмия превышают максимально допустимый уровень, а содержание мышьяка и меди в исследуемых кормах также были высокими [59, 61]. Кроме того, отмечено высокое содержание фтора в муке из ракообразных – 4000±800 мг/кг из *Themisto libellula*, 780±160 мг/кг и 1160±230 мг/кг – из *Thysanoessa inermis* и *Euphausia superba* соответственно [62].

Исследовано влияние включения антарктического криля, арктического криля и амфипод частично или полностью в рационы для кормления атлантического лосося. Определено, что питание мукой из макрозоопланктона с заменой 20-60 % рыбной муки приводит к снижению содержания в мышцах лосося цинка и мышьяка и не влияет на содержание меди и свинца. Делается вывод, что макрозоопланктон имеет большой потенциал для использования в качестве компонента в кормах для аквакультуры. Кормление макрозоопланктоном показало одинаковые или лучшие показатели роста лосося при замене рыбной муки. Сдерживающим фактором является более высокая цена муки из ракообразных по сравнению с рыбной. Рекомендовано использовать муку из криля в рационах для кормления лосося в качестве источника аттрактантов, природных каротиноидов и ω-3 жирных кислот [63].

Кроме муки из личинок насекомых и ракообразных, в качестве источников белков и жирных кислот в рационах кормов для выращивания атлантического лосося в аквакультуре также исследовались горох [64], кунжут, льняное и рапсовое масло, мука из мидий и гриба *Rhizopus oryzae* [65] и другие альтернативные компоненты, приведенные в обзоре [66].

ВЫВОДЫ

Обобщены сведения из зарубежных литературных источников о возможности выращивания атлантического лосося (*Salmo salar*) с включением в рационы кормов высушенной и/или обезжиренной биомассы личинок мухи «Черная львинка» (*Hermetia illucens*). Приведены краткие данные о физиологии и жизненном цикле названного насекомого, а также содержании белков и жирных кислот. Кратко приведены сведения о влиянии муки из личинок насекомых на увеличение массы молоди и взрослых особей атлантического лосося, усвояемость сухого вещества корма, органолептические показатели филе рыб, аминокислотный и жирнокислотный состав и другие показатели при замене рыбной муки и соевого шрота полностью или частично мукой из личинок *Hermetia illucens*. Также обобщены литературные сведения о возможности использования в рационе кормов для выращивания лососей биомассы криля, приведены кратко сведения об его объемах образования и составе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Spielmaker D. A journey to 2050. // Washington. 2019. Vol. 42(9). P. 84-88.
2. An overview on significance of fish nutrition in aquaculture industry / E. Prabu et al. // International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2017. Vol. 5(6) P. 349-355.
3. Pauly D., Zeller D. Comments on FAOs state of world fisheries and aquaculture / Marine Policy. 2017. Vol. 77. P. 176-181.
4. Tacon A. State of information on salmon aquaculture and the environment. 2005. <http://www.worldwildlife.org/ci/dialogues/salmon.cfm> (accessed 10/2005).

