

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

ХЛЮПИН СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

ТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ

**Эффективность использования полнорационных комбикормов с разным
уровнем протеиновой питательности в кормлении монгольских песчанок**

Специальность:

4.2.4 – Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления
кормов и производства продукции животноводства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

Кандидат биологических наук,

доцент

Ксенофонтова Анжелика Александровна

Москва, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	20
1.1. Биологическая характеристика монгольской песчанки (<i>Meriones unguiculatus</i>)	20
1.2. Распространение, экология и адаптационные особенности монгольской песчанки (<i>Meriones unguiculatus</i>)	23
1.3. Морфофизиологические особенности, обмен веществ и физиология питания монгольской песчанки	26
1.4. Современные подходы к кормлению лабораторных грызунов и монгольской песчанки	38
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
2.1. Определение химического состава натурального рациона монгольской песчанки	51
2.2. Разработка рецептуры полнорационного комбикорма	52
2.3. Изготовление опытной партии и анализ химического состава полнорационного комбикорма	53
2.4. Разработка кормушек и экспериментальных клеток	54
2.5. Постановка научно-хозяйственного и балансового опытов	56
2.6. Проведение лабораторных исследований крови, кала и мочи	58
2.7. Оценка репродуктивного успеха и показателей роста монгольских песчанок	59
3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	62
3.1. Химический состав натурального рациона и полнорационных комбикормов	62
3.2 Производство комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% и	

совершенствование способов их подачи к скармливанию.....	64
3.3. Динамика живой массы монгольских песчанок.....	68
3.4. Проведение балансового опыта	73
3.5. Оценка видового состава фекальной микробиоты монгольских песчанок	84
3.6. Биохимические показатели крови монгольских песчанок.....	89
3.7. Оценка развития второго поколения монгольских песчанок.....	113
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНОВ	118
5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	134
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	135
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	136
ПРИЛОЖЕНИЯ	158
Приложение А.....	158
Приложение Б	161

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Современное развитие экспериментальной биологии, ветеринарной медицины и биомедицинских технологий невозможно без использования адекватных лабораторных моделей, позволяющих воспроизводить физиологические и патологические процессы, протекающие в организме человека и животных. На протяжении многих десятилетий основными видами лабораторных животных являются мыши (*Mus musculus*) и крысы (*Rattus norvegicus*), однако расширение спектра научных исследований обусловило необходимость поиска альтернативных экспериментальных моделей, обладающих специфическими биологическими особенностями и позволяющих более полно воспроизводить отдельные патологические состояния. Одним из наиболее перспективных объектов современной лабораторной практики является монгольская песчанка (*Meriones unguiculatus*, Milne-Edwards, 1867), интерес к которой неуклонно возрастает как в фундаментальной, так и в прикладной науке (Harkness, Wagner, 1989; Scheibler, Waiblinger, 2019; Ruiz et al., 2023; Рыбакова, 2017; ГОСТ 33215-2014; ГОСТ 33216-2014).

Монгольская песчанка относится к семейству *Muridae* и является типичным представителем грызунов, эволюционно сформировавшихся в условиях пустынных и полупустынных экосистем Центральной Азии. Естественный ареал вида охватывает территории Монголии, северных районов Китая и южной части Сибири, характеризующиеся резко континентальным климатом, значительными сезонными колебаниями температуры, низкой относительной влажностью воздуха и ограниченной доступностью питьевой воды. В процессе эволюции у животных сформировался комплекс морфологических и физиологических адаптаций, обеспечивающих эффективное использование водных ресурсов, высокую устойчивость к обезвоживанию и способность поддерживать постоянство внутренней среды организма в экстремальных условиях существования (Володин и др., 1996; Scheibler, Waiblinger, 2019).

Благодаря указанным особенностям монгольские песчанки широко используются в качестве лабораторной модели при изучении физиологических и патологических процессов, протекающих в организме (Coles, 1986). Наиболее интенсивно данный вид применяется при исследованиях церебральной ишемии, эпилепсии, нарушений мозгового кровообращения, заболеваний желудочно-кишечного тракта, онкологических процессов, инфекционной патологии, репродуктивной биологии и фармакологии. (Щербак и др., 2011; Ikeno et al., 1999; Cheal, 1983) Существенное значение имеет также использование песчанок при моделировании возрастных изменений организма, оценке токсичности лекарственных препаратов и изучении механизмов адаптации к воздействию различных факторов внешней среды (Рыбакова, Макарова, 2015; Ruiz et al., 2023; High susceptibility of Mongolian gerbil..., 1999; Osorio et al., 1996; Serum activity..., 2009; Modeling human listeriosis..., 2009).

Одной из причин столь широкого распространения монгольских песчанок в экспериментальной практике является сочетание биологических особенностей, благоприятных для лабораторного содержания. Животные отличаются спокойным темпераментом, сравнительно небольшими размерами, высокой воспроизводительной способностью, быстрым ростом молодняка, устойчивостью к большинству стандартных условий содержания и выраженной социальной организацией. В отличие от многих других лабораторных грызунов, песчанки образуют устойчивые семейные группы, характеризуются выраженным участием самцов в выращивании потомства и относительно низким уровнем внутривидовой агрессии, что существенно облегчает формирование экспериментальных групп и снижает уровень стрессового воздействия на животных (Heatley, Harris, 2009; Scheibler, Waiblinger, 2019).

В последние годы значительно возрос интерес к вопросам стандартизации условий содержания лабораторных животных (The IACUC Handbook, 2014; Directive 2010/63/EU...; Comfortable Quarters for Laboratory..., 2015). Современная концепция надлежащей лабораторной практики предусматривает создание одинаковых условий содержания экспериментальных животных, исключаящих

влияние неконтролируемых факторов на результаты исследований (Percie du Sert et al., 2020). Одним из важнейших элементов стандартизации является полноценное и физиологически обоснованное кормление лабораторных животных, обеспечивающее поддержание оптимального функционального состояния организма, нормальное течение обменных процессов и высокую воспроизводимость экспериментальных данных (Liu, Wang, 2007). Международные нормативные документы рассматривают рациональное кормление как обязательное условие обеспечения благополучия лабораторных животных и получения достоверных результатов биомедицинских исследований.

Несмотря на широкое использование монгольских песчанок в научных исследованиях, вопросы их полноценного кормления разработаны значительно хуже, чем аналогичные аспекты содержания лабораторных мышей и крыс. Большинство существующих рекомендаций основано либо на исследованиях, выполненных во второй половине XX века, либо на экстраполяции данных, полученных для других видов лабораторных грызунов. (Fuller, 2004) Между тем физиологические особенности *Meriones unguiculatus*, обусловленные адаптацией к аридным условиям существования, позволяют предполагать наличие специфических потребностей в отдельных питательных веществах, прежде всего в белке, незаменимых жирных кислотах, минеральных веществах и витаминах. Это подтверждается результатами экспериментальных исследований, посвящённых разработке полусинтетических рационов, изучению белкового обмена и определению потребности животных в отдельных компонентах питания (Zeman, 1967; Harriman, 1969; Chu, Hegsted, 1981).

Особое значение имеет уровень белковой обеспеченности рационов. Белки являются основным пластическим материалом организма, определяют интенсивность роста и развития животных, участвуют в синтезе ферментов, гормонов, транспортных белков и иммунокомпетентных молекул, обеспечивают процессы регенерации тканей и поддержание постоянства внутренней среды организма. Изменение уровня белка в рационе сопровождается перестройкой обменных процессов, изменением темпов роста и развития, активности

ферментных систем и функционального состояния внутренних органов (Boualga, 2000). Вместе с тем, сведения о влиянии различных уровней белкового питания на физиологическое состояние монгольских песчанок в отечественной литературе представлены крайне ограниченно, а комплексные исследования, посвящённые оценке показателей роста и развития и биохимических показателей крови при использовании специализированных комбикормов, практически отсутствуют.

В настоящее время на отечественном рынке отсутствуют специализированные полнорационные комбикорма промышленного производства, предназначенные для кормления монгольских песчанок. В большинстве научно-исследовательских учреждений используются универсальные комбикорма для лабораторных мышей и крыс, либо кормовые смеси собственного приготовления, состав которых значительно варьирует и не всегда соответствует физиологическим потребностям животных данного вида. Использование неспециализированных рационов может сопровождаться изменением интенсивности обмена веществ, снижением воспроизводимости экспериментальных исследований и увеличением вариабельности изучаемых показателей.

В современной экспериментальной физиологии критериями оценки полноценности кормления служат показатели роста и развития и биохимические показатели крови (Gattermann, 1979; Lowry et al., 1951; Schalm's Veterinary Hematology, 2010). Динамика показателей живой массы и темпы роста характеризуют развитие животных; изменения концентрации общего белка, альбуминов, мочевины, креатинина, глюкозы, активности ферментов и других биохимических показателей отражают функциональное состояние организма, интенсивность обменных процессов и позволяют выявить ранние признаки нарушения питания ещё до появления выраженных клинических симптомов. Для монгольских песчанок нормативные значения ряда биохимических показателей до настоящего времени изучены недостаточно, что дополнительно подчёркивает актуальность подобных исследований (Dillon, Glomski, 1975).

Применение натуральных кормов и многокомпонентных кормовых смесей при лабораторном содержании монгольских песчанок связано с рядом

практических затруднений. Избирательное поедание отдельных компонентов (сепарирование корма) изменяет фактически потребляемое животными соотношение питательных веществ и затрудняет оценку полноценности рациона (Effects of physical attributes..., 2013; Feed preference and feeding behavior..., 2022; Food preference strategy of four sympatric..., 2023; Grant-Hoffman, 2010). Скоропортящиеся компоненты требуют более частого удаления остатков и уборки клеток; часть предложенного корма остается несъеденной либо загрязняется, что увеличивает долю кормовых отходов. Различия в составе исходных продуктов и избирательность их потребления затрудняют обеспечение сбалансированного кормления и стандартизацию условий эксперимента. Это дополнительно обосновывает разработку полнорационного комбикорма с контролируемым химическим составом для данного вида.

Таким образом, разработка специализированных полнорационных гранулированных комбикормов для монгольских песчанок, изучение влияния различного уровня белковой питательности рационов на показатели роста, биохимический статус крови, переваримость питательных веществ и состав фекальной микробиоты животных, позволят обосновать рецепт и технологию приготовления специализированного комбикорма, а также стандартизировать рационы монгольских песчанок.

Полученные результаты позволят научно обосновать оптимальные параметры белкового питания *Meriones unguiculatus*, повысить эффективность содержания лабораторных популяций данного вида и обеспечить стандартизацию условий проведения биомедицинских исследований.

Степень разработанности темы исследования. Изучение монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*) как лабораторного животного продолжается более шестидесяти лет. За этот период накоплен значительный объем сведений, касающихся биологии вида, физиологических особенностей, поведения, репродуктивной функции, а также использования песчанок в качестве экспериментальной модели при исследовании различных патологических процессов. Вместе с тем анализ отечественной и зарубежной литературы

показывает, что вопросы, связанные с научным обоснованием рационов кормления данного вида, до настоящего времени разработаны недостаточно полно (Самохвалова, 1984).

Первые фундаментальные исследования были посвящены биологии, систематическому положению и экологическим особенностям представителей подсемейства Gerbillinae. За последние десятилетия был внесен существенный вклад в изучение морфологии, поведения и физиологии монгольских песчанок (Norris, Adams, 1972, 1982; Roper, Polioudakis, 1977; Wagner, Farrar, 1987; Harkness, Wagner, 1989; Володин и соавт. 1996; Ding et al., 2018; Donnelly, 2015; Electrophoretic study of lactate dehydrogenase..., 1996). В указанных работах подробно рассмотрены вопросы морфологии животных, репродуктивной биологии, социального поведения, содержания в условиях вивариев и формирования лабораторных популяций (Neumann et al., 2001).

В последующие годы значительно расширились исследования, посвященные использованию монгольских песчанок в качестве экспериментальной модели. Установлено, что анатомические особенности сосудистой системы головного мозга обуславливают высокую чувствительность животных к ишемическому повреждению нервной ткани, благодаря чему данный вид получил широкое распространение в нейробиологических исследованиях (Harkness, Wagner, 1989; Heatley, Harris, 2009). Кроме того, песчанки успешно применяются при моделировании эпилепсии, воспалительных заболеваний желудочно-кишечного тракта, язвенной болезни, инфекционной патологии, опухолевых процессов, нарушений репродуктивной функции, биохимических исследованиях и возрастных изменений организма (Рыбакова, Макарова, 2015; Bertorelli et al., 1995; Ruiz et al., 2023; Chambers et al., 2024; Ley et al., 2006; Reitman, Frankel, 1957; Turnbaugh et al., 2007; Lee et al., 1998; Noto et al., 2016; Khakisahneh et al., 2019; Establishment and characterization of..., 2016; Evaluation of oxidative stress, hematological..., 2015; Molecular and structural changes related..., 2017; Phytosterols, Cholesterol Control..., 2021).

Особое направление исследований связано с изучением физиологии питания монгольских песчанок, за последние десятилетия была заложена основа современных представлений о потребностях животных в энергии, белке, воде и незаменимых жирных кислотах (Zeman 1967; Harriman 1969; Chu, Hegsted, 1981). Позднее отдельные аспекты энергетического обмена, терморегуляции и пищевого поведения песчанок были рассмотрены в исследованиях Володина и соавт. (1996), а также в работах, посвященных разработке специализированных рационов для лабораторного содержания животных и космических биологических экспериментов (Солдатов и др., 2008; Ильин и др., 2009; Шахматова и др., 2009; Солдатов и др., 2009).

Несмотря на значительное количество публикаций, большинство исследований посвящено отдельным аспектам физиологии питания или особенностям содержания животных (Nutrient Requirements of Laboratory Animals, 1995; Nutrient Requirements of the Laboratory Rat, 1995; Otken et al., 1984; Waiblinger, König, 2004; Carbone, 2019). Вопросы комплексной оценки влияния уровня белковой обеспеченности рационов на показатели роста, биохимические показатели крови, переваримость питательных веществ и состав фекальной микробиоты монгольских песчанок изучены недостаточно. Отсутствуют также рекомендации по использованию специализированных полнорационных комбикормов отечественного производства для данного вида лабораторных животных.

Следовательно, существующие научные данные свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований, направленных на совершенствование системы кормления монгольских песчанок, разработку полнорационных комбикормов и оценку их влияния на физиологическое состояние животных.

Цель и задачи исследования. Целью исследования явилась разработка рецептов полнорационных комбикормов с разным уровнем сырого протеина и оценка эффективности их использования в кормлении модельных животных на примере монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*).

Задачи исследования:

1. Разработать рецепты полнорационных комбикормов с разным уровнем протеиновой питательности, предназначенные для кормления монгольских песчанок.

2. Изучить динамику массы тела животных при использовании комбикормов с различным содержанием сырого протеина.

3. Исследовать биохимические показатели крови животных и оценить особенности белкового, углеводного и липидного обменов при разном уровне протеинового питания.

4. Определить переваримость питательных веществ и баланс азота у монгольских песчанок при использовании разработанных комбикормов с разным содержанием сырого протеина.

5. Изучить влияние уровня протеиновой обеспеченности на состав фекальной микробиоты монгольских песчанок.

6. Провести оценку показателей плодовитости монгольских песчанок при использовании разработанных кормов с разной концентрацией сырого протеина.

7. Установить влияние уровня протеиновой питательности полнорационных комбикормов на показатели роста молодняка монгольских песчанок.

8. Оценить экономическую эффективность использования полнорационных комбикормов с разной протеиновой питательностью в кормлении монгольских песчанок.

Анализ современного состояния проблемы и обоснование направления исследования. Несмотря на значительный объем исследований, посвященных биологии, физиологии и лабораторному использованию монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*), анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о наличии ряда нерешенных вопросов, касающихся организации полноценного кормления животных данного вида. Большинство опубликованных работ посвящено изучению отдельных физиологических особенностей песчанок, моделированию различных патологических процессов либо совершенствованию методов содержания лабораторных животных (Carpenter's exotic animal..., 2023). В то же время исследования, направленные на научное обоснование состава

полнорационных комбикормов и оценку их влияния на обмен веществ животных, представлены значительно меньшим количеством публикаций (Zeman, 1967; Harriman, 1969; Chu, Hegsted, 1981; Harkness, Wagner, 1989).

Особого внимания заслуживает вопрос белкового питания монгольских песчанок. Белок является одним из основных факторов, определяющих интенсивность роста, скорость обновления тканей, функциональную активность ферментных систем, синтез гормонов и иммунокомпетентных белков. Вместе с тем в литературе отсутствует единая точка зрения относительно оптимального содержания сырого протеина в рационе *Meriones unguiculatus*. Ранние исследования были направлены преимущественно на создание полусинтетических экспериментальных рационов, обеспечивающих возможность стандартизации условий биологических исследований (Zeman, 1967). В дальнейшем была установлена взаимосвязь между уровнем белкового питания, потреблением корма и воды, показав, что изменение состава рациона сопровождается перестройкой обменных процессов (Harriman, 1969). В процессе исследования потребности песчанок в незаменимых жирных кислотах было отмечено, что эффективность использования отдельных компонентов рациона тесно связана со сбалансированным питанием (Chu, Hegsted, 1981).

Следует отметить, что большинство опубликованных исследований выполнено более тридцати лет назад и не учитывает современные подходы к нормированию кормления лабораторных животных. Кроме того, значительная часть рекомендаций по кормлению монгольских песчанок основана на экстраполяции данных, полученных при исследованиях лабораторных мышей и крыс. Однако, физиологические особенности данного вида животных, сформировавшиеся в процессе эволюционной адаптации к аридным условиям обитания, существенно отличают данный вид от других лабораторных грызунов. Уникальная способность к экономии воды, особенности энергетического обмена, пищевого поведения и функционирования пищеварительной системы позволяют предполагать наличие специфических потребностей в отдельных питательных

веществах, прежде всего в белке, липидах и минеральных элементах (Володин и др., 1996; Heatley, Harris, 2009; Scheibler, Waiblinger, 2019).

Не менее важной остается проблема оценки физиологического состояния животных при использовании различных рационов. В современной экспериментальной биологии общепризнано, что наиболее объективную информацию о полноценности питания позволяют получить биохимические показатели крови. Изменение концентрации общего белка, альбуминов, мочевины, креатинина, глюкозы, активности аминотрансфераз и других ферментов отражает интенсивность обменных процессов и функциональное состояние внутренних органов значительно раньше появления клинических признаков нарушения питания (Dillon, Glomski, 1975; Wu, 2009). Однако опубликованные сведения о референсных значениях биохимических показателей крови монгольских песчанок немногочисленны, а результаты различных авторов нередко существенно различаются, что может быть обусловлено различиями в возрасте животных, условиях содержания, составе рационов и применяемых методиках исследования.

В последние годы вопросам стандартизации условий содержания лабораторных животных уделяется повышенное внимание (Waiblinger, 2002; Guillen, 2012). Согласно современным международным требованиям, воспроизводимость результатов биомедицинских исследований во многом определяется стабильностью условий содержания экспериментальных животных, среди которых кормление занимает одно из ведущих мест (National Research Council, 2011; The Welfare of Laboratory Animals, 2007). Использование рационов с неопределенным химическим составом или различной питательной ценностью способно оказывать влияние на скорость роста животных, показатели иммунитета, репродуктивную функцию, биохимические характеристики крови и, как следствие, снижать достоверность экспериментальных данных.

Дополнительную актуальность рассматриваемой проблеме придает отсутствие в Российской Федерации полнорационных комбикормов промышленного производства для монгольских песчанок. В большинстве отечественных научных учреждений используются комбикорма, разработанные для

лабораторных мышей и крыс, либо кормовые смеси собственного приготовления. Подобная практика не позволяет предоставлять для животных полноценное сбалансированное питание и затрудняет сопоставление результатов исследований, выполненных в различных научных организациях.

Таким образом, проведенный анализ отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о том, что в настоящее время отсутствуют комплексные исследования, посвященные оценке влияния различного уровня белковой питательности полнорационных комбикормов на биохимические показатели крови монгольских песчанок. Для комплексной оценки разработанных комбикормов необходимы также данные о росте и развитии животных, включая динамику живой массы при различном уровне содержания сырого протеина в рационе. Недостаточная изученность данного вопроса, отсутствие научно обоснованных рекомендаций по использованию комбикормов отечественного производства и необходимость совершенствования технологий содержания лабораторных животных определили выбор направления настоящего исследования.

Теоретическая и практическая значимость исследования. Теоретическая значимость настоящего исследования заключается в расширении существующих представлений о физиологии питания монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*), особенностях обмена веществ при различных уровнях белкового обеспечения организма и механизмах адаптации лабораторных животных к изменению состава рационов. Полученные результаты дополняют имеющиеся сведения о биохимических показателях крови данного вида и позволяют уточнить влияние уровня сырого протеина в полнорационных комбикормах на функциональное состояние организма животных. Оценка переваримости питательных веществ позволяет охарактеризовать использование компонентов разработанных рационов, а данные о балансе азота – особенности белкового обмена при различной обеспеченности животных протеином. Состав фекальной микробиоты животных может служить неинвазивным индикатором, характеризующим сбалансированность протеиновой питательности рациона.

В настоящее время сведения о физиологических потребностях монгольских песчанок значительно уступают объему данных, накопленных для лабораторных мышей и крыс (National Research Council, 2011; Harkness, Wagner, 1989; Basic Animal Nutrition and Feeding, 2005). Это обуславливает необходимость проведения специальных исследований, направленных на изучение особенностей белкового, липидного и углеводного обменов у монгольских песчанок. Полученные в настоящей работе результаты позволяют дополнить современные представления о влиянии уровня белкового питания на показатели плодовитости, процессы роста, обмен веществ и состав фекальной микробиоты у представителей данного вида. Сопоставление переваримости питательных веществ и баланса азота с показателями роста и состояния животных дает более полное представление о соответствии химического состава комбикормов их потребностям.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования полученных результатов при разработке полнорационных комбикормов для монгольских песчанок в условиях вивариев, в научно-исследовательских организациях и в коллекциях зоопарков. Научно обоснованный выбор уровня белковой питательности рационов позволит обеспечить физиологические потребности животных, повысить воспроизводимость экспериментальных исследований и снизить влияние кормового фактора на вариабельность изучаемых показателей.

Полученные данные могут быть использованы при совершенствовании технологий содержания лабораторных животных в научно-исследовательских учреждениях, биомедицинских центрах и учебных организациях, а также при разработке нормативной документации на специализированные комбикорма для монгольских песчанок (Clark et al., 1997; Tannenbaum, Bennett, 2015; ARRIVE Guidelines 2.0, 2020). Кроме того, результаты исследования могут найти практическое применение при разведении монгольских песчанок в условиях питомников, зоологических коллекций и центров разведения лабораторных животных (Heatley, Harris, 2009; Scheibler, Waiblinger, 2019).

Использование разработанных комбикормов позволит обеспечить стабильные условия кормления лабораторных популяций изучаемого вида, повысить качество содержания животных и создать предпосылки для получения более точно воспроизводимых результатов при проведении физиологических, фармакологических, токсикологических и ветеринарных исследований.

Методология и методы исследования. Методологической основой работы послужили представления о физиологии питания и нормированном кормлении лабораторных животных. Объект исследования – монгольские песчанки (*Meriones unguiculatus*), предмет исследования – влияние разработанных полнорационных комбикормов с различным содержанием сырого протеина на показатели плодовитости, рост животных, переваримость питательных веществ, баланс азота, состав фекальной микробиоты и биохимические показатели крови животных. Используются зоотехнические, балансовые, биохимические и статистические методы (Biometry: the principles and practice of statistics..., 2012).

Научная новизна исследования. Впервые в практике отечественной зоотехнии лабораторных животных был разработан специализированный полноценный гранулированный комбикорм для монгольских песчанок.

На основании комплексных экспериментальных исследований впервые дана сравнительная оценка влияния полнорационных комбикормов с различным уровнем протеиновой питательности на плодовитость и показатели роста животных, переваримость питательных веществ и баланс азота, состав фекальной микробиоты и биохимический статус крови, характеризующий интенсивность белкового, углеводного и липидного обменов у монгольских песчанок.

Полученные результаты расширяют современные представления о физиологии питания монгольской песчанки и могут служить научной основой для разработки отечественных полнорационных комбикормов, предназначенных для содержания данного вида животных в условиях вивариев, научно-исследовательских лабораторий и зоопарков.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Разработанные специализированные полнорационные комбикорма для монгольских песчанок содержат 16 и 19% сырого протеина.
2. Комбикорм с уровнем сырого протеина 16% характеризуется лучшей механической прочностью гранул.
3. Полнорационный комбикорм с уровнем сырого протеина 16% обеспечивает лучшие показатели плодовитости и роста у монгольских песчанок.
4. При использовании комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% повышается переваримость сырого протеина и сырого жира. Полнорационный комбикорм, содержащий 16% сырого протеина способствовал максимальной эффективности удержания азота от принятого с кормом (63%) при минимальном значении выделенного с мочой (22%).
5. Показано, что полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем сырого протеина 16% обеспечивает наиболее благоприятный метаболический статус монгольских песчанок, большинство изученных параметров находятся в пределах или наиболее близко к опубликованным референсным значениям.
6. Использование полнорационного гранулированного комбикорма с уровнем сырого протеина 16% в кормлении монгольских песчанок обеспечило формирование наиболее оптимального состава фекальной микробиоты.
7. Затраты на корма (на 1 голову в сутки) составили 3,22 руб. при использовании натуральных кормов; 0,78 руб. и 0,91 руб. – при использовании комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% соответственно.

Степень достоверности и апробация результатов. Материалы, выводы и предложения производству, перспективы дальнейшей разработки темы, изложенные в диссертации, базируются на исследованиях, проведенных на достаточном количестве животных с применением современных, апробированных методик и с биометрической обработкой полученных результатов.

Полученные в ходе экспериментальных исследований цифровой материал, научные положения, выводы и предложения производству, отраженные в диссертационной работе, опираются на современные методы и методики

исследований. Степень их достоверности доказана биометрической обработкой исходного материала.

Основные материалы и результаты научного исследования доложены, обсуждены, получили положительные отзывы на конференциях:

- в рамках Международного научного симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения выдающегося ученого в области зоотехнии академика Е. Ф. Лискуна «Достижения зоотехнической науки в решении актуальных задач животноводства и аквакультуры» (г. Москва, 2023 г.);

- в рамках Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А. Я. Миловича (г. Москва, 2024 г.);

- в рамках Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии (г. Москва, 2025 г.);

- в рамках Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся (г. Санкт-Петербург, 2025 г.).

Личный вклад соискателя. Автором, овладевшим методиками исследований, были организованы и проведены научный опыт и производственная проверка; проанализированы полученные результаты, систематизированные с последующим логическим анализом; сделаны выводы и сформулированы предложения производству; подготовлены научные публикации, апробированные на конференциях различного уровня; выполнены все разделы диссертационной работы.

Публикации результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликованы 6 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Министерством образования и науки РФ.

Объём и структура диссертации. Диссертационная работа включает в себя: введение, обзор литературы, материалы и методику исследований, данные производственной апробации, обсуждение результатов исследования, выводы, предложения производству, формулировку перспектив дальнейших исследований,

библиографический список, приложения. Диссертационная работа изложена на 162 страницах машинописного текста, содержит 26 рисунков, 19 таблиц и 2 приложения. Библиографический список включает в себя 199 источников, в том числе 145 источников – на иностранных языках.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Биологическая характеристика монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*)

Монгольская песчанка (*Meriones unguiculatus* Milne-Edwards, 1867) относится к подсемейству Gerbillinae семейства Muridae отряда Rodentia (Павлинов, Россолимо, 1987), (рисунок 1). Благодаря своим биологическим, физиологическим и поведенческим особенностям вид широко используется в физиологии, фармакологии, токсикологии, нейробиологии, гастроэнтерологии, репродуктивной биологии и ветеринарной медицине (Павлинов, 2006; Norris, Adams, 1972; Harkness, Wagner, 1989; Meyer, Harvey, 2004; La Frano et al., 2020; Ruiz et al., 2023; Glucagon and insulin responses..., 2008).



Рисунок 1 – Монгольская песчанка (*Meriones unguiculatus*)

Род *Meriones* включает более сорока видов, распространённых преимущественно в аридных и полупустынных районах Северной Африки, Передней и Центральной Азии (Ралль, 1939; Batsaikhan, Tsytsulina, 2016; Liu et al., 2009). Монгольская песчанка особенно удобна для лабораторного содержания благодаря высокой плодовитости, спокойному темпераменту, короткому репродуктивному циклу и способности адаптироваться к искусственной среде (Володин и др., 1996; Scheibler, Waiblinger, 2019).

Лабораторное разведение вида началось в середине XX века с животных, отловленных в Восточной Монголии и доставленных в Японию. Впоследствии колонии были созданы в США и Европе, что способствовало распространению песчанок в биомедицинских исследованиях (Harkness, Wagner, 1989; Heatley, Harris, 2009). В настоящее время они относятся к наиболее востребованным экспериментальным моделям после мышей и крыс (Ruiz et al., 2023).

Длина тела взрослых животных составляет 10–13 см, а хвост обычно равен длине туловища или несколько превышает её. Масса зависит от пола, возраста, кормления и условий содержания. Обычно половозрелые особи весят 52–60 г, однако при полноценном лабораторном кормлении их масса может превышать 80 г (Norris, Adams, 1972; Heatley, Harris, 2009).

Длинный опушённый хвост с кисточкой участвует в поддержании равновесия и внутривидовой коммуникации. Его кожа сравнительно легко отделяется при травме, что рассматривается как защитный механизм при нападении хищника (Norris, Adams, 1972; Harkness, Wagner, 1989). Природная окраска шерсти преимущественно рыжевато-песочная или красновато-бурая со светлым брюшком и обеспечивает маскировку. В лабораторных популяциях выведены чёрные, белые, серые, серебристые, пятнистые и гималайские цветовые формы (Heatley, Harris, 2009).

Череп песчанки характеризуется укороченным лицевым отделом, крупной мозговой коробкой и развитыми слуховыми буллами, повышающими чувствительность к слабым звукам (Roper, Polioudakis, 1977). Крупные латерально расположенные глаза обеспечивают широкий обзор и соответствуют преимущественно сумеречной активности животных (Alderton, 1996; Batchelder et al., 2012).

Задние конечности длиннее передних и обладают развитой мускулатурой, благодаря чему животные способны передвигаться прыжками. Покрытые шерстью подошвы облегчают движение по песку и защищают кожу от перегретой почвы (Roper, Polioudakis, 1977). Передние конечности используются для рытья, удержания пищи и груминга.

Половой диморфизм наиболее заметен у взрослых особей (рисунок 2). Самцы обычно крупнее самок, имеют большее аногенитальное расстояние и выраженную вентральную пахучую железу. Семенники половозрелых самцов расположены вне брюшной полости. У самок имеются четыре пары молочных желёз, а отверстие мочеиспускательного канала находится краниальнее входа во влагалище (Wagner, Farrar, 1987; Heatley, Harris, 2009).



Рисунок 2 – Половой диморфизм у песчанок

Вентральная пахучая железа располагается по средней линии живота и участвует в маркировке территории, распознавании членов группы и регуляции репродуктивного поведения. Её активность усиливается в период полового созревания и зависит от уровня половых гормонов, поэтому железа представляет интерес для эндокринологических исследований (Harkness, Wagner, 1989; Скурат, 1972).

В природе песчанки обычно живут два–три года, а в лаборатории при стабильном микроклимате и полноценном кормлении – три–пять лет; отдельные особи доживают до шести лет и более (Володин и др., 1996; Heatley, Harris, 2009). Сочетание сравнительно продолжительной жизни и короткого репродуктивного цикла позволяет использовать вид в исследованиях старения и хронических заболеваний.

1.2. Распространение, экология и адаптационные особенности монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*)

Монгольская песчанка обитает в аридных и семиаридных районах Центральной Азии. Её ареал охватывает Монголию, северные и северо-восточные районы Китая, а также юг России, включая Забайкальский край, Бурятию и Тыву (Павлинов, 2006; Разнообразие млекопитающих, 2004; Handbook of the Mammals of the World, 2017; Громов, Ербаева, 1995, Каталог млекопитающих СССР, 1981) (рисунок 3).

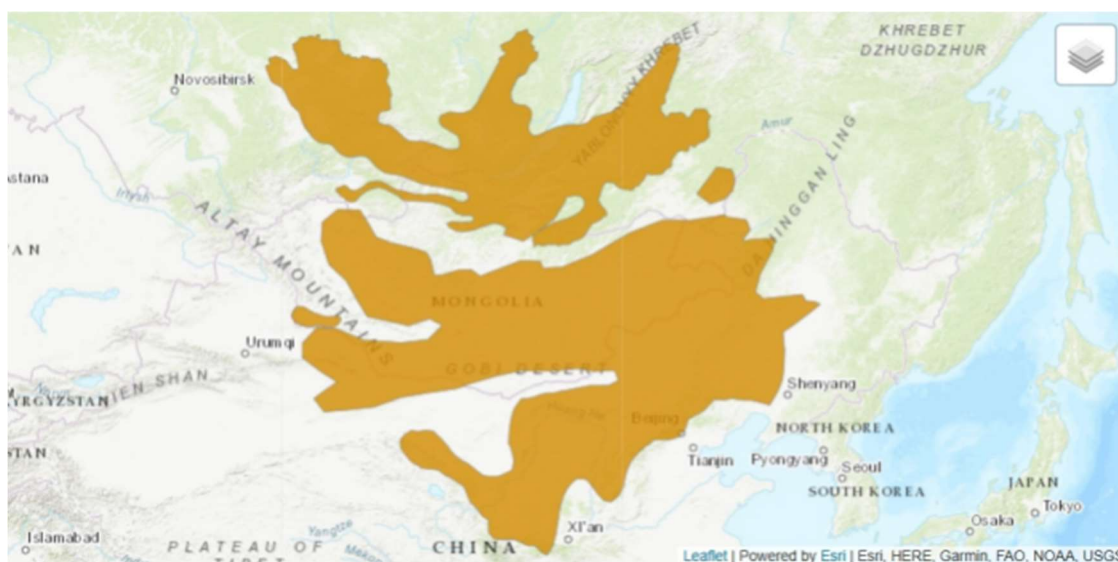


Рисунок 3 – Ареал обитания монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*)

По данным IUCN, вид относится к категории Least Concern, поскольку его популяции стабильны и не демонстрируют выраженного сокращения численности (Handbook of the Mammals of the World, 2017). При этом распределение животных имеет мозаичный характер и зависит от почв, растительности и кормовых ресурсов (Мокеева, 1950; Флинт, 1977).

Типичными местообитаниями являются песчаные и супесчаные степи, полупустыни, закреплённые пески, сухие речные долины и предгорья с разреженной ксерофитной растительностью (Corbet, Hill, 1992). Полностью лишённых растительности участков песчанки обычно избегают, предпочитая

территории с травянистым покровом (Банников, 1954; Соколов, Орлов, 1980; Володин и др., 1996). В Туве животные встречаются в межгорных котловинах и речных долинах на высоте до 2000 м, хотя наиболее благоприятными для них остаются сухие степи (Павлинов, 2006).

Важнейшей частью среды обитания являются разветвлённые норы с несколькими входами, жилыми и гнездовыми камерами и кладовыми (Володин и др., 1996) (рисунок 4). Гнездовые камеры располагаются на глубине 40-100 см, где температура и влажность стабильнее, чем на поверхности.

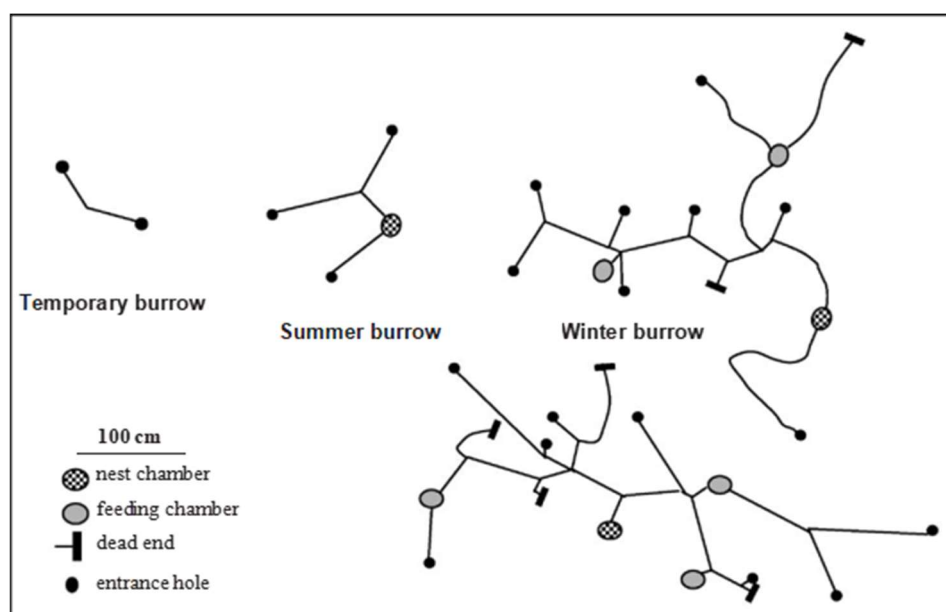


Рисунок 4 – Типы нор монгольских песчанок, вид сверху: временные, летние и сложные зимние норы

Норы защищают животных от хищников и экстремальных температур. Летом температура в жилых камерах может быть на 10-15 °C ниже, чем на поверхности почвы, а зимой – значительно выше наружной температуры воздуха (Володин и др., 1996).

В естественном ареале температура изменяется примерно от -40 °C зимой до +40 °C летом, а суточные перепады могут превышать 30 °C (Scheibler, Waiblinger, 2019). Такие условия способствовали развитию механизмов сохранения воды и поддержания гомеостаза.

