

## ПУТИ ПОЛУЧЕНИЯ КОРМОВОГО БЕЛКА МЕТОДАМИ БИОТЕХНОЛОГИИ

© Троицкая Е.В.,  
Артамонов И.В.



**Екатерина Владимировна Троицкая**

Вологодский научный центр Российской академии наук

г. Вологда, Российская Федерация

e-mail: [ekatina.vt@gmail.com](mailto:ekatina.vt@gmail.com)

ORCID: [0000-0001-9286-8402](https://orcid.org/0000-0001-9286-8402)



**Иван Владимирович Артамонов**

Вологодский научный центр Российской академии наук

г. Вологда, Российская Федерация

e-mail: [iv.artamonov@outlook.com](mailto:iv.artamonov@outlook.com)

ORCID: [0000-0002-6387-4886](https://orcid.org/0000-0002-6387-4886); ResearcherID: [G-4714-2017](https://orcid.org/G-4714-2017)

*Цель работы – оценить различные способы промышленного производства кормового белка и обогащения им кормов сельскохозяйственных животных с точки зрения доступности сырья и экономической целесообразности, а также возможности масштабирования производства. Создание полноценных кормов – задача, которую можно решать на разных уровнях и различными способами, в том числе с применением современных биотехнологий, культур одноклеточных организмов и с использованием видов сырья, которые ранее считались либо бесперспективными, либо не рассматривались вовсе. В сочетании с относительно менее жесткими требованиями к конечному продукту такие способы могут обеспечить существенный рост производства кормового белка в качестве одной из основных добавок, а также помочь перейти к производству отдельных наиболее важных аминокислот. К таким способам относятся как классические (обработка бедных белком кормов культурами микроорганизмов, например, различные закваски, что позволяет обрабатывать субстраты, богатые целлюлозой), так и более высокотехнологичные, когда в качестве сырья применяются принципиально непригодные в качестве пищи субстраты (природный газ, нефть и отходы нефтепереработки). Кроме того, широкое внедрение в практику производства кормового белка новых методов синтеза открывает возможности для переработки промышленных и пищевых отходов, создания комплексных производств, значительного снижения стоимости конечного продукта – белка – и расходов хозяйств и стоимости их продукции для потребителя.*

*Кормовой белок, кормление, питательность, пищевая ценность, корма.*

Белок – необходимый компонент кормов сельскохозяйственных животных и птицы, от содержания и доступности которого напрямую зависит их продуктивность. Тем не менее потребность животноводства в белке удовлетворяется существующей кормовой базой лишь на 70–75% [1]. Такой существенный недостаток приводит к увеличению расхода кормов в среднем в полтора раза по отношению к полноценным кормам, удовлетворяющим потребность в белке на 100%. При этом известно, что от качества кормов на 60–70% зависит продуктивность животных, а сами корма составляют 50–60% себестоимости конечного продукта животноводства [2]. Таким образом, корма, удовлетворяющие потребность в белке на 100%, могут существенно снизить себестоимость продукции сельскохозяйственного животноводства.

Кормовой белок – белок, используемый в качестве добавки к кормам, в которых собственный белок отсутствует или его содержание недостаточно (либо такой белок не является полноценным, не содержит всех незаменимых аминокислот). Тем временем потребности сельскохозяйственных животных в белке весьма высоки (например, содержание сырого протеина в комбикорме свиней должно составлять 24% в возрасте до 40 дней, 12,5% – в возрасте 151–180 дней [3]).

Кормовой белок может иметь различное происхождение: животное (рыбная мука, сывороточный белок), растительное, микробиологическое (дрожжевой, бактериальный). От происхождения зависят его полноценность и характер усваивания. Растительные белки усваиваются на 30–40%, животные – на 80–90%. Белки, получаемые микробиологическими методами (в частности дрожжевые), по своим характеристикам ближе к животным белкам. С другой стороны, некоторые растительные белки (например, белки соевого и подсолнечного

шротов) близки к животным и дрожжевым, оставаясь, тем не менее, неполноценными.

Разнообразие источников и методов производства кормового белка весьма велико. Различные авторы предлагают в качестве субстратов для производства кормового белка использовать непосредственно сами корма, подвергая их действию культур микроорганизмов (разнообразные закваски). В качестве сырья также применяются отходы пищевой промышленности (жмыхи, шроты, рыбная мука, сточные воды), природный газ, отходы лесопереработки. Самим источником белка могут быть как специально подготовленные корма, так и биомасса дрожжей, личинок насекомых, отходы переработки молока и т. д.

На практике именно этот факт и относительно невысокие требования к чистоте и качеству конечного продукта по отношению к подобным, используемым непосредственно человеком (например, изоляты белка в продуктах спортивного питания), создают проблему оценки эффективности и экономической целесообразности производства такого белка различными способами.

Кроме того, в конечном счете вопрос о полноценности обеспечения сельскохозяйственных животных белком можно свести к обеспечению их отдельными аминокислотами (наиболее востребованными являются четыре из них: лизин, метионин, треонин, триптофан).

