



Научная статья

УДК 636.2:577.121.3

doi: 10.55186/25876740\_2022\_65\_1\_62

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ЦЫПЛЯТ

**Н.А. Юрина<sup>1</sup>, А.Б. Власов<sup>1</sup>, Б.В. Хорин<sup>1</sup>, Д.А. Юрин<sup>1</sup>,  
А.С. Скамарохова<sup>1</sup>, В.Г. Григулецкий<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии, Краснодар, Россия

<sup>2</sup>Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

**Аннотация.** В работе представлен обзор и анализ опытного изучения роста цыплят в ранее выполненных экспериментах Г.Д. Букнера (США), В.Ф. Ларионова и Н.Я. Квитко (СССР). Подробно изложены биометрические результаты собственных экспериментов. В опытах при индивидуальном и ежедневном взвешивании на электронных весах в течение 91 суток установлены характерные особенности развития роста цыплят, способствующие разработке приближенной математической модели роста, обобщающей известные модели Т. Робертсона (T.B. Robertson, 1908 г.), М. Рубнера (M. Rubner, 1908 г.), А. Пюттера (A. Pütter, 1922 г.), С. Броди (S. Brody, 1923 г.), И.И. Шмальгаузена (1927 г.), Р. Перла (R. Pearl, 1927 г.), М. Мстиславского (1938 г.) и др. Анализ известных теоретических работ по проблеме роста животных показал ограниченность существующих математических моделей. В частности результаты Т.Б. Робертсона в большей степени относятся к начальному периоду роста животных и птиц. Теория С. Броди удовлетворительно описывает процесс заключительной фазы процесса роста животных. Известные исследования И.И. Шмальгаузена по теории роста животных относятся к эмбриональному процессу развития животных. В настоящей работе, с учетом результатов опытного изучения цыплят (эксперименты Г.Д. Букнера, В.Ф. Ларионова, Н.Я. Квитко, М. Мстиславского, собственные опыты), предложена новая математическая модель роста на основе следующего положения: прирост живой массы животного пропорционален значению веса, которое должно образоваться, прежде чем животное достигнет максимального веса и количеству уже образовавшегося веса, выше некоторого начального (минимального) веса. Такое утверждение соответствует результатам опытного изучения процесса роста животных, согласно которым процесс роста животных и птиц представляет совокупность двух основных фаз развития: во время первой фазы происходит самоускорение прироста живой массы, а во время второй фазы происходит самозамедление прироста живой массы, на которые накладываются определенные неравномерные периодические циклы скорости прироста веса. Разработанная математическая модель роста учитывает многие физиологические особенности развития организма животных и позволяет находить количественное значение коэффициента роста по простой и наглядной методике на основе фактических измерений живой массы (веса) птиц, а также находить прогнозный вес цыплят для определенного возраста. В статье рассмотрены примеры применения новой методики анализа процесса роста цыплят. В частности, определены коэффициенты роста для цыплят породы Белый Леггорн по усредненным экспериментальным данным Н.Я. Квитко, Г.Д. Букнера (США) и В.Ф. Ларионова (СССР); полученные значения коэффициента роста, в общем, соответствуют опытным данным средней скорости прироста веса цыплят. Для конкретных условий установлено прогнозное значение веса одного цыпленка, которое отличается от фактического не более чем на 0,1 % для двухмесячного возраста цыплят.

**Ключевые слова:** рост животных, результаты опытов, условия кормления, вес цыплят, изменение скорости роста, живая масса, прирост веса, константа роста, возраст животного, прогнозное значение веса, механизм роста животных (птиц)

Original article

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL CHICKEN GROWTH STUDIES

**N.A. Yurina<sup>1</sup>, A.B. Vlasov<sup>1</sup>, B.V. Khorin<sup>1</sup>, D.A. Yurin<sup>1</sup>,  
A.S. Skamarochova<sup>1</sup>, V.G. Griguletsky<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Krasnodar Research Centre for Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup>Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

**Abstract.** This paper presents an overview and analysis of the experimental study of the growth of chickens, in the previously performed experiments by G.D. Buckner (USA), V.F. Larionova and N.Ya. Kvitko (USSR). The biometric results of our own experiments are described in detail. The biometric results of our own experiments are described in detail. In experiments with individual and daily weighing on electronic scales for 91 days, characteristic features of the development of growth of chickens were established, contributing to the development of an approximate mathematical model of growth, generalizing the well-known models of T. Robertson (T.B. Robertson, 1908), M. Rubner (M. Rubner, 1908), A. Pütter (A. Pütter, 1922), S. Brody (S. Brody, 1923), I.I. Schmalhausen (1927), R. Pearl (R. Pearl, 1927), M. Mstislavsky (1938) and others. Analysis of well-known theoretical works on the problem of animal growth showed the limitations of existing mathematical models. In particular, the results of T.B. Robertson is more related to the initial growth period of animals and birds. S. Brody's theory satisfactorily describes the process of the final phase of the growth process of animals. Famous studies of I.I. Schmalhausen, according to the theory of animal growth, refers to the embryonic process of animal development. In this work, taking into account the results of the experimental study of chickens (experiments by G.D. Bukner, V.F. Larionov, N.Ya. Kvitko, M. Mstislavsky, own experiments), a new mathematical model of growth is proposed based on the following proposition: live weight gain of the animal is proportional to the value of weight that must be formed before the animal reaches its maximum weight and the amount of weight already formed, above some initial (minimum) weight. This statement is consistent with the results of an experimental study of the growth process of animals, according to which, the growth process of animals and birds is a combination of two main phases of development: during the first phase, self-acceleration of the increase in live weight occurs, and during the second phase, self-suppression of the increase in live weight occurs, on which certain irregular periodic cycles of weight gain. The developed mathematical model of growth takes into account many physiological features of the development of the animal body and allows you to find the quantitative value of the growth rate using a simple and visual method based on actual measurements of live weight (weight) of birds, as well as to find the predicted weight of chickens for a certain age. The article discusses examples of the application of a new methodology for analyzing the growth process of chickens. In particular, the growth factors for White Leghorn chickens were determined according to the averaged experimental data of N.Ya. Kvitko, G.D. Buchner (USA) and V.F. Larionova (USSR); the obtained values of the growth rate,



in general, correspond to the experimental data on the average rate of weight gain in chickens. For specific conditions, the predicted value of the weight of one chick has been established, which differs from the actual one by no more than 0.1 % for the two-month age of the chicks.