Песчанки способны длительное время обходиться без свободной питьевой воды, получая её из растительных кормов и в результате окисления питательных веществ (Harriman, 1969; Bertorelli, 1995). Высокая концентрационная способность почек существенно снижает потери жидкости с мочой и является одной из основных адаптаций к пустынным условиям (Body water relations..., 1988; Мокеева, 1952).

Рацион животных изменяется в зависимости от сезона и включает семена, листья, молодые побеги, корневища и луковицы. (Драчикова и др., 2025). Дополнительным источником белка служат насекомые и другие мелкие беспозвоночные (Володин и др., 1996; Harkness, Wagner, 1989). В период созревания семян песчанки формируют запасы, масса которых в отдельных норах может достигать нескольких килограммов. Такое поведение обеспечивает переживание неблагоприятных сезонов (Володин и др., 1996; Свириденко, 1957; Ралль, 1939).

Монгольские песчанки образуют устойчивые семейные группы, состоящие из размножающейся пары и потомства нескольких поколений (Ågren, 1984; Scheibler, Waiblinger, 2019). Члены группы совместно защищают территорию и ухаживают за молодняком, причём самцы активно участвуют в выращивании потомства.

Социальные контакты включают груминг, совместный отдых, акустическую и химическую коммуникацию. Для маркировки территории и распознавания особей используются секреты вентральной железы, моча и фекалии (Harkness, Wagner, 1989; Heatley, Harris, 2009). Нарушение устойчивых связей, частая смена состава групп и одиночное содержание могут вызывать хронический стресс, гормональные изменения, снижение репродуктивной функции и нарушения поведения (Scheibler, Waiblinger, 2019).

Таким образом, особенности монгольской песчанки отражают её адаптацию к аридным экосистемам Центральной Азии. Экономия воды, устойчивость к температурным колебаниям, запасание корма, норный образ жизни и сложная социальная организация определяют ценность вида для изучения физиологии адаптации, обмена веществ и питания. Одновременно эти свойства необходимо

учитывать при разработке специализированных рационов и организации лабораторного содержания.

1.3. Морфофизиологические особенности, обмен веществ и физиология питания монгольской песчанки

Морфологические и физиологические особенности монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*) сформировались в результате длительной адаптации к аридным экосистемам Центральной Азии. Резкие температурные колебания, дефицит воды и сезонная нестабильность кормовой базы обусловили развитие механизмов, поддерживающих гомеостаз в неблагоприятных условиях (Володин и др., 1996; Scheibler, Waiblinger, 2019). Эти свойства отличают песчанку от традиционных лабораторных грызунов и определяют её ценность как экспериментальной модели.

Высокая удельная скорость метаболизма *M. unguiculatus* связана с относительно большой площадью поверхности тела и значительными теплотериями. Поддержание постоянной температуры обеспечивается активными окислительными процессами и быстрым изменением теплопродукции в зависимости от внешних условий (Zhang, Wang, 2007; Cannon, Nedergaard, 2004; Shi, Wang, 2016). При холодовой адаптации усиливаются основной обмен и несократительный термогенез, осуществляемый бурой жировой тканью и скелетной мускулатурой, одновременно возрастает потребление корма (Филатова, 1949; Мокеева, 1949; Трубицын, Щеглова, 1972; Broun adipose tissue plays..., 2019; Cannon, 2004).

Важнейшей адаптацией вида является эффективная регуляция водно-солевого обмена. В естественных условиях песчанки редко имеют постоянный доступ к питьевой воде и получают её преимущественно из растительных кормов и в процессе окисления питательных веществ (Harriman, 1969; Шмидт-Нильсен, 1982). Потери жидкости уменьшаются благодаря высокой концентрационной способности почек, выделению небольшого объёма концентрированной мочи и ограничению испарения через кожу и дыхательные пути. Особенности водного

обмена во многом определяют специфику питания и метаболизма данного вида (Мокеева, 1952; Harriman, 1969).

Строение пищеварительной системы также отражает приспособленность к потреблению семян, грубых растительных кормов и подземных органов растений. Желудочно-кишечный тракт *Meriones unguiculatus*, соответствуя общему плану строения семейства Muridae, обладает рядом морфофункциональных особенностей (Harkness, Wagner, 1989; Heatley, Harris, 2009).

В тонком кишечнике происходят ферментативный гидролиз и основное всасывание белков, липидов и углеводов. Толстый кишечник участвует в микробной ферментации растительных компонентов, реабсорбции воды и электролитов и формировании фекальных масс (National Research Council, 2011). Выраженная копрофагия обеспечивает дополнительное поступление витаминов группы В, витамина К, микробного белка и других продуктов деятельности кишечной микрофлоры, повышая эффективность использования питательных веществ и поддерживая азотистый баланс (Harkness, Wagner, 1989; National Research Council, 2011).

Белковый обмен отличается высокой интенсивностью и зависит от возраста, физиологического состояния и состава рациона. Белки обеспечивают организм аминокислотами, необходимыми для синтеза тканей, ферментов, гормонов, транспортных белков и иммуноглобулинов (Carbone et al., 2019). Их недостаток замедляет рост, нарушает кроветворение и репродуктивную функцию, тогда как избыток увеличивает образование азотистых метаболитов и нагрузку на печень и почки (Zeman, 1967; Harriman, 1969; Chu et al., 1981).

Монгольские песчанки способны эффективно использовать полусинтетические рационы при достаточном поступлении незаменимых аминокислот (Zeman, 1967). Уровень белка влияет на добровольное потребление корма и воды (Harriman, 1969; McManus, 1972.), а эффективность его использования зависит также от обеспеченности незаменимыми жирными кислотами (Chu, Hegsted, 1981). Следовательно, разработка полнорационных комбикормов требует

комплексного учёта белковых, липидных, энергетических и минеральных компонентов.

Таким образом, физиология монгольской песчанки отражает её приспособленность к дефициту влаги, температурным перепадам и сезонным изменениям питания (Steffen, Roberts, 1977). Экономное расходование воды и энергии сочетается с пластичностью метаболизма, эффективным пищеварением, концентрационной функцией почек и участием кишечной микробиоты в поддержании энергетического баланса (Володин и др., 1996; Harkness, Wagner, 1989; Scheibler, Waiblinger, 2019; Harriman, 1969; Шмидт-Ниельсен, 1982).

1.3.1. Особенности пищеварительной системы

Пищеварительная система монгольской песчанки в целом соответствует строению желудочно-кишечного тракта других представителей Muridae, но имеет особенности, связанные с естественным рационом (Grant, 2014; Handbook of Exotic Pet Medicine, 2020; Turner et al., 2025). Однокамерный желудок разделён на безжелезистый и железистый отделы: первый выполняет преимущественно резервуарную функцию, а во втором секретируются соляная кислота и пищеварительные ферменты (Harkness, Wagner, 1989; Heatley, Harris, 2009) (рисунок 5).

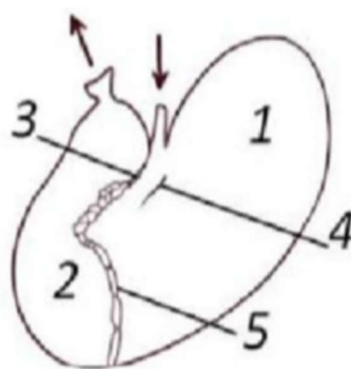


Рисунок 5 – Строение желудка песчанки: 1 – кератинизированная часть желудка; 2 – железистая часть; 3 – угловая складка; 4 – пищеводная складка; 5 – пограничная складка (Schendel, Wissdorf, 1973)

Основной гидролиз белков, липидов и углеводов осуществляется в тонком кишечнике под действием ферментов поджелудочной железы и кишечного сока. Продукты переваривания всасываются преимущественно в двенадцатиперстной и тощей кишке. Особое значение имеют переносчики аминокислот, ди- и трипептидов, от активности которых зависят полноценность белкового питания и интенсивность анаболических процессов (Хакимов, 1985).

Толстый кишечник обеспечивает реабсорбцию воды, формирование каловых масс и ферментацию трудноперевариваемых растительных компонентов. Кишечная микробиота участвует в метаболизме азотистых соединений, синтезе витаминов группы В и короткоцепочечных жирных кислот, а также влияет на иммунную систему и энергетический обмен. (Sommer, Bäckhed, 2013) Хотя большая часть подобных исследований выполнена на других млекопитающих, предполагается наличие аналогичных механизмов у монгольской песчанки (Ушакова, 1984).

1.3.2. Белковый обмен

Белки служат источником незаменимых аминокислот, необходимых для синтеза структурных и функциональных компонентов организма, включая ферменты, гормоны, транспортные белки и факторы иммунной защиты (National Research Council, 2011; Yanagisawa, 2023).

Для монгольских песчанок был разработан полусинтетический рацион на основе казеина, было показано, что животные успешно используют его при достаточном содержании незаменимых аминокислот (Zeman, 1967). Была установлена взаимосвязь между уровнем белка и потреблением корма и воды и выявлена зависимость эффективности белкового питания от обеспеченности незаменимыми жирными кислотами (Edwards et al., 1983; Harriman, 1969; Chu et al., 1981). Дефицит отдельных компонентов снижает интенсивность роста даже при достаточном количестве сырого протеина (Arrington et al., 1973; Hall, Zeman, 1968).

Использование белка определяется его переваримостью, кишечным всасыванием аминокислот, состоянием микробиоты и сбалансированностью рациона по энергии, клетчатке и минеральным веществам. Нарушение этих

процессов изменяет азотистый обмен, увеличивает образование мочевины и снижает эффективность использования аминокислот (Dumas et al., 1971; Wu, 2022).

Состояние белкового обмена оценивают по концентрации общего белка, альбумина, мочевины и креатинина в сыворотке крови (Delanghe, Speeckaert, 2011). Комплексное исследование этих показателей позволяет судить об усвоении протеина и физиологической полноценности рациона.

1.3.3. Липидный обмен и физиологическая роль жиров в питании монгольской песчанки

Липиды являются концентрированным источником энергии, входят в состав клеточных мембран, участвуют в синтезе биологически активных веществ, регуляции воспаления и поддержании энергетического гомеостаза (National Research Council, 2011; Harkness, Wagner, 1989; Deming et al., 2000; Guo et al., 2019).

В природных условиях песчанки потребляют семена, богатые растительными маслами и ненасыщенными жирными кислотами. При ограниченной доступности корма накопленные липиды становятся важным энергетическим резервом (Володин и др., 1996).

Было установлено, что недостаток линолевой кислоты вызывает задержку роста, ухудшение состояния шерсти, нарушение репродуктивной функции и изменения липидного обмена. Добавление источников полиненасыщенных жирных кислот нормализовало физиологические показатели и повышало эффективность использования белка, подтверждая взаимосвязь липидного и белкового питания (Chu, Hegsted, 1981; Effects of high-fat diet..., 2026).

Повышение энергетической плотности корма за счёт жира увеличивает массу тела песчанок, однако длительное применение высокожировых рационов может изменять липидный обмен и функциональное состояние печени (Assessing plazma lipid level..., 2001; Effects of dietary cholesterol..., 1989; Long-term and short-term effects of dietary..., 1988; Characterization and mechanisms of lipid metabolism..., 2012; Leach, Holub, 1984). Поэтому при составлении рационов необходимо соблюдать

оптимальное соотношение белков, жиров и углеводов (Song et al., 2018; Jiang et al., 2026; Branched-chain amino-acids promote..., 2003).

Полиненасыщенные жирные кислоты семейств ω -3 и ω -6 участвуют в регуляции иммунных реакций, антиоксидантной защиты, воспалительных процессов и состояния кишечной микробиоты (National Research Council, 2011). При разработке комбикормов следует учитывать как общее количество жира, так и его жирнокислотный состав.

Таким образом, полноценное липидное питание необходимо для роста, развития и репродукции песчанок. Вместе с тем комплексное взаимодействие белкового и липидного компонентов полнорационных комбикормов остаётся недостаточно изученным.

1.3.4. Углеводный обмен и энергетическое обеспечение организма

Углеводы являются основным источником быстро доступной энергии. Хотя природный рацион песчанок включает богатые жирами семена, значительная часть энергетических потребностей покрывается углеводами растительного происхождения (Володин и др., 1996).

Крахмал, растворимые сахара и структурные полисахариды после гидролиза превращаются в моносахариды, которые всасываются в тонком кишечнике и используются для синтеза АТФ, образования гликогена и энергетического обеспечения тканей (National Research Council, 2011).

У мелких грызунов удельный уровень основного обмена выше, чем у крупных млекопитающих, из-за большой относительной площади поверхности тела и необходимости постоянной теплопродукции (Шмидт-Ниельсен, 1982). Поэтому стабильное поступление легкоусвояемых углеводов имеет важное значение. Вместе с тем избыток простых сахаров может нарушать углеводный и липидный обмен, что обуславливает необходимость увеличения доли сложных углеводов и пищевых волокон (National Research Council, 2011).

1.3.5. Минеральный и водный обмен

Эффективная регуляция водно-солевого обмена является одной из основных адаптаций монгольской песчанки к аридным условиям Центральной Азии. При дефиците свободной воды поддержание водно-электролитного равновесия обеспечивается сочетанием морфологических, физиологических и поведенческих механизмов (Шмидт-Ниельсен, 1982; Harriman, 1969; Володин и др., 1996).

Основными источниками жидкости служат вода растительных кормов и метаболическая вода, образующаяся при окислении питательных веществ (Harriman, 1969). Высокая реабсорбция в почечных канальцах позволяет уменьшать объём мочи и сохранять постоянство внутренней среды. Длинные петли Генле и развитый мозговой слой почек создают выраженный осмотический градиент, необходимый для образования концентрированной мочи (Шмидт-Ниельсен, 1982).

Внепочечные потери влаги снижаются благодаря ограниченному испарению через кожу и дыхательные пути, а также изменению поведения и двигательной активности. Песчанки наиболее активны утром и вечером, когда температура воздуха ниже, что сокращает тепловую нагрузку и расход воды (Володин и др., 1996; Scheibler, Waiblinger, 2019).

Водный баланс связан с энергетическим обменом и деятельностью кишечной микробиоты. Изменение гидратации влияет на использование питательных веществ, процессы ферментации и синтез короткоцепочечных жирных кислот, служащих дополнительным источником энергии (Worthington, Fulghum, 1988).

Минеральные вещества участвуют в поддержании кислотно-основного равновесия, осмотического давления, нервно-мышечной проводимости, костеобразования и активности ферментов. К основным макроэлементам относятся кальций, фосфор, магний, натрий, калий и хлор, а к важнейшим микроэлементам – железо, цинк, медь, марганец, селен и йод (National Research Council, 2011).

Кальций и фосфор необходимы для формирования костной ткани. Кроме того, кальций участвует в мышечном сокращении, передаче нервных импульсов, свёртывании крови и внутриклеточной сигнализации, а фосфор входит в состав

нуклеиновых кислот, фосфолипидов и макроэргических соединений. Их оптимальное соотношение необходимо для нормального роста и функционирования опорно-двигательного аппарата (National Research Council, 2011).

Натрий и калий регулируют осмотическое давление, мембранный транспорт, потенциал действия и работу сердечно-сосудистой системы. Нарушение их соотношения отражается на водном обмене, нервно-мышечной возбудимости и функции почек (Kaneko et al., 2008; Coles, 1986).

Железо входит в состав гемоглобина, миоглобина и ферментов тканевого дыхания. Его недостаток вызывает гипохромную анемию, замедление роста и снижение устойчивости организма к неблагоприятным воздействиям (Moore, 2000; Veterinary Hematology and Clinical Chemistry, 2012; Otto-Duessel et al., 2007).

Обеспеченность минеральными веществами влияет и на белковый обмен. Дефицит макро- и микроэлементов нарушает синтез белков, активность ферментных систем, антиоксидантную защиту и иммунный статус животных (Suttle, 2022). Поэтому при разработке полнорационных комбикормов следует учитывать не только содержание протеина, но и минеральный состав.

Состояние минерального обмена оценивают по концентрации кальция, фосфора и магния, активности щелочной фосфатазы и показателям белкового обмена в крови. Такое исследование позволяет выявлять нарушения, возникающие при несбалансированном кормлении (Kaneko et al., 2008).

Таким образом, водный и минеральный обмен образуют взаимосвязанную систему поддержания гомеостаза. Адаптации к дефициту влаги обеспечивают высокую эффективность водосбережения, а полноценное минеральное питание необходимо для белкового обмена, роста, развития и сохранения нормального физиологического состояния песчанок. Эти особенности следует учитывать при разработке специализированных рационов и обеспечении воспроизводимости биомедицинских исследований.

1.3.6. Роль кишечной микробиоты в процессах пищеварения и обмена веществ у монгольской песчанки

В последние десятилетия представления о физиологии пищеварения существенно изменились благодаря развитию молекулярно-генетических методов изучения кишечной микробиоты. Если ранее микроорганизмы желудочно-кишечного тракта рассматривались главным образом как участники ферментации непереваренных компонентов пищи, то сегодня микробиоту считают самостоятельным метаболическим органом, влияющим на пищеварение, иммунитет, эндокринную регуляцию, энергетический обмен и функции центральной нервной системы (Microbiome variations induced..., 2024; Cani, Delzenne, 2009).

Кишечная микробиота представляет собой сложное сообщество бактерий, архей, грибов и вирусов. У здоровых млекопитающих преобладают представители типов Firmicutes и Bacteroidota (Bacteroidetes), наряду с Actinobacteriota, Proteobacteria, Verrucomicrobiota и другими таксонами. (Osaki et al., 2012). Их соотношение зависит от возраста, условий содержания, состава рациона и физиологического состояния животных (Microbiome variations induced..., 2024).

Исследования микробиоты монгольской песчанки пока немногочисленны, однако опубликованные данные подтверждают наличие у этого вида стабильного и метаболически активного микробного сообщества (таблица 1). Было установлено, что относительная численность представителей родов *Blautia*, *Odoribacter* и *Escherichia/Shigella* связана с особенностями физиологического состояния и поведения животных. Полученные результаты подтверждают участие кишечной микробиоты в регуляции функций организма, в том числе в рамках оси «кишечник — мозг».

Таблица 1 – Перечень анаэробных бактерий, выделенных у монгольских песчанок
(*M. Unguiculatus*) (Worthington, Fulghum, 1988)

Организм	Количество животных (количество выделенных микроорганизмов)				
	Фекалии		Слепая кишка		Верхняя часть ободочной кишки
	BHIS ¹ , среднее	E ² , среднее	BHIS, среднее	E, среднее	BHIS, среднее
	n=3	n=4	n=3	n=3	n=1
Грамположительные кокки (<i>Peptostreptococcus species</i>)		1(1) ³			
Грамположительные палочки					
<i>Bifidobacterium adolescentis</i>	1(1)	1(2)			
<i>B. animalis</i>	1(2)				
<i>B. bifidum</i>		1(1)			
<i>B. breve</i>	1(1)				
<i>B. longum</i>	2(3)				
<i>B. magnum</i>	2(5)	2(6)			
<i>B. pseudolongum</i>	2(4)	2(2)			
<i>B. suis</i>	1(1)				
<i>Bifidobacterium species</i>		1(1)	1(1)		
<i>Clostridium sporogenes</i>		1(1)			
<i>Clostridium species</i>				1(1)	
<i>Eubacterium combesii</i>		1(1)			
<i>Lactobacillus acidophilus</i>	1(1)				
<i>L. brevis</i>	2(5)	2(3)			1(5)
<i>L. catenaforme</i>		1(1)			
<i>L. crispatus</i>	1(2)				
<i>L. delbrueckii</i>		1(1)			1(2)
<i>L. fermentum</i>	3(10)	3(20)			1(16)
<i>L. jensenii</i>	1(1)				
<i>L. lactis</i>	2(3)				
<i>L. leichmannii</i>	1(1)	2(2)			
<i>L. minutus</i>	1(1)	1(1)			

Организм	Количество животных (количество выделенных микроорганизмов)				
	Фекалии		Слепая кишка		Верхняя часть ободочной кишки
	BHIS ¹ , среднее	E ² , среднее	BHIS, среднее	E, среднее	BHIS, среднее
	n=3	n=4	n=3	n=3	n=1
<i>L. plantarum</i>	3(33)	2(8)			
<i>L. rogosaе</i>	2(2)	1(1)			
<i>Lactobacillus species</i>	1(2)				
<i>Propionibacterium acnes</i>	1(1)				
<i>P. avidum</i>	1(1)				
<i>P. granulosum</i>	1(1)				
Грамотрицательные палочки					
<i>Bacteroides amylophilus</i>	1(1)				
<i>B. capillosus</i>		2(9)	2(6)	2(12)	
<i>B. coagulans</i>		1(1)		1(2)	
<i>B. furcosus</i>		1(1)			
<i>B. intermedius</i>		1(1)			
<i>B. microfusius</i>				2(3)	
<i>B. nodosus</i>		1(1)		1(5)	
<i>B. oralis</i>			1(2)	1(4)	
<i>B. pneumosintes</i>				1(3)	
<i>B. splanchnicus</i>				1(1)	
<i>B. succinogenes</i>				1(2)	
<i>B. uniformis</i>				1(1)	
<i>B. ureolyticus</i>		1(1)			
<i>B. vulgatus</i>			1(6)	2(8)	
<i>Bacteroides species</i>		1(4)	1(2)	1(1)	
Неопределенные грамположительные палочки	20	10		2	20
Неопределенные граммотрицательные палочки			3	12	

Примечания: 1 – BHIS – питательная среда №1 для выращивания бактерий; 2 – E – питательная среда №2 для выращивания бактерий; 3 – Первое число обозначает количество животных, от которых был выделен данный вид бактерии; второе число (в круглых скобках) – это количество изолятов данного вида бактерии, отличающихся от тех животных, от которых был выделен данный вид; n – количество животных

Особое значение имеет связь микробиоты с водно-солевым обменом. В экспериментах на монгольских песчанках увеличение поступления натрия с питьевой водой сопровождалось снижением разнообразия микробных сообществ и перестройкой механизмов осморегуляции. Одновременно изменялись синтез вазопрессина, экспрессия аквапоринов и натриевых каналов в кишечнике и почках. Это позволяет рассматривать микробиоту как компонент оси «кишечник – почка», участвующей в поддержании водно-электролитного гомеостаза при повышенной солевой нагрузке.

Одной из важнейших функций кишечной микробиоты является ферментация компонентов корма, недоступных для собственных ферментов организма. В результате расщепления пищевых волокон образуются короткоцепочечные жирные кислоты – ацетат, пропионат и бутират. Они служат источником энергии для энтероцитов, участвуют в регуляции липидного и углеводного обмена, поддерживают целостность кишечного барьера и оказывают противовоспалительное действие (Microbiome variations induced..., 2024).

Микроорганизмы также участвуют в синтезе витаминов группы В, витамина К, биологически активных аминов и других метаболитов. Кроме того, они влияют на обмен белков и аминокислот. При достаточном белковом питании часть аминокислот используется для роста микробного сообщества, тогда как избыток белка усиливает протеолитическую ферментацию с образованием аммиака, аминов, фенольных соединений и других азотистых метаболитов. Следовательно, количество и качество белка в рационе непосредственно воздействуют на структуру микробиоценоза и характер обменных процессов (Microbiome variations induced..., 2024).

Кишечная микробиота отличается высокой чувствительностью к составу кормов. Изменение содержания белка, жира, клетчатки и минеральных веществ способно вызвать перестройку микробного сообщества уже в течение нескольких суток (Starch and Fiber Contents of Purified..., 2022). Поэтому стандартизация кормления лабораторных животных имеет принципиальное значение: даже

небольшие различия в составе комбикормов могут изменять микробиоту и влиять на результаты физиологических и биомедицинских исследований.

Активно развивается концепция оси «кишечник – микробиота – мозг», согласно которой кишечные микроорганизмы воздействуют на центральную нервную систему посредством иммунных, эндокринных и метаболических механизмов. Пересадка микробиоты от более активных животных частично изменяет поведенческие реакции реципиентов, подтверждая участие микробного сообщества в нейрофизиологической регуляции у монгольской песчанки.

Таким образом, кишечная микробиота является важным фактором, определяющим эффективность пищеварения, обмен веществ и адаптационные возможности монгольской песчанки (Nicholson et al., 2012). Несмотря на ограниченное число специализированных исследований, имеющиеся данные показывают, что состав рациона способен существенно изменять структуру микробиоценоза, усвоение питательных веществ и физиологическое состояние животных. Это необходимо учитывать при разработке полнорационных комбикормов, интерпретации экспериментальных данных и комплексной оценке эффективности новых рационов, включая анализ биохимических показателей крови (Ушакова, 1984).

1.4. Современные подходы к кормлению лабораторных грызунов и монгольской песчанки

1.4.1. Современные принципы организации кормления лабораторных животных

Полноценное кормление является одним из важнейших факторов, определяющих физиологическое состояние лабораторных животных, воспроизводимость экспериментальных исследований и достоверность получаемых научных результатов. Современная концепция лабораторного животноводства рассматривает рацион не только как источник энергии и пластического материала, но и как фактор, оказывающий непосредственное влияние на интенсивность обменных процессов, активность иммунной системы,

состояние кишечной микробиоты, эндокринную регуляцию и адаптационные возможности организма (National Research Council, 2011; Directive 2010/63/EU..., 2010; FELASA, 2014; Laboratory Animal Welfare, 2014).

В последние десятилетия требования к кормлению лабораторных животных существенно изменились. Если ранее основной задачей являлось обеспечение животных достаточным количеством энергии и основных питательных веществ, то современные представления предусматривают разработку стандартизированных рационов с точно известным химическим составом, минимальной вариабельностью между партиями и высокой биологической доступностью компонентов (Reeves et al., 1993; National Research Council, 2011).

Стандартизация рационов имеет принципиальное значение при проведении биомедицинских исследований. По данным National Research Council (2011), различия в составе кормов способны оказывать влияние на скорость роста животных, массу внутренних органов, показатели иммунного ответа, активность ферментов печени, концентрацию гормонов, интенсивность липидного и белкового обмена, а также на результаты фармакологических и токсикологических исследований. Таким образом, использование рационов с нестабильным химическим составом значительно снижает воспроизводимость экспериментальных данных (Harkness, Wagner, 1989).

В современных лабораториях применяются три основные группы рационов: натуральные зерновые смеси, полнорационные комбикорма и очищенные (полусинтетические) рационы. Каждый из этих типов имеет свои преимущества и ограничения.

Наиболее распространенными остаются полнорационные гранулированные комбикорма, обеспечивающие животных всеми необходимыми питательными веществами при минимальной вариабельности состава. Использование гранулированных кормов снижает возможность выборочного поедания отдельных компонентов, уменьшает потери корма и облегчает контроль его потребления (National Research Council, 2011; FELASA, 2014).

Очищенные (полусинтетические) рационы применяются преимущественно в фундаментальных исследованиях, когда необходимо контролировать поступление отдельных нутриентов. Наиболее известными являются рационы серии AIN-76A и AIN-93, разработанные Американским институтом питания (American Institute of Nutrition). В этих рационах используются очищенные источники белка (казеин), углеводов (крахмал, сахароза), жира (соевое масло), а также стандартизированные витаминно-минеральные смеси (Reeves et al., 1993). Благодаря точно известному химическому составу подобные рационы широко используются при исследованиях обмена веществ, однако их стоимость существенно выше по сравнению с полнорационными комбикормами.

Для большинства лабораторных животных рекомендуются именно полнорационные комбикорма промышленного производства, так как они обеспечивают оптимальное сочетание питательной ценности, технологичности и экономической эффективности (National Research Council, 2011).

1.4.2. Потребность лабораторных грызунов в основных питательных веществах

Основными компонентами рационов лабораторных животных являются белки, жиры, углеводы, клетчатка, минеральные вещества, витамины и вода. Каждая из этих групп нутриентов выполняет специфические функции, а их соотношение оказывает существенное влияние на физиологическое состояние животных (Pei, Wang, Hume, 2001).

Белки являются основным пластическим материалом организма и определяют интенсивность роста, процессы регенерации тканей, синтез ферментов, гормонов и иммуноглобулинов (Animal Nutrition, 2011). По данным National Research Council (2011), потребность лабораторных грызунов в сыром протеине существенно зависит от возраста, физиологического состояния и направления использования животных. Наиболее высокие потребности характерны для растущего молодняка, беременных и лактирующих самок.

Жиры выполняют не только энергетическую функцию, но и являются источником незаменимых жирных кислот, участвующих в построении клеточных мембран, синтезе эйкозаноидов и регуляции иммунных процессов (Animal Nutrition, 2011). При разработке рационов особое внимание уделяется содержанию линолевой и α -линоленовой кислот, дефицит которых сопровождается нарушением роста, репродуктивной функции и состояния кожного покрова (Chu, Hegsted, 1981).

Углеводы обеспечивают организм основной частью обменной энергии. В современных комбикормах предпочтение отдается сложным углеводам растительного происхождения, тогда как содержание простых сахаров ограничивают во избежание резких колебаний уровня глюкозы крови и нарушений липидного обмена (National Research Council, 2011).

Особое место занимает клетчатка. Несмотря на то, что лабораторные грызуны не относятся к типичным травоядным животным, пищевые волокна играют важную роль в поддержании моторики желудочно-кишечного тракта, развитии нормальной кишечной микробиоты и образовании короткоцепочечных жирных кислот (Worthington, Fulghum, 1988). Недостаточное содержание клетчатки сопровождается изменением состава кишечного микробиоценоза и ухудшением функционального состояния пищеварительной системы.

1.4.3. Особенности потребности монгольской песчанки в питательных веществах

Несмотря на широкое использование монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*) в экспериментальной биологии, физиологические нормы кормления данного вида до настоящего времени остаются недостаточно разработанными. В отличие от лабораторных мышей (*Mus musculus*) и крыс (*Rattus norvegicus*), для которых разработаны детализированные рекомендации по обеспеченности организма энергией, белком, незаменимыми аминокислотами, жирными кислотами, витаминами и минеральными веществами (National Research Council, 2011), сведения о пищевых потребностях *M. unguiculatus* носят фрагментарный характер

и основаны преимущественно на ограниченном числе экспериментальных исследований.

Первые работы, посвященные вопросам питания монгольской песчанки, были выполнены во второй половине XX века. Одним из наиболее значимых исследований является работа Zeman (1967), в которой был предложен полусинтетический рацион для содержания животных в лабораторных условиях. Автор показал, что использование стандартизированного рациона с казеином в качестве основного источника белка обеспечивает нормальный рост и развитие животных, а также позволяет минимизировать влияние кормового фактора на результаты физиологических исследований. Вместе с тем данная работа была ориентирована прежде всего на разработку экспериментального рациона, а не на определение физиологической потребности животных в отдельных питательных веществах.

Особое внимание в современной литературе уделяется белковому компоненту рационов. Белок определяет интенсивность роста животных, синтез тканевых белков, ферментов, гормонов и иммуноглобулинов, а также процессы регенерации тканей. Однако опубликованные данные свидетельствуют о том, что чрезмерное увеличение содержания сырого протеина не всегда сопровождается улучшением физиологических показателей. Напротив, избыток белка способен усиливать образование мочевины, увеличивать нагрузку на печень и почки и изменять состав кишечной микробиоты (Animal Nutrition, 2011; Suttle, 2022; Torres, 2023; Effects of High Protein Diet on..., 1982; Frequency and Pathophysiology of Acute..., 2016). Следовательно, при разработке рационов необходимо определять не максимально возможное, а физиологически оптимальное содержание белка.

В дальнейшем, изучая влияние белкового питания на физиологическое состояние монгольских песчанок, было установлено, что изменение содержания белка в рационе сопровождается изменением добровольного потребления корма и воды (Harriman, 1969). Было отмечено, что при снижении уровня протеина животные увеличивают потребление корма, стремясь компенсировать недостаток незаменимых аминокислот, тогда как избыток белка сопровождается увеличением

потребления воды и усилением экскреции азотистых метаболитов. Эти результаты свидетельствуют о тесной взаимосвязи белкового, энергетического и водного обмена.

В работе Chu и Hegsted (1981), посвященной изучению потребности монгольских песчанок в незаменимых жирных кислотах, показано, что полноценность питания определяется не только количеством отдельных нутриентов, но и их сбалансированностью. Авторы установили, что недостаточное поступление линолевой кислоты приводит к снижению интенсивности роста, ухудшению состояния шерстного покрова и нарушению репродуктивной функции даже при достаточной обеспеченности животных белком и энергией. Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода при разработке полнорационных комбикормов.

При организации кормления лабораторных песчанок необходимо учитывать особенности естественного рациона животных (Harkness, Wagner, 1989). В природных условиях основу питания составляют семена злаков, полыней, луковичных растений и других представителей степной флоры, содержащие умеренное количество белка, значительную долю структурных углеводов и относительно высокое количество растительных липидов. Кроме того, животные периодически поедают насекомых и других беспозвоночных, являющихся дополнительным источником полноценного белка и микроэлементов. Следовательно, использование рационов, разработанных исключительно для лабораторных мышей и крыс, не всегда позволяет воспроизвести естественные особенности питания данного вида.

Существенное влияние на потребность животных в питательных веществах оказывают условия содержания. При лабораторном разведении значительно снижаются энергетические затраты на поиск пищи, строительство нор и избегание хищников, тогда как доступность корма становится постоянной. Это сопровождается изменением интенсивности обмена веществ и может способствовать развитию ожирения при использовании рационов с высокой энергетической плотностью (Heatley, Harris, 2009; Buettner, 2007). В связи с этим

энергетическая ценность комбикормов должна соответствовать условиям содержания животных и их физиологическому состоянию.

Современные исследования также подтверждают важную роль пищевых волокон. Ранее клетчатка рассматривалась преимущественно как балластное вещество, однако в настоящее время установлено, что она оказывает существенное влияние на состав кишечной микробиоты, образование короткоцепочечных жирных кислот, моторику кишечника и эффективность использования энергии корма (Worthington, Fulghum, 1988; Microbial degradation of complex carbohydrates..., 2012). Для монгольской песчанки данный вопрос приобретает особое значение, поскольку в естественных условиях животные регулярно потребляют семена и вегетативные части растений, содержащие значительное количество структурных углеводов.

Следует отметить, что в Российской Федерации специализированные нормы кормления монгольских песчанок отсутствуют. На практике большинство научно-исследовательских учреждений использует полнорационные комбикорма, разработанные для лабораторных мышей и крыс, либо кормовые смеси собственного приготовления. Подобный подход обусловлен отсутствием отечественных специализированных рационов промышленного производства, однако он не учитывает физиологические особенности монгольской песчанки и может оказывать влияние на результаты экспериментальных исследований.

Анализ современной литературы свидетельствует, что рекомендации по кормлению монгольской песчанки в значительной степени основаны на экстраполяции данных, полученных на других видах лабораторных грызунов. Вместе с тем особенности обмена веществ, водного баланса, пищеварения и экологической адаптации позволяют предполагать наличие специфических потребностей данного вида в отдельных питательных веществах. Это подтверждает необходимость разработки специализированных полнорационных комбикормов, состав которых будет учитывать физиологические особенности монгольской песчанки, а также проведения комплексной оценки их влияния на морфологические и биохимические показатели крови животных.

1.4.4. Современные полнорационные комбикорма для лабораторных грызунов: сравнительная характеристика, преимущества и недостатки

Стандартизация кормления лабораторных животных является одним из обязательных условий обеспечения воспроизводимости результатов биомедицинских исследований. Согласно рекомендациям National Research Council (2011), FELASA (FELASA, 2014) и European Commission (Directive 2010/63/EU..., 2010), состав рационов должен быть максимально стабильным, а содержание основных питательных веществ – соответствовать физиологическим потребностям животных. Любые изменения рецептуры комбикорма способны влиять на обмен веществ, иммунный статус, репродуктивную функцию и показатели крови лабораторных животных, что может существенно изменять результаты экспериментов (National Research Council, 2011; FELASA, 2014).

В настоящее время для лабораторных грызунов используются преимущественно полнорационные гранулированные комбикорма промышленного производства, отличающиеся стандартизированным химическим составом, высокой технологичностью изготовления и минимальной вариабельностью между партиями продукции. Большинство ведущих мировых производителей разрабатывают специализированные линейки рационов для различных видов лабораторных животных, возрастных групп и направлений исследований.

Одним из наиболее известных производителей лабораторных кормов является компания LabDiet (США), выпускающая серию рационов Purina LabDiet. Эти комбикорма широко используются в научно-исследовательских центрах Северной Америки и Европы и рассматриваются как один из международных стандартов кормления лабораторных животных (LabDiet, 2024). Основу рецептуры составляют продукты переработки зерновых культур, соевый и пшеничный шрот, кукуруза, растительные масла, витаминно-минеральные премиксы и другие компоненты, обеспечивающие полноценное питание лабораторных мышей, крыс, хомяков и морских свинок. В зависимости от назначения содержание сырого

протеина в рационах составляет от 14 до 24%, сырого жира – от 4 до 10%, сырой клетчатки – от 3 до 6%.

Существенным преимуществом рационов LabDiet является строгий контроль качества сырья, высокая воспроизводимость химического состава и наличие большого количества специализированных модификаций, предназначенных для токсикологических, онкологических, геронтологических и репродуктивных исследований (LabDiet, 2024). Вместе с тем данные комбикорма разработаны преимущественно для лабораторных мышей и крыс и не учитывают специфические физиологические особенности монгольской песчанки.

Широкое распространение в странах Европы получили комбикорма немецкой компании Ssniff Spezialdiäten GmbH, выпускающей более ста различных рецептур лабораторных рационов. В отличие от универсальных кормов, продукция Ssniff включает специализированные экспериментальные диеты с различным содержанием белка, жира, клетчатки, витаминов и микроэлементов, позволяющие моделировать различные метаболические состояния организма (Voluntary exercise, 2019). Рационы характеризуются высокой степенью стандартизации и широко используются при исследованиях ожирения, сахарного диабета, сердечно-сосудистых заболеваний и нарушений обмена веществ.