Обеспечение животноводства кормовым белком собственного производства – вопрос, активно изучающийся практически во всех странах. Это происходит, во-первых, по причине ожидаемого на глобальном рынке в ближайшем будущем дефицита как обогащенных кормов, так и собственно кормового белка. Во-вторых, производство продуктов питания – стратегически важная отрасль любого государства, и желание снизить зависимость от импорта кормов и добавок, локализо-

вав их производство, является естественным [4].

На этом фоне предпринимаются попытки найти местные источники сырья для производства кормового белка, учитывая экономические возможности, климат и специфику сельского хозяйства страны. Например, исследования, проводимые в Дании, направлены на оценку возможности использовать местные травяно-клеверные смеси как способ снижения объема импорта соевых кормов (соевых бобов и шрота) и накладных расходов. Попутно рассматривается возможность получения из этого же сырья биогаза [5].

Так как проблема, связанная с кормовым белком, достаточно обширна и не ограничивается только поиском сырья и субстратов, считаем целесообразным в рамках статьи подойти к вопросу с точки зрения возможности реализации тех или иных способов его производства в России. В условиях, когда Россия все еще остается нетто-импортером и кормовых добавок, а потребность в них продолжает расти, производство собственных полноценных кормов и добавок к основным видам кормов является одной из важных задач. Несмотря на тот факт, что собственное производство в 2018 году превышало импорт в 626 раз, сальдо торгового баланса оставалось отрицательным и составляло -28,8 тыс. т<sup>1</sup>. При этом потребность в комбинированных кормах в 2019 году увеличилась более чем на 4,6% (1,7 млн т<sup>2</sup>).

В то же время рынок кормового белка в России в период с 2014 по 2018 год вырос на 74,1% (с 33,77 до 59,79 тыс. т). В последние годы темпы роста рынка кормового белка варьируются от 34,2 до 61,1%. По разным оценкам продажи кормового белка в России к 2023 году достигнут 108 тыс. т

в год, чему будут способствовать несколько факторов: во-первых, рост объемов производства собственной мясной и молочной промышленности, во-вторых, запрет на ввоз мяса из ЕС, США и других стран, в-третьих, ряд мер государственной поддержки отрасли, которые уже показывают свою эффективность<sup>3</sup>.

Рассматривая различные способы производства кормового белка, необходимо оценить рынок сырья для него. Прежде всего, наиболее удобным, безопасным и технологически простым выступает простая переработка на корм отходов пищевых производств. Таковыми являются различные жмыхи, шроты, получаемые при переработке масличных культур. Содержание белка в них может достигать 41% в пересчете на сухое вещество. Различные виды шрота применяются для откорма разных сельскохозяйственных животных.

Льняной, соевый и особенно подсолнечный шрот включают в комбикорма для сельскохозяйственных животных и птиц всех видов; конопляный – для молочных коров, откормочного крупного рогатого скота, взрослых овец и прудовых рыб; кориандровый и клещевинный – в ограниченном количестве (из-за содержания рицина) главным образом для откорма крупного рогатого скота; хлопчатниковый – в небольших количествах (из-за содержания госсипола) для молочных коров, откормочных крупного рогатого скота и свиней.

Сравнительные характеристики различных источников белка приведены в *табл. 1*.

Объемы таких отходов меняются пропорционально объемам соответствующих производств. Производство жмыхов и прочих твердых остатков, получаемых при экстракции растительных жиров и масел,

<sup>1</sup> Рынок комбикормов в России – 2019. Показатели и прогнозы. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/35757>

<sup>2</sup> URL: <https://www.dairynews.ru/news/k-2025-godu-proizvodstvo-kombikormov-v-rossii-dost.html>

<sup>3</sup> Анализ рынка кормового белка в России в 2014–2018 гг., прогноз на 2019–2023 гг. URL: <https://marketing.rbc.ru/research/27428>

**Таблица 1. Состав и питательная ценность белковых кормов**

Показатель	Подсолнечный шрот	Соевый шрот	Кормовой дрожжевой белок	Рыбная мука
Сырой протеин, %	38	45	45	60
Клетчатка, %	15	7	1,5	1
Сырой жир, %	1,5	7	1,5	1
Лизин, %	1,2	2,7	1,5	7,4
Метионин, %	0,68	0,61	0,54	1,7
Мет. + цистин, %	1,2	1,26	1,14	2,43
Триптофан, %	0,45	0,59	0,62	0,60
Фосфор, %	0,9	0,63	1,32	3,5
В1, мг/кг	3,2	3,1	16	1
В2, мг/кг	3,1	3,8	40	11
В3, мг/кг	13	16	60	17
В4, мг/кг	2300	2500	2800	3500
В5, мг/кг	240	40	250	90
В6, мг/кг	11	5	30	4
Обменная энергия, ккал/кг	2670	2500	2800	2840
Перевариваемость белка, %	86	90	89	89
Источник: [6].				