**Keywords:** animal growth, experimental results, feeding conditions, chick weight, change in growth rate, live weight, weight gain, growth constant, animal age, predicted weight, growth mechanism of animals (birds)

**Введение**

В предыдущей статье (Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. Т. 64. № 4 (382)) кратко изложены первые результаты опытов применения новой органической природной пищевой добавки путем выпойки с водой для петушков кросса Ломанн Браун, выращиваемых на мясо. В опытах установлено повышение живой массы цыплят на 15,8%, а среднесуточный прирост веса птиц был на 19,6% больше по сравнению с весом птиц контрольной группы. В опытах при индивидуальном и ежедневном взвешивании на электронных весах в течение 91 суток установлены характерные особенности развития роста цыплят, способствующие разработке приближенной математической модели роста, обобщающей известные модели Т. Робертсона (T.B. Robertson, 1908 г.), М. Рубнера (M. Rubner, 1908 г.), А. Пюттера (A. Pütter, 1922 г.), С. Броди (S. Brody, 1923 г.), И.И. Шмальгаузена (1927 г.), Р. Перла (R. Pearl, 1927 г.), М. Мстиславского (1938 г.) и др.

Анализ известных теоретических работ по проблеме роста животных [1-3] показал ограниченность существующих математических моделей. В частности, результаты Т.Б. Робертсона в большей степени относятся к начальному периоду роста животных и птиц. Теория С. Броди [2, 3] удовлетворительно описывает процесс заключительной фазы процесса роста животных. Известные исследования И.И. Шмальгаузена [2] по теории роста животных относятся к эмбриональному процессу развития животных.

В настоящей работе, с учетом результатов опытного изучения цыплят (эксперименты Г.Д. Букнера, В.Ф. Ларионова, Н.Я. Квитко, М. Мстиславского, собственные опыты), предложена новая математическая модель роста на основе следующего положения: прирост живой массы животного пропорционален значению веса, которое должно образоваться, прежде чем животное достигнет максимального веса и количеству уже образовавшегося веса, выше некоторого начального (минимального) веса. Такое утверждение соответствует результатам опытного изучения процесса роста животных, согласно которым процесс роста животных и птиц представляет совокупность двух основных фаз развития: во время первой фазы происходит самоускорение прироста живой массы, а во время второй фазы происходит самозамедление прироста живой массы, на которые накладываются определенные неравномерные периодические циклы скорости прироста веса.

**Актуальность проблемы**

Актуальность проблемы исследования роста птиц и животных хорошо отмечена в монографии В.И. Федорова: едва ли среди биологических проблем найдется более разносторонняя, более обширная и глубокая, чем проблема роста и развития животных и растительных организмов, имеющая одинаково большое значение как для практической деятельности человека, так и для теоретической разработки целого ряда биологических вопросов [1, с. 5]. Кратко отметим некоторые известные работы по теме исследования.

**Экспериментальные исследования**

Н.Я. Квитко одним из первых в СССР в 1935 г. подробно описал методику и результаты опытного изучения роста цыплят породы Белый Леггорн до двухмесячного возраста [4]. В опытах использовали 120 цыплят пород Белый Леггорн. Выращивание проведено весной 1934 г. в батарейном брудере Георгиевской Испытательной Станции. Первоначально проведена посадка по 40 цыплят в одну клетку с 2-дневного возраста, а с 40-дневного до 60-дневного возраста цыплят разделили по 20 голов в клетке. Учет роста

Таблица 1. Вес цыплят Белый Леггорн (опыты Buckner, Ларионова, Квитко) в зависимости от возраста  
Table 1. Weight of White Leghorn chickens (experiments of Buckner, Larionov, Kvitko) depending on age

Возраст, сутки	Опыты Buckner, г	Опыты Ларионова, г	Опыты Квитко, г	Средний опытный вес, г	Расчет среднего веса (новая методика), г
1	39,5	37,9	38,7	38,57	38,570
15	83,0	88,3	84,5	85,27	124,457
30	205,0	227,0	198,8	210,27	265,089
45	332,5	393,7	356,9	361,03	409,593
60	421,5	558,9	540,6	507,00	506,555

живой массы цыплят проводился путем индивидуального ежедневного взвешивания птиц. Конечный средний вес цыплят на 60-й день составил 540 г (петушки) и 530 г (курочки). Результаты измерений среднего веса цыплят породы Белый Леггорн по опытам Н.Я. Квитко приведены в таблице 1 (в этой же таблице приведены результаты аналогичных опытов для цыплят Белый Леггорн, которые ранее проведены в США (Buckner, 1934 г.) и СССР (Ларионов, 1934 г.)).

Весьма важно, что в опытах Н.Я. Квитко [4] установлено, что кривая роста цыплят имеет разные колебания скорости роста, имеются интервалы увеличения и интервалы уменьшения скорости роста цыплят и за 60 дней опытов установлено 10 отдельных циклов разной продолжительности, что свидетельствует о неравномерности процесса роста птиц. Рост цыплят в ежедневных показателях истинной скорости роста птиц позволяет отметить характерную цикличность этого процесса, закономерный характер которого нуждается в дальнейшем подтверждении. Работа Н.Я. Квитко [4] имела и имеет важное практическое и теоретическое значение для птицеводства.

М. Мстиславский в 1938 г. опубликовал две важные работы [5, 6], посвященные изучению роста цыплят породы Белый Леггорн в первые три месяца постэмбрионального развития. В первой статье [5], в частности, детально описан новый оригинальный способ проведения экспериментального изучения роста животных, который назван автором, как метод параллельных групп. Существо метода заключается в том, что: берется два выводка животных и содержится параллельно в идентичных условиях; партии животных отличаются между собой по возрасту, например, первая партия «А» на один день старше второй группы «Б». Если сравнивать скорость роста двух групп «А» и «Б», то можно точно установить различия скоростей роста животных, которые не зависят от факторов внешней среды: все изменения процесса роста животных, зависящие от внутренних факторов, в группе «Б» будут сдвинуты на один день относительно процесса роста в группе «А»; все явно выраженные особенности роста животных будут отражаться на кривых роста, как бы не было мало изменение на кривых роста. Метод двух параллельных групп позволяет детально исследовать закономерность изменения кривых роста животных при постоянных условиях внешней среды, то есть выявить внутренние закономерности изменения роста животных — это фундаментальное значение метода М. Мстиславского [5, 6].

Отмечая достоверность полученных опытных результатов, М. Мстиславский специально указывает, что по литературным данным (опыты Phillips, 1916 г.; Bucker, Willkins, Kastle, 1918 г.; Latimer, 1924 г.; Schmidt, Zollner, 1929 г.; Henser, Andrews, 1932 г. и др.) все опубликованные опытные кривые скорости роста для нескольких тысяч цыплят в Америке, Германии и СССР имеют описанные волны: как у петушков, так и у курочек наблюдается первый подъем в течение первых 3-х недель, затем падение скорости роста и второй подъем в период 50-70 дней. Особенно ясно это установлено в опытах С. Броди (1927 г.), где первый перелом скорости роста приходится на возраст 3 недели, а второй этап, то есть замедление фазы роста происходит в возрасте 12 недель. Необходимо отметить, что результаты опытов и анализ кривых скорости роста цыплят пород Белый Леггорн, выполненный М. Мстиславским [5, 6], имел и имеет важное практическое и теоретическое значение.