Другим крупным европейским производителем является компания Altromin Spezialfutter GmbH & Co. KG, продукция которой применяется во многих научно-исследовательских учреждениях Германии, Франции, Великобритании и других стран Европы. Комбикорма Altromin производятся в соответствии с международными требованиями к лабораторным животным и отличаются стабильным содержанием основных питательных веществ, витаминов и микроэлементов. Производитель предлагает как стандартные полнорационные комбикорма, так и экспериментальные очищенные диеты, предназначенные для фундаментальных исследований.

Во Франции широкое распространение получили комбикорма компании SAFE® (Scientific Animal Food & Engineering), которые характеризуются использованием высококачественного растительного сырья, строгим контролем

содержания микотоксинов и стандартизированной системой контроля качества. Рационы SAFE широко применяются при проведении фармакологических и токсикологических исследований благодаря высокой воспроизводимости состава.

Среди американских производителей особое место занимают очищенные экспериментальные рационы Teklad (Envigo, США), разработанные преимущественно для фундаментальных исследований обмена веществ. В отличие от стандартных комбикормов, данные рационы позволяют точно регулировать содержание отдельных нутриентов, что особенно важно при моделировании ожирения, сахарного диабета, заболеваний печени и нарушений липидного обмена. Однако высокая стоимость ограничивает их широкое применение в лабораторной практике.

Несмотря на существенные различия в рецептурах, большинство зарубежных производителей придерживаются единых принципов построения рационов. Основу комбикормов составляют зерновые культуры (пшеница, кукуруза, ячмень, овес), продукты переработки сои, растительные масла, источники животного белка, витаминно-минеральные премиксы и технологические добавки. При этом содержание основных питательных веществ варьирует в зависимости от возраста животных, направления исследований и физиологического состояния лабораторных моделей (National Research Council, 2011; Reeves et al., 1993).

Следует отметить, что практически все перечисленные комбикорма разработаны для лабораторных мышей и крыс. Специализированные промышленные рационы, предназначенные именно для монгольской песчанки, в настоящее время практически отсутствуют. В большинстве зарубежных вивариев песчанок содержат на универсальных гранулированных кормах для мышей и крыс с дополнительным введением семян злаковых культур, подсолнечника или специальных витаминно-минеральных добавок (Heatley, Harris, 2009; Scheibler, Waiblinger, 2019). Такой подход основан скорее на практическом опыте, чем на результатах систематических исследований физиологических потребностей данного вида (таблица 2).

Таблица 2 – Состав кормов для лабораторных животных разных производителей

Производитель	Страна	Сырой протеин, %	Сырой жир, %	Сырая клетчатка, %	Назначение	Ограничения
LabDiet	США	18-24	4-10	3-6	Универсальные лабораторные животные	Нет специализированного корма для песчанок
Altromin	Германия	18-22	4-6	4-5	Исследования обмена веществ	Разработан преимущественно для мышей и крыс
Ssniff	Германия	18-24	4-10	3-7	Стандартные и экспериментальные диеты	Отсутствуют рационы для <i>M. unguiculatus</i>
SAFE	Франция	16-22	3-8	4-6	Токсикология, фармакология	Универсальное назначение

Ситуация в Российской Федерации отличается еще большей ограниченностью выбора. Отечественный рынок лабораторных кормов представлен сравнительно небольшим числом производителей, выпускающих универсальные комбикорма для лабораторных мышей, крыс, морских свинок и кроликов. Специализированные полнорационные рационы промышленного производства для монгольской песчанки отсутствуют. В связи с этим большинство научно-исследовательских организаций используют универсальные комбикорма либо самостоятельно корректируют их состав путем введения дополнительных компонентов, что затрудняет стандартизацию кормления и может снижать воспроизводимость экспериментальных результатов.

Анализ современной литературы показывает, что существующие промышленные комбикорма в полной мере удовлетворяют потребности наиболее распространенных лабораторных видов, однако практически не учитывают физиологические особенности монгольской песчанки. Недостаточная изученность потребностей монгольских песчанок в белке, липидах, пищевых волокнах и отдельных минеральных веществах, а также отсутствие специализированных отечественных рационов свидетельствуют о необходимости разработки полнорационного комбикорма, адаптированного к физиологии данного вида.

Именно решение этой задачи является одним из основных направлений настоящего исследования.

Как показывает таблица 2, приведённые комбикорма различаются по содержанию сырого протеина, жира и клетчатки, но предназначены преимущественно для лабораторных грызунов в целом либо для мышей и крыс. Ни один из рассмотренных рационов не разработан специально для монгольской песчанки, поэтому их состав нельзя считать отвечающим специфическим потребностям этого вида без дополнительной проверки. Это обосновывает разработку специализированного полнорационного комбикорма для монгольских песчанок и экспериментальную оценку его питательности, переваримости и влияния на физиологические показатели животных.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в несколько последовательных этапов на базе ГАУ «Московский зоопарк» и кафедры кормления животных Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева в период с ноября 2023 г. по июль 2026 г. Животные, участвующие в исследовании, содержались в научном отделе Московского зоопарка.

Эффективность использования полнорационных комбикормов с разным уровнем протеиновой питательности в кормлении монгольских песчанок						
Объект исследования: монгольские песчанки; база исследований – ГАУ «Московский зоопарк» и кафедра кормления животных РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева; период исследований – ноябрь 2023 – июль 2026						
Подготовительные этапы исследования						
Определение химического состава натурального рациона	Разработка рецептов комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19%	Изготовление опытной партии комбикормов, оценка физических свойств гранул	Разработка и изготовление кормушек для комбикормов	Разработка дизайна клеток и изготовление экспериментальных клеток	Подготовка животных	
Научно-хозяйственный опыт						
Контрольная группа (n=24 ♂, + 24 ♀)		1 опытная группа (n=24 ♂, + 24 ♀)		1 опытная группа (n=24 ♂, + 24 ♀)		
Натуральный рацион		Полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16%		Полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 19%		
Изучаемые показатели						
Рост песчанок 1 поколения (племенное поголовье) (n=142): масса тела	Балансовый опыт (n=125)	Оценка фекального микробиома	Переваримость питательных веществ, баланс азота	Биохимический анализ крови (n=36): активность ферментов, показатели белкового, углеводного, липидного обменов	Плодовитость племенного поголовья (n=3 ♂, + 3 ♀): количество детёнышей в помёте, сохранность потомства	Рост песчанок 2 поколения (1-8 недели жизни): масса тела, длина головы, тела и хвоста
Предложения производству, перспективы дальнейшей разработки темы						

Рисунок 6 – Схема исследования

2.1. Определение химического состава натурального рациона монгольской песчанки

Первый этап исследований включал определение питательной ценности рациона, рекомендованного для кормления монгольских песчанок в Московском зоопарке, который включал натуральные корма, не подвергающиеся предварительной термической обработке.

Отбор проб кормов осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 6497-2014. Химический анализ проводили по действующим государственным стандартам и общепринятым методикам ВНИИФБиП и ВИЖ в учебной лаборатории кафедры кормления животных в РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, а также в Центре коллективного пользования в период с января по март 2024 г.

В образцах определяли содержание влаги, сырого протеина, сырого жира, сырой клетчатки, золы, кальция, магния и фосфора, а также рассчитывали энергетическую ценность рационов (ГОСТ ISO 5983-2-2016, ГОСТ Р 56374-2015). Первоначальную влагу определяли путем высушивания образцов при 65 °С до постоянной массы, гигроскопическую влагу при 105 °С, общую влагу, а также сухое вещество расчетным методом по ГОСТ 31640-2012. Общий азот определяли методом Кьельдаля с последующим расчетом сырого протеина (ГОСТ 32044.1-2012, ГОСТ 13496.4-2019, ГОСТ 26889-86), сырой жир – экстракцией петролевым эфиром в аппарате Сокслета (ГОСТ Р ИСО 734-2021, ГОСТ 13496.15-2016). Кальций и магний анализировали методом атомно- абсорбционной спектроскопии (ГОСТ 32904 – 2014, ГОСТ 22001-87), сырую клетчатку – по методу Геннеберга-Штомана (ГОСТ 31675-2012), а фосфор – ванадмолибдатным способом (ГОСТ 26657-97). Содержание сырой золы устанавливали методом сухого озоления в муфельной печи при 500 °С (ГОСТ 13979.6-69, ГОСТ 26226-95, ГОСТ 32933-2014).

На основании данных химического анализа были разработаны рецепты полнорационных комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% (ГОСТ 34566 – 2019).

2.2. Разработка рецептуры полнорационного комбикорма

На этом этапе были проанализированы данные, полученные после определения химического состава рациона монгольских песчанок, который включал натуральные корма, проведена оценка соответствия с рекомендуемыми значениями для животных по определенным показателям (протеин, жир, клетчатка, макроэлементы), а после чего были разработаны рецепты полнорационных комбикормов с разным уровнем содержания сырого протеина (16% и 19%), соответствующих физиологическим потребностям монгольских песчанок (Хлюпин, 2024).

При разработке рецептур комбикормов предусматривали снижение себестоимости готового корма, сокращение трудозатрат на содержание животных за счет использования кормов не подверженных быстрой порче, обеспечение поступления необходимого уровня питательных веществ в организм животных, за счет исключения возможности избирательного потребления животными отдельных компонентов рациона (сепарации), как в случае с натуральными рационами.

В соответствии с поставленными задачами из состава комбикорма были исключены отдельные компоненты натурального рациона: яблоки, листья салата, куриное яйцо, творог и кормовые сверчки. Их использование связано с повышенными затратами на приобретение, хранение и подготовку к скармливанию, что ограничивает возможность стандартизации рациона. Для обеспечения сбалансированности рациона по протеину, минеральным веществам и обменной энергии, исключенные корма были заменены более доступными и технологичными – сухим молоком и рыбной мукой. Подбор компонентов осуществляли с учетом результатов химического анализа натурального рациона, а также физиологических потребностей монгольских песчанок в основных питательных веществах.

В результате была разработана рецептура полнорационных комбикормов, обеспечивающих сбалансированное содержание сырого протеина, сырого жира,

сырой клетчатки, макроэлементов и обменной энергии при одновременном снижении себестоимости и трудозатрат во время ухода за животными.

2.3. Изготовление опытной партии и анализ химического состава полнорационного комбикорма

На следующем этапе исследования, в цехе кормов ГНЦ РФ ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии «ВНИРО» (Хлюпин, Ксенофонтова, 2025; Хлюпин, Ксенофонтова, 2026 (б)) изготовили опытные партии двух полнорационных комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19%. Производство осуществляли по разработанной рецептуре с использованием общепринятой технологии гранулирования.

Готовый комбикорм представлял собой гранулы цилиндрической формы длиной около 7 мм и диаметром около 3 мм (рисунок 7). Размер гранул был выбран с учетом биологических особенностей монгольских песчанок, что обеспечивало удобство потребления корма и способствовало снижению его потерь при кормлении.



Рисунок 7 – Полнорационный гранулированный комбикорм для монгольских песчанок

После изготовления были проведены исследования химического состава двух вариантов разработанного полнорационного комбикорма. Анализ количественного содержания основных нутриентов выполняли с применением классических методов мокрой химии.

Полученные результаты использовали для оценки соответствия химического состава комбикормов расчетным показателям, предусмотренным при разработке рецептуры. Также была проведена оценка крепости гранул на приборе для определения крепости гранул «Holmen NHP-100» в ООО Научно-испытательный центр «Черкизово».

2.4. Разработка кормушек и экспериментальных клеток

Для проведения эксперимента были разработаны и изготовлены два типа кормушек, отличающихся способом крепления внутри клеток, предназначенные для различных этапов эксперимента (рисунок 8). При разработке конструкции учитывали биологические особенности монгольских песчанок, необходимость точного учета потребления корма и минимизации его потерь.

Первый тип кормушки предназначался для использования в стандартных металлических клетках на этапе предварительного содержания животных до проведения балансового опыта. Конструкция предусматривала крепление к клетке с помощью крючков.

Второй тип кормушки был разработан для установки в экспериментальных клетках, выполненных из фанерного листов, используемых для проведения балансового опыта. Способ крепления – фиксация с помощью болтов.

Обе конструкции оснащались подвижной деревянной крышкой, предотвращающей загрязнение и разбрасывание корма, а также небольшим лотком, обеспечивающим свободный доступ животных к корму при одновременном снижении его потерь.

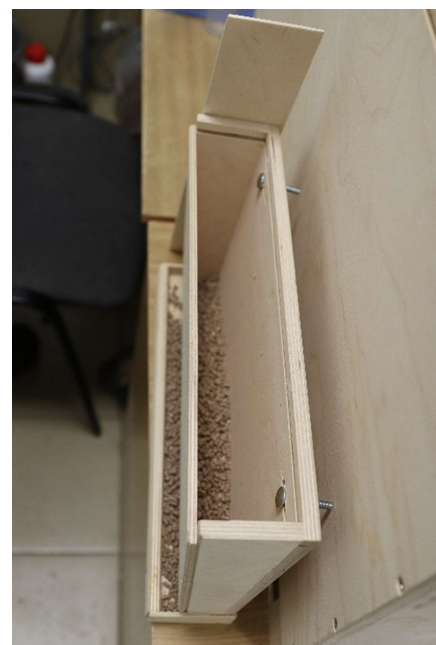


Рисунок 8 – Кормушки для стандартных металлических (слева) и экспериментальных фанерных клеток (справа)



Рисунок 9 – Экспериментальная клетка-ящик для проведения балансового опыта

Для проведения балансового опыта были изготовлены специальные экспериментальные клетки-ящики (рисунок 9). Их конструкция включала фанерный корпус, верхнюю крышку с металлической сеткой, сетчатое дно и выдвижной металлический поддон. Такое конструктивное решение обеспечивало отдельный сбор экскрементов, предотвращало их смешивание с остатками корма и позволяло проводить точный учет потребления корма, кала, и мочи животных в ходе балансового опыта.

2.5. Постановка научно-хозяйственного и балансового опытов

В июне 2024 г. в условиях научного отдела ГАУ «Московский зоопарк» были сформированы 12 пар половозрелых племенных монгольских песчанок для получения потомства, которое использовали в последующих экспериментальных исследованиях.

После достижения молодняком 45-дневного возраста осуществляли отъем животных от родителей и методом аналогов распределяли на три группы: одну контрольную и две опытные. В контрольную группу вошли 24 самца и 24 самки, в первую опытную – 24 самца и 24 самки, во вторую опытную – 22 самца и 24 самки.

Животные контрольной группы на протяжении всего периода исследований получали рацион, включающий натуральные корма в соответствии с рекомендациями по кормлению монгольских песчанок ГАУ «Московский зоопарк» три раза в неделю. Животных 1 опытной группы постепенно переводили на полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16%, а животных 2 опытной группы – на аналогичный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 19%. Постепенный перевод на новые рационы проводили в течение адаптационного периода. Кроме того, животные опытных групп имели свободный доступ к фильтрованной воде (*ad libitum*) в стеклянных автопоилках для грызунов (хомячков, морских свинок, крыс, мышей) Тгixie объемом 125 мл, также в их клетках всегда был в наличии минеральный камень.

Через два месяца после завершения адаптации было проведено контрольное взвешивание животных. В дальнейшем массу тела определяли один раз в две недели для оценки динамики роста и развития животных.

В период с 24 февраля по 2 марта 2025 г. был проведен балансовый опыт. Из каждой экспериментальной группы методом пар-аналогов отбирали животных: 18 самцов и 23 самки в контрольную группу, 19 самцов и 24 самки в первую опытную группу, 17 самцов и 24 самки во вторую опытную группу.



Рисунок 10 – Отбор проб мочи и кала у монгольских песчанок

В течение всего периода ежедневно учитывали количество потребленного корма, а также осуществляли отдельный сбор мочи и кала (рис. 10), что позволяло оценить переваримость питательных веществ и баланс азота. Хранение образцов кала и мочи осуществлялось в индивидуальных пластиковых боксах для каждой группы животных в морозильной камере при температуре -20°C .

Также в образцах кала животных контрольной и опытных групп была проведена идентификация микроорганизмов методом MALDI. Анализ проводился на базе ООО НИЦ «Черкизово».

2.6. Проведение лабораторных исследований крови, кала и мочи

Забор крови у животных осуществляли под ингаляционной анестезией изофлураном из краниальной поллой вены (рисунок 11). Полученные образцы крови направляли в ветеринарные лаборатории клиник «Белый Клык» и «Vet Union», где проводили биохимический анализ крови с использованием автоматических биохимических анализаторов. По результатам лабораторных исследований были получены протоколы анализов крови, на основании которых проведены статистическая обработка, сравнительный анализ и интерпретация полученных данных (Мирошников, 2023; Zar, 2019; Bush, 1991).

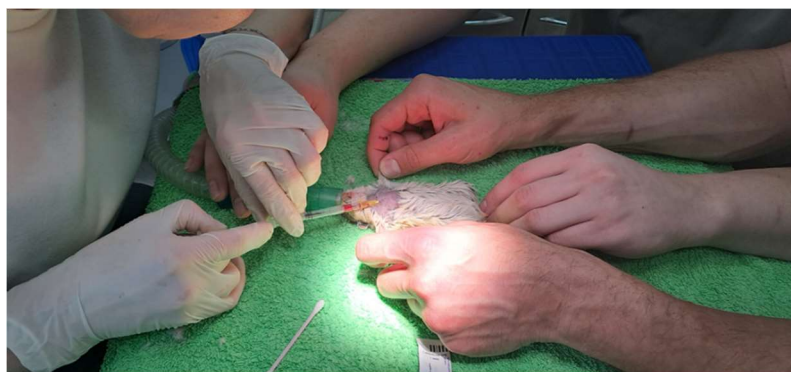


Рисунок 11 – Забор крови у монгольской песчанки

Для проведения биохимических исследований крови, методом случайной выборки, из каждой группы животных было отобрано по 6 самцов и 6 самок. Таким образом, забор и лабораторные исследования крови были выполнены у 36 животных – по 12 особей из каждой экспериментальной группы.

Биохимическое исследование сыворотки крови включало определение показателей белкового, углеводного и липидного обмена, а также показателей, характеризующих функциональное состояние печени и почек.

Полученные экспериментальные данные были обработаны методами вариационной статистики и представлены в виде средних арифметических значений ($\bar{M}$) с указанием количества исследованных животных в каждой группе.

Исследования образцов мочи и кала выполняли в Центре компетенций молочного животноводства «Умная ферма» (г. Белгород). В образцах мочи определяли массовую долю сырой золы и массовую долю азота. В образцах кала определяли следующие показатели: массовая доля жира, сырой клетчатки, сырой золы, сырого протеина. На основании полученных данных рассчитали коэффициенты переваримости питательных веществ и рассчитывали показатели азотистого обмена.

2.7. Оценка репродуктивного успеха и показателей роста монгольских песчанок

Для оценки влияния разработанных полнорационных комбикормов на показатели плодовитости монгольских песчанок были сформированы три экспериментальные группы, по три самца и три самки в каждой. Животных содержали парами (самец и самка) в стандартных клетках.

Животные контрольной группы на протяжении всего периода исследований получала натуральный рацион, включающий свежие, не подвергшиеся термической обработке корма. Животные 1 опытной группы получали полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16%, животные 2 опытной группы – комбикормом, с уровнем содержания сырого протеина 19%. Животным на протяжении всего эксперимента был предоставлен свободный доступ к воде (в автопоилках) и минеральным добавкам (минеральный камень).

Экспериментальные рационы использовали для кормления родительских пар с момента их формирования и до окончания исследования. Полученное потомство после перехода на самостоятельное питание также получало рацион, соответствующий группе родителей, вплоть до достижения возраста 8 недель.

Эффективность разработанных рационов оценивали по показателям плодовитости родительских пар и показателям роста их потомства. Для этого учитывали количество детенышей в помете и их сохранность, динамику живой

массы и морфометрические показатели потомства. Измерения проводили еженедельно с 1 по 8-ю неделю жизни.

Живую массу детенышей определяли методом индивидуального взвешивания с помощью электронных весов Digital Pocket Scale Professional Mini с предельной нагрузкой 200 г и точностью 0,01 г. Перед измерением животных помещали в пластиковый контейнер, для фиксации использовали картонный тубус, что ограничивало двигательную активность животных и снижало стрессовую нагрузку во время процедуры взвешивания.

Морфометрические исследования проводили один раз в неделю. У животных определяли длину головы, тела и хвоста с использованием измерительной ленты. Длину головы измеряли от корня носа (назион) до первого шейного позвонка, длину тела – от первого шейного позвонка до основания хвоста, длину хвоста – от основания до дистального конца. Все полученные данные заносили в журнал учета.

Все измерения выполняли в одинаковых условиях содержания животных с использованием единых методических подходов, что обеспечивало сопоставимость результатов и объективность оценки влияния исследуемых рационов на репродуктивные показатели родительских пар монгольских песчанок и развитие их потомства.

2.8 Расчет экономической эффективности рационов

Стоимость одного грамма каждого корма определяли делением цены одного килограмма на 1000. Суточные затраты рассчитывали умножением стоимости одного грамма на норму выдачи соответствующего компонента. Общую стоимость рациона определяли суммированием затрат на включённые в него кормовые компоненты. Для сопоставления групп использованы итоговые значения стоимости рационов до округления до копеек.

2.9. Анализ и обработка результатов

Математическую и статистическую обработку экспериментальных данных проводили в Microsoft Excel методами описательной и вариационной статистики. Рассчитывали средние арифметические значения, абсолютные и относительные различия показателей; результаты взвешиваний представляли в виде $M \pm m$,

где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего. Статистическую значимость межгрупповых различий оценивали по t -критерию Стьюдента, изменений массы тела одних и тех же животных – по парному двустороннему t -критерию Стьюдента. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Состав фекальной микробиоты и показатели развития потомства оценивали описательным сравнительным методом, экономическую эффективность рационов – расчётно-сравнительным методом.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Химический состав натурального рациона и полнорационных комбикормов

На первом этапе собственных исследований оценили химический состав натурального рациона, использовавшегося для кормления монгольских песчанок в ГАУ «Московский зоопарк». В его состав входили веточный корм ивы, сухари пшеничные, зерно овса, семена подсолнечника, свёкла, яблоки, творог 9%, зерно просо, салат «айсберг», сено разнотравья, яйцо перепелиное, отруби пшеничные, зерно кукурузы, семена тыквы, кормовые сверчки, овсяные хлопья, крупа гречки и морковь.

На основании химического состава отдельных кормов и их количества в недельном рационе рассчитывали среднесуточную дачу питательных веществ на одну песчанку. Расчётные показатели натурального рациона и двух опытных комбикормов приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Химический состав натурального рациона и комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19%

Показатель	Натуральный рацион	Комбикорм с уровнем СП 16%	Комбикорм с уровнем СП 19%
Суточная масса рациона, г	49,63	7,59	8,24
Сухое вещество (СВ), г	28,93	5,23	5,86
Сухое вещество (СВ), %	58,29	68,92	71,09
Сырой протеин (СП), г	2,63	1,22	1,56
Сырой протеин (СП), %	5,29	16,00	19,00
Сырой жир (СЖ), г	0,72	0,23	0,27
Сырой жир (СЖ), %	1,45	3,08	3,25
Сырая клетчатка (СК), г	7,61	0,35	0,35
Сырая клетчатка (СК), %	15,34	4,57	4,21

Показатель	Натуральный рацион	Комбикорм с уровнем СП 16%	Комбикорм с уровнем СП 19%
Сырая зола (СЗ), г	2,85	0,33	0,43
Сырая зола (СЗ), %	5,75	4,39	5,23
Азот (N), г	0,42	0,20	0,25
Азот (N), %	0,85	2,57	3,04
Органическое вещество (ОВ), г	26,08	4,90	5,42
Органическое вещество (ОВ), %	52,54	64,54	65,86
БЭВ, г	15,12	3,10	3,25
БЭВ, %	30,45	40,79	39,41
Фосфор (P), г	0,06	0,03	0,04
Фосфор (P), %	0,12	0,43	0,49
Магний (Mg), г	0,10	0,01	0,01
Магний (Mg), %	0,21	0,15	0,15
Кальций (Ca), г	0,83	0,05	0,07
Кальций (Ca), %	1,67	0,70	0,88
Валовая энергия, кДж/голову в сутки	848,39	134,25	144,51

Масса натурального рациона в пересчёте на сутки составила 49,63 г, содержание сухого вещества – 28,93 г, сырого протеина – 2,63 г (5,29%), сырой клетчатки – 7,61 г (15,34%). В комбикормах содержание сырого протеина составило соответственно 16% и 19%. Показатели характеризуют химический состав предложенных рационов.

Таким образом, анализ химического состава натурального рациона и оценка его обеспеченности питательными веществами послужили основой для разработки двух рецептур полнорационных комбикормов для монгольских песчанок с уровнем сырого протеина 16 и 19%.

3.2 Производство комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% и совершенствование способов их подачи к скармливанию

В проведённом исследовании совершенствование кормления монгольских песчанок осуществляли посредством разработки специализированных полнорационных комбикормов и придания им гранулированной формы.

Опытные образцы кормов были выработаны в научно-производственном отделе по изготовлению комбикормов для объектов аквакультуры филиала ФГБНУ «ВНИРО» «ВНИИПРХ» на полупромышленной линии Amandus Kahl (Германия).

Процесс получения опытных образцов комбикормов состоял из следующих стадий: кормовые компоненты, согласно смоделированным рецептам, смешивались в вертикальном смесителе, далее кормосмесь измельчали на молотковой дробилке с диаметром отверстия сита 2 мм; измельченная смесь подавалась в кондиционер, где происходила ее обработка водой и паром. Затем проходил процесс грануляции с использованием следующих матриц диаметром отверстий 3,0 мм при температуре в рабочем органе 75-85 °С. Полученные гранулы направлялись на сушку при температуре потока воздуха 110-120 °С), охлаждение до температуры гранулы менее 25, отсеивание от крошки и пыли на вибрационных ситах.

Необходимость изменения состава и формы корма была связана с избирательным потреблением компонентов натурального рациона. Монгольские песчанки избирательно поедали корма, вследствие чего соотношение нутриентов в фактически потреблённой части рациона отличалось от предусмотренного рационом. Сепарирование корма ограничивало поступления необходимого уровня питательных веществ в организм животных. Кроме того, использование скоропортящихся продуктов требовало их подготовки к скармливанию, своевременного удаления остатков и дополнительной уборки клеток.

По результатам анализа рациона монгольских песчанок, в состав которого входили натуральные корма, были разработаны два рецепта полнорационного комбикорма с уровнем сырого протеина 16 и 19%. Совершенствование рецептур предусматривало согласование протеиновой питательности с содержанием сырого

жира, сырой клетчатки, минеральных веществ и энергетической питательностью кормов. Отдельные компоненты натурального рациона заменяли сухим молоком и рыбной мукой. Использование этих ингредиентов позволяло корректировать содержание сырого протеина и минеральных веществ, а также применять более технологичные компоненты при изготовлении комбикорма.

Готовый корм представлял собой цилиндрические гранулы длиной около 7 мм и диаметром около 3 мм. Эти размеры были выбраны с учётом биологических особенностей монгольских песчанок, удобства захвата и потребления корма животными с минимальными потерями.

Для характеристики физических свойств готового корма было проведено исследование крепости гранул двух комбикормов на приборе Holmen NHP-100. Испытывали пробы исходной массой 50 г при продолжительности воздействия 30 и 60 секунд. Крепость оценивали по массовой доле гранул, сохранившихся после испытания:

$$P = (M_{\text{ост}} / M_{\text{исх}}) \times 100\%,$$

где $M_{\text{исх}}$ – исходная масса пробы, г;

$M_{\text{ост}}$ – масса остатка после испытания, г.

Данный показатель характеризует устойчивость гранул к разрушению в условиях применённого испытания.



Рисунок 12 – Прибор для определения крепости гранул комбикорма «Holmen NHP-100»: общий вид (слева) и маркировка (справа)

Таблица 4 – Крепость гранул комбикормов

Комбикорм, № пробы	Время воздействия, с	Исходная масса, г	Масса после испытания, г	Убыль массы, г	Крепость Р, %
16% №1	30	50,00	43,00	7,00	86,00
16% №2	30	50,00	42,00	8,00	84,00
16% №3	60	50,00	27,33	22,67	54,66
19% №1	30	50,00	42,18	7,82	84,36
19% №2	30	50,00	42,13	7,87	84,26
19% №3	60	50,00	34,71	15,29	69,42

Примечания: СП 16% – 1 опытная группа; СП 19% – 2 опытная группа

В результате проведенных исследований установлено, что при оценке способности комбикорма сохранять целостность в процессе транспортировки и хранения при продолжительности испытания 30 секунд крепость гранул комбикорма с уровнем сырого протеина 16% в пробах №1 и №2 составила 86,00 и 84% соответственно. Величина аналогичного показателя для комбикорма с содержанием сырого протеина 19% в пробах №1 и №2 составила соответственно 84,36 и 84,26%. Таким образом, при данном режиме испытания оба комбикорма имели близкие значения по данному показателю.

При более длительном механическом воздействии (60 секунд) на гранулы, их прочность в комбикормах с концентрацией сырого протеина 16 и 19%, в среднем снизилась на 30,3 и 14,89% соответственно. Следует отметить, что крепость гранул комбикорма с более высоким уровнем сырого протеина при пролонгированном воздействии оказалась выше на 14,76%.

Полученные результаты по механической устойчивости гранул комбикормов необходимо учитывать при дальнейшей доработке технологии гранулирования.

Гранулированная форма позволяет исключить избирательное поедание отдельных кормов, входящих состав рациона. При потреблении однородных гранул питательные вещества поступают в организм в количестве, предусмотренном рецептом комбикорма. Таким образом, гранулирование в сочетании со сбалансированным составом и достаточным потреблением корма обеспечивает

поступление необходимых питательных веществ и создаёт условия для поддержания гомеостаза и более стабильных показателей плодовитости и роста животных. При этом полнота обеспечения потребностей определяется не только составом гранул, но и количеством фактически съеденного корма.

Подготовку комбикорма к скармливанию дополняли разработкой кормушек, предназначенных для его подачи. В исследовании использовали два типа кормушек с различными способами крепления в стандартных и экспериментальных клетках. Обе конструкции имели подвижную деревянную крышку, препятствующую загрязнению и разбрасыванию корма, и небольшой лоток, обеспечивающий животным свободный доступ к гранулам комбикорма. Такое решение было направлено на уменьшение потерь и повышение точности учёта потребления.

Использование полнорационного гранулированного комбикорма в кормлении монгольских песчанок упрощает дозирование и раздачу корма, сокращает количество операций по подготовке отдельных кормов к скармливанию и создаёт предпосылки для уменьшения трудозатрат при обслуживании животных. Можно предположить, что затраты, связанные с потерями корма, будут значительно меньше благодаря исключению сепарирования кормов животными; использованию кормушек, препятствующих разбрасыванию; исключению загрязнения гранул фекалиями и мочой; исключению из рациона кормов, подвергающихся быстрой порче. Ожидаемое снижение этих затрат требует оценки при практическом использовании комбикорма с учётом фактических остатков и потерь.

Таким образом, совершенствование рецептов комбикормов и способов подготовки их к скармливанию включает подбор сбалансированного состава, изготовление гранул и организацию их выдачи с учётом особенностей потребления монгольскими песчанками. Использование полнорационных гранулированных комбикормов в кормлении монгольских песчанок позволит исключить сепарирование корма и обеспечить животных необходимым уровнем питательных веществ и энергии.

3.3. Динамика живой массы монгольских песчанок

Полноценное и сбалансированное кормление является одним из основных факторов, определяющих нормальный рост и развитие монгольских песчанок. Сбалансированность рациона по питательным веществам и энергии, способствует поддержанию гомеостаза и обеспечивает нормальный рост животных. Недостаток или дисбаланс питательных веществ может сопровождаться снижением интенсивности прироста массы тела и ухудшением использования корма.

3.3.1 Динамика массы тела самцов

В возрасте 3,5 месяца масса тела самцов составляла $63,19 \pm 1,99$ г в контрольной группе, $60,14 \pm 1,26$ г в 1 опытной группе и $60,37 \pm 0,96$ г во 2 опытной группе (таблица 5). Статистически значимых межгрупповых различий не было выявлено. На всех последующих этапах взвешивания, за исключением последнего, попарные различия массы тела животных также не достигали статистической значимости.

Таблица 5 – Динамика массы тела самцов монгольских песчанок

Возраст, мес.	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
3,5	$63,19 \pm 1,99$	$60,14 \pm 1,26$	$60,37 \pm 0,96$
4,0	$68,73 \pm 2,00$	$65,98 \pm 1,61$	$68,15 \pm 1,17$
4,5	$72,84 \pm 2,13$	$70,85 \pm 1,92$	$72,19 \pm 1,55$
5,0	$75,08 \pm 1,58$	$72,44 \pm 2,04$	$76,48 \pm 1,51$
5,5	$77,36 \pm 1,66$	$73,01 \pm 1,72$	$76,74 \pm 1,34$
6,0	$78,20 \pm 1,64$	$76,99 \pm 1,77$	$77,75 \pm 1,28$
6,5	$78,03 \pm 1,58$	$77,64 \pm 1,61$	$80,22 \pm 1,32$
7,0	$79,34 \pm 2,88$	$77,95 \pm 1,66$	$81,61 \pm 1,45$

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$

В возрасте 7 месяцев масса тела самцов достигла $79,34 \pm 2,88$ г в контрольной группе, $77,95 \pm 1,66$ г и $81,61 \pm 1,45$ г в 1 и 2 опытных группах соответственно (рисунок 13). Различие между контролем и 1 опытной группой составило 1,39 г ($p = 0,680$), между контролем и 2 опытной группой – 2,26 г ($p = 0,492$), между опытными группами – 3,66 г ($p = 0,106$). Таким образом, увеличение уровня сырого протеина в комбикорме с 16 до 19% не сопровождалось статистически значимым увеличением массы тела самцов в конце периода.

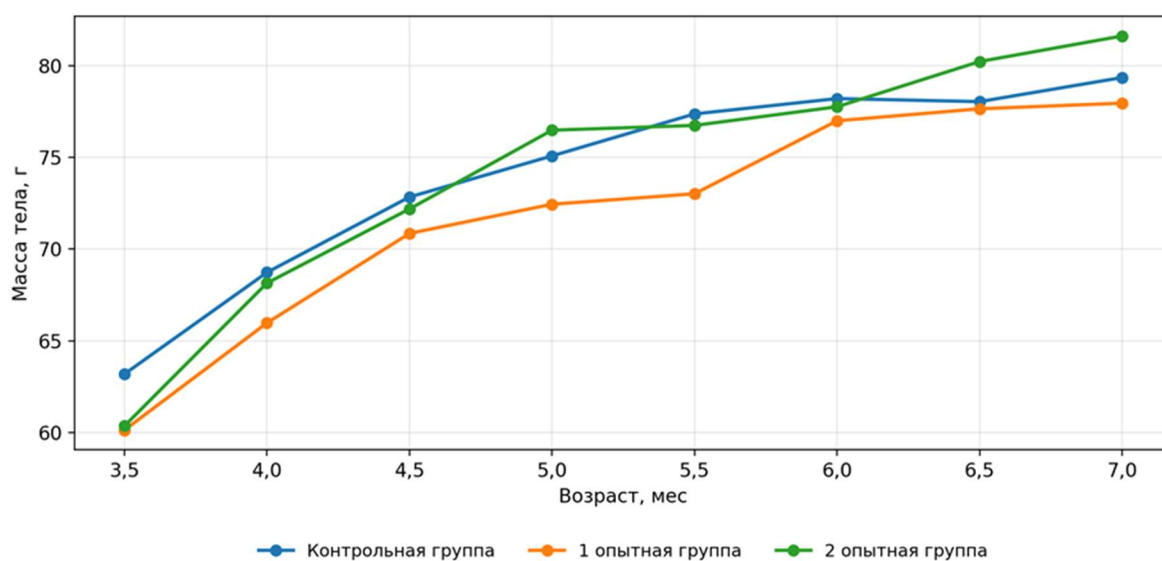


Рисунок 13 – Динамика массы тела самцов монгольских песчанок

Таблица 6 – Изменение массы тела самцов

Группа	Прирост, $M \pm m$, г	Прирост, %	t	p
Контрольная группа	$13,51 \pm 1,16$	20,5	11,62	< 0,001
1 опытная группа	$17,82 \pm 0,84$	29,6	21,17	< 0,001
2 опытная группа	$21,01 \pm 1,39$	34,7	15,14	< 0,001

Абсолютный прирост массы тела самцов в период от 3,5 до 7 месяцев составил $13,51 \pm 1,16$ г в контроле, $17,82 \pm 0,84$ г в 1 опытной группе и $21,01 \pm 1,39$ г во 2 опытной группе; относительный прирост – 20,5; 29,6 и 34,7% соответственно (таблица 6). Увеличение массы тела между было статистически значимым во всех

группах ($p < 0,001$). Прирост массы тела в 1 и 2 опытных группах превышал аналогичный показатель в контроле: при уровне сырого протеина 16% $p = 0,006$, при уровне сырого протеина 19% $p < 0,001$. Между опытными группами значимого различия прироста не выявлено ($p = 0,059$).

3.3.2 Динамика массы тела самок

В возрасте 3,5 месяца средняя масса тела самок составляла $52,00 \pm 1,23$ г в контроле, $52,31 \pm 0,67$ г при уровне сырого протеина 16% и $51,89 \pm 1,13$ г при уровне сырого протеина 19% (таблица 7). Исходные межгрупповые различия были статистически незначимыми ($p > 0,05$). В 4 месяца масса самок 1 опытной группы была ниже контрольной ($p = 0,038$). Для 2 опытной группы различия с контролем выявлены в 5,5 месяца ($p = 0,002$) и 6 месяцев ($p = 0,004$). В возрасте 6 месяцев самки 1 опытной группы превосходили самок 2 опытной группы ($p = 0,048$).