в январе – октябре 2019 года в России выросло на 5% по отношению к тому же периоду 2018 года, составив 7,3 млн т<sup>4</sup>.

Кроме жмыхов и шротов в чистом виде в качестве богатого белком корма применяются отходы пивоваренного производства. Пивная дробина (BSG) в сухом виде содержит до 17% перевариваемого белка и не уступает по этому показателю некоторым жмыхам и шротам. Добавление BSG в корма молочных пород коров позволяет увеличить фактическую продуктивность [7]. Будучи дополненной источниками азота (например, карбамидом), BSG становится поставщиком всех необходимых животному аминокислот (пивная дробина, однако, плохо усваивается птицей и требует добавления в состав такого корма ферментов, расщепляющих полисахариды

клеточной стенки – ксиланазы, β-глюконазы и др.) [8].

Также, ввиду высокого содержания сахаров, пивная дробина является хорошим субстратом для выращивания дрожжей, что еще более обогащает этот вид корма белком высокого качества.

Несмотря на очевидную ценность BSG, основная масса производимой в России пивной дробины в качестве корма не используется. Отчасти это обусловлено тем, что производство сейчас превышает потребности, отчасти тем, что BSG часто используется в производстве биогаза, который обеспечивает нужды собственно пивного завода.

Менее ценным, но доступным сырьем можно считать, например, отруби, солому, мякину, жом и другие отходы, вклю-

<sup>4</sup> По данным экспертно-аналитического центра агробизнеса. URL: <https://ab-centre.ru/news/o-proizvodstve-zhmyhov-i-shrotov-v-rossii-v-2012-2019-gg>

чая спиртовую барду, содержание белка в которых низкое, однако остается возможность обработки таких кормов различными способами с целью повышения содержания в них как белка, так и витаминов<sup>5</sup>.

Наиболее доступным сырьем в России также выступают отходы лесозаготовки и деревообработки. Их объем в настоящее время оценивается в 200 млн куб. м в год (700 млн т). Сюда включены как отходы, образующиеся непосредственно при заготовке леса, так и отходы непосредственно обработки заготовленного леса. При этом с ростом объемов лесозаготовки и лесопереработки в ближайшие годы, естественно, будет расти и объем производимых отходов. Запасы же собственно древесины, пригодной к переработке, – около 80 млрд куб. м, около трети из них потенциально составляют отходы заготовки и производства [9].

В качестве основного метода переработки, как правило, предлагается использование гидролизных дрожжей. Гидролиз древесных отходов происходит при высокой температуре в сильно кислой среде, что позволяет конвертировать полисахариды в углеводы, которые и являются питательной средой для дрожжей.

Как основа для культивации могут применяться опилки, стружка, щепа, хвоя и листья. Иными словами – практически все отходы, получаемые в процессе заготовки и переработки леса.

Гидролизное производство кормового белка может быть скомплексировано с другими производствами, использующими то же сырье. В такой комплекс могут быть включены производство биогумуса, этилового спирта [10]. С учетом доступности (как географической, так и экономической) отходов лесопереработки и лесозаготовки производства могут иметь высокую мощность и обеспечить потреб-

ности локальных сельхозпредприятий без привлечения других видов сырья. Так как в качестве субстрата возможно применять не только древесные материалы, но и другие грубые растительные отходы, переработка может быть комплексной.

Доступным для спирто-дрожжевого производства сырьем являются отходы деревообработки – опилки и щепа (другие отходы требуют предварительного измельчения). Проблемой в этом случае становится низкий выход белкового продукта (около 32 кг на 1 т сырья) и высокий – нецелевых продуктов (лигнин – до 380 кг на 1 т сырья). По этой причине отходы деревообработки применяются в сельском хозяйстве, как правило, в необработанном виде (витаминная мука, подстилка и др.) [11].

Еще одной сложностью является ингибирование дрожжей продуктами гидролиза, среди которых фурфурол, гидроксиметилфурфурол, органические кислоты и фенолы, получаемые в значительных количествах, при использовании разбавленных кислот при температурах до 200 °С [12].

Гидролизные дрожжи культивируются на гидролизатах отходов: древесных (опилки, стружка, щепа) и сельскохозяйственных (солома, мякина, лузга подсолнечника, кочерыжка кукурузы). Также могут применяться отходы целлюлозно-бумажного производства. Гидролиз осуществляется при высокой температуре и в присутствии кислот, при этом клетчатка отходов переходит в углеводы, которые используются как питательная среда. Выход кормового белка на 1 т сухого сырья – 240–450 кг.

Классические кормовые дрожжи на отходах спиртового производства (барде) позволяют получить 260–400 кг кормового белка на 1 т исходного сырья. Другие виды сырья могут быть как более, так и менее

<sup>5</sup> Например, обработка малоценных кормов специальными заквасками, повышающими содержание белка практически вдвое.