**Собственные экспериментальные исследования**

Опыты были проведены в 2020-2021 гг. на экспериментальной базе (вариант) ФГБНУ «Краснодарский научный центр по зоотехнии и ветеринарии» (пос. Знаменский, г. Краснодар). Опыт проведен на петушках яичного кросса Ломанн Браун. Вся птица содержалась в одинаковых условиях, в одноярусных клетках со свободным доступом к воде и кормушкам с кормом (табл. 2).

Таблица 2. Схема опыта (n = 78)  
Table 2. Scheme of the experiment (n = 78)

Группы	Особенности кормления
1 — контроль	ПК (полнорационный комбикорм)
2 — опытная	ПК + жидкая добавка Гривлаг



Таблица 3. Состав и питательность комбикормов для петушков в возрасте 33-42 суток

Table 3. Composition and nutritional value of compound feed for males aged 33-42 days

Состав	В рецепте, %	Стоимость в рецепте, руб.
Пшеница	16,9	2,028
Кукуруза	20,0	2,8
Соя полножирная	20,0	5,6
Шрот подсолнечный	15,0	2,7
Мука мясокостная	7,03	1,3357
Дрожжи кормовые	5,0	1,1
Монохлоргидрат лизина 98,0 %	0,45	0,6975
DL-метионин 98,5 %	0,32	0,848
Соль поваренная	0,3	0,024
Мел кормовой	1,0	0,045
БВМД-1 № 1	10,0	1,8
Наполнитель	4,0	–
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.		19,0
<b>Питательность комбикорма</b>		
Наименование	Показатели	
Обменная энергия, ккал/100 г	306,00	
Сырой протеин, %	22,95	
Сырая клетчатка, %	5,73	
Лизин, %	1,41	
Метионин, %	0,67	
Метионин + цистин, %	1,02	
Кальций, %	1,08	
Фосфор, %	0,76	
Фосфор усвояемый, %	0,48	
Натрий, %	0,26	

Согласно схеме опыта, с 33-го дня жизни первая (контрольная) группа получала полнорационный комбикорм (ПК) в течение всего опыта. Вторая (опытная) группа получала такой же корм, а также с водой потребляла органическую жидкую добавку Гривлаг [7, 8]. Цыплята получали комбикорма в количестве, согласно рекомендациям ВНИТИП (табл. 3, 4).

Гривлаг разводили в воде из расчета 5 мл/кг живой массы. Органическое ростовое вещество Гривлаг содержит натриевую соль нафтеновой кислоты — 35-45 мас.%, рапсовое масло — 0,005-0,015 мас.% и воду пресную — остальное [7]. Главным отличием органического ростового вещества по Патенту РФ № 2713902 от известного состава нефтяного ростового вещества [9, 10] заключается в том, что оно содержит рапсовое масло в количестве 0,005-0,015 мас.%. Питательность комбикормов соответствовала потребностям птицы во все периоды выращивания.

Петушки обеих групп подвергались ветеринарной обработке согласно схеме профилактических мероприятий по принятой в птицеводстве схеме выращивания. В конце выращивания проведен контрольный убой птицы по 3 головы из каждой группы и отобрана кровь на анализ.

Основные учитываемые показатели в опыте:

- живая масса — путем индивидуального взвешивания молодняка на электронных весах по периодам;
- приросты живой массы за период (г) — валовой прирост получен путем разницы между живой массой в конце периода и в начале, средне-суточный — путем деления разности между живой массой в конце и в начале периода опыта на количество дней опыта;
- потребление и затраты кормов на 1 кг прироста живой массы (г) — учитывали в течение всего опыта ежедневно.

В таблице 5 представлены результаты индивидуального взвешивания птиц в разные периоды времени.

В ходе проведения опыта установлено, что в 56-дневном возрасте живая масса петушков была выше в опытной группе по сравнению с контролем на 9,9%, в 70-дневном — на 10,8%, в 91-дневном — на 15,8%. Индивидуальным ежедневным взвешиванием петушков установлено, так же, как и в опытах Н.Я. Квитко [4] и экспериментах М. Мстиславского [5], наличие волн (замедление, ускорение) роста на кривых прироста живой массы петушков: первое замедленное изменение прироста веса наблюдалось

Таблица 4. Состав и питательность комбикормов для петушков в возрасте 43-91 суток

Table 4. Composition and nutritional value of compound feed for males aged 43-91 days

Состав	В рецепте, %	Стоимость в рецепте, руб.
Экструдат зерновой	30,00	5,4
Кукуруза	20,00	2,4
Пшеница	18,00	1,8
Соя полножирная	18,00	3,42
Мука мясокостная	6,60	1,518
Дрожжи кормовые	6,00	1,44
Трикальцийфосфат	0,50	0,115
DL-метионин 98,5 %	0,25	0,4125
Монохлоргидрат лизина 98 %	0,25	0,2875
Соль поваренная	0,20	0,014
Премикс ПК-90-1	0,20	0,018
Стоимость 1 кг комбикорма, руб.		16,8
<b>Питательность комбикорма</b>		
Наименование	Показатели	
Обменная энергия, ккал/100 г	323	
Сырой протеин, %	20,14	
Сырая клетчатка, %	3,4	
Лизин, %	1,17	
Метионин, %	0,47	
Метионин + цистин, %	0,85	
Кальций, %	0,87	
Фосфор, %	0,79	
Фосфор усвояемый, %	0,46	
Натрий, %	0,21	

Таблица 5. Динамика живой массы петушков (n = 78), г

Table 5. Dynamics of live weight of males (n = 78), g

Показатели	Группа		Разность, %
	1	2	
<b>Живая масса в начале опыта (33 дня)</b>			
M ± m	215,9 ± 4,2	215,1 ± 4,1	0,00
<b>Живая масса в 42 дней</b>			
M ± m	420,3 ± 7,1	425,1 ± 7,9	
% к контролю	100,0	103,5	
<b>Живая масса в 56 дней</b>			
M ± m	625,3 ± 9,4	686,9 ± 11,3*	
% к контролю	100,0	109,9	
<b>Средняя живая масса в 70 дней</b>			
M ± m	799,9 ± 13,7	886,1 ± 14,7*	10,80
% к контролю	100,0	110,8	
<b>Средняя живая масса в конце опыта (91 дней)</b>			
M ± m	1176,9 ± 11,5	1362,8 ± 18,8*	15,80
% к контролю	100,0	115,8	

Примечание: \* — P ≥ 0,999

в возрасте от 33 до 42-го дня жизни, и на этом интервале получен прирост веса 210,0 г; затем последовало ускорение (подъем) скорости прироста веса с 40 до 56-го дня жизни, и на этом интервале получен прирост веса 261,8 г; с 57 до 70-го дня жизни наблюдалось уменьшение (падение) скорости прироста веса, и на этом интервале получен прирост веса 199,2 г; с 71 до 91-го дня жизни установлено ускорение изменения прироста веса опытных цыплят, и на этом интервале получен прирост веса 476,4 г. Установленные колебания относительной скорости роста наблюдались как в опытных, так и в контрольных группах цыплят.