5. Bergheim A., Fivelstad S. Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in aquaculture: metabolic rate and water flow requirements // In book: *Salmon: Biology, Ecological Impacts and Economical Importance*, Edition: 1 st, Chapter: Ch. 8, Publisher: Nova Science Publishers, Inc., Editors: P.T. K. Woo, D. J. Noakes. 2015. P. 155-173.
6. Aas T.S., Ytrestøyl T., Asgard T. Utilization of feed resources in the production of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Norway: An update for 2016 // *Aquaculture Reports*. 2019. Vol. 15. 100216. 10 p.
7. Expanding the utilization of sustainable plant products in aqua feeds: a review / D.M. Gatlin III et al. // *Aquaculture Research*. 2007. Vol. 38. P. 551-579.
8. Insect meals in fish nutrition / S. Nogales-Merida et al. // *Reviews in Aquaculture*. 2019. Vol. 11. P. 1080-1103.
9. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future / M. Henry et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2015. Vol. 203. P. 1-22.
10. Fishmeal Alternative Protein Sources for Aquaculture Feeds / L. Gasco et al. // In: *Feeds for the Aquaculture Sector*. Springer Briefs in Molecular Science. Springer, Cham. 2018. P. 1-28.
11. Review on the use of insects in the diet of farmed fish: Past and future / M. Henry et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2015. Vol. 203. P. 1-22.
12. Feeds for the aquaculture sector. Current situation and alternative sources. By L. Gasco et al. editors. Springer Nature, Switzerland AG. 2018. 111 p.
13. Insects in fish diets / G. Tran et al. // *Animal Frontiers*. 2015. Vol. 5(2). P. 37-44.
14. Edible insects in the food sector. G. Sogari, C. Mora, D. Menozzi editors. Springer Nature, Switzerland AG. 2019. 128 p.
15. Using of black soldier fly (*Hermetia Illucens*) larvae meal in fish nutrition / S. Čengić-Džomba et al. // 30th Scientific-Experts Conference of Agriculture and Food Industry «AgriConf 2019». 2019. P. 132-140.
16. Conversion of organic wastes into fly larval biomass: bottlenecks and challenges / B. Pastor et al. // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015. Vol. 1(3). P. 179-193.
17. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production / Q. Li. Et al. // *Waste Management*. 2011, vol. 31(6), P. 1316-1320.
18. Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera : Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure / U. Julita et al. // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2018. Vol. 187. 012071. 8 p.
19. Oonincx D.G.A.B., van Huis A., van Loon J.J.A. Nutrient modelling by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2015. Vol.1(2). P. 131-139.
20. Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria / X.P. Xiao et al. // *Journal of Environmental Management* 2018. Vol. 217. P. 668-676.
21. Paz A.S.P., Carrejo N.S., Rodriguez C.H.G. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) // *Waste Biomass Valorisation*. 2015. Vol. 6. P. 1059-1065.
22. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production / L. Zheng et al. // *Renewable Energy*. 2012. Vol. 41. P. 75-79.
23. Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae / C. Jucker et al. // *Environmental Entomology*, 2017. Vol. 46(6). P. 1415-1423.
24. Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae / A. Isibika et al. // *Waste Management* 2019. Vol. 100. P. 151-160.
25. Wang Y., Shelomi M. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food // *Foods*. 2017. Vol. 6. 91. 23 p.
26. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – possibilities and limitations for modification through diet / N. Ewald et al. // *Waste Management* 102 (2020) 40–47.
27. State-of-the-art on use of insects as animal feed / H.P.S. Makkar et al. // *Animal Feed Science and Technology*. 2014. Vol. 197. P. 1-33.
28. Liu C., Wang C., Yao H. Comprehensive resource utilization of waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)(Diptera: Stratiomyidae) // *Animals*. 2019. Vol. 9. 349. 19 p.