выгодными для производства кормового белка. При этом важно принимать во внимание комплексность переработки, которая позволяет получать сопутствующие продукты. В качестве примера приведем соотношение продуктов, получаемых при использовании в качестве сырья сахарной свеклы (табл. 2).

БВК (белково-витаминный концентрат) – продукт культивирования дрожжевых клеток на отходах переработки различного нерастительного сырья – нефтяных парафинах (паприн), низших органических спиртах – метаноле (меприн), этаноле (эприн), а также природном газе (гаприн). Это наиболее продуктивные группы дрожжей, дающие на 1 т сырья от 600 до 800 кг кормового белка. В качестве культур при производстве гаприна могут быть использованы бактерии рода *Methylomonas*, *Methylococcus*, *Methylocystis*, *Methulosinus*, *Methylobacter*.

В период с 1964 по 1968 год в СССР, США, Британии и других странах предпринимались исследования, касающиеся возможности производства кормового белка. В частности, в СССР совместно с ГДР было запущено опытно-промышленное производство мощностью 10 тыс. т в год. Одновременно в ГДР была запущена промышленная установка по бактериальной депарафинизации дизельного топлива.

В середине 1990-х гг. в Дании с привлечением опыта бывшего ГДР началось производство кормового белка с помощью метанассимилирующих бактерий. В настоящее время датская фирма

«Unibio» производит белок по технологии гаприна.

Основным штаммом метанооксиляющих бактерий, задействованных в производстве, является *Methylococcus capsulatus*. Аналогичный штамм (вариант ГБС-15) применяется российской компанией «Гипробьосинтез», выпускающей, в том числе, пищевые добавки.

Состав газовых смесей, пригодных для выращивания различных штаммов метанооксиляющих бактерий, приведен в табл. 3.

В настоящее время имеется комплекс факторов, который делает синтез белка на основе природного газа наиболее перспективным: хорошо разработанная и промышленно реализованная технология производства, высокое качество конечного продукта, значительные запасы природного газа и его низкая стоимость. Кроме того, как следует из табл. 2, разнообразие штаммов и газовых смесей позволяет подобрать такие сочетания, которые будут лучше всего соответствовать особенностям производства.

Также стоит отдельно упомянуть о том, что показана возможность окисления метана бесклеточными экстрактами, например, *Methylococcus capsulatus*, что открывает возможности для синтеза кормового белка, не загрязненного побочными продуктами и не содержащего не усваиваемые клеточные компоненты бактерий [13].

Еще одним перспективным источником сырья для микробиологического синтеза кормового белка может быть биогаз свалок и полигонов ТБО, общая площадь ко-

**Таблица 2. Массовые доли и соотношения стоимости продуктов, получаемых при переработке 1 т сахарной свеклы**

Продукт	Этанол	Пектин	Кормовые дрожжи	Биогумус	Лимонная кислота
Масса продукта, кг	60	10	74	110	4,93
Массовая доля продукта, %	6,5	1,1	80,0	11,9	0,5
Доля в стоимости, %	23,3	60,3	6,4	6,3	3,7

Источник: Мухачев С.Р., Владимирова И.С., Валеева Р.Т. Организация производства топливного спирта в Республике Татарстан // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2006. № 5. С. 21–26.

**Таблица 3. Составы газовых смесей для выращивания метаноокисляющих микроорганизмов**

Вид микроорганизма	Состав газа, % об.				
	CH <sub>4</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	воздух
Ps. methanica	25–45	45	2–10	–	–
	10–90	20	0,3	–	–
Methanomonas sp.	40	10	5–10	40–45	–
Methanomonas methanica	33,3	–	–	–	66,7
Methanomonas methanooxidans	65	30	5	–	–
Bacillus sp.	40	40	5	15	–
Смешанная культура	25	–	–	–	75

Источник: Любинская Т.В., Орлова В.С., Любинский В.С. Получение кормового белка из биогаза полигона ТБО // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 100–104.

торых в России еще в 2013 году составляла около 15 тыс. га. В составе биогаза более 50% метана, теплотворность – 20–25 МДж/м<sup>3</sup>. Выход биогаза с 1 га полигона ТБО – около 1 млн м<sup>3</sup> в год. Экспериментально полученная таким способом бактериальная биомасса не содержит неусваиваемых или токсичных соединений [14]. В настоящее время опробованы различные схемы использования биогаза для синтеза белка. Они доказали свою эффективность и перспективность для широкого применения, хотя имеют некоторые недостатки, как, например, высокое содержание углекислого газа (около 40% от объема), и требуют дополнительной подготовки, включая введение в культивационную среду источников азота [15].

Тем не менее другие группы имеют собственные преимущества. Приблизительный химический состав кормовых дрожжей разных групп приведен в *табл. 4*.

Несмотря на достаточно высокую эффективность методов производства белка с использованием дрожжей и штаммов бактерий, проблема стабильного снабжения животноводческих хозяйств кормовым белком остается. В этих условиях продолжается поиск альтернатив.