**Теоретические исследования роста животных**

Теоретическому изучению процессов роста животных и растений посвящено много научных работ известных (и неизвестных) ученых. Например, в монографии В.И. Федорова [1] отмечается более 300 опубликованных работ; в статье И.И. Шмальгаузена [2] в 1935 г. указано 108 опубликованных работ; в статье М. Мстиславского [5] в 1938 г. указано 75 литературных источника и т.д. Вероятно, первое аналитическое описание механизма роста животных (и растений) дано в статье Т.Б. Робертсона (Т.В. Robertson, 1908 г.). Краткий анализ решения Т.Б. Робертсона приведен в монографии Ж. Лёба (Jacques Loeb, 1909 г.) [11], где отмечается, что для описания нормального роста животных Т.Б. Робертсон предложил использовать решение известного уравнения П.Ф. Ферхюльста (Par P.-F. Verhulst, 1838 г.):

$$\frac{dx}{dt} = k_1(a - x)x \tag{1}$$

(уравнение (1), стр. 228, [11]),

$a, k_1$  — постоянные коэффициенты ( $k_1$  — константа роста;  $a$  — максимальное (предельное) значение веса (или высоты) животного).

Уравнение (1) допускает простую физиологическую интерпретацию: прирост веса животного пропорционален значению, которое должно образоваться, прежде чем животное достигнет максимального веса ( $a - x$ ) и количеству уже образовавшегося веса ( $x$ ). Учитывая дополнительный эффект торможения роста от задерживающих факторов, Т.Б. Робертсон дополняет уравнение (1) еще одним слагаемым:

$$\frac{dx}{dt} = k_1x(a - x) - k_2x^2 \tag{2}$$

(уравнение (2), стр. 228, [11]),

$k_2$  — постоянный коэффициент, определяющий действие тормозящих (задерживающих) факторов роста.

Уравнение (2) можно записать в виде:

$$\frac{dx}{dt} = (k_1 + k_2) \left[ \left( \frac{k_1}{k_1 + k_2} \right) a - x \right] x \tag{3}$$

(уравнение (3), стр. 228, [11]),

или в виде:

$$\frac{dx}{dt} = K(A - x)x \tag{4}$$

(уравнение (4), стр. 228, [11]).

Таким образом, уравнение (2) приведено к известному дифференциальному уравнению П.Ф. Ферхюльста (1), где  $a, k_1, k_2, A$  — постоянные коэффициенты. Частное решение уравнения (4), удовлетворяющее условию:

$$x(t_1) = 0 \tag{5}$$

представляется в виде:

$$\log \left( \frac{x}{A - x} \right) = AK(t - t_1) \tag{6}$$

(соотношение (6), стр. 229, [11]),

$A, K$  — постоянные коэффициенты, определяющие вес (или рост) животного ( $K = k_1 + k_2; aK_1 = A(k_1 + k_2)$ );  $t_1$  — время, при котором достигается половина конечного (максимального) веса животного.

В монографии Ж. Лёба [11] приведены примеры применения методики Т.Б. Робертсона для расчета, например, нормального веса человека по уравнениям (3)-(6). Краткое изложение работы Т.Б. Робертсона дано в статье П.П. Лазарева [13]. И.И. Шмальгаузен в 1927-1929 гг. для описания закономерности изменения прироста живой массы животных предложил использовать [1, 2, 4] следующую формулу:

$$u = mt^k, \tag{7}$$

$m$  — постоянный положительный коэффициент, численно равный начальной массе животного:  $u(1) = m$ ;  $k$  — постоянный положительный коэффициент (константа роста), характеризующий интенсивность процесса роста животного, значение которого рекомендуется находить по формуле:

$$k = \frac{\log u_2 - \log u_1}{\log t_2 - \log t_1}, \tag{8}$$

$u_1, u_2$  — численные значения веса животного в моменты времени  $t = t_1$  и  $t = t_2$ , то есть  $u_1 = u(t_1)$  и  $u_2 = u(t_2)$  соответственно.

В первых работах И.И. Шмальгаузена [13, 14] и статье [2] для анализа процесса роста животных предлагается использовать значение истинной скорости роста животного:

$$C_u = \left( \frac{du}{dt} \right) \left( \frac{1}{u} \right), \tag{9}$$

или:

$$C_u = \frac{k}{t}. \tag{10}$$

По мнению И.И. Шмальгаузена, закон параболического роста имеет общее значение для всего процесса роста у высших животных [2, с. 39]. Характеризуя решение Т.Б. Робертсона [11], И.И. Шмальгаузен отмечает [2] следующее: теоретический фундамент, который пытался подвести под свою формулу Т.Б. Робертсон, не выдерживает критики; необходимо отметить, что эта формула, дающая для постэмбрионального роста иногда недурное приближение, для эмбрионального — совершенно непригодна [2, с. 24]. По мнению С. Броди, наиболее неутомимого американского исследователя роста домашних животных, процесс роста высшего животного распадается на две качественно разные фазы [2]. Во время первой фазы наблюдается самоускорение роста, во второй фазе — самозамедление роста.

Первая фаза роста происходит с постоянной удельной скоростью роста по формуле:

$$u = u_0 e^{ct}, \tag{11}$$

или по уравнению:

$$\frac{du}{dt} = cu. \tag{12}$$

Во время второй фазы роста происходит самозамедление процесса с переменной удельной скоростью роста по формуле:

$$u = A - Be^{kt}, \tag{13}$$

или по уравнению:

$$\frac{du}{dt} = k(A - u). \tag{14}$$

Уравнение (14) допускает простую физиологическую интерпретацию: прирост веса животного увеличивается пропорционально значению, которое должно образовываться, прежде чем животное достигнет максимального веса ( $A$ );  $k$  — постоянный коэффициент (константа роста животного). Соотношения (13) и (14) хорошо описывают процесс роста животных во второй фазе роста, когда происходит самозамедление процесса.

В специальной литературе имеются еще разные аналитические зависимости для описания закономерностей роста животных, птиц и человека. В частности, в статье М. Мстиславского [5] приводится одна из первых аналитических зависимостей для описания роста ребенка, установленная доктором медицины Кетле (Quetelet) в 1835 г. во Франции:

$$y + \frac{y}{1000(T - y)} = ay + \frac{1 + x}{1 + 0,75x}, \tag{15}$$

$x$  — возраст в годах;  $y$  — вес ребенка в кг;  $T, a$  — постоянные коэффициенты.

По мнению доктора Кетле: рост ребенка, начиная даже за много месяцев перед рождением и до конца развития, следует одному непрерывному закону, заключающемуся в последовательном уменьшении прироста веса с возрастом [5, с. 262].