29. Performances of local poultry breed fed black soldier fly larvae reared on horse manure / N. Moula et al. // *Animal Nutrition*. 2018. Vol. 4. P. 73-78.
30. Shelomi M. Nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) // In *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components*. 2020. P. 195-212
31. Black soldier fly larvae meal as a protein source in low fish meal diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) / H.J. Fisher et al. // *Aquaculture*. 2020. Vol. 521. 734978. 9 p.
32. Nøkland D. Black soldier fly larvae (acid conserved or dry meal) in extruded salmon diets – effects on feed processing, pellet quality, growth, and nutrient digestibility // Thesis for the degree of Master of Science, Norway. Oslo, Norway university of life sciences 2019. 64 p.
33. Ómarsson K.L. Effects of enhancing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) meal for Atlantic salmon (*Salmo salar*) – Probiotic application and chitin removal: A feasibility study // *Magistritöö lühikokkuvõte*, Estonia, Tartu, Eesti Maaulikol. 2018. 39 p.
34. Potential of insect-based diets for atlantic salmon (*Salmo salar*) / I. Belghit et al. // *Aquaculture*. 2018. Vol. 491. P. 72-81.
35. Insect based diets high in lauric acid reduce liver lipids in freshwater Atlantic salmon / I. Belghit et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2019. Vol. 25. P. 343-357.
36. Lock E.R., Arsiwalla T., Waagbo R. Insect larvae meal as an alternative source of nutrients in the diet of atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolt // *Aquaculture Nutrition*. 2016. Vol. 22. P. 1202-1213.
37. Total replacement of dietary fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae does not impair physical, chemical or volatile composition of farmed atlantic salmon (*Salmo salar* L.) / L. Bruni et al. // *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2020. Vol. 100. P. 1038-1047.
38. Replacing fish meal with insect meal in the diet of Atlantic salmon (*Salmo salar*) does not impact the amount of contaminants in the feed and it lowers accumulation of arsenic in the fillet / I. Biancarosa et al. // *Food Additives & Contaminants: Part A*. 2019. Vol. 36(8). P. 1191-1205.
39. Total replacement of fish meal with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal does not compromise the gut health of Atlantic salmon (*Salmo salar*) / Y. Li et al. // *Aquaculture*. 2020. Vol. 520. 734967. 9 p.
40. Black soldier fly larvae meal can replace fish meal in diets of sea-water phase Atlantic salmon (*Salmo salar*) / I. Belghit et al. // *Aquaculture*. 2019. Vol. 503. P. 609-619.
41. Effect of dietary replacement of fish meal with insect meal on in vitro bacterial and viral induced gene response in Atlantic salmon (*Salmo salar*) head kidney leukocytes / O.K. Stenberg et al. // *Fish and Shellfish Immunology*. 2019. Vol. 91. P. 223-232.
42. Stenberg O.K. In vitro bacterial and viral response in head kidney leukocytes of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed dietary insects meal. Thesis for the degree Master of Science in Aquamedicine, Norway. University of Bergen, 2018. 62 p.
43. Gut health and vaccination response in pre-smolt Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal / Y. Li et al. // *Fish and Shellfish Immunology*. 2019. Vol. 86. P. 1106-1113.
44. Govaerts F. Introducing insect-based salmon feed from a nutritional, economic, legal and marketing perspective. Master's thesis in international fisheries management, Tromsø, Arctic University of Norway. 2018. 72 p.
45. Multi-scale integrated evaluation of the sustainability of large-scale use of alternative feeds in salmon aquaculture / J.J. Cadillo-Benalcazar et al. // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 248. 119210. 15 p.
46. 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. Vol. 27. P. 120-128.
47. Element concentrations in meals from krill and amphipods, — Possible alternative protein sources in complete diets for farmed fish / M. Moren et al. // *Aquaculture*. 2006. vol. 261(10). P. 174-181.
48. Growth, feed conversion and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) fed diets supplemented with krill or amphipods / J. Suontama et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2007. Vol. 13(4). P. 241-255.
49. Pedersen A.M., Vang B., Olsen R.L. Oil from *Calanus finmarchicus* – composition and possible use: A review // *Journal of Aquatic Food product Technology*. 2014. Vol. 23(6). P. 633-646.
50. A re-appraisal of the total biomass and annual production of Antarctic krill / A. Atkinson et al. // *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2009. Vol. 56(5). P. 727-740.