Таблица 7 – Динамика массы тела самок монгольских песчанок

Возраст, мес	Контрольная группа Натуральный рацион	1 опытная группа СП 16%	2 опытная группа СП 19%
3,5	$52,00 \pm 1,23$	$52,31 \pm 0,67$	$51,89 \pm 1,13$
4,0	$55,81 \pm 1,23$	$52,45 \pm 0,97^x$	$54,67 \pm 1,36$
4,5	$58,49 \pm 1,36$	$56,45 \pm 0,75$	$55,47 \pm 1,44$
5,0	$60,87 \pm 1,93$	$58,69 \pm 0,73$	$56,98 \pm 1,32$
5,5	$63,09 \pm 1,27$	$61,17 \pm 1,77$	$56,81 \pm 1,40^{xx}$
6,0	$64,18 \pm 1,41$	$61,57 \pm 0,96$	$58,18 \pm 1,36^{xx y}$
6,5	$64,21 \pm 1,44$	$64,94 \pm 1,08$	$58,36 \pm 1,61^{xx yy}$
7,0	$66,15 \pm 1,68$	$65,55 \pm 0,95$	$58,61 \pm 1,36^{xx yyy}$

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. $x - p < 0,05$; $xx - p < 0,01$; $xxx - p < 0,001$ по сравнению с контролем; $y - p < 0,05$; $yy - p < 0,01$; $yyy - p < 0,001$ между опытными группами

В 7 месяцев масса самок составила $66,15 \pm 1,68$ г в контроле, $65,55 \pm 0,95$ г при уровне сырого протеина 16% и $58,61 \pm 1,36$ г при уровне сырого протеина 19% (рисунок 14). Между 1 опытной группой и контролем различия не выявлены ($p =$

0,756). Самки 2 опытной группы уступали контролю на 7,54 г ($p = 0,0011$) и 1 опытной группе на 6,93 г ($p < 0,001$). В 6,5 месяца 1 опытная группа также не отличалась от контроля ($p = 0,687$), а 2 опытная группа уступала контролю ($p = 0,010$) и 1 опытной группе ($p = 0,002$). Таким образом, не выявлено серьезных различий в массе тела у самок при кормлении комбикормом с уровнем сырого протеина 16% от контроля.

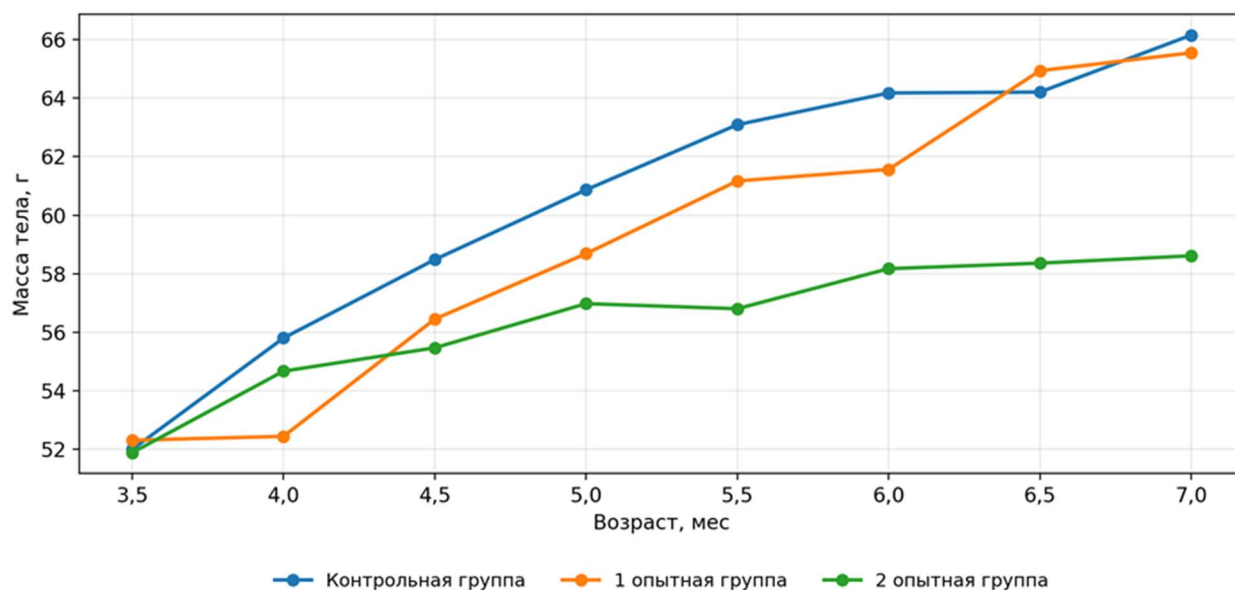


Рисунок 14 – Динамика массы тела самок монгольских песчанок

Таблица 8 – Изменение массы тела самок от 3,5 до 7 месяцев

Группа	Прирост, $M \pm m$, г	Прирост, %	t	p
Контрольная группа	$14,21 \pm 0,75$	27,4	18,82	$< 0,001$
1 опытная группа	$13,24 \pm 0,53$	25,3	24,97	$< 0,001$
2 опытная группа	$6,72 \pm 0,86$	13,0	7,81	$< 0,001$

Примечания: Парный двусторонний t-критерий Стьюдента. Прирост рассчитан как среднее индивидуальных разностей; процент – отношение среднего прироста к начальной средней массе тех же животных

Абсолютный прирост массы тела у самок в период от 3,5 до 7 месяцев составил $14,21 \pm 0,75$ г в контроле, $13,24 \pm 0,53$ г в 1 опытной группе и $6,72 \pm 0,86$ г во 2 опытной группе; относительный прирост – 27,4; 25,3 и 13,0% соответственно

(таблица 8). Прирост массы тела животных в 1 опытной группе не отличался существенно от контроля ($p = 0,297$), тогда как 2 опытная группа достоверно ($p < 0,001$) уступала и контролю, и 1 опытной группе. Таким образом, кормление комбикормом с уровнем сырого протеина 16% сопровождается более выраженным приростом массы тела самок, чем при уровне сырого протеина 19%.

3.3.3 Средние показатели по полу

К 7 месяцам масса самцов и самок монгольских песчанок составила $72,75 \pm 1,67$ г в контроле, $71,75 \pm 0,96$ г при уровне сырого протеина 16% и $70,11 \pm 0,99$ г при уровне сырого протеина 19% (таблица 9). При этом усреднение сглаживает различия между полами: наибольшая конечная масса самцов наблюдалась при уровне сырого протеина 19%, а самок – в контроле.

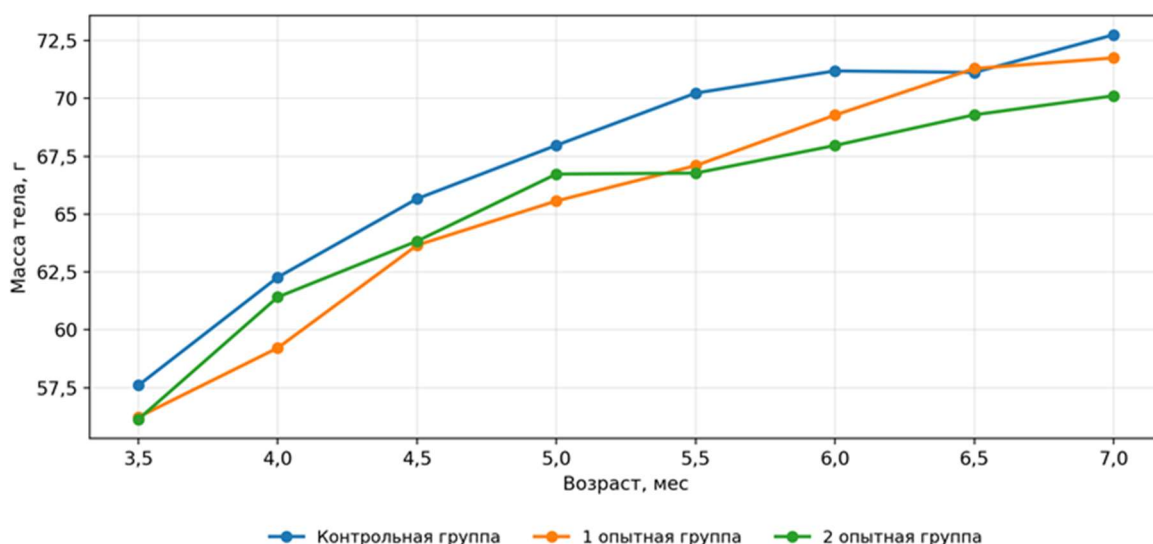


Рисунок 15. Динамика массы тела самцов и самок монгольских песчанок

Таблица 9 – Масса тела самцов и самок монгольских песчанок, $M \pm m$, г

Возраст, мес	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
3,5	$57,60 \pm 1,17$	$56,23 \pm 0,71$	$56,13 \pm 0,74$
4,0	$62,27 \pm 1,17$	$59,21 \pm 0,94$	$61,41 \pm 0,90$
4,5	$65,66 \pm 1,26$	$63,65 \pm 1,03$	$63,83 \pm 1,06$

Возраст, мес	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
5,0	67,97 ± 1,25	65,57 ± 1,08	66,73 ± 1,00
5,5	70,23 ± 1,05	67,09 ± 1,23	66,77 ± 0,97
6,0	71,19 ± 1,08	69,28 ± 1,01	67,96 ± 0,93
6,5	71,12 ± 1,07	71,29 ± 0,97	69,29 ± 1,04
7,0	72,75 ± 1,67	71,75 ± 0,96	70,11 ± 0,99

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$

Комбикорм с уровнем содержания СП 16% обеспечивал статистически значимое увеличение массы животных обоих полов. При взвешивании в 7 месяцев не выявлено различий с натуральным рационом ни у самцов, ни у самок (рисунок 15). У самок 1 опытной группы показатели массы тела в возрасте 7 месяцев и значения прироста массы тела были выше, чем у 2 опытной группы; у самцов различий между 1 и 2 опытными группами не выявлено. Следовательно, повышение уровня сырого протеина в комбикормах с 16 до 19% не давало одинакового преимущества по массе тела у обоих полов.

3.4. Проведение балансового опыта

Особенности строения желудочно-кишечного тракта монгольской песчанки определяют характер переваривания питательных веществ корма. Однокамерный желудок и хорошо развитый тонкий кишечник обеспечивают преимущественно ферментативное переваривание белков, жиров и легкоусвояемых углеводов. В слепой и ободочной кишках происходит ферментация части растительных волокон под воздействием кишечной микрофлоры, однако способность песчанок использовать грубую клетчатку в качестве источника энергии ограничена. В связи с этим состав рациона, особенно содержание и соотношение протеина, жира, клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ, может существенно влиять на переваримость сухого и органического вещества, поступление обменной энергии и эффективность использования азота корма. Для оценки полноценности

разработанных рационов был проведён балансовый опыт, позволивший определить фактическое потребление корма, переваримость основных питательных веществ и особенности их использования организмом монгольских песчанок.

Таблица 10 – Коэффициенты переваримости питательных веществ у самок, %

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Сухое вещество	78,77±0,26	75,91±0,47 ^x	75,52±0,69 ^x
Органическое вещество	83,81±0,07	81,05±0,37 ^x	80,51±0,52 ^x
Сырой протеин	74,52±0,16	85,59±0,28 ^x	88,36±0,33 ^{xy}
Сырой жир	80,40±0,17	87,48±0,25 ^x	87,43±0,36 ^x
Сырая клетчатка	69,00±0,07	65,84±0,67 ^x	59,17±1,16 ^{xy}
БЭВ	85,73±0,24	83,48±0,38 ^x	82,12±0,56 ^x

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p < 0,05$ по сравнению с 1 опытной группой

Максимальные значения коэффициентов переваримости сухого и органического вещества у самок отмечены в контрольной группе – 78,77 и 83,81% соответственно (таблица 10). В 1 опытной группе эти показатели составляли 75,91 и 81,05%, во 2 опытной группе – 75,52 и 80,51%. Снижение переваримости сухого и органического вещества относительно контроля было статистически значимым в обеих опытных группах ($p < 0,05$).

Коэффициент переваримости сырого протеина увеличился с 74,52% в контрольной группе до 85,59% в 1 опытной и до 88,36% во 2 опытной группе. Результаты обеих опытных групп достоверно превосходили контроль, при этом данный показатель во 2 опытной группе был достоверно выше значения 1 опытной группы ($p < 0,05$). Коэффициент переваримости сырого жира вырос с 80,40% в контроле до 87,48 и 87,43% в 1 и 2 опытных группах соответственно. В обеих

опытных группах повышение относительно контроля было статистически подтверждено ($p<0,05$). Таким образом, увеличение уровня содержания сырого протеина в комбикорме с 16 до 19% повысило переваримость протеина, но не сопровождалось дальнейшим ростом переваримости жира.

Коэффициент переваримости сырой клетчатки снизился с 69,00% в контрольной группе до 65,84% и 59,17% в 1 и 2 опытных группах соответственно. Снижение относительно контроля было достоверным в обеих опытных группах, а значение во 2 опытной группе было достоверно ниже показателя 1 опытной группы ($p<0,05$). Переваримость безазотистых экстрактивных веществ составляла 85,73% в контроле, 83,48% и 82,12% в 1 и 2 опытных группах соответственно. В обеих опытных группах она была достоверно ниже контрольного значения ($p<0,05$). Во всех группах переваримость органического вещества и безазотистых экстрактивных веществ превышала переваримость сухого вещества. Таким образом, повышение переваримости протеина и жира при использовании комбикормов сопровождалось снижением переваримости клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ.

Таблица 11 – Коэффициенты переваримости питательных веществ у самцов, %

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Сухое вещество	82,96±0,22	78,12±0,70 ^x	80,43±0,80
Органическое вещество	89,53±1,16	83,36±0,53 ^x	85,27±0,60
Сырой протеин	79,14±0,08	86,75±0,42 ^x	90,46±0,39 ^{xy}
Сырой жир	90,93±0,08	95,05±0,16 ^x	95,24±0,20 ^x
Сырая клетчатка	70,00±0,01	65,81±1,09	70,30±1,22
БЭВ	91,93±0,004	84,10±0,54 ^x	87,54±0,68 ^x

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p<0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p<0,05$ по сравнению с 1 опытной группой

Максимальные значения коэффициентов переваримости сухого и органического вещества у самцов отмечены в контрольной группе – 82,96 и 89,53% соответственно (таблица 11). В 1 опытной группе эти показатели составляли 78,12 и 83,36%, во 2 опытной группе – 80,43 и 85,27%. Снижение переваримости сухого и органического вещества относительно контроля на 4,84% и 6,17% соответственно было статистически значимым в 1 опытной группе ($p < 0,05$).

Коэффициент переваримости сырого протеина увеличился с 79,14% в контрольной группе до 86,75% в 1 опытной и до 90,46% во 2 опытной группах. Обе опытные группы достоверно превосходили контроль, а показатель 2 опытной группы был достоверно выше значения 1 опытной группы ($p < 0,05$). Коэффициент переваримости сырого жира вырос с 90,93% в контроле до 95,05 и 95,24% в 1 и 2 опытных группах соответственно. Повышение относительно контроля было статистически подтверждено в обеих опытных группах ($p < 0,05$). Таким образом, увеличение уровня содержания сырого протеина в комбикорме с 16 до 19% сопровождалось дальнейшим повышением переваримости протеина, тогда как переваримость жира в опытных группах имела близкие значения.

Коэффициенты переваримости сырой клетчатки составляли 70% в контрольной группе, 65,81% в 1 опытной группе и 70,30% во 2 опытной группе. Переваримость безазотистых экстрактивных веществ снизилась с 91,93% в контроле до 84,10 и 87,54% в 1 и 2 опытных группах соответственно. В обеих опытных группах снижение относительно контроля было статистически значимым ($p < 0,05$). Во всех группах переваримость органического вещества и безазотистых экстрактивных веществ превышала переваримость сухого вещества. Таким образом, оба комбикорма обеспечивали более высокую переваримость протеина и жира, а наиболее высокое значение переваримости протеина отмечено при уровне содержания сырого протеина 19%.

Коэффициент переваримости сырого протеина увеличился с 76,83% в контрольной группе до 86,17% в 1 опытной и до 89,41% во 2 опытной группе (таблица 12). Результаты обеих опытных групп достоверно превосходили контроль, при этом данный показатель во 2 опытной группе был достоверно выше значения 1

опытной группы ($p<0,05$). Коэффициент переваримости сырого жира вырос с 85,67% в контроле до 91,26 и 91,34% в 1 и 2 опытных группах соответственно. Различие с контролем было статистически подтверждено для 1 опытной группы, тогда как между опытными группами выраженных различий не установлено. Таким образом, увеличение уровня сырого протеина в комбикорме с 16 до 19% повысило переваримость протеина, но не сопровождалось дальнейшим ростом переваримости жира.

Таблица 12 –Коэффициенты переваримости питательных веществ у самок и самцов, %

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Сухое вещество	80,86±0,64	77,01±0,71 ^x	77,97±1,48
Органическое вещество	86,67±1,71	82,20±0,70	82,89±1,13
Сырой протеин	76,83±0,08	86,17±0,38 ^x	89,41±0,64 ^{xy}
Сырой жир	85,67±0,66	91,26±2,18 ^x	91,34±2,26
Сырая клетчатка	69,50±0,03	65,82±0,52 ^x	64,73±3,28
БЭВ	88,83±0,18	83,79±0,79 ^x	84,83±1,05 ^x

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p<0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p<0,05$ по сравнению с 1 опытной группой

Максимальные значения коэффициентов переваримости сухого и органического вещества, а также безазотистых экстрактивных веществ отмечены в контрольной группе – 80,86; 86,67 и 88,83% соответственно. В 1 опытной группе эти показатели составляли 77,01; 82,20 и 83,79%, во 2 опытной группе – 77,97; 82,89 и 84,83%. Снижение переваримости сухого вещества относительно контроля было статистически значимым в 1 опытной группе, а безазотистых экстрактивных веществ – в обеих опытных группах ($p<0,05$).

Во всех группах переваримость органического вещества и безазотистых экстрактивных веществ превышала переваримость сухого вещества. Это указывает на более эффективное использование органической части рациона по сравнению с сухим веществом в целом, включающим минеральную фракцию. Отмечена линейная тенденция снижения переваримости сырой клетчатки, коэффициент переваримости составил 69,50% в контроле, 65,82% в 1 и 64,73% во 2 опытных группах. Таким образом, более эффективное переваривание протеина корма не сопровождалось аналогичными изменениями в переваримости структурных углеводов. Переваримость клетчатки у монгольских песчанок зависит от её количества и структуры, скорости прохождения через пищеварительный тракт и активности ферментации в слепой кишке.

Таблица 13 – Показатели азотистого обмена у самок

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Принято азота, мг	59,0±3,20	70,3±0,90	89,0±1,30 ^{xy}
Выделено с калом, мг	15,0±0,80	10,1±0,30 ^x	10,4±0,10 ^x
Переварено азота, мг	44,0±2,40	60,2±0,60 ^x	78,7±1,50 ^{xy}
Коэффициент переваримости азота, %	74,52±0,16	85,59±0,28 ^x	88,36±0,33 ^{xy}
Выделено с мочой, мг	32,49±11,29	20,63±13,75	38,85±10,26
Усвоено от принятого, %	19,47±3,01	56,25±19,62	44,72±10,20
Усвоено от переваренного, %	26,13±2,98	65,72±23,13	50,61±11,64
Баланс азота, мг	+11,49±8,87	+39,55±14,31	+39,81±8,79

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p < 0,05$ по сравнению с 1 опытной группой.

В организме самок всех групп баланс азота был положительным (таблица 13). Количество принятого азота возрастало с 59,0 мг в контрольной группе до 70,3 мг

в 1 и 89,0 мг во 2 опытной группе. Во 2 опытной группе поступление азота было достоверно выше, чем в контрольной и 1 опытной группах ($p < 0,05$). Выделение азота с калом снижалось с 15,0 мг в контроле до 10,1 и 10,4 мг в 1 и 2 опытных группах соответственно. В обеих опытных группах оно было достоверно ниже контрольного значения ($p < 0,05$). Несмотря на большее потребление азота, самки опытных групп выделяли его с калом в меньшем количестве.

Количество переваренного азота увеличивалось с 44,0 мг в контрольной группе до 60,2 мг в 1 опытной группе и 78,7 мг во 2 опытной группе. Обе опытные группы достоверно превосходили контроль, при этом значение во 2 опытной группе было достоверно выше показателя 1 опытной группы ($p < 0,05$). Коэффициент переваримости азота увеличился с 74,52% в контроле до 85,59 и 88,36% в 1 и 2 опытных группах соответственно. Повышение относительно контроля было достоверным в обеих опытных группах, а во 2 опытной группе показатель был достоверно выше, чем в 1 опытной группе ($p < 0,05$).

Наиболее высокая доля усвоенного азота у самок отмечена в 1 опытной группе: от принятого она составила 56,25%, а от переваренного – 65,72%. Во 2 опытной группе эти показатели составляли 44,72 и 50,61%, в контрольной – 19,47 и 26,13% соответственно. Выделение азота с мочой было минимальным в 1 опытной группе – 20,63 мг против 32,49 мг в контроле и 38,85 мг во 2 опытной группе. Баланс азота составил +11,49 мг в контроле, +39,55 мг в 1 и +39,81 мг во 2 опытной группе. Таким образом, комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 19% обеспечивал максимальные поступление и количество переваренного азота, а также наиболее высокое среднее абсолютное значение баланса. При уровне содержания сырого протеина 16% доля удержанного азота у самок была выше, а его выделение с мочой – ниже. При этом баланс азота в обеих опытных группах имел близкие значения.

В организме самцов всех групп баланс азота был положительным (таблица 14). Количество принятого азота увеличилось с 73,6 мг в контрольной группе до 119,2 мг в 1 опытной группе и до 153,1 мг во 2 опытной группе. Значения в обеих опытных группах достоверно превосходили контроль, а значение во 2 опытной

группе было достоверно выше показателя 1 опытной группы ($p<0,05$). Выделение азота с калом составляло 15,4 мг в контроле, 15,8 мг в 1 опытной группе и 14,6 мг во 2 опытной группе.

Таблица 14 – Показатели азотистого обмена у самцов

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Принято азота, мг	73,6±4,90	119,2±4,30 ^x	153,1±2,60 ^{xy}
Выделено с калом, мг	15,4±0,10	15,8±0,10	14,6±0,30
Переварено азота, мг	58,2±5,10	103,4±4,30 ^x	138,5±3,00 ^{xy}
Коэффициент переваримости азота, %	79,14±0,08	86,75±0,42 ^x	90,46±0,39 ^{xy}
Выделено с мочой, мг	39,30±12,18	20,47±16,26	34,41±9,95
Усвоено от принятого, %	25,74±2,75	69,58±14,71	67,99±5,61 ^x
Усвоено от переваренного, %	32,52±2,93	80,21±16,57	75,16±6,50 ^x
Баланс азота, мг	+18,94±7,13	+82,97±20,53	+104,12±6,98 ^x

Примечания: Данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p<0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p<0,05$ по сравнению с 1 опытной группой

Количество переваренного азота увеличилось с 58,2 мг в контрольной группе до 103,4 мг в 1 опытной группе и 138,5 мг во 2 опытной группе. Результаты обеих опытных групп достоверно превосходили контроль, при этом значение 2 опытной группы было достоверно выше показателя 1 опытной группы ($p<0,05$). Коэффициент переваримости азота возрастал с 79,14% в контроле до 86,75 и 90,46% в 1 и 2 опытных группах соответственно. Оба значения достоверно превышали контрольное, а показатель 2 опытной группы был достоверно выше значения 1 опытной группы ($p<0,05$).

Наиболее высокая доля усвоенного азота отмечена в 1 опытной группе: от принятого она составила 69,58%, а от переваренного – 80,21%. Во 2 опытной группе

эти показатели составляли 67,99 и 75,16%, в контрольной – 25,74 и 32,52% соответственно. Во 2 опытной группе эти показатели были достоверно выше контрольных значений ($p < 0,05$). Выделение азота с мочой было минимальным в 1 опытной группе – 20,47 мг против 39,30 мг в контроле и 34,41 мг во 2 опытной группе.

Баланс азота составил +18,94 мг в контрольной группе, +82,97 мг в 1 опытной группе и +104,12 мг во 2 опытной группе. Во 2 опытной группе он был достоверно выше контрольного значения ($p < 0,05$). Таким образом, комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 19% обеспечивал максимальные поступление и количество переваренного азота, а также наиболее высокое среднее абсолютное значение баланса. При уровне содержания сырого протеина 16% доля удержанного азота была выше, а его выделение с мочой – ниже. Следовательно, более высокий баланс азота при уровне содержания сырого протеина 19% сочетался с более низкими показателями его относительного удержания по сравнению с комбикормом с уровнем содержания сырого протеина 16%.

Таблица 15 – Средние показатели азотистого обмена у самок и самцов

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Принято азота, мг	66,3±6,00	94,8±14,20	121,1±18,50 ^x
Выделено с калом, мг	15,2±0,30	13,0±1,60	12,5±1,20
Переварено азота, мг	51,1±5,80	81,8±12,60	108,6±17,30 ^x
Коэффициент переваримости азота, %	76,83±0,08	86,17±0,38 ^x	89,41±0,64 ^{xy}
Выделено с мочой, мг	35,89±9,93	20,55±8,69	36,63±7,25
Усвоено от принятого, %	22,60±2,34	62,91±10,69 ^x	56,35±12,44 ^x
Усвоено от переваренного, %	29,32±2,43	72,96±12,29 ^x	62,88±13,67

Показатель	Группы		
	Контрольная	Опытные	
		1 опытная	2 опытная
Баланс азота, мг	+15,21±5,01	+61,26±16,14 ^x	+71,96±22,06 ^x

Примечания: данные представлены в виде $M \pm m$. ^x – $p < 0,05$ по сравнению с контрольной группой; ^y – $p < 0,05$ по сравнению с 1 опытной группой

При анализе результатов, полученных в ходе физиологических опытов установлено, что в организме животных всех групп баланс азота был положительным (таблица 15). Количество принятого азота возрастало с 66,3 мг в контрольной группе до 94,8 мг в 1 и 121,1 мг во 2 опытных группах, а количество переваренного азота – с 51,1 до 81,8 и 108,6 мг соответственно. Для 2 опытной группы увеличение поступления и количества переваренного азота относительно контроля было статистически значимым ($p < 0,05$). Баланс азота составил +15,21 мг в контроле, +61,26 мг в 1 опытной группе и +71,96 мг во 2 опытной группе. Важно отметить, что в обеих опытных группах он был достоверно выше контрольного значения ($p < 0,05$). Фактический состав корма, потреблённого животными контрольной группы, мог существенно отличаться от состава рациона, в связи с тем, что песчанки при использовании натуральных кормов склонны к избирательному потреблению компонентов рациона. При сепарации корма, когда животные формируют рацион исходя из собственных вкусовых предпочтений в пользу более привлекательных по органолептическим свойствам фракций, количество питательных веществ, поступающих в пищеварительную систему может существенно отличаться от того количества, которое требуется для поддержания гомеостаза на оптимальном уровне. Гомогенность комбикормов исключает возможность сепарации его компонентов, что обеспечивает стабильное, в соответствии с потребностями животных, потребление нутриентов, в том числе и азотосодержащих.

Выделение азота с калом в контрольной группе было максимальным и составило $15,2 \pm 0,3$ мг, тогда как в 1 и 2 опытных группах оно снизилось до $13,0 \pm 1,6$ и $12,5 \pm 1,2$ мг соответственно. Несмотря на большее потребление азота, животные опытных групп выделяли его с калом в меньшем количестве. Наблюдаемая картина свидетельствует о том, что полнорационные комбикорма содержали легко доступные источники белка, были сбалансированы по аминокислотному составу и, вероятно, имели меньшую долю труднопереваримых фракций, таких как клетчатка и лигнин, а также антипитательных факторов, которые связывают азот и увеличивают его эндогенные потери.

Наиболее высокая эффективность использования азота отмечена в 1 опытной группе: доля усвоенного азота от принятого составила 62,91%, а от переваренного – 72,96%. Во 2 опытной группе эти показатели составляли 56,35 и 62,88%, в контрольной – 22,60 и 29,32% соответственно. Выделение азота с мочой было минимальным в 1 опытной группе – 20,553 мг против 35,897 мг в контроле и 36,630 мг во 2 опытной группе. Данная тенденция отражает возможный избыток протеина в рационе животных 2 опытной группы, который не используется в организме, о чем свидетельствует высокое содержание азота в моче. Таким образом, увеличение уровня сырого протеина в комбикорме с 16% до 19% не повышает эффективность использования азота, а приводит к росту неэффективных потерь с мочой. В контрольной группе высокое значение выделенного азота с мочой при относительно невысоком потреблении может свидетельствовать о низкой биологической ценности белка натурального рациона и его несбалансированности, вызванной в том числе избирательным потреблением кормов.

Комбикорм с уровнем сырого протеина 19% обеспечивал максимальную эффективность переваривания протеина и наиболее высокое значение баланса азота. Однако относительное удержание азота было выше при содержании сырого протеина в комбикорме 16%, а его выделение с мочой – ниже. Избыток аминокислот, не использованный для синтеза белка, подвергается катаболизму, в процессе которого азот, преимущественно в составе мочевины, выводится с мочой, в связи с

чем высокие показатели переваримости и баланса азота не всегда свидетельствуют о его эффективном использовании.

Таким образом, комбикорм с уровнем сырого протеина 16%, обеспечивал наиболее эффективное использование азота корма: высокую переваримость протеина и максимальное количество усвоенного азота. При использовании комбикорма, содержащего 19% сырого протеина баланс азота, имел наиболее высокое значение, однако, дополнительное поступление азота с кормом использовалось менее эффективно.

Переход от многокомпонентного натурального рациона к стандартизированным гранулированным комбикормам сопровождался повышением переваримости сырого протеина и сырого жира, а также более эффективным использованием азота в организме животных, поступающего из корма. Вероятными причинами являются стабильный химический состав и однородность гранул, а также отсутствие возможности у песчанок избирательно потреблять отдельные компонент рациона с большей вкусовой привлекательностью. Данные результаты согласуются с рекомендациями по кормлению лабораторных грызунов в которых подчеркивается необходимость стандартизации рационов с учетом потребностей животных разных видов в питательных веществах и энергии, что необходимо для воспроизводимости исследований. Однако, в практике зоотехнии лабораторных животных, для кормления монгольских песчанок используют комбикорма для мышей или крыс.

3.5. Оценка видового состава фекальной микробиоты монгольских песчанок

Микробиом желудочно-кишечного тракта животных представляет собой чрезвычайно сложную и динамичную экосистему, где хозяин, микробиота и факторы окружающей среды взаимодействуют сложным образом, оказывая влияние на здоровье животных. Микробиом выступает в качестве основного посредника между потреблением корма и количеством переваренных питательных веществ. Поскольку фекальная микробиота во многом отражает экологию дистального отдела толстой кишки, изменения в составе корма напрямую изменяют

структурный и функциональный профиль фекальных микробов. Таким образом, оценка микробиоты фекалий может служить неинвазивным диагностическим инструментом для оценки качества кормления животных.

Анализ результатов, полученных в результате метагеномного анализа фекалий монгольских песчанок показал, что уровень протеина в полнорационном комбикорме оказывает влияние на видовой состав микробиоты кала.

Таблица 16 – Видовой состав фекальной микробиоты монгольских песчанок

Вид	1 опытная группа	2 опытная группа	Контрольная группа
<i>Acinetobacter baumannii</i>		+	+
<i>Acinetobacter calcoaceticus</i>	+	+	
<i>Acinetobacter pittii</i>			+
<i>Acinetobacter seifertii</i>	+		
<i>Bacillus cereus</i>		+	
<i>Candida tropicalis</i>			+
<i>Citrobacter amalonaticus</i>		+	
<i>Clostridium perfringens</i>		+	
<i>Enterobacter hormaechei</i>	+	+	+
<i>Enterococcus faecalis</i>		+	
<i>Enterococcus faecium</i>	+	+	+
<i>Enterococcus gallinarum</i>	+	+	
<i>Enterococcus raffinosus</i>	+	+	
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+
<i>Klebsiella aerogenes</i>			+
<i>Klebsiella oxytoca</i>		+	+
<i>Kosakonia cowanii</i>			+
<i>Lactobacillus kitasatonis</i>	+		+
<i>Lactococcus lactis</i>			+
<i>Ligilactobacillus murinus</i>	+	+	+

Вид	1 опытная группа	2 опытная группа	Контрольная группа
<i>Limosilactobacillus reuteri</i>	+		
<i>Lysinibacillus boronitolerans</i>		+	
<i>Lysinibacillus fusiformis</i>	+	+	+
<i>Providencia rettgeri</i>			+
<i>Staphylococcus aureus</i>		+	
<i>Staphylococcus gallinarum</i>		+	
<i>Staphylococcus lentus</i>			+
<i>Staphylococcus microti</i>	+		
<i>Staphylococcus sciuri</i>	+	+	
<i>Staphylococcus succinus</i>			+
<i>Staphylococcus xylosus</i>			+
	13	18	17

Примечания: «+» – микроорганизм указан в результатах исследования образца; пустая ячейка – не указан в протоколе

В кале животных всех трёх групп были обнаружены *Enterobacter hormaechei*, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*, *Ligilactobacillus murinus* и *Lysinibacillus fusiformis*, что позволяет рассматривать их как устойчивое ядро микробиоценоза в условиях данного эксперимента. Вместе с тем группы различались по видовому богатству и по присутствию отдельных условно-патогенных и комменсальных таксонов.

Фекальная микробиота контрольной группы представлена 17 видами. Помимо указанного ядра, в ней присутствовали *Lactobacillus kitasatonis*, *Lactococcus lactis*, *Enterococcus faecium*, *Escherichia coli*, а также коагулазонегативные стафилококки *Staphylococcus lentus*, *S. succinus* и *S. xylosus*. Кроме того, обнаружены *Acinetobacter baumannii*, *A. pittii*, *Klebsiella aerogenes*, *K. oxytoca*, *Kosakonia cowanii*, *Providencia rettgeri* и дрожжевой гриб *Candida tropicalis*. В то же время в контрольной группе отсутствовали *Clostridium perfringens*,

Staphylococcus aureus и *Bacillus cereus*. Рацион, включающий натуральные корма, в том числе богатые клетчаткой, создаёт более гетерогенную субстратную среду для молочнокислых бактерий. Присутствие в кале животных контрольной группы *L. kitasatonis* и *L. murinus* согласуется с представлениями об их роли в поддержании барьерной функции кишечника и колонизационной резистентности. Обнаруженные в кале животных *C. tropicalis* и ряд представителей *Enterobacteriaceae* попадают в кишечник с кормом или из окружающей среды, но они не могут эффективно конкурировать за экологическую нишу с резидентным сообществом и, как правило, не колонизирует кишечник постоянно.

Установлено, что в кале животных 1 опытной группы наименьшее видовое богатство, обнаружено 13 видов, как и в контрольной группе присутствовали такие виды как: *L. kitasatonis*, *L. murinus*, *E. faecium*, *E. gallinarum*, *E. raffinosus*, *E. coli*, *E. hormaechei*, *L. fusiformis*, *A. calcoaceticus*, *S. sciuri*. Уникальными для этой группы были *Limosilactobacillus reuteri*, *Enterococcus faecalis*, *Acinetobacter seifertii* и *Staphylococcus microti*, при этом отсутствовали многие таксоны, обнаруженные в контроле: *Lactococcus lactis*, *K. aerogenes*, *K. oxytoca*, *Kosakonia cowanii*, *P. rettgeri*, *C. tropicalis*, *S. lentus*, *S. succinus*, *S. xylosus*, *A. pittii* и *A. baumannii*. Также не обнаружены *C. perfringens*, *S. aureus* и *B. cereus*. Присутствие в фекалиях животных данной группы *L. reuteri* и *E. faecalis* может отражать компенсаторную адаптацию сообщества, а отсутствие *C. perfringens* и *S. aureus* является положительным признаком.

Во второй опытной группе отмечено наибольшее видовое богатство – 18 видов. Наряду с ядовыми таксонами также присутствовали *A. baumannii*, *A. calcoaceticus*, *E. gallinarum*, *E. raffinosus*, *K. oxytoca* и *S. sciuri*. При этом отсутствовали *L. kitasatonis*, *L. reuteri*, *Lactococcus lactis*, *A. pittii*, *A. seifertii*, *C. tropicalis*, *K. aerogenes*, *Kosakonia cowanii*, *P. rettgeri*, *S. lentus*, *S. succinus*, *S. xylosus* и *S. microti*. Вероятно, повышение уровня сырого протеина в комбикорме до 19%, увеличивает количество поступающего в толстый отдел кишечника непереваренного белка, где он становится субстратом протеолитической ферментации для микрофлоры. Образование аммиака, аминов, сероводорода и

разветвлённых жирных кислот может изменять pH и редокс-условия в просвете кишки, создавая преимущества для *C. perfringens*, некоторых *Enterobacteriaceae* и спорообразующих аэробов. Появление *S. aureus* и *A. baumannii* в этой группе является неблагоприятным прогностическим признаком, поскольку оба таксона относятся к оппортунистическим патогенам. Увеличение видового богатства в данном случае не обязательно свидетельствует об улучшении здоровья, а может отражать расширение экологических ниш для факультативных анаэробов и транзитных таксонов на фоне снижения колонизационной резистентности.