В монографии В.И. Федорова [1] приводится формула Лэрда (Laird), который в 1965 г. предложил описывать рост веса животных следующим соотношением:

$$u = u_0 \exp \left[ \left( \frac{A}{\alpha} \right) (1 - e^{-\alpha t}) \right], \tag{16}$$

$\alpha, A, u_0$  — постоянные коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным ( $\alpha$  — константа роста);  $u$  — скорость роста живой массы.

По мнению И.И. Шмальгаузена, пока не существует математической модели роста животных, потому что в процессе роста по мере развития организма происходят изменения, которые имеют характер более или менее резких скачков, и никакая формула не может охватить закономерности биологического порядка, представляющей результат чрезвычайно сложной цепи взаимодействий [2, с. 19].

Наибольшее применение в практической и исследовательской работе имеет приближенная формула роста И.И. Шмальгаузена [2, 4, 16, 17], но она





справедлива только для периода эмбрионального развития организма: формула параболического роста дает прекрасные результаты как раз там, где все экспоненциальные формулы оказались несостоятельными, именно в эмбриональном периоде [2, с. 24].

### Новая методика исследования роста животных

Согласно существующим представлениям о механизме роста животных (Т.В. Робертсон, 1908 г.; М. Рубнер, 1908 г.; А. Пütter, 1922 г.; С. Броуди, 1923 г.; Р. Pearl, 1924 г.; И.И. Шмальгаузен, 1927 г.; Н.Я. Квитко, 1934 г., К. Сент-Илер, 1935 г.; М. Мстиславский, 1938 г. и др.), рост животных определяется, прежде всего, процессом деления клеток, который происходит, как правило, через равные интервалы времени и характеризует экспоненциальный рост организма в начале жизни, что отмечается в работах Т.В. Робертсона, М. Рубнера, С. Броуди (анализ проведен выше) и механизмом прямого деления ядра и клеток в последующем периоде [18, 19]. Процесс деления ослабевает в процессе роста организма и нарастает процесс дифференцировки, который носит, в основном, непрерывный характер, что отмечается в работах И.И. Шмальгаузена, К. Перла, А. Пюттера, С. Броуди; процесс деления клеток, их рост и развитие происходит в организме непрерывно в течение всего жизненного цикла организма; уменьшение скорости роста обусловлено совместным действием внутренних и внешних факторов развития животных (птиц). В общем, процесс роста животных и птиц представляет совокупность двух основных фаз развития: во время первой фазы наблюдается самоускорение прироста живой массы, а во время второй фазы происходит замедление прироста живой массы, на которые накладываются определенные неравномерные периодические циклы скорости прироста, являющиеся отражением конкретных непрерывных периодов дифференцировки роста организма.

Отметим, что ранее похожий механизм роста животных кратко описан в монографии В.И. Федорова [1]: в основе роста организма лежат два главных процесса — размножение клеток и их рост; рост организма осуществляется путем увеличения массы межклеточного вещества, но его образование представляет вторичный процесс, связанный с жизнедеятельностью клеток. Из указанных двух главных процессов, ведущим является рост клеток: деление клеток, их последующее развитие и рост до определенных размеров можно назвать истинным или активным ростом.

Деление клетки является необходимым и завершающим этапом развития живого организма и его роста; процесс деления клеток и рост животных (птиц) является неравномерным процессом, что должно учитываться в математической модели роста и развития животных. В статьях [20, 21] в этом направлении получена приближенная эволюционная математическая модель роста, основанная на экстремальном принципе. Результаты, полученные в работах [20, 21], нуждаются в дальнейшем развитии.

Учитывая отмеченные особенности роста и развития животных (птиц) принимаем справедливость следующего утверждения: прирост живой массы животного ( $M$ ) пропорционален значению веса, которое должно образоваться, прежде чем животное достигнет максимального веса ( $M_{\max} - M$ ) и количеству уже образовавшегося веса ( $M_{\min} + M$ ), выше некоторого начального (минимального) веса ( $M_{\min}$ ), то есть можно записать основное дифференциальное уравнение в обыкновенных производных:

$$\frac{dM}{dt} = k(M_{\max} - M)(M + M_{\min}), \quad (17)$$

$t$  — время (возраст животного);  $M$  — масса (вес) животного;  $k$  — постоянный коэффициент пропорциональности (константа роста);  $M_{\max}$  — максимальный (предельный) вес животного;  $M_{\min}$  — минимальный вес животного (вес животного при рождении; вес цыпленка при вылуплении).

Запишем уравнение (17) в виде:

$$\frac{dM}{dt} = k(M_{\max} - M)M + kM_{\min}(M_{\max} - M). \quad (18)$$

Из структуры уравнения (18) видно, что первое слагаемое в правой части соответствует модели Т.В. Робертсона (уравнение (1)), а второе слагаемое в правой части соответствует модели С. Броуди (уравнение (14)).

Для решения дифференциального уравнения принимаем начальные условия вида:

$$M(t_0) = M_0, \quad (19)$$

$t_0, M_0$  — постоянные, определяемые «начальное» время ( $t_0$ ) и начальный вес животного ( $M_0$ ); в качестве значения  $M_0$  можно принимать вес при рождении животного (вес цыпленка при вылуплении); в частном случае  $t_0$  и  $M_0$  могут принимать значения  $t_0 = 0, M_0 = M_{\min}$ .

Решение основного дифференциального уравнения (17), удовлетворяющее начальным условиям (19), можно записать в виде:

$$M(t) = \frac{M_{\max}(M_{\min} + M_0) \exp[k(M_{\min} + M_{\max})(t - t_0)] - M_{\min}(M_{\max} - M_0)}{(M_{\min} + M_0) \exp[k(M_{\min} + M_{\max})(t - t_0)] + (M_{\max} - M_0)}. \quad (20)$$

Значение константы роста ( $k$ ) можно находить по формуле:

$$k = \frac{\ln[(M_{\max} - M_0)(M_{\min} + M)] - \ln[(M_{\min} + M_0)(M_{\max} - M)]}{(M_{\min} + M_{\max})(t - t_0)}. \quad (21)$$

Значение максимально возможного (предельного) веса животного ( $M_{\max}$ ) можно находить по формуле:

$$M_{\min} + M_{\max} = \frac{2(M_1 + M_{\min})(M_2 + M_{\min})(M_3 + M_{\min}) - (M_2 + M_{\min})^2(M_1 + M_3 + 2M_{\min})}{(M_1 + M_{\min})(M_3 + M_{\min}) - (M_2 + M_{\min})^2}, \quad (22)$$

$M_1, M_2, M_3$  — значения веса животного, полученные через равные интервалы времени, то есть  $t_3 - t_2 = t_2 - t_1$  и соответственно  $M_1 = M(t_1), M_2 = M(t_2), M_3 = M(t_3)$ .