51. Effect of pressing processing on the nutritional components of Antarctic krill powder / Z. Liu et al. // *Marine Fisheries*. 2016. Vol. 38(3). P. 311-319 (in Chinese).
52. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* / R.E. Olsen et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2006. Vol. 12(4). P. 280-290.
53. High inclusion of partially deshelled and whole krill meals in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) / J.Ø. Hansen et al. // *Aquaculture*. 2010. Vol. 310(1-2). P. 164-172.
54. Rungruangsak-Torrissen K. Digestive efficiency, growth and qualities of muscle and oocyte in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fed on diets with krill meal as an alternative protein source // *Journal of Food Biochemistry*. 2007. Vol. 31. P. 509-540.
55. The effect of low inclusion levels of Antarctic krill (*Euphausia superba*) meal on growth performance, apparent digestibility and slaughter quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) / B. Hatlen et al. // *Aquaculture*. 2017. vol. 23(4). P. 721-729.
56. Dietary inclusion of Antarctic krill meal during the finishing feed period improves health and fillet quality of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) / T. Mørkøre et al. // *British Journal of Nutrition*. 2020. P. 1-40.
57. Julshamn K., Bjorvatn K., Krogedal P. Fluoride retention of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed krill meal // *Aquaculture Nutrition*. 2004. Vol. 10(1). P. 9-13.
58. The effect of dietary krill supplementation on epithelium-associated bacteria in the hindgut of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): a microbial and electron microscopical study / E. Ringø et al. // *Aquaculture Research*. 2006. Vol. 37(16). P. 1644-1653.
59. Suontama J. Macrozooplankton as feed source for farmed fish – growth, product quality and safety. Dissertation for the degree of philosophiae doctor. Norway, University of Bergen. 2006. 110 p.
60. Protein from Northern krill (*Thysanoessa inermis*), Antarctic krill (*Euphausia superba*) and the Arctic amphipod (*Themisto libellula*) can partially replace fish meal in diets to Atlantic salmon (*Salmo salar*) without affecting product quality / J. Suontama et al. // *Aquaculture Nutrition*. 2007. Vol. 13(1). P. 50-58.
61. Can mesopelagic mixed layers be used as feed sources for salmon aquaculture? / R.E. Olsen et al. // *Deep-Sea Research. Part II Topical Studies in Oceanography* 2020. Article 104722. 11 p. DOI 10.1016/j.dsr2.2019.104722.
62. Fluorine accumulation in Atlantic salmon (*Salmo salar*), Atlantic cod (*Gadus morhua*), rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets with krill or amphipod meals and fish meal based diets with sodium fluoride (NaF) inclusion / M. Moren et al. // *Aquaculture*. 2007. Vol. 269(1-4). P. 525-531.
63. Bøgevik A.S. Marine wax ester digestion in salmonid fish: a review // *Aquaculture Research*. 2011. Vol. 42(11). P. 1577-1593.
64. Replacement of LT fish meal with a mixture of partially deshelled krill meal and pea protein concentrates in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) / J.Ø. Hansen et al. // *Aquaculture*. 2011. Vol. 315. P. 275-282.
65. Pan J. Effects of non-fish based raw materials on the fish muscle quality of Salmonids. Doctoral Thesis. Uppsala, Swedish University of Agricultural Sciences. 2013. 67 p.
66. Gillund F., Myhr A.I. Perspectives on Salmon feed: A deliberative assessment of several alternative feed resources / *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*. 2010. Vol. 23. P. 527-550.

ANALYTICAL REVIEW OF APPROACHES TO THE USE OF ALTERNATIVE FEEDS IN AQUACULTURE WHEN IMPROVING ENVIRONMENTAL SCHEMES

Shaikhiev I.G. ¹, Svergusova S.V. ², Sapronova Zh.A. ²

¹Kazan National Research Technological University,
420015, Kazan, 68 Karl Marx street, e-mail: ildars@inbox.ru

²Belgorod State Technological University named after V. G. Shoukhov,
308012, Belgorod, 46 Kostyukova street, e-mail: pe@intbel.ru

Annotation. Information from foreign literary sources on the possibility of growing Atlantic salmon (*Salmo salar*) with the inclusion of dried and / or defatted biomass of the larvae of the Black Lion fly (*Hermetia illucens*) in the diet is summarized. Brief data on the physiology and life cycle of the named insect, as well as the content of proteins and fatty acids are given. It has been shown that flour from dried biomass of insect larvae contains a large amount of amino acids and fatty acids. Information on the effect of meal from insect larvae on an increase in the mass of juveniles and adults of Atlantic salmon fish, digestibility of dry matter of feed, organoleptic characteristics of fish fillets, amino acid and fatty acid composition and other indicators when replacing fish meal and soybean meal with meal from larvae is briefly presented *Hermetia illucens*. It was concluded that the inclusion of flour from insect biomass in certain proportions has a positive effect on the growth and vital activity of fish of the *Salmo salar* species, however, there are limits for inclusion in the diet. The literature also summarizes the literature on the possibility of using krill biomass in the diet for growing salmon, briefly provides information on its volume of formation and composition.

Key words: aquaculture, Atlantic salmon, diet, meal from *Hermetia illucens* larvae, krill.