Таким, образом, в 1 опытной группе, несмотря на наименьшее количество обнаруженных в кале таксонов, выявляется ряд признаков, которые при сопоставлении с данными контрольной и 2 опытной групп могут рассматриваться как потенциально благоприятные для микробиоценоза. Необходимо отметить, что, только в этой группе обнаружен *Limosilactobacillus reuteri* – вид, который повышает экспрессию генов плотных контактов в эпителиальных клетках кишечника, что лежит в основе его барьерной функции, а также участвует в модуляции иммунного ответа, снижая провоспалительные реакции. Сохранение *Lactobacillus kitasatonis* в кале животных 1 опытной группы, при его отсутствии во 2 – также может рассматриваться как позитивный признак поскольку данный вид демонстрирует наиболее высокую ауто-агрегацию среди протестированных лактобацилл, что способствует устойчивости к механическому вымыванию из кишечника и колонизации эпителия, а также выраженную ко-агрегацию с *Salmonella Typhimurium*, указывающую на потенциал конкурентного исключения патогенов. Это подтверждается отсутствием ряда потенциально патогенных и оппортунистических микроорганизмов, выявленных в других группах, – в частности *Clostridium perfringens* и *Staphylococcus aureus*, а также *Bacillus cereus*, *Acinetobacter baumannii* и *Acinetobacter pittii*.

Фекальный микробиоценоз монгольских песчанок 1 опытной группы характеризуется сохранением ключевых представителей молочнокислой микробиоты с высоким пробиотическим потенциалом и отсутствием ряда патогенов. Сбалансированное кормление способствует созданию в кишечнике

среды, которая естественным образом подавляет развитие патогенной микрофлоры. Поскольку фекальная микробиота во многом отражает экологию дистального отдела толстой кишки, изменения в составе корма напрямую изменяют структурный и функциональный профиль фекальных микробов.

3.6. Биохимические показатели крови монгольских песчанок

3.6.1. Результаты биохимического исследования крови и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что состав рационов оказывает влияние на ряд биохимических показателей плазмы крови, отражающих особенности обмена веществ и физиологическое состояние организма монгольских песчанок. Несмотря на то, что большинство исследованных показателей во всех группах находилось в пределах или вблизи референсных значений, использование разных рационов отражалось на специфике белкового, углеводного и липидного обменов животных (Хлюпин, Ксенофонтова, 2026 (а)).

Таблица 17 – Биохимические показатели крови монгольских песчанок при использовании рационов с различными уровнями сырого протеина

Показатель	Единица измерения	Референсный интервал	Группа		
			Контрольная	1 опытная	2 опытная
Общий белок	г/л	43,00-125,00	55,83	54,07	55,67
Альбумин	г/л	18,00-55,00	21,83	26,20	25,33
Глобулины	г/л	12,00-60,00	34,00	28,67	30,33
Соотношение альбумин/глобулины	-	0,91-2,60	0,66	0,88	0,86
Креатинин	мкмоль/л	39,40-75,5	25,67	32,93	33,00
Мочевина	ммоль/л	5,21-16,00	2,55	6,17	5,90
Глюкоза	ммоль/л	2,79-7,49	7,27	5,24	7,28
Билирубин общий	мкмоль/л	3,36-10,26	5,33	4,67	8,83

Показатель	Единица измерения	Референсный интервал	Группа		
			Контрольная	1 опытная	2 опытная
Аланинаминотрансфераза	Ед/л	41,62-113,16	98,50	70,33	53,83
Аспартатаминотрансфераза	Ед/л	167,55-539,63	214,83	191,00	224,17
Щелочная фосфатаза	Ед/л	32,27-434,30	99,67	94,43	96,50
Холестерин	ммоль/л	2,31-3,85	0,53	0,90	0,94
Триглицериды	ммоль/л	0,22-1,48	0,57	1,29	1,34
Кальций	ммоль/л	0,91-1,55	2,07	2,20	2,11
Фосфор неорганический	ммоль/л	1,20-2,26	1,69	0,99	1,15
Магний	ммоль/л	1,60-2,14	0,94	1,11	1,08
Гаммаглутаминтрансфераза	Ед/л	не указан	1,00	1,00	3,67
Креатинфосфокиназа общая	Ед/л	не указан	615,83	300,17	379,42

Одними из наиболее информативных показателей полноценности кормления являются показатели белкового обмена. Общий белок плазмы крови представляет собой интегральный маркер белкового гомеостаза, отражающий суммарную концентрацию белковых фракций. В ходе исследования его уровень во всех группах находился в пределах референсного интервала на одном уровне и составлял в среднем 54-55 г/л (рисунок 16). Это свидетельствует о том, что все исследованные рационы обеспечивали адекватное поступление белка и поддерживали общий белковый пул организма животных на физиологическом уровне, без признаков гипо- и гиперпротеинемии. Отсутствие значимых сдвигов концентрации общего белка в плазме крови животных указывает на сохранность синтетической функции печени и отсутствие выраженных катаболических процессов при всех вариантах кормления. Таким образом, было установлено, что все рационы являются полноценными и безопасными по содержанию в них сырого протеина. Вместе с тем оценка полноценности белкового питания требует анализа отдельных белковых

фракций и показателей азотистого обмена. Различия по концентрации общего белка между всеми группами статистически недостоверны ($p>0,05$).

Концентрация альбумина в плазме крови является одним из ключевых маркеров белково-синтетической функции печени, а также показателем нутритивного статуса и транспортной емкости плазмы. В ходе исследования уровень альбумина во всех экспериментальных группах не выходил за границы референсного интервала (18,00–55,00 г/л), что свидетельствует о сохранении компенсаторных возможностей гепатоцитов даже при изменении белковой нагрузки. Однако межгрупповой анализ выявил выраженную разнонаправленную динамику, заслуживающую детального рассмотрения (рисунок 16).

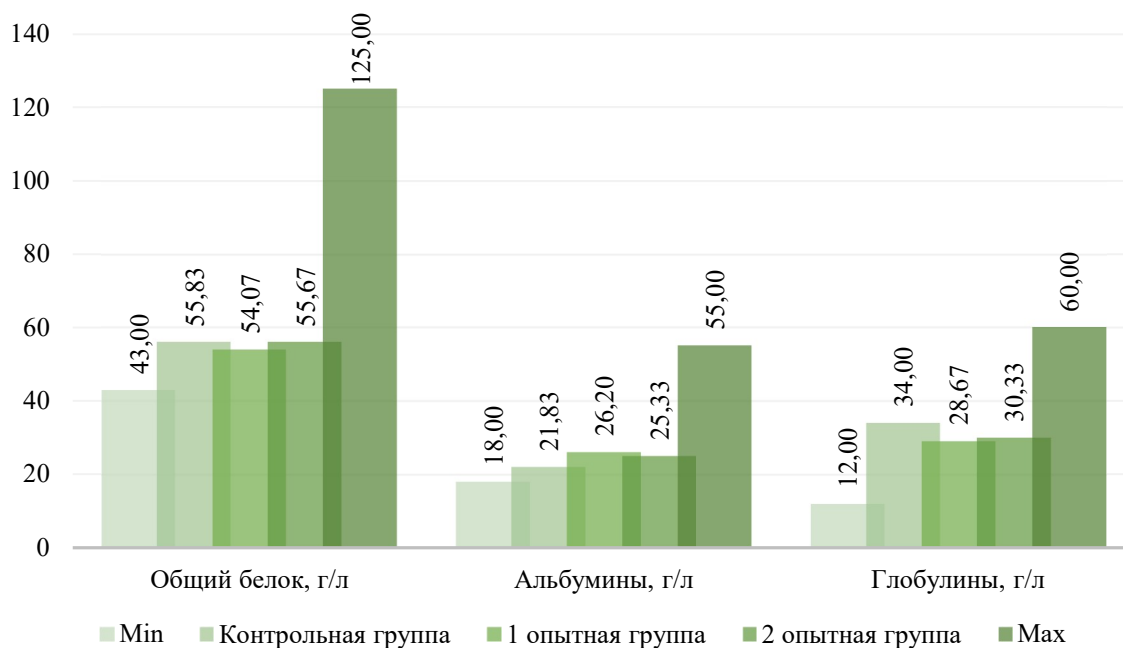


Рисунок 16 – Показатели белкового профиля плазмы крови монгольских песчанок, г/л

В крови животных контрольной группы уровень альбумина находился ближе к нижней границе физиологической нормы, что характерно для всеядных грызунов при использовании неспециализированных кормов с ограниченным содержанием незаменимых аминокислот и возможным дефицитом лимитирующих предшественников (например, триптофана и аргинина), необходимых для синтеза альбуминов. Это также может быть обусловлено тем, что при использовании

натуральных кормов животные сепарируют корма, вследствие чего нарушается равномерное поступление необходимого уровня нутриентов, в том числе незаменимых аминокислот, во внутреннюю среду организма (FELASA recommendations for the health monitoring..., 2014; Grant, 2014; Evaluation of oxidative stress, hematological..., 2015).

При использовании полнорационного комбикорма с содержанием 16% сырого протеина, в плазме крови монгольских песчанок наблюдается тенденция к повышению уровня альбумина до 26,20 г/л, что на 16,68% превышает значение в контрольной группе (рисунок 16). Сбалансированный аминокислотный профиль рациона и гарантированное поступление незаменимых аминокислот в соответствии с потребностями монгольских песчанок при использовании полнорационных комбикормов исключают возможность избирательного поедания кормов в зависимости от индивидуальных предпочтений животных и стимулирует анаболические процессы в печени за счет поступления субстратов для транскрипции альбуминового гена и последующего трансляционного синтеза. Увеличение альбуминовой фракции также может быть обусловлено улучшением всасывания аминокислот в тонком отделе кишечника, что наблюдается при скормливании экструдированных комбикормов с высокой переваримостью.

В крови животных 2 опытной группы, получавших полнорационный комбикорм с содержанием 19% сырого протеина, уровень альбумина составил 25,33 г/л, что на 13,82% выше аналогичного показателя в контрольной группе и на 3,32% ниже, чем в 1 опытной группе (рисунок 16). Снижение концентрации альбумина при увеличении протеиновой нагрузки может быть обусловлено несколькими механизмами. Избыток аминокислот может активировать пути их дезаминирования, что приводит к повышению концентрации аммиака, который даже при отсутствии выраженной гипераммониемии может неблагоприятно влиять на белково-синтетические процессы в печени и лимитировать синтез альбумина (Insulin and amino acids both strongly participate..., 2004; Foraging Under Competition in Mongolian Gerbils..., 2026). Также рядом авторов отмечено, что высокобелковые рационы стимулируют постпрандиальную секрецию глюкагона, который

дозозависимо может тормозить экспрессию альбуминового гена в гепатоцитах, ингибируя тем самым синтез альбумина (Importance of Carbohydrate Quality...,2022; Reporting animal research: explanation...,2020). Превышение уровня альбумина относительно контроля статистически значимо ($t=3,90$; $p=0,003$), тогда как различие между обеими опытными группами недостоверно ($p=0,393$).

Таким образом, рацион с содержанием 16% сырого протеина обеспечивал наиболее благоприятное инсулин-глюкагоновое соотношение, способствующее анаболизму и обеспечению потребности монгольских песчанок в незаменимых аминокислотах. Увеличение содержания сырого протеина до 19% сопровождалось незначительным снижением концентрации альбумина в крови животных, однако это может служить ранним сигналом о начале адаптационных метаболических сдвигов, связанных с избыточной азотистой нагрузкой. Важно отметить, что все полученные значения оставались в пределах физиологической нормы, что указывает на отсутствие патологических изменений в организме песчанок.

Глобулиновая фракция сыворотки крови представляет собой гетерогенную группу белков, включающую иммуноглобулины IgG, IgA, IgM, белки острой фазы воспаления (С-реактивный белок, α_1 -антитрипсин, гаптоглобин), компоненты системы комплемента, транспортные белки (трансферрин, церулоплазмин, липопротеины высокой и низкой плотности), а также ряд ферментов и ингибиторов протеаз. Синтез глобулинов осуществляется преимущественно в гепатоцитах (для большинства транспортных и острофазовых белков воспаления) и в плазматических клетках лимфоидной ткани (для иммуноглобулинов). Поэтому уровень глобулинов является интегральным индикатором не только белково-синтетической функции печени, но и иммунного статуса, а также системного воспалительного фона.

В ходе проведенных исследований установлено, что концентрация глобулинов в крови животных всех групп укладывалась в референсный интервал (12,00–60,00 г/л), однако отмечены межгрупповые различия по данному показателю (рисунок 16).

В крови монгольских песчанок контрольной группы средний уровень глобулинов составил 34,00 г/л, в 1 опытной группе зафиксировано снижение данного показателя на 15,68% (рисунок 16). Вероятно, при использовании натуральных кормов, которые могут содержать значительное количество бактериальных липополисахаридов, микотоксинов и др., наблюдается повышение антигенной нагрузки, обусловленной, с одной стороны, возможной быстрой порчей таких кормов, с другой – отсутствием их баротермической обработки. Постоянная стимуляция кишечной лимфоидной ткани может приводить к усиленной продукции секреторных иммуноглобулинов и острофазовых белков печени, что закономерно повышает общий пул глобулинов в крови животных. Снижение антигенного прессинга при использовании экструдированного комбикорма, который в процессе производства подвергается обработке высокими температурой и давлением, происходит вследствие денатурации термолабильных антигенов, инактивации антипитательных факторов (ингибиторов трипсина, лектинов) и значительного снижения микробной обсемененности. Уменьшение поступления антигенных факторов в просвет кишечника ведет к ослаблению стимуляции В-лимфоцитов и плазмоцитов, что клинически проявляется снижением уровня циркулирующих иммуноглобулинов (Hutchinson, 1964; Effects of high-fat diet..., 2026). Снижение уровня содержания глобулинов в 1 опытной группе относительно контрольной группы статистически значимо ($t=2,30$; $p=0,044$).

Скармливание полнорационного комбикорма животным 1 опытной группы также могло способствовать перераспределению аминокислотных субстратов в пользу синтеза альбумина. При поступлении сбалансированного набора аминокислот гепатоциты переключают приоритеты синтеза на продукцию альбумина – белка с коротким периодом полураспада (около 20 суток у грызунов), который выполняет функцию поддержания онкотического давления, транспорта жирных кислот, билирубина и гормонов. В связи с тем, что общий пул свободных аминокислот ограничен, усиление альбуминовой транскрипции приводит к относительному снижению синтеза глобулиновых фракций (особенно α_1 - и α_2 -глобулинов), что отражает конкурентные взаимоотношения между различными

семействами белков на уровне трансляционного аппарата гепатоцитов (Branched-chain amino acids promote..., 2023; Reeves, 1993; Thermal biology of two sympatric gerbil species..., 2018).

В крови животных 2 опытной группы концентрация глобулинов составила 30,33 г/л, что на 10,79% ниже, чем в контрольной группе, и на 5,47% выше, чем в 1 опытной группе (рисунок 16). Такое увеличение уровня глобулинов при скормливании комбикорма, содержащего 19% сырого протеина, вероятно отражает усиление синтеза транспортных белков (например, трансферрина) в ответ на избыток аминокислот, поступающих в кровяное русло (Increased dietary protein stimulates..., 2025). Различия по глобулинам между контрольной и 2 опытной группами, а также между двумя опытными группами статистически недостоверны ($p > 0,05$). По соотношению альбумин/глобулины значения обеих опытных групп достоверно превышали таковое контрольной группы: 1 опытная группа – $t=4,99$; $p < 0,001$; 2 опытная группа – $t=2,78$; $p=0,020$.

Дополнительным подтверждением эффективности белкового питания являются показатели азотистого обмена. Мочевина является конечным продуктом катаболизма азотистых соединений, преимущественно аминокислот, в печени в рамках орнитинового цикла. Она синтезируется из аммиака, образующегося при дезаминировании аминокислот, и затем выводится почками. Концентрация мочевины в крови служит интегральным маркером баланса между поступлением белка с кормом, интенсивностью его распада, эффективностью реутилизации аммиака и выделительной функцией почек.

В крови животных контрольной группы уровень мочевины оказался на 51,06% ниже минимальной границы физиологической нормы, что свидетельствует о выраженной гипоуремии (рисунок 17). Поскольку клинических признаков развития патологического процесса у животных не наблюдалось, данное отклонение имеет метаболическую природу и прежде всего обусловлено недостаточным поступлением азотистых субстратов, что вероятно является следствием сортировки натуральных кормов, которая приводит к несбалансированному потреблению питательных веществ и снижает питательную ценность рациона (Effects of

Lipopolysaccharide Challenge..., 2026). При хроническом белковом дефиците у грызунов активируются механизмы максимальной реутилизации азота: аммиак преимущественно связывается с образованием глутамина, который используется для синтеза заменимых аминокислот, а активность ключевых ферментов цикла мочевины – карбамоилфосфатсинтетазы и аргиназы – снижается, что приводит к резкому уменьшению продукции мочевины (Glucagon and insulin responses..., 2008; Host-gut microbiota metabolic interactions, 2012). При ограниченном поступлении белка с рационом также стимулируются процессы катаболизма в мышечной ткани, однако освобождающиеся аминокислоты преимущественно используются в глюконеогенезе, и образующийся аммиак также включается в глутамин, а не обезвреживается с образованием мочевины, дополнительно снижая её уровень (Carbone, 2019). Таким образом, уровень мочевины в крови животных контрольной группы свидетельствует о скрытом белковом дефиците, не сопровождающегося клиническими симптомами, но являющегося биохимическим маркером неадекватности натурального кормления.

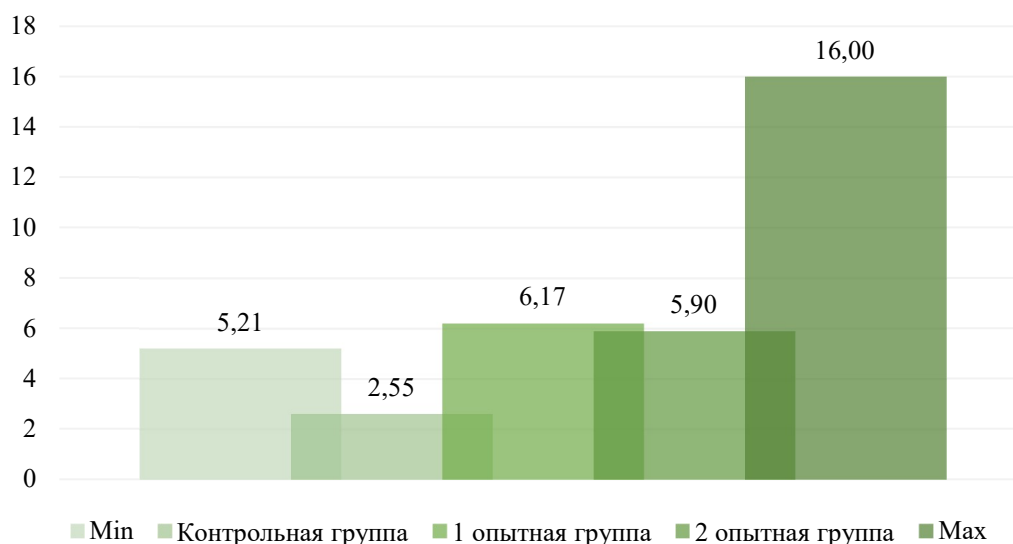


Рисунок 17 – Уровень мочевины в крови монгольских песчанок, ммоль/л

Замена натурального рациона на полнорационный экструдированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16% привела к повышению

уровня мочевины в 2,42 раза – до 6,17 ммоль/л (наблюдается выраженная тенденция), что соответствует референсному интервалу и свидетельствует о нормализации азотистого обмена (рисунок 17). Сбалансированный аминокислотный состав корма обеспечивает поступление достаточного количества субстратов для процессов дезаминирования, что активирует орнитиновый цикл, однако уровень 6,17 ммоль/л остаётся относительно низким, что указывает на эффективное использование аминокислот для анаболических целей – синтеза белков плазмы и ферментов. Это подтверждается одновременным повышением концентрации альбумина на 16,68% и снижением уровня глобулинов на 15,68% относительно контроля, что демонстрирует перераспределение азотистого пула в пользу транспортных белков (рисунок 17).

При увеличении уровня сырого протеина в комбикорме до 19% концентрация мочевины в крови монгольских песчанок составила 5,90 ммоль/л, что также находится в пределах нормы, однако на 4,38% ниже значения, зафиксированного в 1 опытной группе (рисунок 17). Возможные механизмы этого явления включают усиление анаболических процессов: при поступлении избыточного количества аминокислот в организме через активацию инсулин- и ИФР-1-зависимых путей может активироваться синтез белка, который депонируется в виде структурных белков, снижая долю аминокислот, подвергающихся дезаминированию (Influence of branched-chain amino acid..., 1989). Вероятно, при уровне сырого протеина в комбикорме 16% синтез белка уже достиг плато, а при его увеличении до 19% избыток может эффективно использоваться в процессах ассимиляции, конкурируя с катаболическими путями. Кроме того, возможна адаптивная регуляция ферментов цикла мочевины, например, снижение активности аргиназы при сохранении активности карбамоилфосфатсинтетазы, что приводит к меньшему выходу конечного продукта при том же количестве дезаминированных аминокислот. Также полнорационные корма с высоким содержанием протеина могут модифицировать состав микрофлоры толстой кишки, увеличивая долю бактерий, утилизирующих аммиак для собственного синтеза, что снижает концентрацию аммиака, всасываемого в портальную кровь, и уменьшает субстратную нагрузку на

орнитинный цикл (High susceptibility of Mongolian gerbil...,1999). Кроме того, избыток аминокислот, который поступает в ткани, может направляться на синтез небелковых азотистых соединений – креатина, пуринов, пиримидинов, что отвлекает часть аминогрупп от процесса мочевинообразования (Alderton, 1996). Уровень мочевины в опытных группах достоверно превышал уровень мочевины в контрольной группе ($t=4,61$; $p<0,001$), а различие между двумя опытными группами было недостоверным ($p=0,650$).

Глюкоза является основным энергетическим субстратом для большинства тканей, а её концентрация в крови отражает тонкий баланс между поступлением углеводов с кормом, скоростью гликогенолиза, глюконеогенеза и периферической утилизацией, регулируемых инсулином, глюкагоном и контринсулярными гормонами.

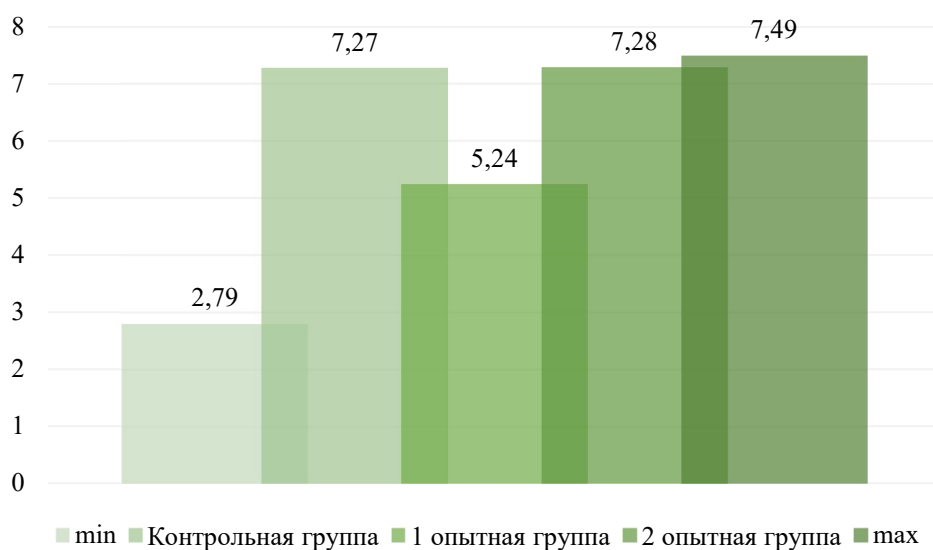


Рисунок 18 – Концентрация глюкозы в крови монгольских песчанок, ммоль/л

В крови монгольских песчанок контрольной группы зафиксирован высокий уровень глюкозы – 7,27 ммоль/л, что находится в пределах верхней части референсного интервала (рисунок 18) и не является патологической гипергликемией, однако указывает на тенденцию к повышению гликемии у животных, получающих натуральные корма. Это, вероятно, обусловлено

особенностями углеводного состава натурального рациона, который включал зерновые компоненты с высоким содержанием легкоусвояемых сахаров, что приводит к быстрому всасыванию глюкозы в кишечнике и постпрандиальному подъёму её уровня в крови, не компенсируемому адекватной инсулиновой реакцией (Impact of mycotoxin on immune response..., 2016). Кроме того, в условиях несбалансированного белкового питания, как было показано ранее по уровню альбумина и мочевины, может снижать чувствительность периферических тканей к инсулину, что способствует задержке глюкозы в кровотоке (Glantz, 2002). Следует также учитывать, что при избирательном потреблении кормов, которое неизбежно при использовании натуральных кормов, животные потребляют рацион, который существенно отличается по питательности от того, который был составлен в соответствии их потребностями. Многочисленными исследованиями показано, что животные склонны при избирательном пищевом поведении (сепарации), отдавать предпочтение тем компонентам рациона, которые содержат большее количество легкодоступной энергии, дискриминируя при этом менее привлекательные, но содержащие необходимые для нормального функционирования организма питательные вещества (Effects of Lipopolysaccharide Challenge on Growth..., 2026).

При замене натурального рациона на полнорационный экструдированный комбикорм, содержащий 16% сырого протеина, уровень глюкозы в крови животных снижался до 5,24 ммоль/л (наблюдалась выраженная тенденция), что находится в пределах референсного интервала и оказывается на 27,92% ниже значения в контрольной группе (рисунок 18), свидетельствуя о стабилизации углеводного обмена при оптимальном энергетическом обеспечении без избыточной гликемической нагрузки. Сбалансированный состав корма, включающий оптимальное соотношение углеводов, белков и жиров, а также более медленное высвобождение глюкозы благодаря экструдированным гранулам при отсутствии возможности у животных сортировать корма, предотвращает резкие постпрандиальные пики. Кроме того, адекватное поступление белка и аминокислот, вероятно, способствует поддержанию нормальной инсулиновой чувствительности,

что подтверждается также улучшением показателей белкового обмена (рост уровня альбумина, снижение концентрации глобулинов) (Wu, 2022).

Во 2 опытной группе концентрация глюкозы в крови животных составила 7,28 ммоль/л, что также находится в пределах референсного интервала, однако на 28,02% выше, чем в 1 опытной группе, и приближается к верхней границе нормы (рисунок 18). Повышение уровня глюкозы, возможно, обусловлено активацией глюконеогенеза из аминокислот в печени, поскольку избыток протеина создаёт дополнительный субстратный пул для образования глюкозы через дезаминирование и последующее вовлечение углеродных скелетов в процесс образования глюкозы из неуглеводных субстратов (Thyroid hormones mediate metabolic rate..., 2019). Это согласуется с отмеченной ранее тенденцией к снижению концентрации мочевины в крови монгольских песчанок при содержании в комбикорме сырого протеина на уровне 19%. Возможно, часть аминокислот направляется не на окисление, а вовлекается в процесс глюконеогенеза, что в свою очередь приводит к повышению концентрации глюкозы. Также при высокобелковой диете может наблюдаться относительное снижение инсулин-глюкагонового соотношения, что стимулирует синтез глюкозы в печени (Effects of dietary cholesterol in the Mongolian gerbil..., 1989). Тем не менее, уровень глюкозы в крови животных 2 опытной группы не превышал референсный максимум, в связи с чем его можно рассматривать как физиологическую адаптацию к повышенной протеиновой нагрузке, а не как метаболическое нарушение, однако данная динамика требует мониторинга при длительном применении высокобелковых рационов. Концентрация глюкозы во 2 опытной группе достоверно выше, чем в 1 опытной группе ($t=3,38$; $p=0,005$), тогда как статистически значимое различие с контрольной группой отсутствует ($p=0,990$).

Липидный профиль сыворотки крови является важным индикатором энергетического гомеостаза, состояния гепатоцитов, а также риска метаболических нарушений. Холестерин, входящий в состав клеточных мембран и служащий предшественником стероидных гормонов и желчных кислот, отражает баланс между его синтезом в печени, всасыванием из кишечника и выведением.

Триглицериды, в свою очередь, представляют собой основную форму депонирования и транспорта жирных кислот, и их концентрация тесно связана с углеводным и липидным обменом, чувствительностью к инсулину и функцией адипоцитов.

В контрольной группе, получавшей натуральный рацион, концентрация холестерина оказалась крайне низкой – 0,53 ммоль/л, что на 77,06% меньше нижней границы референсного интервала (рисунок 19). Выраженная гипохолестеринемия может быть обусловлена несколькими причинами. Прежде всего, натуральный рацион, состоящий преимущественно из зерновых, сена и овощей, содержит крайне мало животных жиров и холестерина, при этом растительные стеролы конкурентно ингибируют всасывание холестерина в кишечнике (Pei, 2001). Кроме того, при дефиците белка, ранее выявленном по другим показателям, снижается синтез липопротеинов очень низкой плотности (ЛПОНП) и липопротеинов низкой плотности (ЛПНП) в печени, что затрудняет транспорт эндогенного холестерина (Boualga, 2000). Такая низкая концентрация холестерина в крови животных, вероятно, отражает состояние липидного истощения, однако клинических проявлений данного отклонения у животных контрольной группы не наблюдалось.

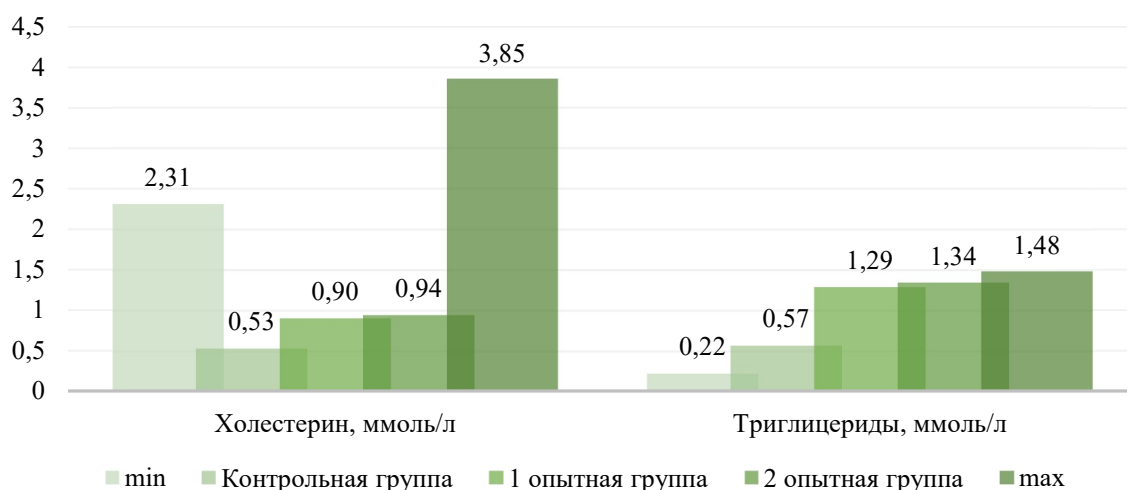


Рисунок 19. Липидный профиль сыворотки крови монгольских песчанок, ммоль/л

При переходе на полнораационный экструдированный комбикорм, содержащий 16% сырого протеина, уровень холестерина в крови песчанок повышается до 0,90 ммоль/л, что в 1,7 раза выше контрольного значения, однако оно остаётся на 61,04% ниже минимальной границы референсного интервала. Во 2 опытной группе данный показатель сохраняется практически на том же уровне – 0,94 ммоль/л, что указывает на отсутствие эффекта при увеличении протеиновой нагрузки (рисунок 19). По-видимому, комбикорма, хотя и содержат определённое количество растительных масел, не обеспечивают достаточного поступления холестерина или его предшественников, необходимых для достижения физиологических значений. Положительная динамика при переходе на полнораационные комбикорма свидетельствует о некотором улучшении липидного статуса, что коррелирует с нормализацией белкового обмена (рост альбумина) и углеводного гомеостаза (снижение глюкозы). Уровень холестерина достоверно превышал контроль как в 1 опытной группе ($t=2,65$; $p=0,021$), так и во 2 опытной группе ($t=2,43$; $p=0,035$); статистически значимое различие между опытными группами отсутствовало ($p=0,913$).

В отличие от холестерина, динамика триглицеридов носит противоположный характер. В контрольной группе их концентрация составила 0,57 ммоль/л, что находится в середине референсного диапазона (рисунок 19). Это указывает на сбалансированный уровень эндогенных жиров при натуральном кормлении, несмотря на низкую концентрацию холестерина. Однако при замене натурального рациона на комбикорма в крови животных опытных групп отмечается повышение уровня триглицеридов в плазме крови в среднем до 1,32 ммоль/л, что в 2,32 раза выше, чем контрольной группе (рисунок 19). Полнораационные комбикорма, помимо белка, содержат углеводы, в том числе крахмал в составе зерновых кормов, который при избыточном поступлении стимулирует липогенез в печени – синтез жирных кислот из ацетил-КоА, образующегося при распаде глюкозы (Shi, 2016). Это подтверждается тем, что в крови песчанок 1 опытной группы был зафиксирован уровень глюкозы, соответствующий среднему значению физиологической нормы, а во 2 опытной группе отмечено её повышение до верхней

границы референсного интервала, что может приводить к активации липогенеза. Также, в ответ на увеличение уровня углеводного и аминокислотного пула, повышается секреция инсулина, что активирует синтез триглицеридов и их секрецию в составе ЛПОНП. Отсутствие существенной разницы по данному показателю между опытными группами вероятно обусловлена насыщением липолитического пути уже при уровне содержания сырого протеина в рационе 16%. Концентрация триглицеридов в крови животных опытных групп остаётся в пределах нормы, в связи с чем зафиксированные изменения следует рассматривать как физиологическую адаптацию к новому составу рациона. Достоверное повышение уровня триглицеридов относительно контрольной группы установлено для 2 опытной группы ($t=3,61$; $p=0,005$); для 1 опытной группы различие не достигло уровня значимости ($p=0,150$), что связано с высокой внутригрупповой вариабельностью.

Креатинин является эндогенным метаболитом, образующимся в результате неферментативного дегидратирования креатина и креатинфосфата в мышечной ткани с последующей постоянной скоростью высвобождения в кровоток. Его концентрация в сыворотке крови служит одним из наиболее распространённых маркеров функционального состояния почек, поскольку креатинин свободно фильтруется в клубочках и практически не реабсорбируется в канальцах, однако у мелких лабораторных грызунов, включая монгольских песчанок, уровень креатинина в значительной степени зависит от мышечной массы и интенсивности мышечного метаболизма, что делает его чувствительным индикатором нутритивного статуса и катаболизма мышечных белков. Референсный интервал, установленный для данного вида на основе литературных данных и предварительных валидационных измерений, составил 39,40-75,50 мкмоль/л (здесь и далее единицы измерения приняты для сыворотки). В ходе эксперимента получены следующие средние значения: в контрольной группе, получавшей натуральный рацион, – 25,67 мкмоль/л; в 1 опытной группе – 32,93 мкмоль/л; во 2 – 33,00 мкмоль/л.

Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что во всех трёх группах значения креатинина были ниже нижней границы референсного интервала (39,40 мкмоль/л). В контрольной группе зафиксирован наиболее низкий показатель – 25,67 мкмоль/л, что на 34,85% ниже референсного минимума; в опытных группах отклонение составило около 16,33%. Столь выраженная гипокреатининемия может быть обусловлена несколькими взаимосвязанными механизмами. Прежде всего, натуральный рацион, как уже было показано по другим биохимическим маркерам (относительно низкий альбумин и сниженная мочевины), характеризуется дефицитом качественного белка и незаменимых аминокислот, что приводит к снижению синтеза мышечных белков и, следовательно, к уменьшению общей мышечной массы. Поскольку креатинин образуется из креатина, запас которого прямо пропорционален мышечной массе, его продукция падает. Кроме того, при хроническом белковом голодании активируются катаболические процессы в мышцах, однако высвобождаемый креатин может частично использоваться для энергообеспечения, а не превращаться в креатинин, что дополнительно снижает его выход. Также нельзя исключать влияние гормональных изменений – повышение кортизола и снижение инсулина при недостаточном питании способствуют распаду мышечных белков, но при этом креатиновый обмен может перестраиваться, и доля креатина, превращающегося в креатинин, уменьшается. Функция почек у животных клинически не нарушалась (отсутствовали признаки азотемии, повышения мочевины и других маркеров), поэтому сниженный креатинин в контроле интерпретируется именно как следствие недостаточности мышечного пула, а не как результат гиперфильтрации или снижения клубочковой фильтрации.