Одной из таковых является производство кормового белка из личинок насеко-

мых. Среди преимуществ метода высокий выход биомассы (до 9 граммов на 1 особь имаго), дешевый и доступный субстрат (птичий помет и его попутная утилизация), удовлетворительный аминокислотный состав получаемого белка и возможность его обогащения при внесении дополнительных добавок в субстрат (*табл. 5*).

Таким образом, личиночный белок содержит все наиболее необходимые для развития животных аминокислоты, за исключением триптофана.

Перспективным сырьем для производства кормового (а также пищевого) белка представляется молочная сыворотка – побочный продукт производства творога, сыра, казеина и некоторых других молочных продуктов. Более половины (65%) белков молочной сыворотки представлено β-лактальбумином. Треть приходится на α-лактальбумин (25%) и альбумин сыворотки крови (8%). Белки молочной сыворотки имеют большую биологическую доступность, чем некоторые другие виды белков (например, белки яйца кур).

Это одна из причин, по которой интерес к молочной сыворотке как источнику белка и в качестве корма растет. Но объемы промышленного использования этого продукта относительно невелики. Так, в мире в переработку попадает не более 40%

**Таблица 4. Химический состав кормовых дрожжей разных групп**

Показатель	Кормовой дрожжевой белок		
	на спиртовой барде	на древесных опилках	на парафинах нефти, спиртах и газе
Сырой протеин, %	38–51	40–56	42–60,5
Белок по Барнштейну, % от сырого протеина	30–42, 80–90	22–38, 65–89	27–37, 75–85
Концентрация, % пуриновых/пиримидиновых оснований	2–6 / 0–3	8–13 / 2–4	8–10 / 0–5
Вероятность накопления избытка РНК	незначительная	значительная	значительная
Вероятность накопления живых клеток продуцента	незначительная	значительная	значительная
Обменная энергия, Ккал / 100 г	220	216	239
Сырая клетчатка, %	1,2–2,9	1,3–2,7	1,5–1,9
Сырая зола, %	3,9–7,1	4,4–7,7	5,9–7,8
Сырой жир, %	2,2–3,1	2,7–3,3	7,2–7,6
Моно- и дисахариды, г/кг	3,9–8,8	3,2–5,1	8–8,5
Органические кислоты, г/кг	23	18	21
Ненасыщенные жирные кислоты, мг/кг	540	590	500
Холестерин, мг/кг	–	–	260
Пищевые волокна, г/кг	1,8	2,9	2,1

Источник: [16].

**Таблица 5. Содержание аминокислот в биомассе личинок *Musca domestica*, мг/л**

Аминокислота	Содержание	
	контроль	селеновая добавка в субстрат (max)
Аргинин	8,048	9,874
Лизин	8,672	> 20,000
Тирозин	6,771	13,750
Фенилаланин	5,381	14,010
Гистидин	3,806	6,004
Лейцин + изолейцин	11,590	19,300
Валин	6,303	9,290
Пролин	7,619	9,722
Треонин	5,785	8,323
Серин	5,441	8,773
Аланин	8,772	11,220
Глицин	6,450	8,976
Метионин	–	3,358

Источник: [17].

производимой сыворотки (в России – не более 30%). Лидером в этом случае является Евросоюз, где перерабатывается около 42–43% производимой сыворотки. Лидерство в области производства бел-

ковых концентратов удерживают США (11,5 млн т) и ЕС (10,8 млн т). В Россию в значительных количествах импортируется сухая сыворотка, более 70% которой производится странами Евросоюза [18].

**Таблица 6. Стоимость различных видов сырья в пересчете на 1 т кормового белка**

Сырье	Стоимость 1 т*	Выход белка, кг на 1 т сырья	Стоимость в пересчете на 1 т белка, руб.
Метан (т)	19455	700	27793
Опилки (гидролиз)	6000	32	187500
Жмых подсолнечный (36% белка)	15000	36	416667
Сыворотка молочная сухая	56000	11	5090909
Пивная дробина сухая	11000	25	440000
Спиртовая барда сухая	15000	33	454545
Спиртовая барда (дрожжи)	15000	65	230769
Солома	2000	5	400000
Солома, обработанная заквасками	2000	10	200000

\* Стоимость сырья приведена по данным ресурсов agroservers.ru, flagma.ru и др. (взяты средние значения).

Учитывая универсальность продукции переработки молочной сыворотки, можно получать не только кормовой, но и пищевой белок с соответствующими ограничениями (высокая зольность сыворотки, низкое содержание сухого вещества<sup>6</sup>).

Одна из основных технических проблем, возникающих при переработке молочной сыворотки, – высокое содержание минеральных веществ и необходимость осушения, так как при содержании сухого вещества в пределах 5–7% от массы сыворотки ее транспортировка в исходном виде остается экономически не выгодной.