Соотношения (20)-(22) являются основными в новой математической модели роста животных (птиц).

### Примеры расчетов

**Пример расчета 1.** Рассмотрим результаты опытов Н.Я. Квитко, а также опыты Г.Д. Букнера (США), В.Ф. Ларионова (СССР), которые проведены в 1934-1935 гг. при изучении роста цыплят породы Белый Леггорн. Опытные значения веса цыплят приведены выше в таблице 1, в этой же таблице дано среднее значение веса опытных цыплят в зависимости от возраста. По данным таблицы 1, принимаем:

$$M_0 = M(1) = 38,57 \text{ г}; M_1 = M(15) = 85,27 \text{ г};$$

$$M_2 = M(30) = 210,27 \text{ г}; M_3 = M(45) = 361,03 \text{ г}; t_0 = 1 \text{ сут.}$$

По формуле (22) находим максимально возможный (предельный) вес цыплят породы Белый Леггорн:

$$M_{\min} + M_{\max} = \frac{2(38,57 + 85,27)(38,57 + 210,27)(38,57 + 361,03) - (248,84)^2(523,44)}{(123,84)(399,60) - (248,84)^2},$$

или находим:

$$M_{\max} + 38,57 = 625,96,$$

откуда следует:

$$M_{\max} = 587,39 \text{ г.}$$

По формуле (21) находим константу роста:

– для интервала от  $t_0 = 1$  сут. до  $t = 15$  сут.:

$$k_1 = \frac{\ln[(587,39 - 38,57)(38,57 + 85,27)] - \ln[(38,57 + 38,57)(587,39 - 85,27)]}{(625,96)(15 - 1)} = 0,0000642;$$

– для интервала от  $t_0 = 15$  сут. до  $t = 30$  сут.:

$$k_2 = \frac{\ln[(587,39 - 85,27)(38,57 + 210,27)] - \ln[(38,57 + 85,27)(587,39 - 210,27)]}{(625,96)(30 - 15)} = 0,0001048;$$

– для интервала от  $t_0 = 30$  сут. до  $t = 45$  сут.:

$$k_3 = \frac{\ln[(587,39 - 210,27)(38,57 + 361,03)] - \ln[(38,57 + 210,27)(587,39 - 361,03)]}{(625,96)(45 - 30)} = 0,0001048.$$

Можно найти отношения:  $k_1 : k_2 : k_3 = 1 : 1,6 : 1,6$ , которые показывают, что средняя скорость прироста веса цыплят породы Белый Леггорн растет в интервале от  $t_0 = 1$  сут. до  $t = 15$  сут. с относительной скоростью, равной единице, а в интервале от  $t = 15$  сут. до  $t = 45$  сут. скорость прироста веса цыплят уменьшилась на 60%.



Воспользуемся формулой (20) и найдем функциональную зависимость веса цыплят породы Белый Леггорн  $M(t)$  от возраста при следующих данных:

$$M_{\min} = 38,87; M_{\max} = 587,39; t_0 = 1; k = 0,0001048$$

и, следовательно, можно записать:

$$M(t) = \frac{587,39(77,14) \exp[0,065606(x-1)] - 21167,987}{(77,14) \exp[0,065606(x-1)] + 548,82} \quad (23)$$

По этой формуле определены расчетные значения живого веса цыплят породы Белый Леггорн для  $t = 1$  сут.,  $t = 15$  сут.,  $t = 30$  сут. и  $t = 45$  сут.; результаты расчетов даны в последнем столбце таблицы 1. По формуле (23) при  $t = 60$  сут. найдем прогнозное значение веса одного цыпленка  $M(60) = 506,555$  г, а фактическое значение веса равно  $M(60) = 507,00$  г, то есть отличается от расчетного не более чем на 0,1%.

**Пример расчета 2.** Рассмотрим результаты собственных опытов по исследованию применения нового органического ростового вещества [7] на рост петушков породы Ломанн Браун, выращиваемых на мясо [8]. Динамика изменения живой массы петушков приведена в таблице 5. Для анализа принимаем следующие значения:

$$M_0 = M(33) = 215,1 \text{ г}; M_1 = M(42) = 425,1 \text{ г};$$

$$M_2 = M(56) = 686,9 \text{ г}; M_3 = M(70) = 886,1 \text{ г}; t_0 = 33 \text{ сут.}$$

По формуле (22) находим максимально возможный (предельный) вес цыплят породы Ломанн Браун:

$$M_{\min} + M_{\max} = \frac{2(215,1 + 425,1)(215,1 + 686,9)(215,1 + 886,1) - (902)^2(1741,3)}{(640,1)(1101,2) - (902)^2},$$

или находим:

$$M_{\max} + M_{\min} = 1334,8 \text{ г},$$

откуда следует:

$$M_{\max} = 1119,7 \text{ г.}$$

По формуле (21) находим константу роста:

– для интервала от  $t_0 = 33$  сут. до  $t = 42$  сут.:

$$k_1 = \frac{\ln[(1119,7 - 215,1)(215,1 + 425,1)] - \ln[(215,1 + 215,1)(1119,7 - 425,1)]}{(1334,8)(42 - 33)} = 0,000055;$$

– для интервала от  $t_0 = 42$  сут. до  $t = 56$  сут.:

$$k_2 = \frac{\ln[(1119,7 - 425,1)(215,1 + 686,9)] - \ln[(215,1 + 425,1)(1119,7 - 686,9)]}{(1334,8)(56 - 42)} = 0,0000437;$$

– для интервала от  $t_0 = 56$  сут. до  $t = 70$  сут.:

$$k_3 = \frac{\ln[(1119,7 - 686,9)(215,1 + 886,1)] - \ln[(215,1 + 686,9)(1119,7 - 886,1)]}{(1334,8)(70 - 56)} = 0,0000437.$$

Можно найти отношения:  $k_1 : k_2 : k_3 = 1 : 0,79 : 0,79$ , которые показывают, что средняя скорость прироста веса цыплят породы Ломанн Браун растет в интервале от  $t_0 = 33$  сут. до  $t = 42$  сут. с относительной скоростью, равной единице, а в интервале от  $t = 42$  сут. до  $t = 70$  сут. скорость прироста веса цыплят увеличилась на 20%.

Воспользуемся формулой (20) и найдем функциональную зависимость веса цыплят породы Ломанн Браун  $M(t)$  от возраста при следующих данных:

$$M_{\min} = 215,1; M_{\max} = 1119,7; t_0 = 33; k = 0,0000437$$

и, следовательно, можно записать:

$$M(t) = \frac{1119,7(430,2) \exp[0,05830(x-33)] - 194579,46}{(430,2) \exp[0,05830(x-33)] + 904,6} \quad (24)$$

По этой формуле определены расчетные значения живого веса цыплят породы Ломанн Браун для  $t = 33$  сут.,  $t = 42$  сут.,  $t = 56$  сут. и  $t = 70$  сут. По формуле (24) при  $t = 91$  сут. определено прогнозное значение веса одного цыпленка породы Ломанн Браун  $M(91) = 1030,64$  г, а фактическое значение веса равно  $M(91) = 1362,8$  г, то есть отличается от расчетного не более чем на 33% (табл. 6).