При замене натурального рациона на полнорационный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16% уровень креатинина возрастает до 32,93 мкмоль/л, что на 22,05% выше контрольного значения (рисунок 20). Этот прирост статистически значим и свидетельствует о восстановлении мышечного анаболизма: сбалансированный аминокислотный состав корма обеспечивает достаточное поступление субстратов для синтеза мышечных белков и креатина, что увеличивает его депо и, следовательно, продукцию креатинина. Однако даже при уровне

содержания сырого протеина 16% показатель остаётся на 16,42% ниже нижней референсной границы (39,40), что указывает на то, что мышечная масса песчанок в условиях лабораторного содержания, вероятно, в целом ниже, чем у животных, на которых устанавливались референсные значения, либо что референсный интервал был определён для иного возрастного или полового состава. Тем не менее, повышение креатинина при уровне содержания сырого протеина 16% коррелирует с улучшением альбуминового статуса (рост до 26,20 г/л) и нормализацией азотистого баланса (мочевина 6,17 ммоль/л), что подтверждает общую положительную динамику белкового обмена. Во 2 опытной группе концентрация креатинина составила 33,00 мкмоль/л, что практически идентично значению при уровне содержания 16% (разница всего 0,07 мкмоль/л, или 0,21%). Это указывает на отсутствие дополнительного стимулирующего эффекта при повышении уровня протеина с 16 до 19% в отношении мышечного метаболизма. По-видимому, при содержании протеина на уровне 16% достигается насыщение анаболических путей в мышцах, и дальнейшее увеличение аминокислотной нагрузки не приводит к дополнительному накоплению мышечной массы или креатина, а скорее направляется на другие метаболические процессы, что согласуется с ранее отмеченным снижением мочевины и перераспределением белковых фракций в пользу глобулинов при содержании сырого протеина на уровне 19%. Таким образом, пороговая концентрация протеина, необходимая для оптимизации мышечного обмена у песчанок, находится на уровне 16%, и её превышение не даёт преимуществ по данному показателю. Сравнительный анализ с другими биохимическими параметрами позволяет выстроить целостную картину. В контрольной группе низкий уровень креатинина сочетается с низким уровнем альбумина (21,83 г/л), высоким уровнем глобулинов (34,00 г/л) и крайне низким уровнем мочевины (2,55 ммоль/л), что типично для состояния белковой недостаточности с преобладанием катаболизма и иммунной активации. При уровне содержания сырого протеина 16% уровень креатинина растёт параллельно с альбумином и мочевиной, что свидетельствует о восстановлении как висцерального, так и мышечного белкового пула. При уровне содержания протеина 19% уровень

креатинина остаётся аналогичным комбикорму с 16% протеина, несмотря на некоторое снижение альбумина и рост глобулинов, что может означать, что мышцы сохраняют достигнутый анаболический статус, тогда как печёночный синтез переключается на другие белковые фракции. Важно подчеркнуть, что все значения креатинина остаются ниже референсного минимума, что, вероятно, отражает видовые и лабораторно-специфические особенности, и поэтому интерпретировать их следует не как патологию, а как базовый уровень для данных условий содержания. Однако динамика между группами является надёжным индикатором эффективности кормовых рационов. Повышение креатинина относительно контроля статистически значимо ($t=4,25$; $p=0,001$).

Таким образом, полученные данные по креатинину показывают, что натуральный рацион приводит к значительному снижению мышечного метаболизма, что проявляется гипокреатининемией (25,67 мкмоль/л). Замена на полнорационный комбикорм с 16% протеина повышает креатинин на 22,05% до 32,93 мкмоль/л, отражая восстановление мышечной массы и белкового синтеза. Дальнейшее увеличение протеина до 19% не даёт дополнительного эффекта (33,00 мкмоль/л), что свидетельствует о достижении насыщения анаболического ответа мышечной ткани у монгольских песчанок. С учётом комплексной оценки всех исследованных показателей (общий белок, альбумин, глобулины, мочевины и креатинин) рацион с 16% сырого протеина является оптимальным, обеспечивая наиболее физиологичный метаболический профиль, включая нормализацию мышечного обмена. Несмотря на то, что абсолютные значения креатинина не достигают референсных границ, их положительная динамика при использовании комбикорма подтверждает преимущество специализированных рационов перед натуральным кормлением для поддержания белково-энергетического гомеостаза у данного вида. Уровень креатинина в группе 19% также достоверно превышал контроль ($t=2,83$; $p=0,018$), при отсутствии различий между опытными группами ($p=0,914$).

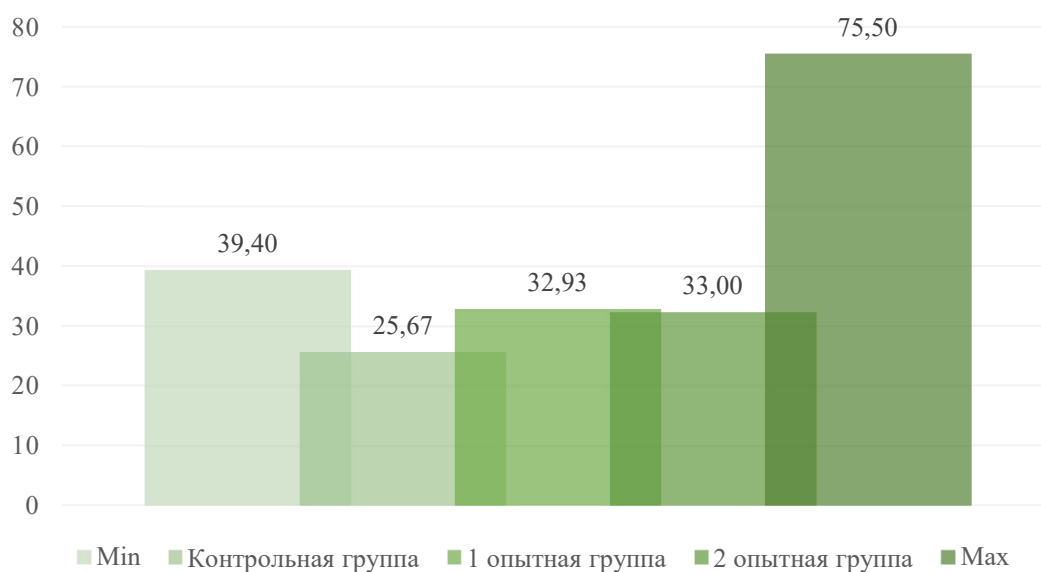


Рисунок 20 – Концентрация креатинина в сыворотке крови монгольских песчанок, мкмоль/л

Общий билирубин является конечным продуктом катаболизма гема, преимущественно из эритроцитов, и отражает баланс между интенсивностью гемолиза, функциональным состоянием гепатоцитов и проходимость желчевыводящих путей. Повышение его уровня может свидетельствовать о гемолитических процессах, паренхиматозных повреждениях печени или холестаза, тогда как снижение, как правило, не имеет клинического значения. Для монгольских песчанок референсный интервал, установленный в ходе предварительных исследований, составил 3,36-10,26 мкмоль/л. В настоящем эксперименте получены следующие средние значения: в контрольной группе – 5,33 мкмоль/л, в 1 опытной группе – 4,67 мкмоль/л, во 2 опытной группе – 8,83 мкмоль/л.

Уровень билирубина в контрольной группе укладывается в нижнюю половину референсного диапазона и указывает на нормальный эритроцитарный обмен и сохранную печёночную функцию (рисунок 21). Натуральный рацион, несмотря на его недостатки по белковому составу, не оказывал негативного влияния на систему гемоглобинового распада и желчевыделения. Это согласуется с отсутствием признаков гемолиза или холестаза при клиническом наблюдении за животными.

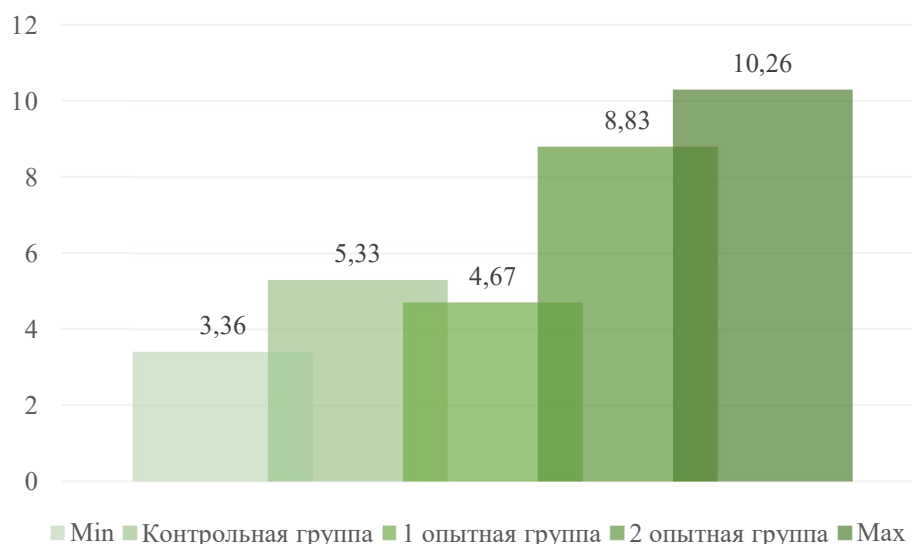


Рисунок 21 – Концентрация общего билирубина в сыворотке крови монгольских песчанок, мкмоль/л

При переходе на комбикорм с 16% сырого протеина отмечено незначительное снижение билирубина до 4,67 мкмоль/л, что на 12,38% ниже контрольного уровня. Данное снижение, хотя и находится в пределах физиологической нормы, может быть обусловлено улучшением антиоксидантного статуса и снижением окислительного стресса в эритроцитах благодаря сбалансированному составу корма, а также более эффективной работе гепатоцитов при оптимальном аминокислотном обеспечении. Снижение билирубина коррелирует с ранее выявленным улучшением белкового обмена (рост альбумина, снижение глобулинов) и может расцениваться как положительный признак оптимизации метаболизма.

Наиболее интересная динамика наблюдается во 2 опытной группе, где содержание протеина было увеличено до 19%. Здесь уровень билирубина достигает 8,83 мкмоль/л, что на 47,11% выше, чем при 16% протеина, и на 39,64% выше контрольного значения. Данный показатель приближается к верхней границе референсного интервала (10,26 мкмоль/л), но не выходит за её пределы, что позволяет говорить о компенсаторной гипербилирубинемии, а не о патологическом состоянии. Повышение билирубина при высокобелковом рационе может иметь несколько объяснений. Во-первых, избыточное поступление аминокислот,

особенно метионина, цистеина и триптофана, способно усиливать образование сульфатированных и глюкуронидированных конъюгатов, что может временно перегружать систему глюкуронилтрансфераз, хотя прямой связи с билирубином обычно нет. Во-вторых, увеличение протеина в корме может сопровождаться повышенным распадом эритроцитов вследствие изменения осмолярности плазмы или активации макрофагов селезёнки, однако клинических признаков анемии не наблюдалось. Более вероятно, что повышение билирубина при 19% протеина отражает адаптационную реакцию печени на усиление процессов дезаминирования и детоксикации аммиака: для синтеза мочевины требуется активное участие глутатиона, который расходуется, и это может влиять на редокс-баланс гепатоцитов, вызывая небольшое замедление конъюгации билирубина. Также нельзя исключить влияние повышенного содержания липидов, которые могут способствовать внутрипечёночному холестазу на микроуровне, при этом активность щелочной фосфатазы оставалась сопоставимой между группами.

Следует подчеркнуть, что значение 8,83 мкмоль/л всё ещё остаётся в рамках референсных границ, установленных для данного вида, и не сопровождается желтушностью слизистых или другими клиническими проявлениями. Однако тенденция к повышению билирубина при увеличении протеина с 16 до 19% наблюдалась на уровне средних значений, но статистически значимой не являлась ($p > 0,05$) и требует осторожной интерпретации. Возможно, что оптимальным с точки зрения печёночной нагрузки является именно 16% протеина, при котором билирубин минимален (4,67 мкмоль/л), тогда как 19% создаёт дополнительное напряжение на систему гемоглобинового обмена и конъюгационные пути.

Сравнивая все группы, можно заключить, что натуральный рацион даёт средний уровень билирубина (5,33 мкмоль/л), рацион с 16% протеина обеспечивает наиболее низкие значения (4,67 мкмоль/л), что свидетельствует о минимальной нагрузке на печень и эритроцитарную систему, а рацион с 19% протеина вызывает умеренное повышение билирубина (8,83 мкмоль/л), которое, не выходя за норму, указывает на возможные адаптивные изменения. Таким образом, с учётом всех изученных биохимических маркеров – белковых фракций, мочевины, креатинина,

глюкозы и билирубина – оптимальным для монгольских песчанок является рацион с содержанием сырого протеина 16%, так как он обеспечивает наилучший метаболический профиль без признаков печёночной дисфункции. Увеличение уровня протеина в комбикорме до 19% сопровождается нежелательными сдвигами в сторону повышения концентрации билирубина и изменения других показателей, что делает его менее предпочтительным для длительного использования в кормлении монгольских песчанок. Полученные данные подчёркивают важность комплексного биохимического мониторинга при подборе рационов для лабораторных животных.

Активность аланинаминотрансферазы (АЛТ), аспартатаминотрансферазы (АСТ) и щелочной фосфатазы (ЩФ) в сыворотке крови является важным диагностическим инструментом для оценки функционального состояния печени, желчевыводящих путей и других тканей. АЛТ преимущественно локализована в цитозоле гепатоцитов, и её повышение служит специфическим маркером цитолиза печёночных клеток. АСТ, помимо печени, в значительных количествах содержится в миокарде, скелетных мышцах и почках, поэтому её увеличение менее специфично для печёночной патологии. ЩФ, напротив, отражает активность мембранно-связанных ферментов желчных канальцев, а также костного метаболизма; её рост может указывать на холестаз или усиление остеосинтеза.

Наиболее выраженные изменения зафиксированы для АЛТ (рисунок 22). В контрольной группе её активность составила 98,50 Ед/л, что находится в верхней части референсного интервала и приближается к его верхней границе (113,16 Ед/л). Поскольку значение не выходило за пределы референсного интервала, оно не может рассматриваться как самостоятельный признак цитолиза гепатоцитов; вместе с тем положение показателя в верхней части диапазона указывает на более высокую активность АЛТ по сравнению с опытными группами. При переходе на полнорационный комбикорм с 16% протеина активность АЛТ снижается до 70,33 Ед/л, что на 28,6% ниже контрольного уровня и уже находится в средней части нормы. Это отражает снижение активности фермента на фоне использования сбалансированного полнорационного комбикорма. Ещё более значительное

снижение наблюдается при увеличении содержания протеина до 19% – здесь АЛТ падает до 53,83 Ед/л, что на 45,35% ниже контроля и практически достигает нижней границы референсного диапазона (41,62 Ед/л). Таким образом, прослеживается чёткая обратная зависимость между уровнем сырого протеина в рационе и активностью АЛТ, что указывает на выраженную тенденцию к снижению активности АЛТ при использовании комбикормов, возможно связанном с обеспечением адекватным количеством серосодержащих аминокислот (метионин, цистеин), необходимых для синтеза глутатиона и детоксикации ксенобиотиков. Снижение активности АЛТ в группе 19% относительно контроля статистически значимо ($t=3,50$; $p=0,006$); снижение в группе 16% не достигло уровня значимости ($p=0,063$), а различие между опытными группами было недостоверным ($p=0,155$).

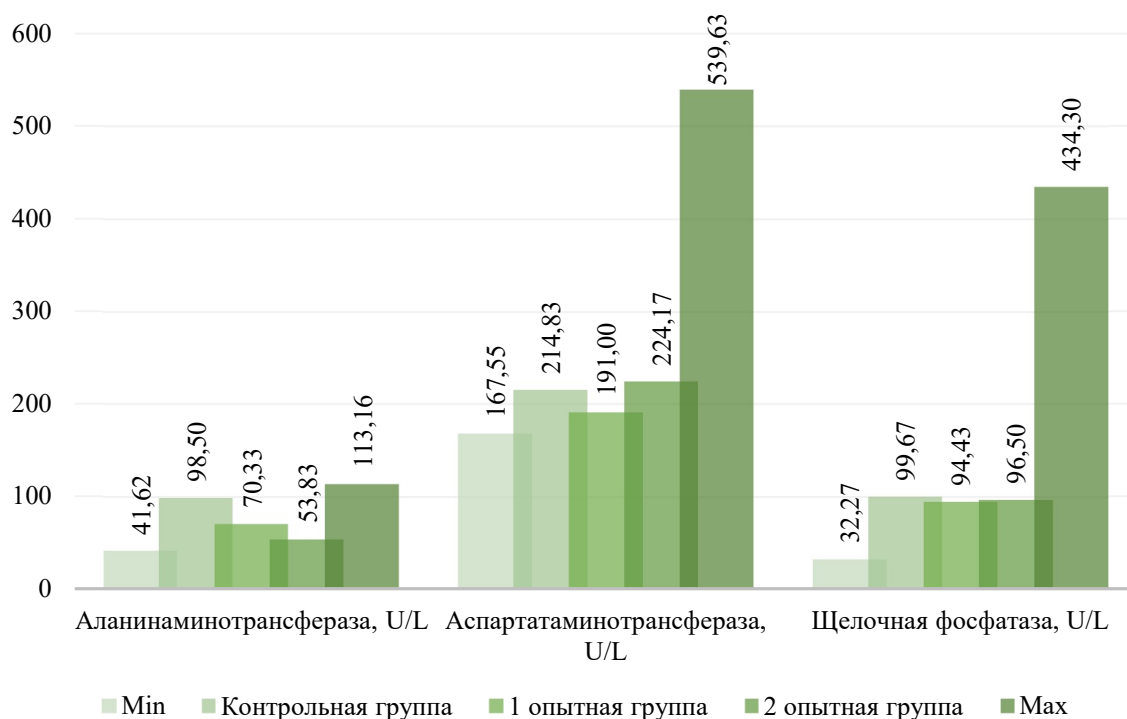


Рисунок 22 – Активность аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и щелочной фосфатазы

В контрольной группе активность АСТ составила 214,83 Ед/л, что находится в нижней половине референсного интервала (167,55-539,63). При 16% протеина наблюдается небольшое снижение до 191,00 Ед/л (на 11,09% ниже контроля), что

коррелирует с уменьшением АЛТ и может отражать общее улучшение состояния печени. Однако, при уровне содержания сырого протеина 19% активность АСТ возрастает до 224,17 Ед/л, превышая контрольный уровень на 4,17% и становясь максимальной среди всех групп. Учитывая, что АСТ не является строго печёночно-специфичным ферментом, её повышение при высокобелковом рационе может быть обусловлено не печёночным цитолизом, а усилением метаболической активности в мышцах или других тканях, поскольку избыток аминокислот стимулирует дезаминирование и трансаминирование в скелетной мускулатуре. Отсутствие клинических симптомов и сохранение общего белка и альбумина в норме позволяют считать это адаптивным, а не патологическим сдвигом. Межгрупповые различия активности АСТ статистически недостоверны ($p>0,05$).

Активность щелочной фосфатазы (ЩФ) во всех группах демонстрирует стабильность, все значения находятся в нижней части референсного интервала (32,27–434,30 Ед/л), в связи с чем можно утверждать, что исследуемые рационы не оказывают влияния на активность ЩФ.

Для гамма-глутамилтрансферазы и общей креатинфосфокиназы референсные интервалы в использованных источниках не установлены, поэтому их средние значения представлены в таблице без дополнительной интерпретации относительно референсных границ. Межгрупповые различия по гамма-глутамилтрансферазе и общей креатинфосфокиназе статистически недостоверны ($p>0,05$).

Таким, образом, на основании комплексного анализа биохимических показателей крови установлено, что полнорационный гранулированный комбикорм с содержанием сырого протеина 16% обеспечивает наиболее благоприятный метаболический статус монгольских песчанок. Большинство изученных параметров находятся в пределах или наиболее близко к референсным значениям. Увеличение содержания сырого протеина до 19% не приводит к улучшению физиологического состояния и сопровождается признаками избыточной аминокислотной нагрузки (повышение уровня глюкозы, снижение концентрации

альбумина и мочевины), что делает его менее предпочтительным для длительного использования.

3.7. Оценка развития второго поколения монгольских песчанок

Влияние исследуемых рационов на второе поколение монгольских песчанок оценивали по численности приплода, динамике живой массы и морфометрическим показателям постнатального развития детёнышей от рождения до 8-недельного возраста.

3.7.1 Репродуктивные показатели потомства

Одним из показателей, характеризующих качество кормления животных, является репродуктивная эффективность особей, которая оценивается по таким показателям, как размер и однородность помета. Согласно данным литературы, среднее число детёнышей у монгольских песчанок в выводке составляет 5,1 (Cheal, 1983). По другим данным, средняя плодовитость составляет $4,21 \pm 0,10$ детёныша при максимальной численности помёта до 10 особей (Володин, 1996).

В проведённом исследовании в контрольной группе песчанок, получавших натуральные корма, было получено в среднем 6,0 детёнышей на одну родительскую пару. В 1 опытной группе, получавшей полнорационный комбикорм с содержанием сырого протеина 16%, данный показатель составил 6,5 детёныша, тогда как во 2 опытной группе при содержании сырого протеина 19% – 5,0 детёнышей на родительскую пару. Таким образом, численность полученного потомства во всех группах находилась в пределах значений, описанных для монгольской песчанки в литературе, что свидетельствует о сбалансированности экспериментальных комбикормов по питательным веществам.

3.7.2 Динамика живой массы потомства

Анализ результатов, полученных при еженедельном взвешивании песчанок от рождения по 8 неделе жизни, показал, что во всех группах была отмечена схожая динамика прироста массы тела. При рождении средняя масса тела детёнышей находилась в диапазоне от 4,05 г в 1 опытной группе до 4,45 г во 2 опытной группе, в возрасте 2 недель отмечалось незначительное отставание по данному показателю

детенышей 1 и 2 опытных групп относительно контроля. Это, вероятно, обусловлено тем, что в возрасте примерно 2 недели детеныши песчанок начинают потреблять твердую пищу (Basic Animal Nutrition and Feeding, 2005).

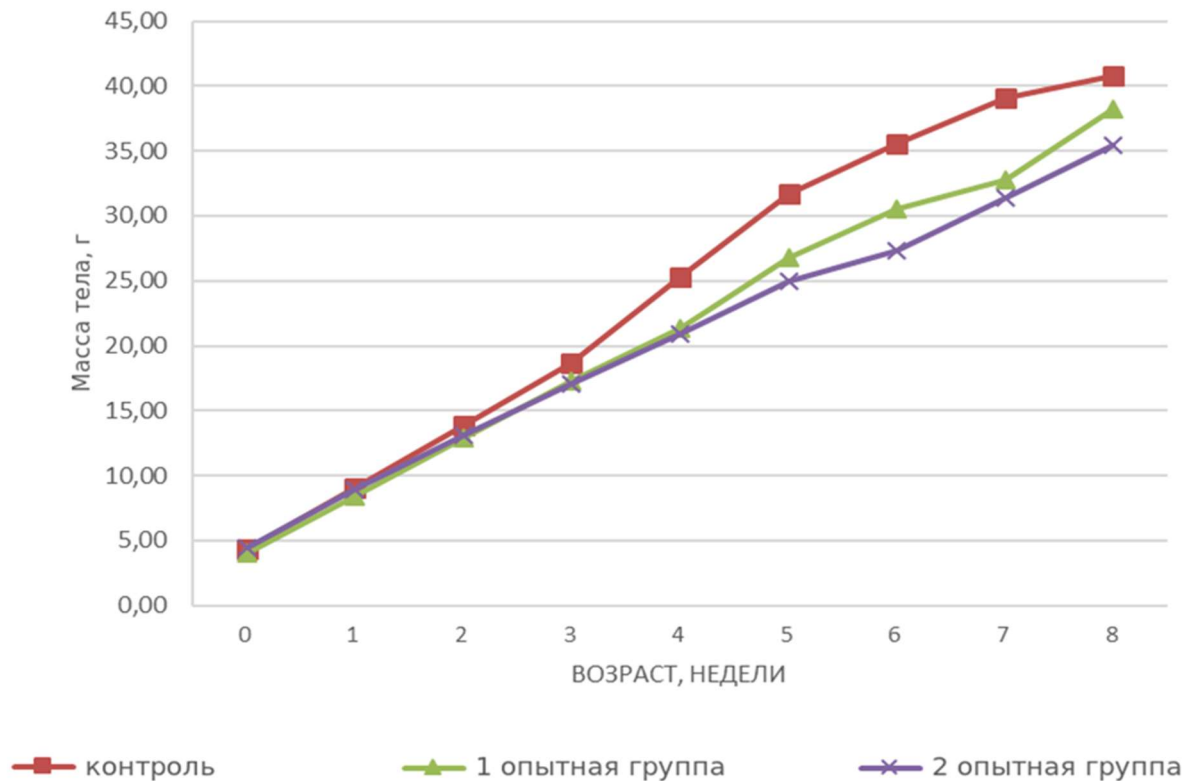


Рисунок 23 – Динамика массы тела потомства монгольских песчанок

Дальнейшие различия по живой массе детенышей контрольной и опытных групп становятся более выраженными. Так, разность контрольной группы по сравнению с 1 и 2 опытными группами на 3 неделе жизни составляла 7,5 и 8,7% соответственно. Данные отличия совпадают с периодом отъема детенышей, который у песчанок происходит в возрасте около 3 недели, и полным переходом на рацион взрослых животных. При этом разность по данному показателю между контрольной, 1 и 2 опытными группами при достижении детенышами монгольских песчанок возраста 8 недель составила 6,4 и 13,1% соответственно, что свидетельствует о более эффективном росте детенышей, родившихся у родительских пар 1 опытной группы относительно потомства 2 опытной группы (рисунок 23). Более высокие показатели по приросту живой массы у потомства,

полученного от родительских пар контрольной группы, возможно, обусловлены тем, что рацион, включающий натуральные корма, более привлекателен для животных по вкусовым и обонятельным характеристикам, чем комбикорм, что улучшает его поедаемость. Однако следует отметить, что в общепринятой практике содержания лабораторных животных и животных в коллекциях зоопарков принято кормить *ad libitum* (вволю), что создает существенные риски, т. к. исключает контроль потребления питательных веществ и энергии.

3.7.3 Морфометрические показатели постнатального развития

Фенотипические показатели постнатального развития монгольских песчанок контрольной и опытных групп представлены на рисунках 24–26.

Результаты, полученные при измерении длины тела животных, характеризуются равномерной положительной динамикой (рисунок 24). На заключительных этапах исследования, начиная с возраста 5 недели, у животных контрольной и опытных групп длина тела имела тенденцию к незначительному росту. При достижении возраста 8 недели разность в длине тела между средними показателями у контрольной группы по сравнению с 1 и 2 опытными группами составили 5,7 и 7,3% соответственно.

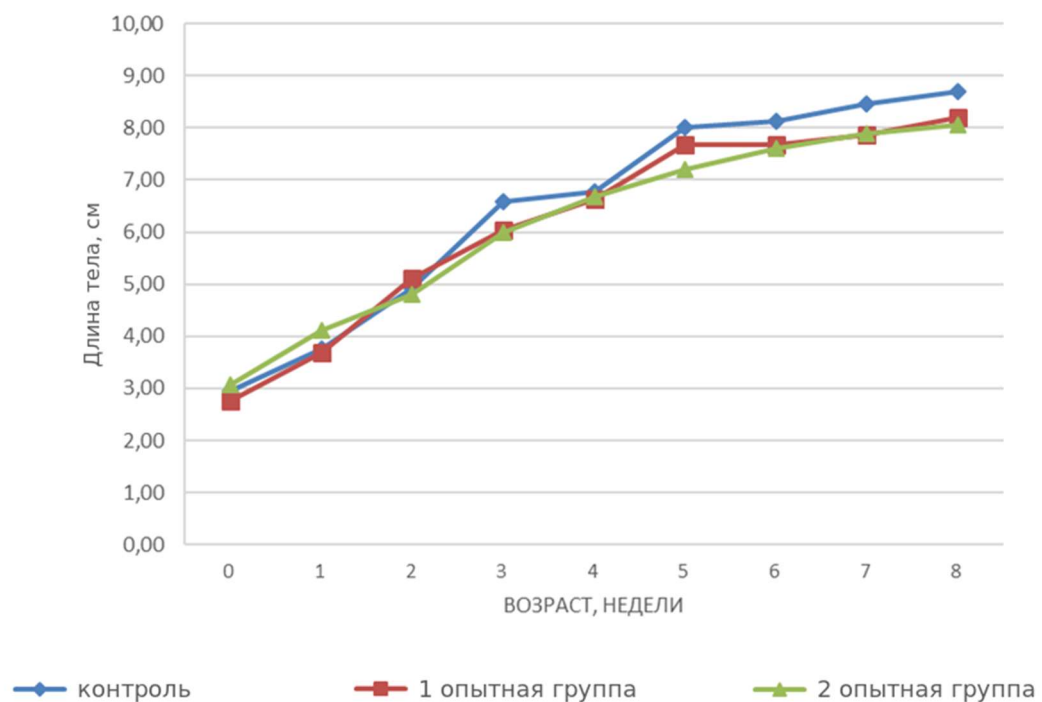


Рисунок 24 – Динамика длины тела потомства монгольских песчанок

Анализ морфометрических данных, характеризующих динамику линейных размеров тела потомства песчанок контрольной и опытных групп с рождения по 8 неделю жизни, представленных на (рисунок 25), показал, что в течение наблюдаемого периода было отмечено последовательное увеличение показателя, отражающего длину головы животных во всех группах. Начиная с 5 недели жизни, средние показатели во всех группах достигли значения 3 см и в дальнейшем уже не изменялись. Существенных межгрупповых различий по темпам роста длины головы не было выявлено.

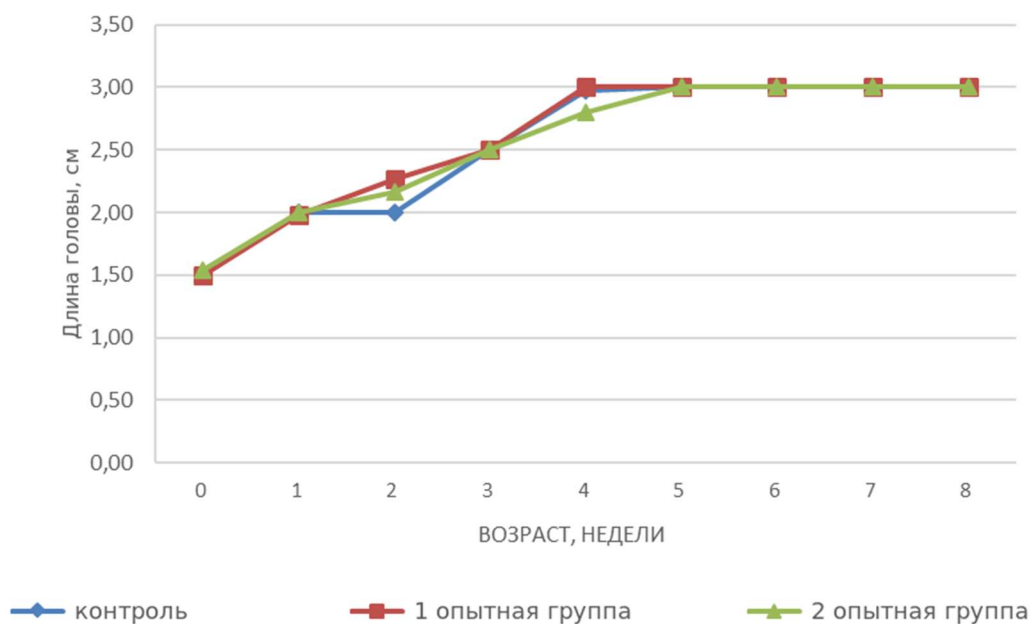


Рисунок 25 – Динамика длины головы потомства монгольских песчанок

Одним из показателей, характеризующих интенсивность роста лабораторных животных, является оценка динамики роста хвоста. Длина хвоста является важным биометрическим показателем, который используется в исследованиях развития грызунов. Динамика длины хвоста у потомства песчанок контрольной и опытных групп представлена на рисунке 26.

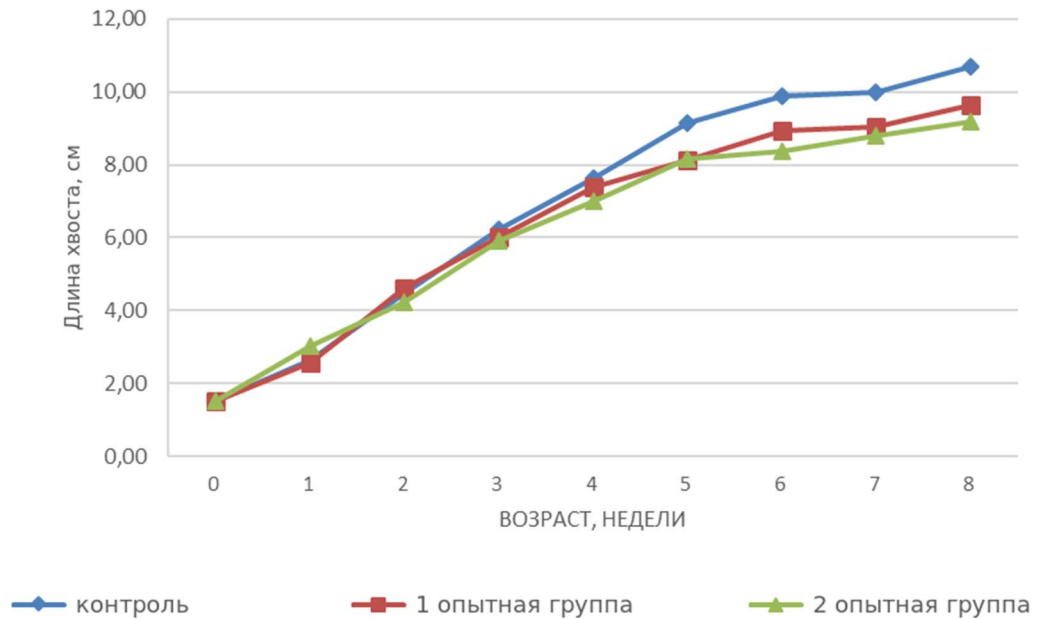


Рисунок 26 – Динамика длины хвоста потомства монгольских песчанок

Длина хвоста у песчанок всех групп была сопоставима без выраженных отклонений между группами до возраста 3 недели. Также стоит отметить, что, начиная с возраста 5 недели, длина хвоста была выше у потомства песчанок контрольной группы по сравнению с 1 и 2 опытными группами, превышая их показатели на 11,1 и 10,7% соответственно. Отмеченные различия сохранились до достижения животными возраста 8 недели. В первые недели жизни у песчанок отмечался интенсивный рост хвоста, он быстро удлинялся, практически достигая размеров пропорциональных длине тела, что важно для терморегуляции, балансировки и социального взаимодействия между особями.

Таким образом, комбикорм с уровнем сырого протеина 16% обеспечивает наилучшие показатели плодовитости и роста у монгольских песчанок. Более высокий уровень сырого протеина в комбикорме, используемом для кормления животных 2 опытной группы, вероятно, увеличивает затраты энергии на его метаболизм и утилизацию азотистых продуктов, что отражается на снижении эффективности кормления.

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНОВ

В экономической оценке сопоставлены затраты на корма для одной монгольской песчанки при использовании натурального рациона контрольной группы и двух вариантов полнорационного комбикорма с уровнем содержания СП 16% и 19% в 1 опытной и 2 опытной группах соответственно. Исходные цены и нормы выдачи компонентов приведены в таблице 18. Сравнение выполнено по стоимости кормов без включения затрат на изготовление и гранулирование комбикормов.

Таблица 18 – Стоимость кормов и потребность в кормах монгольских песчанок

Корм	Цена, руб./кг	Стоимость, руб./г	Контрольная группа, г/голову в сутки	1 опытная группа, г/голову в сутки	2 опытная группа, г/голову в сутки
Веточный корм (ива)	89,07	0,08907	14,2857	0,5714	0,5714
Сухари пшеничные	50,0	0,05	0,1214	0,2857	0,2857
Зерно овса	27,90	0,0279	2,4857	0,4286	0,4286
Семена подсолнечника	269,05	0,26905	0,0129	—	—
Свекла	30,57	0,03057	5,0000	0,2857	0,2857
Яблоко	112,45	0,11245	2,1429	—	—
Творог 9%	380,0	0,38	0,6200	—	—
Зерно проса	108,37	0,10837	1,2429	0,2143	0,2143
Салат «айсберг»	108,18	0,10818	1,0714	0,2857	0,2857
Сено разнотравное	28,23	0,02823	14,2857	—	—
Яйцо перепелиное	225,00	0,225	0,2814	—	—
Отруби пшеничные	34,57	0,03457	0,1686	—	—
Зерно кукурузы	71,65	0,07165	0,1429	0,8571	0,8571
Семена тыквы	833,05	0,83305	0,0214	0,1429	0,1429
Сверчок	2959,33	2,95933	0,0500	—	—

Корм	Цена, руб./кг	Стоимость, руб./г	Контрольная группа, г/голову в сутки	1 опытная группа, г/голову в сутки	2 опытная группа, г/голову в сутки
Геркулес (хлопья)	69,08	0,06908	2,4857	2,1429	2,1429
Гречка (крупа)	61,28	0,06128	0,2143	0,7857	0,7857
Морковь	30,57	0,03057	5,0000	0,2857	0,2857
Бисглицинат магния	8320	8,32	–	0,0066	0,0079
Рыбная мука	110	0,11	–	1,0143	1,4429
Сухое молоко	320	0,32	–	0,2857	0,5000

Затраты на отдельные компоненты и рационы приведены в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на корма, руб. на одну песчанку в сутки

Корм	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
Веточный корм (ива)	1,2724	0,0509	0,0509
Сухари пшеничные	0,0061	0,0143	0,0143
Зерно овса	0,0694	0,0120	0,0120
Семена подсолнечника	0,0035	–	–
Свекла	0,1528	0,0087	0,0087
Яблоко	0,2410	–	–
Творог 9%	0,2356	–	–
Зерно проса	0,1347	0,0232	0,0232
Салат «айсберг»	0,1159	0,0309	0,0309
Сено разнотравное	0,4033	–	–
Яйцо перепелиное	0,0633	–	–
Отруби пшеничные	0,0058	–	–
Зерно кукурузы	0,0102	0,0614	0,0614
Семена тыквы	0,0179	0,1190	0,1190
Сверчок	0,1480	–	–
Геркулес (хлопья)	0,1717	0,1480	0,1480

Корм	Контрольная группа	1 опытная группа	2 опытная группа
Гречка (крупа)	0,0131	0,0481	0,0481
Морковь	0,1528	0,0087	0,0087
Бисглицинат магния	—	0,0549	0,0657
Рыбная мука	—	0,1116	0,1587
Сухое молоко	—	0,0914	0,1600
Итого, руб. на голову в сутки	3,2175	0,7833	0,9098
Суточная масса, г на голову	49,6329	7,5923	8,2365

Стоимость натурального рациона контрольной группы составляет 3,2175 руб. на голову в сутки, комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% – 0,7833 руб., с уровнем содержания сырого протеина 19% – 0,9098 руб. При округлении до копеек значения равны 3,22; 0,78 и 0,91 руб. соответственно. Суточная масса выдаваемого натурального рациона составляет около 49,63 г, комбикормов – 7,59 и 8,24 г соответственно.