По этой причине в некоторых странах (Италия, Франция, Германия) существуют крупные предприятия по ее переработке, а слив в канализацию запрещен (Италия). Таким образом, производители молочных продуктов доставляют сыворотку на переработку самостоятельно. Также многие крупные предприятия вводят жесткие требования к качеству сыворотки и ее происхождению.

В целом применение баромембранной технологии очистки сыворотки позволяет снизить содержание минеральных веществ (зольность) в сыворотке на 50–75% [18] и получить качественный кормовой и пи-

щевой белок из отходов молочной промышленности. При том что в России перерабатывается менее трети объема получаемой сыворотки, интерес к этому продукту вполне оправдан.

#### *Стоимость производства белка*

Дадим оценку экономической целесообразности производства белка из различного сырья. В табл. 6 представлена первичная оценка стоимости различных видов сырья, необходимого для получения 1 т условного кормового белка.

Стоит отметить, что конечная стоимость в пересчете на 1 т кормового белка приведена без учета стоимости производства и оборудования. Также содержание белка в основных видах сырья может увеличиваться путем их обработки различными способами (в качестве примера в таблице указана солома, обработанная закваской, повышающей содержание протеина вдвое<sup>7</sup>).

Использование природного газа (основной компонент – метан) наиболее выгодно именно по причине высокого выхода кормового белка. Однако высокая стоимость организации производства и повышенные требования к безопасности делают производство белка таким способом экономически нецелесообразным при малых объемах и больше

<sup>6</sup> Показатель зольности (содержания солей) молочной сыворотки в два раза выше аналогичного показателя молока. Содержание сухих веществ в молочной сыворотке вдвое ниже, чем в молоке (около 6%).

<sup>7</sup> Использованы результаты исследований действия закваски Леснова, применяемой для обработки малощенных кормов с высоким содержанием клетчатки.

соответствуют крупнотоннажному производству. Напротив, применение в качестве сырья различных отходов позволяет создавать компактные производства там, где это необходимо для удовлетворения потребности хозяйств различного масштаба (как полностью, так и в качестве дополнительного источника белка). Также использование местных источников сырья (в частности отходов пищевых производств) разнообразит рацион сельскохозяйственных животных.

### Выводы

Разнообразие источников сырья для получения кормового белка и возможность масштабирования его производства позволяют выбирать наиболее выгодные способы производства в зависимости от требуемых объемов, а также организовывать локальные производства, использующие сырье местного происхождения без организации сложных логистических цепочек поставки сырья и сбыта продукции. При этом очевидно, что применение отходов различных производств является наиболее предпочтительным, так как при этом производитель кормового белка и БВК не вступает в конкуренцию с другими потребителями сырья, как, например, это может быть в случае с природным газом и отходами лесопереработки.

С другой стороны, проблему обеспечения животноводства белком можно рассматривать как задачу обеспечения сельскохозяйственных животных комплексом аминокислот. Он может быть как полным (включать все жизненно важные аминокислоты, не продуцируемые организмом животного или продуцируемые в недостаточном количестве), так и включать только наиболее важные: лизин, метионин, треонин, триптофан. С учетом того что синтез (или выработка) полного аминокислотного комплекса в настоящее время весьма трудоемок (и не окупаем), второй подход видится более предпочтительным.

В промышленно развитых странах он получил достаточно широкое распространение. Мировое производство в год лизина составляет 1 млн т, метионина – 0,5 млн т, треонина – 50 тыс. т, триптофана – 10 тыс. т (по данным на 2010 год) [19].

На 2018 год биотехнологическими методами в мире производится более 800 тыс. т аминокислот в год. Основную массу составляют глутамат натрия (300 тыс. т), метионин (140 тыс. т), лизин (100 тыс. т). При этом биотехнологические производства с экономической точки зрения являются наукоемкими и высокоэффективными, оказывающими существенное воздействие на смежные отрасли<sup>8</sup>.

В России предприятия занимаются выпуском лизина и метионина, однако внутренний рынок до сих пор не насыщен продуктом собственного производства<sup>9</sup>.

В итоге задача обеспечения животных полноценным рационом, включающим достаточное количество белка (или аминокислот), является комплексной, с несколькими возможными вариантами решения, которые будут зависеть от предпочтения хозяйства, доступности исходного сырья, качества получаемого продукта и, не в последнюю очередь, соотношения затрат и прибыли.

Принимая во внимание растущий в последние несколько лет интерес к разработке и внедрению в производство биотехнологий, можно также ожидать дальнейшего развития собственных производств как полноценного белка, так и отдельных аминокислот в промышленных масштабах и масштабах частных производств, обеспечивающих нужды отдельных хозяйств или регионов [20].

<sup>8</sup> Курапов П.Б., Бахтенко Е.Ю. Биотехнология: основы биотехнологии и медицинской нанобиотехнологии: учеб. для вузов. Вологда: Полиграф-Периодика, 2019. 650 с.