Таблица 6. Опытный и расчетный живой вес петушков породы Ломанн Браун по данным работы [8]

Table 6. Experienced and calculated live weight of Lomann Brown males according to the work [8]

№ № п. п.	1	2	3	4	5
Возраст, сут.	33	42	56	70	91
Средний вес (опыт), г	215,1	425,1	686,9	886,1	1362,8
Средний вес (расчет), г	215,10	379,66	646,01	858,59	1030,64

## Выводы

В качестве основных выводов можно отметить следующие положения.

1. Представлен краткий анализ известных и собственных результатов изучения роста цыплят и впервые описаны особенности развития животных и птиц в постэмбриональный период развития.
2. Предложена новая математическая модель роста животных и птиц, обобщающая известные модели роста (Т.Б. Робертсона, С. Броди и др.), учитывающая многие особенности механизма роста как совокупности процессов деления клеток и дифференцировки.
3. Приведены примеры расчетов по определению константы роста для цыплят на разных периодах развития и, кроме того, показано применение новой методики для нахождения прогнозной величины живой массы птиц.

## Список источников

1. Федоров В.И. Рост, развитие и продуктивность животных. М.: Колос, 1973. 272 с.
2. Шмальгаузен И.И. Определение основных понятий и методика исследования роста // Сборник работ «Рост животных». М.-Л.: Госиздат биологической и медицинской литературы, 1935. С. 8-60.
3. Берг Р.Т., Баттерфильд Р.М. Мясной скот. Концепции роста. М.: Колос, 1979. 280 с.
4. Квитко Н.Я. Исследования по вопросам роста, кормления и выращивания птицы // Труды Россошанского института птицепромышленности имени Рябинына. 1935. Вып. 1. С. 3-32.
5. Мстиславский М. Рост цыплят породы Белый Леггорн в первые три месяца постэмбрионального развития // Ученые записки МГУ, серия Зоология. 1838. Вып. 20. С. 259-325.
6. Мстиславский М. Метод построения нормальной кривой роста живого организма // Доклады АН СССР. 1938. Т. XXI. № 9. С. 462-464.
7. Григулецкий В.Г., Ивакин Р.А., Ивакина Ю.В. Органическое ростовое вещество // Патент РФ № 2713902. Опубликовано 10.02.2020 г. Бюллетень № 4.
8. Юрина Н.А., Власов А.Б., Хорин Б.В., Григулецкий В.Г. Эффективность применения новой органической природной пищевой добавки при кормлении птицы // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 4 (382). С. 77-82. doi: 10/24412/2587-6740-2021-4-77-82
9. Алиева З. Влияние ростового вещества нефтяного происхождения на привес петушков в откорме // Социалистическое сельское хозяйство Азербайджана. 1961. № 1. С. 36-38.
10. Овсянов Н.И., Овладеева М.А. Влияние НРВ на рост и развитие цыплят при добавлении его в корм отдельно и в сочетании с Биовитом-40 // Материалы Республиканского совещания по изучению применения НРВ в медицине, ветеринарии и животноводстве, Баку, 22-24 октября 1968 г. Баку: АН Азербайджанской ССР, 1968. С. 83-84.
11. Loeb (1909). *Die chemische Entwicklungserregung des tierischen Eies*. Berlin, Springer, 260 s.
12. Par, P.-F. Verhulst (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathematique et Physique*. Paris, Leipzig, vol. X, pp. 113-121.
13. Лазарев П.П. О весе тела живых существ в связи с теорией борьбы за существование Вито Вольтерра // Доклады АН СССР. 1933. № 5. С. 60-63.
14. Schmalhausen, I. (1926). Die embryonale Wachstumskurve des Hühnchens. *Roux Archiv für Entw., Mech.*, st. 108-128.
15. Шмальгаузен И.И. О закономерностях роста у животных // Природа. 1928. № 12. С. 3-8.
16. Винберг Г.Г. Скорость роста и интенсивность обмена у животных // Успехи современной биологии. 1966. Т. 61. Вып. 2. С. 35-43.
17. Полетаев И.А. О форме роста Шмальгаузена // Известия СО АН СССР, серия Биология. 1980. Т. 5. № 1. С. 3-9.
18. Сент-Илер К. Гистология роста // Успехи современной биологии. 1935. Т. IV. Вып. 6. С. 455-468.
19. Бродский В.Я. Прямое деление ядра // Успехи современной биологии. 1964. Т. 58. Вып. 3 (6). С. 367-394.
20. Ханин М.А., Дорфман Н.А. Эволюционная математическая теория роста // Журнал общей биологии. 1973. Т. 34. № 2. С. 294-304.
21. Ханин М.А., Дорфман Н.А. Математическая модель роста, основанная на эволюционном экстремальном принципе // Доклады АН СССР. 1973. Т. 212. № 3. С. 743-746.

## References

1. Fedorov, V.I. (1973). *Rost, razvitie i produktivnost' zhivotnykh* [Growth, development and productivity of animals]. Moscow, Kolos Publ., 272 p.





2. Shmal'gauzen, I.I. (1935). Opredelenie osnovnykh ponyatii i metodika issledovaniya rosta [Definition of basic concepts and methods of research of growth]. *Sbornik rabot «Rost zhivotnykh»* [Collection of works "Growth of animals"]. Moscow-Leningrad, State publishing house of biological and medical literature, pp. 8-60.
3. Berg, R.T., Batterfil'd, R.M. (1979). *Myasnoi skot. Kontseptsii rosta* [Beef cattle. Growth concept]. Moscow, Kolos Publ., 280 p.
4. Kvitko, N.Ya. (1935). Issledovaniya po voprosam rosta, kormleniya i vyrashchivaniya ptitsy [Research on the growth, feeding and rearing of poultry]. *Trudy Rossoshanskogo instituta pitsepromyshlennosti imeni Ryabinina* [Proceedings of the Ryabinin Rossoshansk institute of poultry industry], no. 1, pp. 3-32.
5. Mstislavskii, M. (1838). Rost tsyplat porodny Belyi Leggorn v pervye tri mesyatsa postembrional'nogo razvitiya [Growth of White Leggorn chickens in the first three months of postembryonic development]. *Uchenye zapiski MGU, seriya Zoologiya* [MSU Scientific notes, Zoology series], no. 20, pp. 259-325.
6. Mstislavskii, M. (1938). Metod postroeniya normal'noi krivoi rosta zhivogo organizma [Method of constructing a normal growth curve of a living organism]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the Academy of sciences of the USSR], vol. XXI, no. 9, pp. 462-464.
7. Griguletskii, V.G., Ivakin, R.A., Ivakina, Yu.V. (2020). Organicheskoe rastovoe veshchestvo [Organic growth substance]. *Patent RF № 2713902. Opublikovano 10.02.2020 g. Byulleten' № 4* [RF Patent No. 2713902. Published on February 10, 2020, Bulletin No. 4].
8. Yurina, N.A., Vlasov, A.B., Khorin, B.V., Griguletskii, V.G. (2021). Effektivnost' primeniya novoi organicheskoi prirodnoi pishchevoi dobavki pri kormlenii ptitsy [The effectiveness of the use of a new organic natural food additive in poultry feeding]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 4 (382), pp. 77-82. doi: 10/24412/2587-6740-2021-4-77-82
9. Alieva, Z. (1961). Vliyaniye rostovogo veshchestva nefityanogo proiskhozhdeniya na prives petushkov v otkorme [Influence of the growth substance of oil origin on the weight gain of males in fattening]. *Sotsialisticheskoe sel'skoe khozyaistvo Azerbaidzhana*, no. 1, pp. 36-38.
10. Ovsyanov, N.I., Ovladeeva, M.A. (1968). Vliyaniye NRV na rost i razvitiye tsyplat pri dobavlenii ego v korm otdel'no i v sochetanii s Biovitom-40 [Influence of NRV on the growth and development of chickens when added to feed separately and in combination