В пересчёте на 1 кг кормов стоимость комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% составляет $0,7833 \text{ руб.} \div 7,5923 \text{ г} \times 1000 = 103,17 \text{ руб./кг}$, с уровнем содержания СП 19% – $0,9098 \text{ руб.} \div 8,2365 \text{ г} \times 1000 = 110,46 \text{ руб./кг}$. Эти значения характеризуют стоимость сырьевых компонентов и не являются полной производственной себестоимостью готового комбикорма.

Использование комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% снижает суточные затраты на корма по сравнению с натуральным рационом на 2,4342 руб., или на 75,7%. Для комбикорма с уровнем содержания СП 19% снижение составляет 2,3077 руб., или 71,7%. Стоимость кормовых компонентов в 1 опытной группе ниже, чем во 2 опытной группе, на 0,1265 руб. на голову в сутки, или на 13,9%. Таким образом, наименьшие затраты среди исследованных рационов получены при использовании комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16%.

Основная часть затрат на натуральный рацион приходится на веточный корм (ива) и сено разнотравное: их суммарная стоимость составляет 1,6757 руб. на голову в сутки, или 52,1% стоимости кормовых компонентов контрольной группы. Заметный вклад в расходы также вносят яблоко, творог 9%, геркулес (хлопья), морковь, свекла и сверчок. Более низкая стоимость комбикормов обусловлена изменением состава и норм выдачи компонентов. Повышение затрат во 2 опытной группе по сравнению с 1 опытной группой связано с увеличением количества рыбной муки, сухого молока и бисглицината магния.

При оценке использования натуральных кормов необходимо учитывать полноту их потребления. По средним значениям для самцов и самок из 49,63 г выданного корма съедалось 15,51 г, а остатки составляли 34,11 г, или 68,7%. Наибольшая масса остатков приходилась на веточный корм (ива) и сено разнотравное. Эти компоненты могут также выполнять функцию обогащения среды, поэтому их неполное поедание не следует целиком приравнивать к бесполезным затратам. Однако даже при исключении веточного корма и сена доля несъеденных остальных компонентов достигала 32,0%, что указывает на неполное использование закупленных кормов.

Потребление компонентов натурального рациона было неравномерным. Зерно овса, геркулес (хлопья) и зерно проса поедались примерно на 30%, творог, яйцо и отруби – на 50–52%, тогда как яблоко потреблялось на 90,3%, морковь и свекла – на 82,4–85,4%. Различия в поедаемости свидетельствуют об избирательном потреблении, изменяющем соотношение компонентов фактически съеденного рациона. Сепарация натурального корма затрудняет обеспечение расчётной сбалансированности питания: состав выданного рациона не полностью соответствует составу потреблённого. Конкретную величину отклонений в поступлении питательных веществ можно определить по химическому составу съеденной части.

Несъеденные остатки требуют удаления и, при невозможности дальнейшего использования, утилизации. Их образование снижает эффективность расходования кормов, особенно скоропортящихся продуктов. Вместе с тем доля остатков по массе

не равнозначна доле финансовых потерь, поскольку компоненты различаются по стоимости. Дополнительные затраты на подготовку кормов, уборку и утилизацию в настоящую денежную оценку не включены.

Гранулированная форма комбикорма ограничивает возможность выбора отдельных ингредиентов и способствует сохранению заданного соотношения компонентов в потреблённом корме. Однако это преимущество не означает полного поедания выданной порции. По данным учёта потребления средние остатки комбикормов с уровнем содержания сырого протеина 16% и 19% составляли около 51,5% и 51,6% соответственно. Следовательно, полученное снижение суточных затрат характеризует прежде всего стоимость выдаваемых кормовых компонентов; преимущество комбикормов по доле несъеденного корма при исключении веточного корма и сена из натурального рациона этими данными не подтверждается.

Таким образом, по стоимости кормовых компонентов наиболее экономичным из исследованных вариантов является комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16%. Его использование снижает суточные кормовые затраты на 75,7% относительно натурального рациона и на 13,9% относительно комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 19%. Учитывая значительные остатки и избирательное потребление натуральных кормов, переход на полнорационный комбикорм представляет интерес для упорядочения кормления и обеспечения более стабильного состава потреблённого рациона.

При оценке экономической эффективности использования комбикормов необходимо учитывать не только стоимость выданного рациона, но и полноту потребления его компонентов. Анализ поедаемости натуральных кормов показал, что в среднем по самцам и самкам из 49,63 г выданного корма потреблялось 15,51 г, а остатки составляли 34,11 г, или 68,7%. Наибольшая масса несъеденного материала приходилась на поросль и сено. Однако даже при исключении этих компонентов, которые могут дополнительно использоваться для обогащения среды, доля остатков остальных кормов достигала 32,0%. Следовательно, существенная часть затрат на приобретение и подготовку натуральных кормов не обеспечивала их фактического потребления животными.

Выявлены выраженные различия в поедаемости отдельных компонентов натурального рациона. Остатки овса, геркулеса и проса составляли около 70% выданной массы, творога, варёного яйца и отрубей – 47,6–49,7%. Вместе с тем яблоко потреблялось на 90,3%, морковь и свёкла – на 82,4–85,4%, а ряд компонентов поедался практически полностью. Такая неравномерность свидетельствует об избирательном потреблении кормов, при котором животные изменяют соотношение компонентов фактически съеденного рациона. В результате сбалансированность рациона, рассчитанная по выданным кормам, не гарантирует соответствующего поступления питательных веществ. Для количественной оценки возникающего дисбаланса требуется учитывать химический состав именно потреблённой части рациона.

Накопление несъеденных остатков также имеет хозяйственное значение. Их удаление и утилизация увеличивают объём работ по обслуживанию животных, а неполное потребление скоропортящихся компонентов снижает эффективность использования закупленных продуктов.

Использование полнорационного гранулированного комбикорма позволяет ограничить выбор отдельных ингредиентов, поскольку питательные компоненты объединены в одной грануле. Это создаёт условия для более стабильного соотношения питательных веществ в потреблённом корме и упрощает его дозирование.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные результаты показывают, что оценка кормления монгольских песчанок основывается на совокупности показателей потребления и использования питательных веществ, роста и развития, биохимических показателей крови, репродуктивных результатов и хозяйственной эффективности. В исследованных условиях полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16% оказался наиболее рациональным среди испытанных вариантов. Его преимущество определяется сочетанием высокой относительной эффективности удержания азота, сопоставимых с натуральным рационом показателей роста, более благоприятного биохимического профиля и результатов выращивания потомства.

Разработка специализированных комбикормов была обусловлена особенностями натурального кормления. Избирательное потребление отдельных ингредиентов изменяет их соотношение в фактически съеденной части корма и затрудняет обеспечение расчётной сбалансированности питания. Анализ натурального рациона послужил основой для разработки двух рецептур с уровнем содержания сырого протеина 16% и 19%. Использование сухого молока и рыбной муки позволило корректировать протеиновую питательность и применять технологичные компоненты при изготовлении комбикормов.

Гранулирование позволило объединить ингредиенты в однородной кормовой единице и исключить их сепарирование при выборе животными отдельных продуктов. При поедании однородных гранул питательные вещества поступают в соотношении, предусмотренном рецептурой. Это повышает стабильность состава потреблённого корма, обеспечивает поступление необходимых питательных веществ и создаёт условия для стандартизации кормления в зоопарках, питомниках и научных учреждениях.

Физические свойства гранул дополняют оценку рецептуры. При испытании в течение 30 секунд средняя крепость составляла 85% для комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% и 84,31% для варианта с сырого протеина 19%.

Оба корма характеризовались близкой сохранностью гранул. При испытании в течении 60 секундах значения составляли 54,66% и 69,42% соответственно. Таким образом, при более длительном воздействии сохранность гранул уменьшалась, а гранулы комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 19% в данном испытании сохранялись лучше.

Динамика массы тела в возрасте 3,5–7 месяцев подтверждает возможность использования комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% для кормления монгольских песчанок. К 7 месяцам средние по полу значения составляли $72,75 \pm 1,67$ г в контроле, $71,75 \pm 0,96$ г в 1 опытной группе и $70,11 \pm 0,99$ г во 2 опытной группе. На заключительном сроке при уровне содержания сырого протеина 16% не выявлено статистически значимых различий с натуральным рационом ни у самцов, ни у самок. У самцов различий между комбикормами на последнем сроке не установлено, а у самок показатели конечной массы и прироста были выше при уровне содержания сырого протеина 16%. Повышение уровня содержания сырого протеина до 19% не обеспечивало последовательного преимущества по росту у животных обоих полов.

Результаты балансового опыта характеризуют особенности использования питательных веществ при разных рационах. переваримость сырого протеина составляла 76,83% в контрольной группе, 86,17% в 1 опытной и 89,41% во 2 опытной группе, сырого жира – 85,67; 91,26 и 91,34% соответственно. Повышение переваримости протеина в обеих опытных группах относительно контроля было статистически значимым; для сырого жира достоверное различие с контролем установлено в 1 опытной группе. Таким образом, использование разработанных комбикормов сопровождалось повышением переваримости сырого протеина и более высокими средними значениями переваримости сырого жира.

Переваримость сухого вещества, органического вещества, сырой клетчатки и безазотистых экстрактивных веществ в опытных группах была ниже контрольных средних значений. Переваримость сырой клетчатки составляла 69,50% в контроле, 65,82% при уровне содержания сырого протеина 16% и 64,73% при уровне содержания сырого протеина 19%. Преимущества комбикормов по использованию

протеина сочетались с различиями переваримости других компонентов рациона. Совместная оценка этих показателей и результатов азотистого обмена позволяет охарактеризовать физиологическую эффективность разработанных кормов.

Баланс азота был положительным во всех группах: +15,21 мг в контроле, +61,26 мг в 1 опытной и +71,96 мг во 2 опытной группе. При уровне содержания сырого протеина 19% отмечались максимальное поступление азота, количество переваренного азота и наиболее высокий средний абсолютный баланс. При уровне содержания сырого протеина 16% была выше доля удержанного азота: от принятого она составляла 62,91%, от переваренного – 72,96%, тогда как при уровне содержания сырого протеина 19% – 56,35 и 62,88% соответственно. В контроле соответствующие значения составляли 22,60 и 29,32%. Поэтому абсолютное удержание азота и его относительную эффективность необходимо рассматривать раздельно.

Выделение азота с мочой было минимальным в 1 опытной группе – 20,55 мг против 35,89 мг в контроле и 36,63 мг во 2 опытной группе. При уровне содержания сырого протеина 16% более высокая доля удержанного азота сочеталась с меньшим его выделением с мочой. Повышение протеиновой питательности до 19% увеличивало поступление азота и его среднее абсолютное удержание, но сопровождалось меньшей относительной эффективностью использования. Эти результаты поддерживают выбор комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% как наиболее рационального уровня среди испытанных.

Биохимические показатели крови дополняют характеристику азотистого обмена. Общий белок находился в пределах референсных значений для контрольной и обеих опытных групп и составлял 55,83; 54,07 и 55,67 г/л в контрольной, 1 и 2 опытных группах соответственно. Похожая концентрация общего белка сочеталась с различиями белковых фракций. В контроле концентрация альбумина составляла 21,83 г/л, при уровне содержания сырого протеина 16% – 26,20 г/л, при уровне содержания сырого протеина 19% – 25,33 г/л. Концентрация глобулинов была выше в контроле. При использовании комбикормов более высокое содержание альбумина сочеталось с повышением относительной эффективности

удержания азота; наиболее высокое среднее значение альбумина отмечено в 1 опытной группе.

Концентрация мочевины составляла 2,55 ммоль/л в контроле, 6,17 ммоль/л в 1 опытной и 5,90 ммоль/л во 2 опытной группе. При использовании комбикормов значения находились в пределах использованного референсного интервала, тогда как контрольный показатель был ниже его нижней границы. В сочетании с результатами балансового опыта это характеризует более благоприятный профиль азотистого обмена при применении полнорационных комбикормов. Повышение уровня содержания сырого протеина с 16% до 19% не сопровождалось дальнейшим увеличением альбумина и мочевины.

Концентрация глюкозы составляла 7,27 ммоль/л в контроле, 5,24 ммоль/л при уровне содержания сырого протеина 16% и 7,28 ммоль/л при уровне содержания сырого протеина 19%. Все значения находились в пределах приведённого референсного интервала. При уровне содержания сырого протеина 16% показатель был ближе к его средней части, а в остальных группах – к верхней границе. Таким образом, комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16% обеспечивал наиболее благоприятное сочетание исследованных показателей белкового и углеводного обмена.

Концентрация холестерина повышалась с 0,53 ммоль/л в контроле до 0,90 и 0,94 ммоль/л в опытных группах. Триглицериды составляли 0,57; 1,29 и 1,34 ммоль/л соответственно и находились в пределах референсного интервала. Использование комбикормов сопровождалось более высокими значениями этих показателей по сравнению с натуральным рационом. Повышение уровня содержания сырого протеина до 19% не обеспечивало выраженного дополнительного преимущества по совокупности показателей липидного обмена.

Креатинин составлял 25,67 мкмоль/л в контроле и около 33 мкмоль/л в обеих опытных группах. При применении комбикормов показатель повышался по сравнению с натуральным рационом. Общий билирубин находился в пределах референсных значений и составлял 5,33; 4,67 и 8,83 мкмоль/л соответственно. Наиболее низкое среднее значение билирубина отмечено при уровне содержания

16%. Эти результаты дополняют характеристику биохимического профиля животных при исследованных рационах.

Активность аланинаминотрансферазы снижалась с 98,50 Ед/л в контроле до 70,33 Ед/л при уровне содержания сырого протеина 16% и 53,83 Ед/л при уровне содержания сырого протеина 19%. Активность аспартатаминотрансферазы составляла 214,83; 191,00 и 224,17 Ед/л соответственно, а щелочной фосфатазы существенно не различалась между группами. Эти показатели находились в пределах использованных референсных интервалов; различия активности аспартатаминотрансферазы и щелочной фосфатазы были статистически недостоверны. Достоверных межгрупповых различий по гамма-глутамилтрансферазе и общей креатинфосфокиназе также не выявлено. В совокупности с показателями белкового и углеводного обмена наиболее благоприятное сочетание биохимических характеристик отмечено при уровне содержания сырого протеина 16%.

Результаты качественного исследования фекальной микробиоты дополняют оценку кормления. В контрольной группе было выявлено 17 таксонов, в 1 опытной группе – 13, во 2 опытной – 18. В 1 опытной группе обнаружен *Limosilactobacillus reuteri* и не отмечен ряд потенциально нежелательных таксонов, зарегистрированных в других группах. Во 2 опытной группе выявлены *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* и *Staphylococcus aureus*; в контрольной группе также обнаружены микроорганизмы с потенциальной клинической значимостью. По представленным качественным результатам наиболее предпочтительный профиль отмечен в 1 опытной группе, что согласуется с общей оценкой комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16%.

Репродуктивные результаты подтверждают возможность использования обоих комбикормов в исследованных условиях. Среднее количество детёнышей на родительскую пару составляло 6,0 в контроле, 6,5 при уровне содержания сырого протеина 16% и 5,0 при уровне содержания сырого протеина 19%. Наиболее высокое среднее значение получено в 1 опытной группе. Различия численности помётов сопровождались особенностями массы новорождённых и динамики их

роста в первые недели жизни. Результаты размножения и выращивания потомства дополняют физиологическую оценку разработанных рационов.

Во втором поколении во всех группах наблюдалась положительная динамика массы тела и линейных размеров. Потомство контрольной группы превосходило опытные группы по абсолютным значениям массы тела, длины тела и хвоста. К 8 неделям различия по массе тела между контролем и 1 и 2 опытными группами составляли 6,4 и 13,1% соответственно. Среди опытных рационов более благоприятная динамика массы потомства отмечена при уровне содержания сырого протеина 16%. В сочетании с более высоким средним количеством детёнышей на родительскую пару это характеризует преимущество данного варианта перед комбикормом с уровнем содержания сырого протеина 19% по результатам воспроизводства и выращивания потомства.

Различия длины тела между контролем и 1 и 2 опытными группами к 8-недельному возрасту составляли 5,7 и 7,3% соответственно. С возраста 5 недель длина хвоста у потомства контрольной группы была выше опытных значений. Выраженных межгрупповых различий длины головы не выявлено; приблизительно к этому возрасту показатель достигал 3 см. Полученные результаты характеризуют поступательное постнатальное развитие животных во всех группах и особенности динамики отдельных признаков при разных рационах.

Хозяйственная оценка дополняет физиологические результаты. По стоимости кормов наиболее экономичным из исследованных вариантов являлся комбикорм с уровнем содержания сырого протеина 16%. Анализ потребления натуральных кормов показал значительные остатки и неодинаковую поедаемость ингредиентов. Остатки составляли 68,7% общей массы натурального рациона и 32,0% после исключения веточного корма и сена, выполняющих также функцию обогащения среды. Избирательное потребление изменяло соотношение компонентов съеденного рациона, а удаление остатков увеличивало объём работ по обслуживанию животных.

Средние остатки комбикормов составляли около 51,5% при уровне содержания сырого протеина 16% и 51,6% при уровне содержания сырого протеина

19%. Гранулированная форма обеспечивала стабильность соотношения ингредиентов в потреблённом корме и упрощала организацию его выдачи. Применение готового комбикорма сокращает число операций по подготовке отдельных продуктов. Предполагается, что затраты на потери корма будут значительно меньше благодаря исключению сепарирования ингредиентов, сокращению использования скоропортящихся продуктов и применению кормушек, препятствующих загрязнению и разбрасыванию гранул.

Таким образом, совокупность результатов поддерживает выбор полнорационного гранулированного комбикорма с уровнем содержания сырого протеина 16% как наиболее рационального среди испытанных вариантов для исследованных условий содержания монгольских песчанок. Повышение уровня сырого протеина до 19% увеличивало поступление и количество переваренного азота и обеспечивало наиболее высокий средний абсолютный баланс, но не улучшало его относительное удержание и не давало последовательного преимущества по росту, биохимическому профилю и результатам выращивания потомства. Практическая ценность варианта с уровнем сырого протеина 16% заключается в сочетании эффективного использования питательных веществ, благоприятных физиологических показателей, результатов воспроизводства и стандартизации кормления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплексные исследования по изучению эффективности использования полнорационных комбикормов с разным уровнем сырого протеина в кормлении монгольских песчанок позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании анализа химического состава натурального рациона для монгольских песчанок и рекомендаций по их нормированному кормлению, разработаны и апробированы 2 рецепта полнорационных гранулированных комбикормов с уровнем сырого протеина 16% и 19%.

2. Анализ роста и развития племенного поголовья монгольских песчанок в возрасте от 3,5 до 7,0 месяцев показал, что при использовании полнорационных гранулированных комбикормов с разным уровнем сырого протеина отмечена слабая тенденция к уменьшению массы тела животных. Конечная масса тела монгольских песчанок контрольной, 1 и 2 опытных групп составила 72,8 г, 71,7 г и 70,2 г соответственно.

3. На основании комплексного анализа биохимических показателей крови установлено, что полнорационный гранулированный комбикорм с содержанием сырого протеина 16% обеспечивает наиболее благоприятный метаболический статус монгольских песчанок, большинство изученных параметров находятся в пределах или наиболее близких к опубликованным референсным значениям.

При использовании натуральных кормов у животных контрольной группы выявлены признаки скрытого белкового дефицита (содержание в плазме крови альбумина составило 22 г/л, глобулинов – до 34 г/л, мочевины – до 2,6 ммоль/л), отмечена тенденция к развитию гипергликемии (концентрация глюкозы в крови составила 7,27 ммоль/л (верхняя граница нормы) и низкое значение показателей липидного обмена (уровень холестерина составил 0,5 ммоль/л (на 78,3% ниже референсного минимума) и триглицеридов – 0,6 ммоль/л).

У животных 1 опытной группы отмечена стабилизация белкового, углеводного и липидного профилей сыворотки крови: повышение концентрации

альбуминов на 18%, мочевины на 50% при снижении уровня глобулинов на 16%, снижение уровня глюкозы на 28,8%, повышение концентрации холестерина на 70%.

Увеличение концентрации сырого протеина в комбикорме до 19% не привело к улучшению биохимического профиля крови монгольских песчанок и сопровождалось признаками избыточной аминокислотной нагрузки (повышение уровня глюкозы на 28,0%, снижение концентрации альбуминов на 4% и мочевины на 4,8%, относительно показателей 1 опытной группы).

4. Переваримость сырого протеина и сырого жира была выше у животных получавших полнорационные комбикорма. В контрольной, 1 и 2 опытных группах переваримость сырого протеина составила 76,8; 86,2 и 89,4 %, сырого жира – 85,7; 91,2 и 91,3% соответственно. Переваримость сухого и органического веществ, сырой клетчатки у животных опытных групп не превышала значений в контрольной группе.

Баланс азота был положительным во всех группах: +15,2 мг – в контрольной группе, +61,3 мг и +71,9 мг – в 1 и 2 опытных группах соответственно. Однако, в 1 опытной группе зафиксирована наибольшая доля усвоенного от принятого азота – 63%, что на 40 и 7% выше, чем в контрольной и 2 опытной группе соответственно.

5. Уровень сырого протеина в полнорационном гранулированном комбикорме оказывает модулирующее влияние на состав фекальной микробиоты монгольских песчанок. Рацион 2 опытной группы ассоциирован с наибольшим таксономическим разнообразием фекальной микробиоты, однако, в кале животных обнаружены условно-патогенные виды (*Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*) и элиминация пробиотического вида (*Limosilactobacillus reuteri*). В популяции фекальной микробиоты животных 1 опытной группы присутствуют ключевые пробиотические лактобациллы (*Limosilactobacillus reuteri*, *Lactobacillus kitasatonis*) и отсутствует целый ряд потенциально опасных микроорганизмов (*Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Citrobacter amalonaticus* и др.).

6. Экспериментальный комбикорм с уровнем сырого протеина 16% обеспечивал наилучшие показатели плодовитости у монгольских песчанок.

Среднее количество детенышей на 1 родительскую пару в контрольной, 1 и 2 опытных группах составило 6,0; 6,5 и 5,0 особей соответственно.

7. Комбикорм с уровнем сырого протеина 16% обеспечивал наилучшие показатели роста детенышей монгольских песчанок, масса тела животных в конце периода исследования была выше на 13,1% по сравнению со 2 опытной группой.

8. Оценка экономической эффективности использования полнорационных гранулированных комбикормов показала, что комбикорм с уровнем сырого протеина 16 % является наиболее оптимальным в кормлении монгольских песчанок, затраты на корма, составили 0,78 руб./гол./сутки против 3,26 руб./гол./сутки и 0,90 руб./гол./сутки в контрольной и 2 опытной группах.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью обеспечения монгольских песчанок необходимым уровнем нутриентов, обеспечивающих оптимальные показатели переваримости питательных веществ, баланса азота, обмена веществ, плодовитости и роста животных, а также снижения затрат на корма в питомниках, научно-исследовательских и зоологических учреждениях рекомендуется использовать специализированный полнорационный гранулированный комбикорм с уровнем сырого протеина 16%.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Дальнейшие научные исследования будут ориентированы на изучение зоотехнических, физиологических и экономических показателей при использовании полнорационных гранулированных комбикормов в кормлении монгольских песчанок разных половозрастных, используемых в качестве модельных животных в биомедицинских исследованиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Банников, А. Г. Монгольская песчанка. *Pallasiomys unguiculatus* Milne-Edwards // Млекопитающие Монгольской Народной Республики. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1954. – С. 407–418.
2. Володин, И. А. Песчанки : содержание и демография популяций разных видов в неволе / И. А. Володин, О. Г. Ильченко, С. В. Попов. – Москва : Московский зоопарк, 1996. – 228 с.
3. ГОСТ 13496.15-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения массовой доли сырого жира. – Москва : Стандартинформ, 2020. – II, 9 с.
4. ГОСТ 13496.4-2019 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина. – Москва : Стандартинформ, 2019. – III, 16 с.
5. ГОСТ 13979.6-69 Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения золы. – Москва, 2002. – 3 с.
6. ГОСТ 22001-87 Реактивы и особо чистые вещества. Метод атомно-абсорбционной спектроскопии определения примесей химических элементов. – Москва : Стандартинформ, 2003. – 8 с.
7. ГОСТ 26226-95 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2003. – II, 5 с.
8. ГОСТ 26657-97 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения содержания фосфора. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – II, 9 с.
9. ГОСТ 26889-86 Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кьельдаля. – Москва : Стандартинформ, 2010. – 8 с.
10. ГОСТ 31640-2012 Корма. Методы определения содержания сухого вещества. – Москва : Стандартинформ, 2020. – III, 7 с.

11. ГОСТ 31675-2012 Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. – Москва : Стандартинформ, 2020. – II, 9 с.
12. ГОСТ 32044.1-2012 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Метод Кьельдаля. – Москва : Стандартинформ, 2002. – II, 6 с.
13. ГОСТ 32904-2014 Корма, комбикорма. Определение содержания кальция титриметрическим методом. – Москва : Стандартинформ, 2020. – IV, 8 с.
14. ГОСТ 32933-2014 Корма, комбикорма. Метод определения содержания сырой золы. – Москва : Стандартинформ, 2020. – IV, 7 с.
15. ГОСТ 33215-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. – Москва : Стандартинформ, 2019. – V, 12 с.
16. ГОСТ 33216-2014 Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами. – Москва : Стандартинформ, 2019. – III, 9 с.
17. ГОСТ 34566-2019 Комбикорма полнорационные для лабораторных животных. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2019. – III, 10 с.
18. ГОСТ ISO 5983-2-2016 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли азота и вычисление массовой доли сырого протеина. Часть 2. Метод с использованием блока озоления и перегонки с водяным паром. – Москва : Стандартинформ, 2020. – IV, 17 с.
19. ГОСТ ISO 6497-2014 Корма. Отбор проб. – Москва : Стандартинформ, 2020. – IV, 16 с.
20. ГОСТ Р 56374-2015 Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение массовой доли катионов аммония, калия, натрия, магния и кальция методом капиллярного электрофореза. – Москва : Стандартинформ, 2020. – III, 14 с.

21. ГОСТ Р ИСО 734-2021 Жмыхи и шроты. Определение содержания сырого жира. Метод экстракции гексаном (или легким петролейным эфиром). – Москва : Стандартинформ, 2021. – III, 8 с.
22. Громов, И. М. Млекопитающие фауны России и сопредельных территорий. Зайцеобразные и грызуны = The mammals of Russia and adjacent territories. Lagomorphs and rodents / И. М. Громов, М. А. Ербаева. – Санкт-Петербург : ЗИН, 1995. – 520 с.
23. Драчикова, А. С. Рацион монгольской песчанки *in situ* и *ex situ* / А. С. Драчикова, С. А. Хлюпин, М. А. Чербурцева // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. – Санкт-Петербург, 2025. – С. 157–159.
24. Ильин, Е. А. Эксперимент с монгольскими песчанками в полете космического аппарата «ФОТОН-МЗ» / Е. А. Ильин, И. А. Смирнов, П. Э. Солдатов, О. И. Орлов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2009. – Т. 43. – № 4. – С. 21–25.
25. Каталог млекопитающих СССР : плиоцен-современность / АН СССР, Зоологический институт ; под ред. И. М. Громова, Г. И. Барановой. – Ленинград : Наука, 1981. – 456 с.
26. Клеточное распределение и активность окислительно-восстановительных ферментов в отдельных структурах головного мозга песчанок монгольских (*Meriones unguiculatus*) / Н. С. Щербак, Д. А. Овчинников, А. Н. Кузьменков [и др.] // Цитология. – 2011. – Т. 53. – № 5. – С. 79–82.
27. Мирошников М. В. Вариабельность биохимических показателей крови и установление референтных интервалов в доклинических исследованиях. Сообщение 10 : монгольские песчанки / М. В. Мирошников, К. Т. Султанова, М. А. Ковалева // Лабораторные животные для научных исследований. – 2023. – Т. 6. – № 3. – С. 74–83.

28. Мокеева, Т. М. Кормовая специализация и водный обмен у некоторых видов полевок и песчанок / Т. М. Мокеева // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений. – 1952. – Вып. 4. – С. 94–102.

29. Мокеева, Т. М. Кормовая специализация некоторых видов мышевидных грызунов и ее значение в их динамике, численности и географическом распространении / Т. М. Мокеева // Вторая экологическая конференция по проблеме «Массовое размножение животных и их прогнозы» : тезисы докладов. – Киев, 1950. – Ч. 2. – С. 49–52.

30. Мокеева, Т. М. Кормовая специализация у некоторых видов мышевидных грызунов в связи с особенностями их терморегуляции : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т. М. Мокеева. – Л., 1949. – 174 с.

31. Павлинов, И. Я. Систематика млекопитающих СССР / И. Я. Павлинов, О. Л. Россолимо; под ред. В. Е. Соколова. – Москва : Изд-во МГУ, 1987. – 281 с.

32. Павлинов, И. Я. Систематика современных млекопитающих = Systematics of Recent Mammals / И. Я. Павлинов. – 2d ed. – Москва : Издательство Московского университета, 2006. – 297 с.

33. Разнообразие млекопитающих, ч. II. / О. Л. Россолимо, И. Я. Павлинов, С. В. Крускоп, [и др.] – Москва : изд-во КМК, 2004. – 218 с.

34. Ралль, Ю. М. Введение в экологию полуденных песчанок *Pallasiomys meridianus* Pall. III. Питание. Возрастные закономерности. Продолжительность жизни и смертность / Ю. М. Ралль // Вестник микробиологии, эпидемиологии и паразитологии. – 1939. – Т. 18. – Вып. 3–4. С. 320–358.

35. Рыбакова А. В. Использование песчанок для биомедицинских исследований / А. В. Рыбакова, М. Н. Макарова // Международный вестник ветеринарии. – 2017. – № 2. – С. 117–124.

36. Рыбакова, А. В. Методы эвтаназии лабораторных животных в соответствии с европейской директивой 2010/63 / А. В. Рыбакова, М. Н. Макарова // Международный вестник ветеринарии. – 2015. – № 2. – С. 96–107.

37. Самохвалова, Н. С. Динамика внутриклеточного восстановления кроветворных тканей монгольских песчанок, облученных рентгеновскими лучами / Н. С. Самохвалова // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 274. – № 3. – С. 734–737.
38. Свириденко, П. А. Запасание корма животными / П. А. Свириденко. – Киев : Изд-во АН УССР, 1957. – 156 с.
39. Скурат, Л. Н. Строение и значение специфических кожных желез грызунов : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Л. Н. Скурат. – Москва : [б. и.], 1972. – 19 с.
40. Соколов, В. Е. Определитель млекопитающих Монгольской Народной Республики / В. Е. Соколов, В. Н. Орлов. – Москва : Наука, 1980. – 349 с.
41. Солдатов, П. Э. Разработка корма для монгольских песчанок применительно к условиям космического полета / П. Э. Солдатов, Е. М. Медникова, З. О. Соловьева [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2008. – Т. 42. – № 3. – С. 64–68.
42. Солдатов, П. Э. Условия содержания и жизнеобеспечения монгольских песчанок в полете космического аппарата «ФОТОН-МЗ» / П. Э. Солдатов, И. А. Смирнов, Е. А. Ильин [и др.] // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2009. Том. 43. – № 5. – С. 12–18.
43. Трубицын, Г. А. Дыхательная активность тканей у трех видов песчанок при адаптации к холоду в течение трех часов / Г. А. Трубицын, А. И. Щеглова // Морфофизиологические и биохимические механизмы адаптации животных к факторам среды : материалы к IV Всесоюзной конференции по экологической физиологии. – Краснодар, 1972. – С. 264–265.
44. Ушакова, Н. А. Роль симбионтной микрофлоры в химической коммуникации / Н. А. Ушакова // Сигнализация и экология млекопитающих и птиц. – Москва : Наука, 1984. – С. 44–64.
45. Филатова, Л. Г. Основной обмен у млекопитающих – обитателей полупустыни / Л. Г. Филатова // Опыт изучения регуляции физиологических функций в естественных условиях существования организмов. – Москва ; Ленинград: Изд-во Акад. наук СССР, 1949. – С. 83–94.

46. Флинт, В. Е. Пространственная структура популяций мелких млекопитающих / В. Е. Флинт. – Москва : Наука, 1977. – 183 с.
47. Хакимов, М. М. Изучение ферментативной активности пищеварительной системы грызунов в связи с состоянием их численности / М. М. Хакимов // XII Межреспубликанская научно-практическая конференция противочумных учреждений Средней Азии и Казахстана по профилактике чумы : тезисы докладов. – Алма-Ата, 1985. – С. 209.
48. Хлюпин, С. А. (а) Влияние полноценных комбикормов с разным уровнем протеина на показатели белкового, углеводного и липидного профиля крови монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*) / С. А. Хлюпин, А. А. Ксенофонтова // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2026. – № 11 (256). – С. 31–53.
49. Хлюпин, С. А. Особенности питания естественных и искусственных популяций монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*) / С. А. Хлюпин, А. А. Ксенофонтова // Материалы Международного научного симпозиума, посвященного 150-летию со дня рождения выдающегося ученого в области зоотехнии академика Е.Ф. Лискуна «Достижения зоотехнической науки в решении актуальных задач животноводства и аквакультуры». Том 2. – Москва : Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, 2023. – С. 440–445.
50. Хлюпин, С. А. Практическое обоснование и алгоритм разработки полнорационного комбикорма для представителей рода *Meriones* на примере монгольской песчанки (*Meriones unguiculatus*) / С. А. Хлюпин // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, г. Москва, 3–5 июня 2024 г.: сборник статей. Том 2. [Электронный ресурс]. – Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2024. – С. 236–238.
51. Хлюпин, С. А. Разработка комбикормов разной энергетической ценности для монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*) в условиях

лабораторного содержания / С. А. Хлюпин, А. А. Ксенофонтова // Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию Тимирязевской академии. Сборник статей. – Москва : Российский государственный аграрный университет, 2025. – Т. 2. – С. 201–205.

52. Хлюпин, С. А. (б) Рецепты полнорационных комбикормов с разным уровнем протеина для монгольских песчанок (*Meriones unguiculatus*) и их эффективность по показателям роста и репродуктивного успеха / С. А. Хлюпин, А. А. Ксенофонтова // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2026. – № 7 (252). – С. 3–15.

53. Шахматова, Е. И. Исследование содержания ионов и локализации рецепторов вазопрессина и аквапоринов в почке монгольской песчанки после полета на биоспутнике «ФОТОН М3» / Е. И. Шахматова, Е. В. Селиверстова, Ю. В. Наточин // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2009. – Т. 43. – № 2. – С. 16–21.

54. Шмидт-Нильсен, К. Физиология животных. Приспособление и среда. Книга 1 : пер. с англ / К. Шмидт-Нильсен. — Москва : Мир, 1982. – 416 с.

55. Ågren, G. Pair formation in the Mongolian gerbil / G. Ågren // Animal Behaviour. – 1984. – Vol. 32. – № 2. – P. 528–535.

56. Alderton, D. Rodents of the World / D. Alderton. – London : Blandford Press, 1996. – 192 p.

57. Amino Acid Catabolism : An Overlooked Area of Metabolism / N. Torres, S. Tobon-Cornejo, L. A. Velazquez-Villegas, et al. // Nutrients. – 2023. – Vol. 15. – No. 15. – P. 3378.

58. Amount of dietary fat and type of soluble fiber independently modulate postabsorptive conversion of β -carotene to vitamin A in Mongolian gerbils / D. M. Deming, A. C. Boileau, C. M. Lee, J. W. Erdman // Journal of Nutrition. – 2000. – Vol. 130. – № 11. – P. 2789–2796.

59. An overview of management considerations for Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*), Cats (*Felis catus*), and Dogs (*Canis familiaris*) as Hosts for

Brugia Infection / C. A. Chambers, C. C. Evans, G. A. Campellone, et al. // *Comparative Medicine*. – 2024. – Vol. 74. – № 3. – P. 142–147.

60. *Animal Nutrition*. – 7th ed. – Harlow : Pearson Education, 2011. – 692 p.

61. Antioxidant-mediated effects in a gerbil model of iron overload / M. Otto-Duessel, M. Aguilar, R. Moats, et al. // *Acta Haematologica*. – 2007. – Vol. 118. – No. 4. – P. 193–199.

62. Arrington, L. R. Protein requirement of growing gerbils / L. R. Arrington, C. B. Ammerman, D. E. Franke // *Laboratory Animal Science*. – 1973. – Vol. 23. – № 6. – P. 851–854.

63. Assessing plasma lipid levels, body weight, and hepatic and renal toxicity following chronic oral administration of a water soluble phytosterol compound, FM-VP4, to gerbils / K. M. Wasan, S. Najafi, J. Wong, et al. // *Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences*. – 2001. – Vol. 4. – No. 3. – P. 228–234.

64. Bartizal K.F., Wostmann B.S., Wagner M. Distribution and effects of a defined six-member murine-derived microflora in gnotobiotic gerbils // *Applied and Environmental Microbiology*. 1984. Vol. 47, № 4. P. 746–751.

65. *Basic Animal Nutrition and Feeding* / W. G. Pond, D. C. Church, K. R. Pond, P. A. Schoknecht. – 5th ed. – New York : Wiley, 2005. – 608 p.

66. Batchelder, M. *Gerbils* / M. Batchelder, L. S. Keller, M. B. Sauer, W. L. West // *The Laboratory Rabbit, Guinea Pig, Hamster and Other Rodents*. — New York : Academic Press, 2012. – P. 1131–1155.

67. Batsaikhan, N. *Meriones unguiculatus* / N. Batsaikhan, K. Tsytsulina. – Electronic resource // The IUCN Red List of Threatened Species 2016. – URL: <https://www.iucnredlist.org/species/13171/115110851> (дата обращения 02.08.2026).

68. Bertorelli, R. The Mongolian gerbil in experimental epilepsy / R. Bertorelli, M. Adami, E. Ongini // *Italian Journal of Neurological Sciences*. – 1995. – Vol. 16. – № 1–2. – P. 101–106.

69. *Biometry : The Principles and Practice of Statistics in Biological Research* / R. R. Sokal, F. J. Rohlf. – 4th ed. – New York : W.H. Freeman, 2012. – 937 p.

70. Body water relations in two species of gerbil (*Tatera indica indica* and *Meriones hurrianae*) of the Indian desert / S. P. Goyal, P. K. Ghosh, T. O. Sasidharan, P. Chand // Journal of comparative physiology. B, Biochemical, systemic, and environmental physiology. – 1988. – Vol. 158. – № 1. – P. 127–134.

71. Boualga, A. Low-protein diet prevents tissue lipoprotein lipase activity increase in growing rats / A. Boualga, M. Bouchenak, J. Belleville // British Journal of Nutrition. – 2000. – Vol. 84. – No. 5. – P. 663–671.

72. Branched-chain amino acids promote albumin synthesis in rat primary hepatocytes through the mTOR signal transduction system / C. Ijichi, T. Matsumura, T. Tsuji, et al. // Biochemical and Biophysical Research Communications. – 2003. – Vol. 303. – No. 1. – P. 59–64.

73. Brown adipose tissue plays thermoregulatory role within the thermoneutral zone in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / Y. Y. Guo, Q. S. Chi, X. Y. Zhang, et al. // Journal of Thermal Biology. – 2019. – Vol. 81. – P. 137–145.

74. Buettner, R. High-fat diets : modeling the metabolic disorders of human obesity in rodents / R. Buettner, J. Scholmerich, L. C. Bollheimer // Obesity. – 2007. – Vol. 15. – No. 4. – P. 798–808.

75. Bush, B. M. Interpretation of Laboratory Results for Small Animal Clinicians / B. M. Bush. – Oxford ; Boston : Blackwell Scientific Publications, 1991. – 515 p.

76. Cani, P. D. The role of the gut microbiota in energy metabolism and metabolic disease / P. D. Cani, N. M. Delzenne // Current Pharmaceutical Design. – 2009. – Vol. 15. – № 13. – P. 1546–1558.

77. Cannon, B. Brown Adipose Tissue: Function and Physiological Significance / B. Cannon, J. Nedergaard // Physiological Reviews. – 2004. – Vol. 84. – № 1. – P. 277–359.

78. Carbone, J. W. Dietary Protein and Muscle Mass : Translating Science to Application and Health Benefit / J. W. Carbone, S. M. Pasiakos // Nutrients. – 2019. – Vol. 11. – No. 5. – P. 1136.

79. Carpenter's Exotic Animal Formulary. 6th ed. / J. W. Carpenter, C. A. Harms (eds.). – St. Louis : Elsevier, 2023. – 818 p.
80. Characterization and mechanisms of lipid metabolism in high-fat diet induced hyperlipidemia in Mongolian gerbil (*Meriones unguatus*) / H. Ying, C. Yu, Z. Wang, et al. // African Journal of Biotechnology. – 2012. – Vol. 11. – № 97. – P. 16347–16352.
81. Cheal, M. Lifespan ontogeny of breeding and reproductive success in Mongolian gerbil / M. Cheal // Laboratory Animals. – 1983. – Vol. 17. – No. 3. – P. 240–245.
82. Chronic high-fat diet-induced obesity in gerbils increases pro-inflammatory cytokines and mTOR activation, and elicits neuronal death in the striatum following brief transient ischemia / M. Song, J. H. Ahn, H. Kim, et al. // Neurochemistry International. – 2018. – Vol. 121. – P. 75–85.
83. Chu, S. H. Assessment of the essential fatty acid requirement in gerbils by polyunsaturated fatty acid ratio / S. H. Chu, D. M. Hegsted // Journal of Nutrition. – 1981. – Vol. 111. – № 9. – P. 1548–1555.
84. Clinical biochemistry of domestic animals / J. J. Kaneko, J. W. Harvey, M. L. Bruss (eds.). – 6th ed. – Amsterdam ; Boston : Academic Press ; Elsevier, 2008. – 916 p.
85. Coles, E. H. Veterinary Clinical Pathology. – 4th ed. / E. H. Coles. – Philadelphia : W.B. Saunders, 1986. – 486 p.
86. Comfortable Quarters for Laboratory Animals. 10th ed. / C. Liss, K. Litwak, D. Tilford, V. Reinhardt (eds.). – Washington, DC : Animal Welfare Institute, 2015. – 239 p.
87. Comparative analysis of gastric bacterial microbiota in Mongolian gerbils after long-term infection with *Helicobacter pylori* / T. Osaki, T. Matsuki, T. Asahara, et al. // Microbial Pathogenesis. – 2012. – Vol. 53. – № 1. – P. 12–18.
88. Corbet, G. B. The mammals of the Indomalayan Region : a systematic review / G. B. Corbet, J. E. Hill. – Oxford ; New York: Oxford University Press, 1992. – 488 p.

89. Delanghe, J. R. Creatinine determination according to Jaffe – what does it stand for? / J. R. Delanghe, M. M. Speeckaert // *NDT Plus*. – 2011. – Vol. 4. – № 2. – P. 83–86.
90. Dillon, W. G. The Mongolian gerbil: qualitative and quantitative aspects of the cellular blood picture / W. G. Dillon, C. A. Glomski // *Laboratory animals*. – 1975. Vol. 9. – № 4. – P. 283–287.
91. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes // *Official Journal of the European Union*. – 2010. – Vol. L 276. – P. 33–79.
92. Donnelly, T. M. *Biology and Diseases of Other Rodents* / T. M. Donnelly, I. Bergin, M. Ihrig // *Laboratory Animal Medicine*. 3rd ed. Academic Press, 2015. – P. 285–349.
93. Dumas, B. T. Albumin standards and the measurement of serum albumin with bromocresol green / B. T. Dumas, W. A. Watson, H. G. Biggs // *Clinica Chimica Acta*. – 1971. – Vol. 31. – № 1. – P. 87–96.
94. Edwards, B. A. Water balance and protein intake in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) / B. A. Edwards, K. Donaldson, A.P. Simpson // *Comparative Biochemistry and Physiology*. – 1983. – Vol. 76A. – № 4— P. 807–815.
95. Effects of adaptation to handling on the circadian rhythmicity of blood solutes in Mongolian gerbils / X. Liu, X. Zheng, Y. Liu, et al. // *Animal Models and Experimental Medicine*. – 2019. – Vol. 2. – № 2. – P. 127–131.
96. Effects of dietary cholesterol in the Mongolian gerbil and the rat: a comparative study / A. M. Temmerman, R. J. Vonk, K. Niezen-Koning [et al.] // *Laboratory Animals*. – 1989. – Vol. 23. – № 1. – P. 30–35.
97. Effects of High Protein Diet on Insulin and Glucagon Secretion in Normal Rats / M. Usami, Y. Seino, S. Seino, et al. // *The Journal of Nutrition*. – 1982. – Vol. 112. – No. 4. – P. 681–685.
98. Effects of high-fat diet and age on locomotor activity and lipid metabolism in mice / M. Jiang, W. Li, X. Dong, et al. // *Physiology & Behavior*. – 2026. – Vol. 314. – P. 115372.

99. Effects of Lipopolysaccharide Challenge on Growth Performance and Immune Function of Yellow-Feathered Broilers / J. Cheng, Z. Cai, X. Gu, et al. // *Animals*. – 2026. – Vol. 16. – No. 4. – P. 628.

100. Effects of physical attributes and chemical composition of novel foods on food selection by Norway rats (*Rattus norvegicus*) / I. M. Hegab, H. Pan, J. Dong, et al. // *Journal of Pest Science*. – 2013. – Vol. 87. – No. 1. – P. 99–106.

101. Electrophoretic study of lactate dehydrogenase and alkaline phosphatase isoenzymes of the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) / M. Shimizu, K. Iida, H. Yoshida, et al. // *Journal of Veterinary Medical Science*. – 1996. – Vol. 58. – No. 5. – P. 401–406.

102. Establishment and characterization of a newly established diabetic gerbil line / X. Li, J. Lu, Y. Wang, et al. // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11. – No. 7.

103. Evaluation of oxidative stress, hematological and biochemical parameters during *Toxoplasma gondii* infection in gerbils / N. Atmaca, M. Çınar, B. Güner, et al. // *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*. – 2015. – Vol. 62. – No. 3. – P. 165–170.

104. Feed preference and feeding behavior of different mouse species in laboratory housing / B. Bárdos, G. Kövér, A. Szabó, et al. // *Acta Agraria Kaposváriensis*. – 2022. – Vol. 26. – No. 2. – P. 17–26.

105. FELASA recommendations for the health monitoring of mouse, rat, hamster, guinea pig and rabbit colonies in breeding and experimental units // *Laboratory Animals*. – 2014. – Vol. 48. – № 3. – P. 178–192.

106. Food preference strategy of four sympatric rodents in a temperate forest in northeast China / D. Li, C. Zhang, Y. Cao, et al. // *Zookeys*. – 2023. – 1158. – P. 163–177.

107. Foraging Under Competition in Mongolian Gerbils: The Influence of Personality and Its Physiological Basis / L. Gan, W. Liu, J. Liu, D. Wang // *Integrative Zoology*. – 2026. – Vol. 21. – № 4. – P. 864–875.

108. Frequency and Pathophysiology of Acute Liver Failure in Ornithine Transcarbamylase Deficiency (OTCD) / A. Laemmle, R. C. Gallagher, A. Keogh, et al. // PLoS ONE. – 2016. – Vol. 11. – No. 4. – P. e0153358.

109. Fuller, M. F. The Encyclopedia of Farm Animal Nutrition / M. F. Fuller. – Wallingford : CABI Publishing, 2004. – 606 p.

110. Gattermann, R. Hämatologische und klinisch-chemische Normalbereiche der Mongolischen Wüstenrennmaus (*Meriones unguiculatus*) / R. Gattermann // Zeitschrift für Versuchstierkunde. – 1979. – Vol. 21. – № 5. – P. 273–275.

111. Glantz, S. A. Primer of biostatistics / S. A. Glantz. – 5th ed. – New York : McGraw-Hill, 2002. – 489 p.

112. Glucagon and insulin responses after ingestion of different amounts of intact and hydrolysed proteins / M. Claessens, W. H. M. Saris, M. A. van Baak, et al. // British Journal of Nutrition. – 2008. – Vol. 100. – No. 1. – P. 61–69.

113. Grant, K. Rodent nutrition: digestive comparisons of 4 common rodent species / K. Grant // Veterinary Clinics of North America : Exotic Animal Practice. – 2014. – Vol. 17. – № 3. – P. 471–483.

114. Grant-Hoffman, M. N. Herbivory in invasive rats : criteria for food selection / M. N. Grant-Hoffman, P. S. Barboza // Biol Invasions. – 2010. – 12. – P. 805–825.

115. Guide for the Care and Use of Laboratory Animals / National Research Council. – 8th edition. – Washington : National Academies Press, 2011. – 220 p.

116. Guillen, J. FELASA guidelines and recommendations / J. Guillen // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. – 2012. – Vol. 51. – № 3. – P. 311–321.

117. Hall, S. M. The riboflavin requirement of the growing Mongolian gerbil / S. M. Hall, F. J. Zeman // Life Sciences. – 1968. – Vol. 7. – № 2. – P. 99–106.

118. Handbook of Exotic Pet Medicine / M. Kubiak (ed.). – Hoboken : Wiley-Blackwell, 2020. – 510 p.

119. Handbook of the Mammals of the World. Vol. 7. Rodents II / D. E. Wilson, T. E. Lacher, R. A. Mittermeier (eds.). – Barcelona : Lynx Edicions, 2017. – 1008p.

120. Harkness and Wagner's biology and medicine of rabbits and rodents / P. V. Turner, C. L. Wheeler, H. Beaufrère, et al. – 6th ed. – Hoboken: Wiley, 2025. – 409 p.
121. Harkness, J. E. The biology and medicine of rabbits and rodents / J. E. Harkness, J. E. Wagner. – 3rd ed. – Philadelphia : Lea & Febiger, 1989. – 230 p.
122. Harriman, A. E. Food and water requirements of Mongolian gerbils as determined through self-selection of diets / A. E. Harriman // American Midland Naturalist. – 1969. – Vol. 82. – № 1. – P. 149–156.
123. Heatley, J. J. Hamsters and gerbils / J. J. Heatley, M. C. Harris // Manual of Exotic Pet Practice. – St. Louis : Saunders Elsevier, 2009. – P. 406–432.
124. Helicobacter pylori-induced chronic active gastritis, intestinal metaplasia and gastric ulcer in Mongolian gerbils / T. Ikeno, H. Ota, A. Sugiyama, et al. // American Journal of Pathology. – 1999. – Vol. 154. – № 3. – P. 951–960.
125. High susceptibility of Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) to Borna disease virus / Y. Nakamura, T. Nakaya, K. Hagiwara, et al. // Vaccine. – 1999. – Vol. 17. – № 5. – P. 480–489.
126. High-protein diet modifies colonic microbiota and luminal environment but not colonocyte metabolism in the rat model : the increased luminal bulk connection / X. Liu, J. M. Blouin, A. Santacruz, et al. // American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology. – 2014. – Vol. 307. – No. 4. – P. G459-G470.
127. Host-gut microbiota metabolic interactions / J. K. Nicholson, E. Holmes, J. Kinross, et al. // Science. – 2012. – № 6086. – Vol. 336. – P. 1262–1267.
128. Hutchinson J. H. Studies of Rat Liver and Kidney Enzymes : II. Response to Dietary Protein Deficiency and Repletion During Chronic Administration of Ammonium Acetate and l-Glutamine / J. H. Hutchinson, D. H. Labby // The American journal of clinical nutrition. – 1964. – Vol. 14. – No. 5. – P. 302-309.
129. Impact of mycotoxin on immune response and consequences for pig health / A. Pierron, I. Alassane-Kpembi, I. Oswald, et al. // Animal Nutrition. – 2016. – Vol. 2. – No. 2. – P. 63–68.

130. Importance of Carbohydrate Quality : What Does It Mean and How to Measure It? / V. Campos, L. Tappy, L. Bally, et al. // The Journal of Nutrition. – 2022. – Vol. 152. – No. 5. – P. 1200–1206.

131. Increased dietary protein stimulates amino acid catabolism via the gut microbiota and secondary bile acid production / S. Tobón-Cornejo, M. Sanchez-Tapia, R. Guizar-Heredia, et al. // Gut Microbes. – 2025. – Vol. 17. – No. 1. – P. 2465896.

132. Influence of branched-chain amino acid composition of culture media on the synthesis of plasma proteins by serum-free cultured rat hepatocytes / A. Montoya, M. J. Gómez-Lechón, J. V. Castell, et al. // In Vitro Cellular & Developmental Biology. – 1989. – Vol. 25. – No. 4. – P. 358-364.

133. Insulin and amino acids both strongly participate to the regulation of protein metabolism / M. Prod'homme, I. Rieu, M. Balage, et al. // Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care. – 2004. – Vol. 7. – No. 1. – P. 71–77.

134. Kamiya S. Microbial ecology between *Helicobacter pylori* and microbiota in gastric mucosa // Microbial Ecology in Health and Disease. 2012. Vol. 23. Article 17462. DOI: 10.3402/mehd.v23i0.17462.

135. Katayama, K. Clinical significance of the latency period of abnormal ammonia metabolism in chronic liver disease : Proposal of a new concept / K. Katayama // Hepatology Research. – 2022. – Vol. 52. – No. 1. – P. 75–80.

136. LabDiet. Laboratory Rodent Diet 5001 [Электронный ресурс]. – St. Louis : LabDiet, 2024. – URL: <https://www.labdiet.com/product/detail/5001-laboratory-rodent-diet> (дата обращения: 02.08.2026).

137. Laboratory Animal Welfare / K. Bayne, P. V. Turner (eds.). – Amsterdam : Academic Press, 2014. – 318 p.

138. Leach, A.B. The effect of dietary lipid on the lipoprotein status of the Mongolian gerbil / A. B. Leach, B. J. Holub // Lipids. – 1984. – Vol. 19. – № 1. – P. 25–33.

139. Liu Q. S. Effects of diet quality on phenotypic flexibility of organ size and digestive function in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / Q. S. Liu, D. H. Wang // Journal of Comparative Physiology B. – 2007. – Vol. 177. – № 5. – P. 509–518.

140. Long-term and short-term effects of dietary cholesterol and fats in the Mongolian gerbil / A. M. Temmerman, R. J. Vonk, K. Niezen-Koning, et al. // *Annals of Nutrition & Metabolism*. – 1988. – Vol. 32. – № 4. – P. 177–185.

141. McManus, J. J. Water relations and food consumption of the Mongolian gerbil, *Meriones unguiculatus* / J. J. McManus // *Comparative Biochemistry and Physiology*. – 1972. – Vol. 43. – № 4. – P. 959–967.

142. Metabolomics reveals altered hepatic bile acids, gut microbiome metabolites, and cell membrane lipids associated with marginal vitamin A deficiency in a Mongolian gerbil model / M. R. La Frano, A. Brito, C. M. Johnson, et al. // *Molecular Nutrition & Food Research*. – 2020. – Vol. 64. – № 13. – P. e1901319.

143. Meyer D.J. *Veterinary Laboratory Medicine : Interpretation and Diagnosis* / D. J. Meyer, J. W. Harvey. – 3rd ed. – Philadelphia : W.B. Saunders, 2004. – 368 p.

144. Microbial degradation of complex carbohydrates in the gut / H. J. Flint, K. P. Scott, S. H. Duncan, et al. // *Gut Microbes*. – 2012. – Vol. 3. – № 4. – P. 289–306.

145. Microbial ecology : human gut microbes associated with obesity / R. E. Ley, P. J. Turnbaugh, S. Klein, J. I. Gordon // *Nature*. – 2006. – Vol. 444. – № 7122. – P. 1022–1023.

146. Microbiome variations induced by delta9-tetrahydrocannabinol predict weight reduction in obese mice / A. Kaye, M. Rusling, A. Dhopeswarkar, et al. // *Frontiers in Microbiomes*. – 2024. – Vol. 3. – P. 1412468.

147. Modeling human listeriosis in natural and genetically engineered animals / O. Disson, G. Nikitas, S. Grayo, et al. // *Nature Protocols*. – 2009. – Vol. 4. – № 6. – P. 799–810.

148. Molecular and structural changes related to hepatitis E virus antigen and its expression in testis inducing apoptosis in Mongolian gerbil model / M. H. Soomro, R. Shi, R. She, et al. // *Journal of Viral Hepatitis*. – 2017. – Vol. 24. – No. 8. – P. 696–707.

149. Moore, D. M. Hematology of the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) // *Schalm's Veterinary Hematology*. 5th ed. – Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2000. – P. 1111–1114.

150. Neumann, K. Low microsatellite variation in laboratory gerbils / K. Neumann, S. Maak, I.W. Stuermer, et al. // Journal of Heredity. – 2001. – Vol. 92. – № 1. – P. 71–74.
151. Norris, M. L. The growth of the Mongolian gerbil, *Meriones unguiculatus*, from birth to maturity / M. L. Norris, C. E. Adams // Journal of Zoology. – 1972. – Vol. 166. – P. 277–282.
152. Norris, M. L. Lifetime reproductive performance of Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) with 1 or 2 ovaries / M. L. Norris, C. E. Adams // Laboratory animals. – 1982. – Vol. 16. – № 2. – P. 146–150.
153. Norris, M. L. Mortality from birth to weaning in the mongolian gerbil, *Meriones unguiculatus* / M. L. Norris, C. E. Adams // Laboratory Animals. – 1972. – Vol. 6. – № 1. – 49–53.
154. Nutrient Requirements of Laboratory Animals. – 4th revised edition. – Washington : National Academy Press, 1995. – 192 p.
155. Nutrient requirements of the laboratory rat // Nutrient Requirements of Laboratory Animals. – 4th rev. ed. – Washington : National Academy Press, 1995. – C. 11–79.
156. Osaki T., Matsuki T., Asahara T., Zaman C., Hanawa T., Yonezawa H., Kurata S., Woo T.D.-H., Nomoto K., Kamiya S. Comparative analysis of gastric bacterial microbiota in Mongolian gerbils after long-term infection with *Helicobacter pylori* // Microbial Pathogenesis. 2012. Vol. 53, № 1. P. 12–18. DOI: 10.1016/j.micpath.2012.03.008.
157. Osorio, J. E. Effects of La Crosse virus infection on pregnant domestic rabbits and mongolian gerbils / J. E. Osorio, R. J. Schoepp, T. M. Yuill // The American journal of tropical medicine and hygiene. – 1996. – Vol. 55. – № 4. – P. 384–390.
158. Otken, C. C. Feeding characteristics of Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / C.C. Otken, C.E. Scott // Laboratory Animal Science. – 1984. – Vol. 34. – № 2. – P. 181–184.
159. Pei, Y. X. Effects of Dietary Fibre on Digesta Passage, Nutrient Digestibility, and Gastrointestinal Tract Morphology in the Granivorous Mongolian

Gerbil (*Meriones unguiculatus*) / Y. X. Pei, D. H. Wang, I. D. Hume // *Physiological and Biochemical Zoology: Ecological and Evolutionary Approaches*. – 2001. – Vol. 74. – № 5. – P. 742-749.

160. Phytosterols, Cholesterol Control, and Cardiovascular Disease / A. Poli, F. Marangoni, A. Corsini, et al. // *Nutrients*. – 2021. – Vol. 13. – No. 8. – P. 2810.

161. Population ecology of wild Mongolian gerbils *Meriones unguiculatus* / W. Liu, G. Wang, Y. Wang, et al. // *Journal of Mammalogy*. – 2009. – Vol. 90. – № 4.— P. 832–840.

162. Protein measurement with the Folin phenol reagent / O. H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr, R. J. Randall // *Journal of Biological Chemistry*. – 1951. – Vol. 193. – № 1. – P. 265–275.

163. Reeves, P. G. AIN-93 purified diets for laboratory rodents : final report of the American Institute of Nutrition Ad Hoc Writing Committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet / P. G. Reeves, F. H. Nielsen, G. C. Fahey // *Journal of Nutrition*. – 1993. – Vol. 123. – № 11. – P. 1939–1951.

164. Reitman, S. A colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases / S. Reitman, S. Frankel // *American Journal of Clinical Pathology*. – 1957. – Vol. 28. – P. 56–63.

165. Reporting animal research : explanation and elaboration for the ARRIVE guidelines 2.0 / N. Percie du Sert, A. Ahluwalia, S. Alam, et al. // *PLoS Biology*. – 2020. – Vol. 18. – № 7. – P. e3000411.

166. Roper, T. J. The behaviour of Mongolian gerbils in a semi-natural environment, with special reference to ventral marking, dominance, and sociability / T. J. Roper, E. Polioudakis // *Behaviour*. – 1977. – № 3–4. – Vol. 61. – P. 207–236.

167. Schalm's Veterinary Hematology / D. J. Weiss, K. J. Wardrop (eds.). – 6th ed. – Ames : Wiley-Blackwell, 2010. – 1206 p.

168. Scheibler, E. Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / E. Scheibler, E. Waiblinger // *Companion Animal Care and Welfare : The UFAW Companion Animal Handbook*. – Hoboken : Wiley-Blackwell, 2019. – P. 218–232.

169. Schendel, I. Anatomische Darstellung der Bauchorgane bei *Meriones unguiculatus* / I. Schendel, H. Wissdorf // Zeitschrift für Versuchstierkunde. – 1973. – Vol. 15. – № 2. – P. 152–160.
170. Shi, Y. Implication of metabolomic profiles to wide thermoneutral zone in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / Y. Shi, D. H. Wang // Integrative Zoology. – 2016. – Vol. 11. – № 4. – P. 282–294.
171. Sommer, F. The gut microbiota – masters of host development and physiology / F. Sommer, F. Bäckhed // Nature Reviews Microbiology. – 2013. – Vol. 11. – № 4. – P. 227–238.
172. Starch and Fiber Contents of Purified Control Diets Differentially Affect Hepatic Lipid Homeostasis and Gut Microbiota Composition / J. Schipke, C. Brandenberger, M. Vital, et al. // Frontiers in Nutrition. – 2022. – Vol. 9. – P. 915082.
173. Steffen, J.M. Temperature acclimation in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) : Biochemical and organ weight changes / J. M. Steffen, J. C. Roberts // Comparative Biochemistry and Physiology Part B. – 1977. – Vol. 58. —№ 3. – P. 237–242.
174. Suttle, N. F. Mineral Nutrition of Livestock / N. F. Suttle. – 5th ed. – Wallingford, Oxfordshire ; Boston : CAB International, 2022. – 608 p.
175. Tannenbaum, J. Russell and Burch's 3Rs then and now : the need for clarity in definition and purpose / J. Tannenbaum, B. T. Bennett // Journal of the American Association for Laboratory Animal Science. – 2015. – Vol. 54. – № 2. – P. 120–132.
176. The 1996 Guide for the Care and Use of Laboratory Animals / J. D. Clark, G. F. Gebhart, J. C. Gonder, et al. // ILAR Journal. —1997. – Vol. 38. – № 1. – P. 41–48.
177. The ARRIVE guidelines 2.0 : updated guidelines for reporting animal research / N. Percie du Sert, V. Hurst, A. Ahluwalia, et al. // PLoS Biology. – 2020. – Vol. 18. – № 7. – P. e3000410.

178. The gut microbiota may affect personality in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / L. Gan, T. Bo, W. Liu, D. Wang // Microorganisms. – 2022. – Vol. 10. – № 5— Article 1054.

179. The human microbiome project / P. J. Turnbaugh, R. E. Ley, M. Hamady, et al. // Nature. – 2007. – Vol. 449. – P. 804–810.

180. The IACUC Handbook / J. Silverman, M. A. Suckow, S. Murthy (eds.). – 3rd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2014. – 807 p.

181. The Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) is an appropriate animal model for evaluation of the Conversion of β -Carotene to Vitamin A / C. M. Lee, J. D. Lederman, N. E. Hofmann, J. W. Erdman // Journal of Nutrition. – 1998. – Vol. 128. – № 2. – P. 280–286.

182. The Mongolian gerbil : a robust model of Helicobacter pylori-induced gastric inflammation and cancer / J. M. Noto, J. Romero-Gallo, M. B. Piazzuelo, R. M. Peek // Methods in Molecular Biology. – 2016. – Vol. 1422. – P. 263–280.

183. The Mongolian gerbil as a useful experimental model in reproductive biology / T. F. R. Ruiz, P. S. L. Vilamaior, V. Grigio, et al. // Reproductive Sciences. – 2023. – Vol. 30. – № 7. – P. 2092–2106.

184. The Welfare of Laboratory Animals / E. Kaliste (ed.). – Dordrecht : Springer, 2007. – 345 p.

185. Thermal biology of two sympatric gerbil species : the physiological basis of temporal partitioning / B. Y. Ding, Q. S. Chi, W. Liu, et al. // Journal of Thermal Biology. – 2018. – Vol. 74. – P. 241–248.

186. Thyroid hormones mediate metabolic rate and oxidative–antioxidative balance at different temperatures in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / S. Khakisahneh, X. Y. Zhang, Z. Nouri, et al. // Comparative Biochemistry and Physiology Part C. – 2019. – Vol. 216. – P. 101–109.

187. Unraveling the Regulation of Hepatic Gluconeogenesis / X. Zhang, S. Yang, J. Chen, et al. // Frontiers in Endocrinology. – 2019. – Vol. 9. – P. 802.

188. Veterinary Hematology and Clinical Chemistry / M. A. Thrall, G. Weiser, R. W. Allison, T. W. Campbell (eds.). – 2nd ed. – Ames : Wiley-Blackwell, 2012. – 762 p.
189. Voluntary exercise in mice fed an obesogenic diet alters the hepatic immune phenotype and improves metabolic parameters – an animal model of life style intervention in NAFLD / N. Gehrke, J. Biedenbach, Y. Huber, et al. // Scientific Reports. – 2019. – Vol. 9. – № 1. – P. 1–13.
190. Wagner, J. E. Husbandry and Medicine of Small Rodents / J. E. Wagner, P. L. Farrar // Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice. – 1987. – Vol. 17. – № 5. – P. 1061–1087.
191. Waiblinger E. Comfortable quarters for gerbils in research institutions // Comfortable Quarters for Laboratory Animals / E. Waiblinger ; V. Reinhardt, A. Reinhardt (eds.). – 9th ed. – Washington : Animal Welfare Institute, 2002. – P. 18–25.
192. Waiblinger, E. Refinement of gerbil housing and husbandry in the laboratory / E. Waiblinger, B. König // Alternatives to Laboratory Animals. – 2004. – Vol. 32. – № 1 Suppl. – P. 163–169.
193. Worthington J.M., Fulghum R.S. Cecal and fecal bacterial flora of the Mongolian gerbil and the chinchilla // Applied and Environmental Microbiology. 1988. Vol. 54, № 5. P. 1210–1215.
194. Wu, G. Amino Acids : Biochemistry and Nutrition / G. Wu. – 2nd ed. – Boca Raton : CRC Press, 2022. – 787 p.
195. Wu, G. Amino acids : metabolism, functions, and nutrition / G. Wu // Amino Acids. – 2009. – Vol. 37. – № 1. – P. 1–17.
196. Yanagisawa, Y. How dietary amino acids and high protein diets influence insulin secretion / Y. Yanagisawa // Physiological Reports – 2023 – Vol. 11 – No. 2. – P. e15577.
197. Zar, J. H. Biostatistical Analysis / J. H. Zar. – 5th ed. – Upper Saddle River : Pearson Education, 2019. – 944 p.

198. Zeman, F. J. A semipurified diet for the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*) / F. J. Zeman // Journal of Nutrition. – 1967. – Vol. 91. – № 4. – P. 415–421.
199. Zhang, Z. Q. Seasonal changes in thermogenesis and body mass in wild Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) / Z. Q. Zhang, D. H. Wang // Comparative Biochemistry and Physiology Part A. – 2007. – Vol. 148. – № 2. – P. 346–353.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Приложение А

УТВЕРЖДАЮГенеральный директор
ГАУ «Московский зоопарк»


/ С.В. Акулова /

« » сентября 2026 года


УТВЕРЖДАЮПрофессор кафедры декоративного
садоводства и газоноведения
(выполняющий работу проректора
по научной работе)


ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева

/ С.С. Макаров /

« » сентября 2026 года


АКТ

**о результатах производственной проверки
использования полнорационных комбикормов с уровнем сырого протеина 16
и 19% в кормлении монгольских песчанок**

Комиссия в составе: главный ветеринарный врач ГАУ «Московский зоопарк» – Д.Н. Егоров, заместитель генерального директора по зоологической работе «Московский зоопарк» – А.Ю. Суслов, старший научный сотрудник Д.И. Клышников, заведующий кафедрой кормления животных, д.б.н., профессор – Н.П. Буряков; доцент кафедры кормления животных, к.б.н., доцент А.С. Заикина; доцент кафедры кормления животных, к.б.н., доцент А.А. Ксенофонтова; аспирант кафедры кормления С.А. Хлюпин составили настоящий акт о том, что в 2026 г. на базе ГАУ «Московский зоопарк» (г. Москва) была проведена производственная проверка по использованию полнорационных комбикормов с уровнем сырого протеина 16 и 19% в кормлении монгольских песчанок.

Для проведения производственной проверки в условиях ГАУ «Московский зоопарк» г. Москва были отобраны три группы монгольских песчанок. Продолжительность производственной проверки составила 4 мес. На протяжении всего срока производственной проверки условия содержания, режим кормления и поения, параметры микроклимата во всех группах были одинаковыми.

Рацион животных контрольной группы включал натуральные корма в соответствии с рекомендациями по кормлению монгольских песчанок,

представленными в руководстве «Книга рационов» ГАУ «Московский зоопарк». Животные первой и второй опытных групп получали полнорационные гранулированные комбикорма с содержанием сырого протеина 16 и 19% соответственно (табл. 1).

Таблица 1 - Схема опыта

Группа	Количество голов	Особенности кормления
Контрольная (базовый рацион)	24	Основной рацион - натуральные корма
1 опытная (новый 1 рацион)	24	Комбикорм с содержанием сырого протеина 16%
2 опытная (новый 2 рацион)	24	Комбикорм с содержанием сырого протеина 19%

Результаты производственной проверки по использованию комбикормов с содержанием сырого протеина 16 и 19% в кормлении монгольских песчанок приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты производственной проверки

Показатель	Группа		
	Контрольная (базовый рацион)	1 опытная (новый 1 рацион)	2 опытная (новый 2 рацион)
Количество голов	24	24	24
Живая масса в 6 мес., г	71,3	69,7	66,9
Затраты на корма за весь период проверки, руб.	9 266,40	2 255,90	2 620,22

Производственная апробация показала, что использование полирационного гранулированного комбикорма с уровнем сырого протеина 16% (новый 1 рацион) в кормлении монгольских песчанок, благодаря сбалансированному по питательным веществам составу, обеспечивает оптимальный рост молодняка, исключает избирательное потребление компонентов рациона, которое наблюдается при использовании натуральных кормов, что способствует равномерному поступлению

питательных веществ в организм животных, а также снижает затраты на корма на 75, 7%.

Члены комиссии:

Представители

ГАУ «Московский зоопарк»

Главный ветеринарный врач

 / Д.Н. Егоров /

Зам. генерального директора по зоологической работе

 / А.Ю. Суслов /

Старший научный сотрудник

 / Д.И. Клашников /

Представители

ФГБОУ ВО РГАУ МСХА имени
К.А. Тимирязева

Заведующий кафедрой кормления животных, профессор

 / Н.П. Буряков /

Доцент кафедры кормления животных

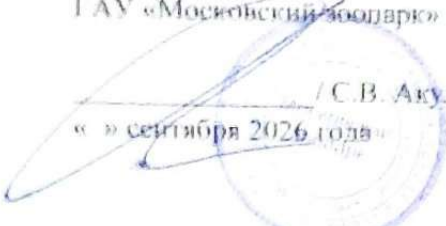
 / А.С. Заикина /

Доцент кафедры кормления животных

 / А.А. Ксенофонтова /

Аспирант кафедры кормления животных

 / С.А. Хлюпин /

УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор ГАУ «Московский зоопарк» / С.В. Акулова / « » сентября 2026 года 	УТВЕРЖДАЮ Профессор кафедры декоративного содоводства и газомоведения (выполняющий работу проректора по научной работе) ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / С.С. Макаров / « » сентября 2026 года 
---	---

АКТ

внедрения результатов научно-исследовательской деятельности, опытно-конструкторской работы и передового опыта

Мы, нижеподписавшиеся, представители Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева» (ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева) в лице заведующего кафедрой кормления животных, д.б.н., профессора И.П. Бурякова; доцента кафедры кормления животных, к.б.н., доцент А.С. Заикиной; доцента кафедры кормления животных, к.б.н., доцент А.А. Ксенофонтовой; аспиранта кафедры кормления животных С.А. Хлюпина и представители ГАУ «Московский зоопарк», в лице генерального директора С.В. Акуловой, главного ветеринарного врача Д.Н. Егорова и старшего научного сотрудника Д.И. Клышников с другой стороны, составили настоящий акт о том, что результаты работы по теме «Эффективность использования полнорационных комбикормов с разным уровнем протеиновой питательности в кормлении монгольских песчанок», выполненной аспирантом ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева Хлюпиным С.А. в условиях ГАУ «Московский зоопарк» (г. Москва), внедрены на период с 72 год. монгольских песчанок в 2026 г. в соответствии с планом утвержденным инициативным ВУЗом.

При внедрении научной разработки получены:

- организационно-технические и социально-экономические результаты: использование полнорационного гранулированного комбикорма с уровнем

содержания сырого протеина 16 % в кормлении монгольских песчанок обеспечивает снижение затрат на корма на 75,7 % по сравнению с рационом, представленным натуральными кормами. Экономия за четыре месяца (120 суток) составляет 292,10 руб. на одно животное. Гранулированная форма корма снижает избирательное потребление отдельных компонентов рациона, способствует равномерному поступлению питательных веществ и поддержанию хорошего физиологического состояния животных при сохранении показателей плодовитости и роста, сопоставимых с результатами, полученными при использовании натуральных кормов.

Ответственные за внедрение:

Представители

ГАУ «Московский зоопарк»

Главный ветеринарный врач

 / Д.Н. Егоров /

Зам. генерального директора по зоологической работе

 / А.Ю. Суслов /

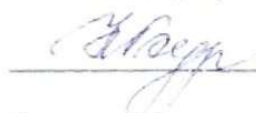
Старший научный сотрудник

 / Д.Н. Клышников /

Представители

ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА
имени К.А. Тимирязева

Заведующий кафедрой кормления животных, профессор

 / Н.П. Буряков /

Доцент кафедры кормления животных

 / А.С. Занкина /

Доцент кафедры кормления животных

 / А.А. Ксенофонтова /

Аспирант кафедры кормления животных

 / С.А. Хлощин /