<sup>9</sup> Выпуском лизина занимается ЗАО «Завод премиксов № 1», Белгородская область, метионина – ПАО «Волжский оргсинтез», Волгоградская область.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение свойств штаммов дрожжей, в качестве микробиологических продуцентов кормового белка / Т.И. Логвинова [и др.] // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 12 (1). С. 57–61.
2. Титарева Т., Петрович Э., Петрович В. Обеспечение кормовым белком отечественного производства – важное условие повышения экономической эффективности животноводства // Организационно-правовые аспекты инновационного развития агробизнеса. 2018. № 15. С. 119–123.
3. Рядчиков В.Г. Нормы потребности свиней мясных пород и кроссов в энергии и переваримых аминокислотах // Политематический сетевой электронный журн. Кубан. гос. аграр. ун-та. 2007. № 34. С. 188–216.
4. Bay-Larsen I. [et al.]. Local protein sources in animal feed – Perceptions among arctic sheep farmers. *Journal of Rural Studies*, 2018, vol. 59, pp. 98–110.
5. Kamp A., Ambye-Jensen M., Østergård H. Modelling matter and energy flows of local, refined grass-clover protein feed as alternative to imported soy meal. *Ecological Modelling*, 2019, vol. 410, art. 108738.
6. Новые биологически активные кормовые добавки: биотехнологические и химические аспекты производства, оценки качества и эффективности применения в птицеводстве / Л.А. Неминущая [и др.] // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 29. № 2. С. 128–135.
7. Belibasakis N.G., Tsirgogianni D. Effects of wet brewers grains on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows in hot weather. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, vol. 57, no. 3, pp. 175–181.
8. Mussatto S.I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, vol. 94, no. 7, pp. 1264–1275.
9. Проблемы формирования и использования древесных отходов в лесном комплексе России / В.П. Корпачев [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2016. № 32. С. 52–55.
10. Мухачев С.Р., Владимирова И.С., Валеева Р.Т. Организация производства топливного спирта в Республике Татарстан // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2006. № 5. С. 21–26.
11. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса, как фактор устойчивого природопользования // Инж. вестн. Дона. 2015. № 36. С. 81–94.
12. Мурзин Д.Ю., Симакова И.Л. Катализ в переработке биомассы // Катализ в промышленности. 2011. № 3. С. 8–40.
13. Ribbons D.W., Michalover J.L. Methane oxidation by cell-free extracts of *Methylococcus capsulatus*. *FEBS Letters*, 1970, vol. 11, no. 1, pp. 41–44.
14. Любинская Т.В., Орлова В.С., Любинский В.С. Получение кормового белка из биогаза полигона ТБО // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 100–104.
15. Khoshnevisan B. [et al.]. Urban biowaste valorization by coupling anaerobic digestion and single cell protein production. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 290, art. 121743.
16. Смирнова Л.В. Балансирование рационов // Животноводство России. 2007. № 4. С. 51.
17. Биотехнология получения и перспектива использования альтернативного кормового белка / А.С. Ковтунова [и др.] // Актуальная биотехнология. 2015. № 3 (14). С. 102–103.
18. Евдокимов И.А., Храмцов А.Г., Нестеренко П.Г. Современное состояние переработки молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2008. № 11. С. 36–39.
19. Измаилович И.Б. Актуальные проблемы кормового белка // Вестн. АПК Верхневолжья. 2010. № 12. С. 31–33.
20. Рассохина И.И., Коткова Д.Н., Платонов А.В. Анализ мировой публикационной активности по направлению «биоэкономика» // Проблемы развития территории. 2019. № 3 (101). С. 152–165.

## Сведения об авторах

Екатерина Владимировна Троицкая – инженер-исследователь, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: ekatina.vt@gmail.com

Иван Владимирович Артамонов – младший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Вологодский научный центр Российской академии наук». Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: iv.artamonov@outlook.com

## WAYS OF OBTAINING FEED PROTEIN USING BIOTECHNOLOGY

Troitskaya E.V., Artamonov I.V.

*The purpose of the work is to evaluate various methods of industrial production of feed protein and fortification of farm livestock feed from the point of view of the availability of raw materials and economic feasibility, and the possibility of scaling production. The creation of complete feed is a task that can be solved at different levels and in different ways using modern biotechnologies, cultures of single-celled organisms and raw materials that were previously considered either unpromising or not considered at all. In combination with relatively less stringent end-product requirements, such methods can provide a significant increase in the production of feed protein as one of the main supplement feed, and help to move to the production of particular most important amino acids. Such methods include both classical (processing of protein-poor feed with cultures of microorganisms, for example, various ferments which allows processing substrates rich in cellulose), and more high-tech, when substrates that are fundamentally unsuitable as food (natural gas, oil and refinery waste) are used as raw materials. In addition, the development of new methods of synthesis into the practice of feed protein production opens up opportunities for processing industrial and food waste, creating complex production facilities, significantly reducing the cost of the final product – protein – and the costs of farms and the cost of their products for the consumer.*

*Feed protein, animal nutrition, nutritiousness, nutrition value, feed.*

## REFERENCES

1. Logvinova T.I. et al. Study of the properties of yeast strains as microbiological producers of feed protein. *Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk=Current Problems of Humanities and Natural Sciences*, 2016, no.12 (1), pp. 57–61 (in Russian).
2. Titarov T., Petrovich E., Petrovich V. Providing domestically produced fodder protein as an important condition for increasing the economic efficiency of breeding. *Organizatsionno-pravovyye aspekty innovatsionnogo razvitiya agrobiznesa=Organizational and Legal Aspects of Innovative Development of Agribusiness*, 2018, no. 15, pp. 119–123 (in Russian).

3. Ryadchikov V.G. Requirements of pigs of meat breeds and crosses for energy and digestible amino acids. *Politematicheskiiy setevoy elektronnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*=*Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 2007, no. 34, pp. 188–216 (in Russian).
4. Bay-Larsen I. [et al.]. Local protein sources in animal feed – Perceptions among arctic sheep farmers. *Journal of Rural Studies*, 2018, vol. 59, pp. 98–110.
5. Kamp A., Ambye-Jensen M., Østergård H. Modelling matter and energy flows of local, refined grass-clover protein feed as alternative to imported soy meal. *Ecological Modelling*, 2019, vol. 410, art. 108738.
6. Neminushchaja L.A. [et al.]. New biological active fodder additives: biotechnological aspects of manufacture, efficiency of application in poultry farming. *Butlerovskiye soobshcheniya*=*Butlerov Readings*, 2012, vol. 29, no. 2, pp. 128–135 (in Russian).
7. Belibasakis N.G., Tsirgogianni D. Effects of wet brewers grains on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows in hot weather. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, vol. 57, no. 3, pp. 175–181.
8. Mussatto S.I. Brewer's spent grain: a valuable feedstock for industrial applications. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, vol. 94, no. 7, pp. 1264–1275.
9. Korpachev V.N. et al. Problems of the formation and use of wood waste in the Russia's forestry complex. *Khvoynnyye boreal'noy zony*=*Conifers of the Boreal Area*, 2016, no. 32, pp. 52–55 (in Russian).
10. Mukhachev S.R., Vladimirova I.S., Valeeva R.T. Organization of production of fuel alcohol in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo tekhnolog universiteta*=*Bulletin of the Technological University*, 2006, no. 5, pp. 21–26 (in Russian).
11. Mokhirev A.P., Bezrukikh J.A., Medvedev S.O. Recycling of wood wastes of timber industry, as a factor of sustainable resource management. *Inzhenernyy vestnik Dona*=*Engineering Journal of Don*, 2015, no. 36, pp. 81–94 (in Russian).
12. Murzin D.Yu., Simakova I.L. Catalysis in biomass processing. *Kataliz v promyshlennosti*=*Catalysis in Industry*, 2011, no. 3, pp. 8–40 (in Russian).
13. Ribbons D.W., Michalover J.L. Methane oxidation by cell-free extracts of *Methylococcus capsulatus*. *FEBS Letters*, 1970, vol. 11, no. 1, pp. 41–44.
14. Liubinskaya T.V., Orlova V.S., Lyubinsky V.S. The synthesis of feed protein from methane of a landfill gas's. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*=*RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 2013, no. 2, pp. 100–104 (in Russian).
15. Khoshnevisan B. [et al.]. Urban biowaste valorization by coupling anaerobic digestion and single cell protein production. *Bioresource Technology*, 2019, vol. 290, art. 121743.
16. Smirnova L.V. Balancing rations. *Zhivotnovodstvo Rossii*=*Animal Husbandry of Russia*, 2007, no. 4, pp. 51 (in Russian).
17. Kovtunova A.S. et al. Biotechnology of obtaining and the prospect of using alternative feed protein. *Aktual'naya biotekhnologiya*=*Actual Biotechnology*, 2015, no. 3 (14), pp. 102–103 (in Russian).
18. Evdokimov I.A., Khramtsov A.G., Nesterenko P.G. Current state of whey processing. *Molochnaya promyshlen'ost'*=*Dairy Industry*, 2008, no. 11, pp. 36–39 (in Russian).
19. Izmailovich I.B. Current problems of feed protein. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya*=*Vestnik of the Agro-Industrial Complex of the Upper Volga Region*, 2010, no. 12, pp. 31–33 (in Russian).
20. Rassokhina I.I., Kotkova D.N., Platonov A.V. Analyzing global publication activity in the field of "Bioeconomy". *Problemy razvitiya territorii*=*Problems of Territory's Development*, 2019, no. 3 (101), pp. 152–165 (in Russian).

### **Information about the authors**

Ekaterina V. Troitskaya – Research Engineer, Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: [ekatina.vt@gmail.com](mailto:ekatina.vt@gmail.com)

Ivan V. Artamonov – Junior Researcher, Federal State Budgetary Institution of Science “Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences”. 56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: [iv.artamonov@outlook.com](mailto:iv.artamonov@outlook.com)