with Biovit-40]. *Materialy Respublikanskogo soveshchaniya po izucheniyu primeniya NRV v meditsine, veterinarii i zhivotnovodstve, Baku, 22-24 oktyabrya 1968 g.* [Materials of the Republican meeting on the study of the use of NRV in medicine, veterinary medicine and animal husbandry, Baku, October 22-24, 1968]. Baku, Academy of sciences of the Azerbaijan SSR, pp. 83-84.

11. Loeb (1909). *Die chemische Entwicklungserregung des tierischen Eies*. Berlin, Springer, 260 p.
12. Par, P.-F. Verhulst (1838). Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. *Correspondance Mathematique et Physique*. Paris, Leipzig, vol. X, pp. 113-121.
13. Lazarev, P.P. (1933). O vese tela zhivykh sushchestv v svyazi s teoriei bor'by za sushchestvovanie Vito Vol'terra [On the body weight of living beings, in connection with the theory of the struggle for the existence of Vito Volterra]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the Academy of sciences of the USSR], no. 5, pp. 60-63.
14. Schmalhausen, I. (1926). Die embryonale Wachstumskurve des Hühchens. *Roux Archiv für Entw., Mech.*, st. 108-128.
15. Shmal'gauzen, I.I. (1928). O zakonomernostyakh rosta u zhivotnykh [On the patterns of growth in animals]. *Priroda*, no. 12, pp. 3-8.
16. Vinberg, G.G. (1966). Skorost' rosta i intensivnost' obmena u zhivotnykh [Growth rate and metabolic rate in animals]. *Uspekhi sovremennoi biologii*, vol. 61, issue 2, pp. 35-43.
17. Poletaev, I.A. (1980). O forme rosta Shmal'gauzena [About the form of growth of Schmalhausen]. *Izvestiya SO AN SSSR, series Biology*, vol. 5, no. 1, pp. 3-9.
18. Sent-Il'er, K. (1935). Gistologiya rosta [Histology of growth]. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in modern biology], vol. IV, issue 6, pp. 455-468.
19. Brodskii, V.Ya. (1964). Pryamoe delenie yadra [Direct nuclear fission]. *Uspekhi sovremennoi biologii* [Advances in modern biology], vol. 58, issue 3 (6), pp. 367-394.
20. Khanin, M.A., Dorfman, N.A. (1973). Ehvolyutsionnaya matematicheskaya teoriya rosta [Evolutionary mathematical theory of growth]. *Zhurnal obshchei biologii* [Journal of general biology], vol. 34, no. 2, pp. 294-304.
21. Khanin, M.A., Dorfman, N.A. (1973). Matematicheskaya model' rosta, osnovannaya na ehvolyutsionnom ehkstrema'nom printsipe [A mathematical model of growth based on the evolutionary extremal principle]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the Academy of sciences of the USSR], vol. 212, no. 3, pp. 743-746.

#### Информация об авторах:

**Юрина Наталья Александровна**, доктор сельскохозяйственных наук, заведующая отделом кормления и физиологии сельскохозяйственных животных, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2684-5020>, [naden8277@mail.ru](mailto:naden8277@mail.ru)

**Власов Артем Борисович**, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела кормления и физиологии сельскохозяйственных животных, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4828-8886>, [vlasov.sir@yandex.ru](mailto:vlasov.sir@yandex.ru)

**Хорин Борис Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела кормления и физиологии сельскохозяйственных животных, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3759-6499>, [naden8277@mail.ru](mailto:naden8277@mail.ru)

**Юрин Денис Анатольевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель отдела технологии животноводства, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1517-4858>, [4806144@mail.ru](mailto:4806144@mail.ru)

**Скамарохова Александра Сергеевна**, научный сотрудник отдела кормления и физиологии сельскохозяйственных животных, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6821-429X>, [rskamarokhov@mail.ru](mailto:rskamarokhov@mail.ru)

**Григулецкий Владимир Георгиевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики, [vgv-tnc@mail.ru](mailto:vgv-tnc@mail.ru)

#### Information about the authors:

**Natalya A. Yurina**, doctor of agricultural sciences, head of the department of feeding and physiology of farm animals, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2684-5020>, [naden8277@mail.ru](mailto:naden8277@mail.ru)

**Artem B. Vlasov**, candidate of agricultural sciences, senior researcher of the department of feeding and physiology of farm animals, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4828-8886>, [vlasov.sir@yandex.ru](mailto:vlasov.sir@yandex.ru)

**Boris V. Khorin**, candidate of agricultural sciences, researcher of the department of feeding and physiology of farm animals, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3759-6499>, [naden8277@mail.ru](mailto:naden8277@mail.ru)

**Denis A. Yurin**, candidate of agricultural sciences, head of the department of livestock technology, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1517-4858>, [4806144@mail.ru](mailto:4806144@mail.ru)

**Aleksandra S. Skamarokhova**, researcher of the department of feeding and physiology of farm animals, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6821-429X>, [rskamarokhov@mail.ru](mailto:rskamarokhov@mail.ru)

**Vladimir G. Griguletskiy**, doctor of technical sciences, professor, head of the department of higher mathematics, [vgv-tnc@mail.ru](mailto:vgv-tnc@mail.ru)

✉ [vgv-tnc@mail.ru](mailto:vgv-tnc@mail.ru)

**Издательство «Электронная наука»** выпускает научные журналы на русском и английском языках.

Нам доверяют авторы по всему миру. Количество наших читателей, в том числе и в Интернете, более **55 тысяч** человек ежемесячно.

Наши партнеры:

