

Исследование зависимости релаксационных свойств пуха от температуры

*А.Н. Вылкова, В.Ф. Богданов, С.А. Колесник,
В.И. Романенко, И.Ю. Бринк*

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ДГТУ в г. Шахты,

Аннотация: в статье представлен системный анализ среды обитания водоплавающих птиц гаги, казарки, гуся и утки, пух которых используется в производстве теплозащитной одежды и снаряжения. На основе проведенного анализа выдвинута гипотеза об отличии упругих свойств пуховой массы северных видов птицы гаги и казарки от домашних видов птицы, живущих в относительно комфортных температурных условиях. Разработана методика эксперимента по определению релаксационных свойств в цилиндрической текстильной ячейке. Проведены исследования релаксационных свойств пуховой массы различных видов птицы в зависимости от температуры, которые показали более высокую релаксацию пуховой массы гаги и казарки при отрицательных температурах.

Ключевые слова: перопуховой утеплитель, теплозащитная одежда, текстильная ячейка, наполняющая способность пуха, реологические свойства пуха, релаксационные свойства пуха, нагрузка-разгрузка, аэрирование.

В последние десятилетия теплозащитная одежда с перопуховым утеплителем уверенно удерживает лидерство по обеспечению основных свойств в своей группе потребительских товаров. Ценовые категории такой одежды в первую очередь определяются качеством наполнителя – пуха водоплавающей птицы. При этом главное свойство пуха – это способность поддерживать постоянную объемность, которая обеспечивает необходимую толщину пакета одежды и препятствует проникновению конвективных потоков воздуха. Ведущим мировым исследовательским центром International Down and Feather Testing Laboratory (IDFL) определено понятие наполняющей способности (Fill Power – F.P.) для перопухового сырья как «объемного измерения определенного количества пуха и пера, подвергнутого стандартному сжатию» [1]. Методика измерения наполняющей способности подробно изложена в [2].

Особое место по ценности занимает пух гаги, северной водоплавающей птицы, ареалом обитания которой является северное побережье России [3]. Эти птицы высиживают кладку яиц в гнезде, стенки

которого выкладывают своим пухом (рис. 1, а) [4]. Пуховая масса гаги имеет уникальное свойство, отличающее ее от других видов пуха, она состоит из достаточно прочно сцепленных между собой пушин и не разлетается при ветре (рис. 1, б) [4].



А



Б

Рис.1 – Внешний вид гагачьего пуха [4]: А – в гнезде с кладкой яиц;
Б – высокая прочность сцепления пушин между собой

После появления птенцов гага покидает гнездо, оставляя там 15-20 граммов пуха, и сырье собирают. Трудоемкость сбора в удаленных местах, доставка и длительный технологический цикл очистки делают пух гаги дорогим по сравнению с гусиным и утиным пухом, что, прежде всего, влияет на себестоимость готового изделия. Какие свойства могут оправдать высокую стоимость пуха гаги? В интернет источниках в рекламных целях используются различные эпитеты при описании гагачьего пуха: великолепный, уникальный, которые, в свою очередь, не дают измеримого качества. В [5] даже представлена величина коэффициента теплопроводности гагачьего пуха ($\lambda = 0,008 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$), которая противоречит физическому смыслу теплопроводности волокнистых сред и не может быть ниже, чем величина коэффициента теплопроводности воздуха.

коммерческой стоимости гагачьего пуха этих предположений, на наш взгляд, недостаточно.

Авторами [9-10] проведены исследования по повышению теплозащитных свойств одежды, но вместе с тем, процесс восстановления объема перопухового наполнителя с целью сохранения теплозащитных характеристик пакета ранее не был изучен.

Нами поставлена задача исследования процесса восстановления объема 4-х видов пуха – гаги, казарки, гуся и утки в зависимости от температуры. Пух казарки – северного гуся имеет свойства близкие к свойствам гагачьего пуха.

Ареал обитания гаги – северные территории, отличающиеся низкой температурой, что в процессе эволюции птицы могло придать ее пуху характерные свойства, обеспечивающие хорошую теплозащиту при отрицательных температурах. Это позволяет выдвинуть гипотезу о различных релаксационных свойствах соответствующей пуховой массы.

Методика проведения эксперимента.

Для получения достоверных результатов эксперимента необходимо обеспечить одинаковые условия подготовки образцов пуха для испытаний. Предварительное аэрирование образца пуха в стакане, используемом для определения F.P., не обеспечивает достаточную взбиваемость пуха гаги и казарки.

Гусиный и утиный пух после аэрирования представляют собой взбитую воздухом сплошную объемную массу, которая при высыпании из стакана визуально демонстрирует свойства жидкости. В пуховых массах гаги и казарки высокая прочность сцепления пушин между собой практически не позволяет измерить F.P. традиционным способом, поскольку нет удовлетворения требованию сплошности среды. В стакане для определения F.P. пуховые массы гаги и казарки располагаются в виде

нескольких сбитых комков, которые при аэрировании лишь меняют свою конфигурацию, что приводит к низкой повторяемости эксперимента.

Нами определена наполняющая способность четырех видов пуха по методике IDFL [1]. Она рассчитывается по массе столба навески пуха, m , равной 28,35 г, в стакане, диаметром, d , равным 244 мм, при давлении плунжера, P_n , составляющим 14,9 Па (рис. 3).

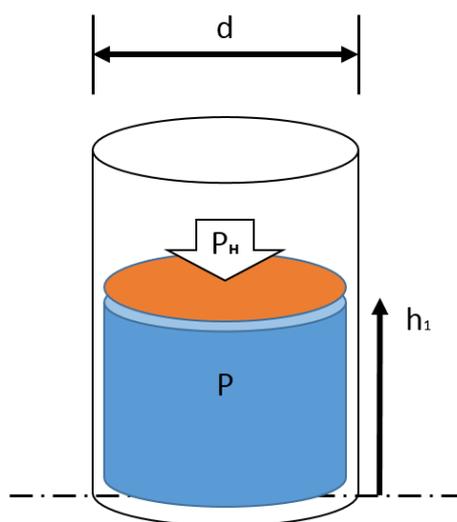


Рис. 3 – Схема измерения Ф.Р.

При этом величины Ф.Р. пуховых масс гаги и казарки были определены приблизительно. В таблице 1 представлены основные параметры различных видов пуха, которые использованы в дальнейшем для сравнительного эксперимента. Для проведения эксперимента изготовлены воздухопроницаемые текстильные ячейки цилиндрической формы (рис. 4). Текстильные ячейки выполнены из белой нейлоновой ткани, используемой при изготовлении пуховых изделий, с поверхностной плотностью 60 г/м². Белая полупрозрачная ткань применялась для того, чтобы визуально можно было контролировать равномерность распределения серого пуха гаги и казарки. Исследования реологических свойств пуха в текстильных ячейках и его сопоставимость с поведением пуха в готовых изделиях были обоснованы ранее в [11-12].

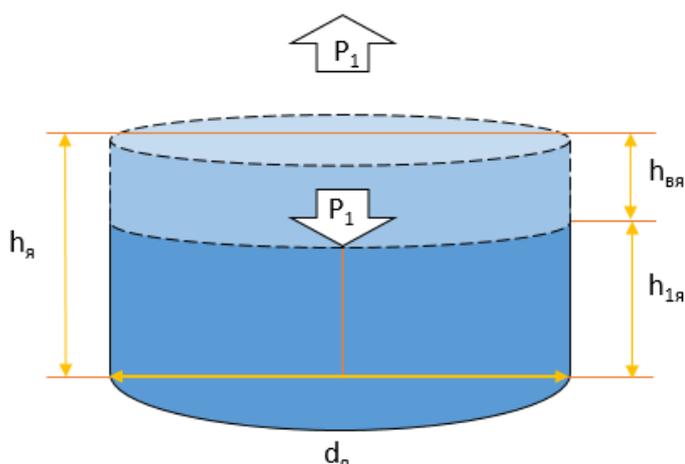


Рис. 4 – Ячейка для проведения эксперимента по изучению реологических характеристик пуховой массы: $h_я$ – первоначальная высота ячейки, $h_{1я}$ – высота с приложением стандартной нагрузки P_1 , $h_{в_я}$ – восстановление высоты ячейки, $d_я$ – диаметр.

Диаметр цилиндрической ячейки, $d_я$, составляет 0,244 м, что соответствует диаметру стакана для измерения Ф.Р., а высота ячейки $h_я$, равная 0,122 м, в два раза меньше диаметра.

Количество пуха для заполнения текстильной ячейки рассчитано пропорционально высоте столба пуха под плунжером при определении соответствующего Ф.Р. по формуле (1):

$$P_{яi} = \frac{h_я}{h_{яi}} P, \quad (1)$$

где, $P_{яi}$ – навеска i -го пуха в ячейке, $i = 1 \dots 4$;

P – масса навески пуха при определении Ф.Р., $P = 28,3$ г;

$h_я$ – первоначальная высота ячейки, $h_я = 0,122$ м;

$h_{яi}$ – высота i -того вида пуха под плунжером, $i = 1 \dots 4$.

Использование этой формулы предполагает равномерное распределение плотности пуховой массы под плунжером. Величины Ф.Р. и рассчитанные величины навески пуха в ячейках, $P_{я}$, для всех видов использованного пуха представлены в табл. 1.

Таблица 1

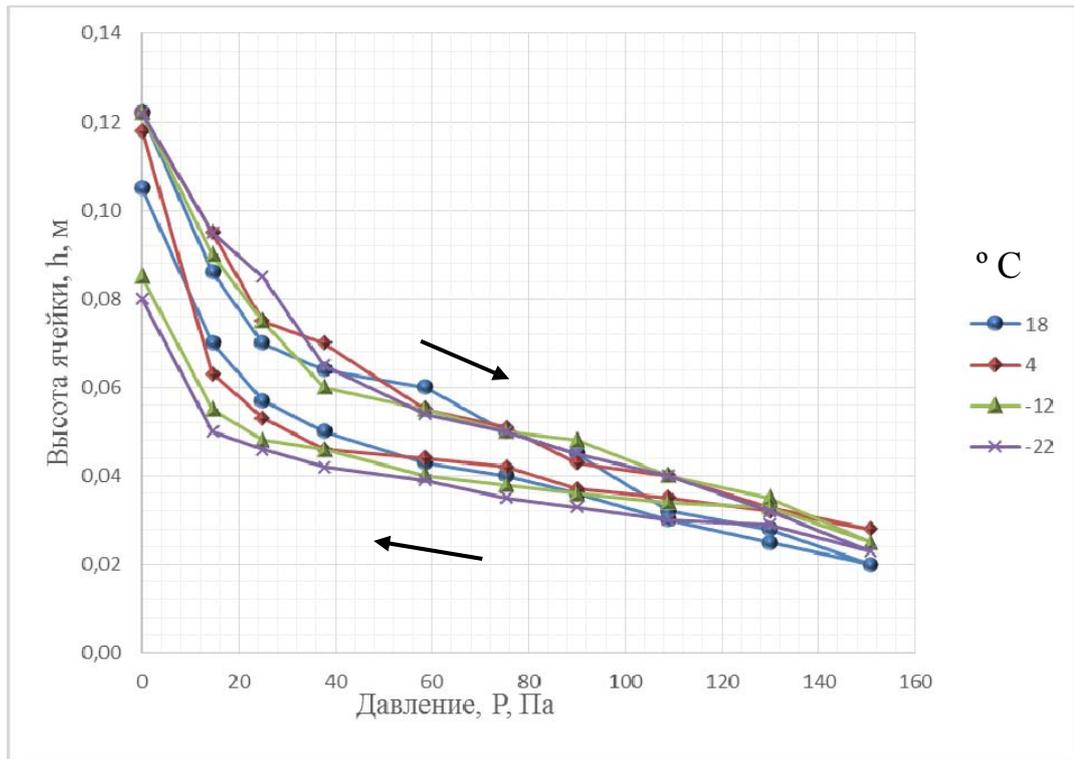
Наполняющая способность различных видов пуха

Номер образца, i	1	2	3	4
Состав пуха	Гага	Казарка	Гусь	Утка
Ф.Р.	800±100	700±82	900±20	500±20
Величина навески пуха в ячейке $P_{я}$, г	15,7	18,6	11,2	19,7

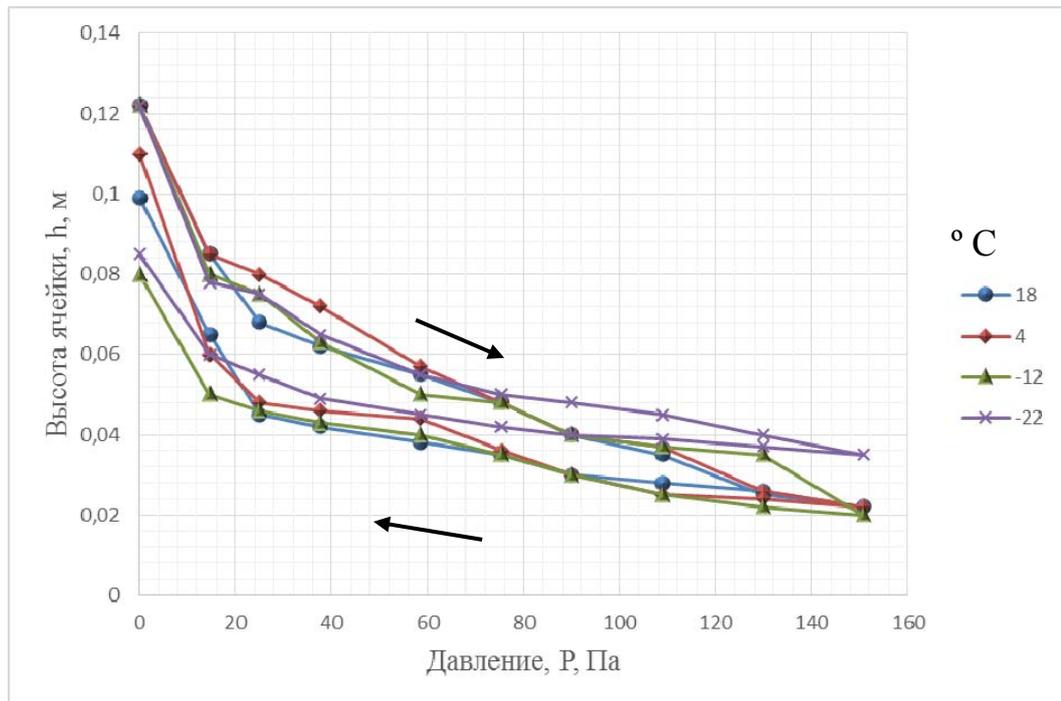
С целью определения способности восстановления первоначального объема пуховой массы нагрузку на ячейку пошагово увеличивали, а затем уменьшали по аналогии с методикой, разработанной в [9]. Давление измерялось в диапазоне от 0 до 143 Па в циклах нагрузка-разгрузка. Опыт проводился при температурах 18° С, 4° С, -12° С, -22° С. Ячейка предварительно взбивалась, затем органолептически и визуальным образом определялось равномерное распределение в ней пуха, после этого ячейка выдерживалась в соответствующих температурных условиях в течение 24-х часов. Конечное восстановление высоты ячейки характеризует способность пуховой массы возвращать первоначальный объем после воздействия давления.

На рис. 5-6 представлены зависимость изменения толщины ячеек от давления в процессе нагрузка-разгрузка при различных температурах.

Графики нагрузки-разгрузки носят гистерезисный характер. Для всех видов пуха отмечается снижение уровня восстановления высоты ячейки с уменьшением температуры. Образцы ячеек, заполненных пухом 1 и 2 (гага и казарка), при отрицательных температурах восстанавливаются лучше, чем образцы 3 и 4 (гусь, утка). При этом абсолютная величина восстановления высоты ячейки при температуре, равной -22°С, составляет для гагачьего пуха 0,08 м, пуха казарки 0,84 м, гусиного пуха 0,55 м, утиного пуха 0,65 м. Очевидное уменьшение высоты ячеек после релаксации связано с тем, что влага, содержащаяся в порах структурных элементов наполнителя, замерзая, кристаллизуется.



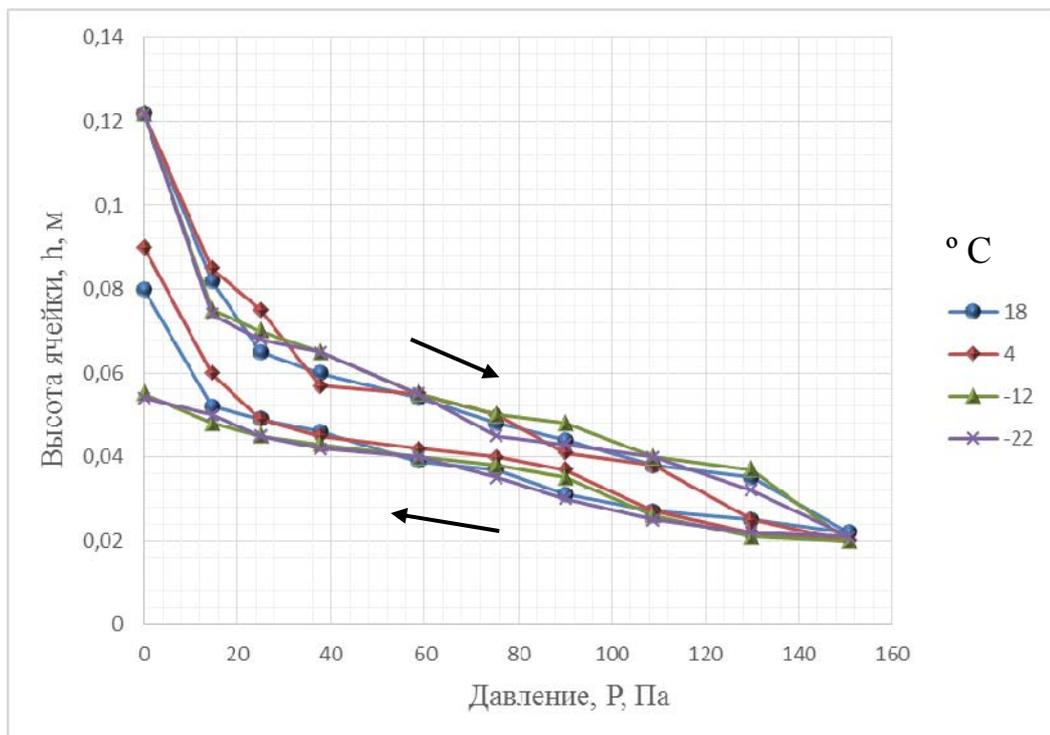
А



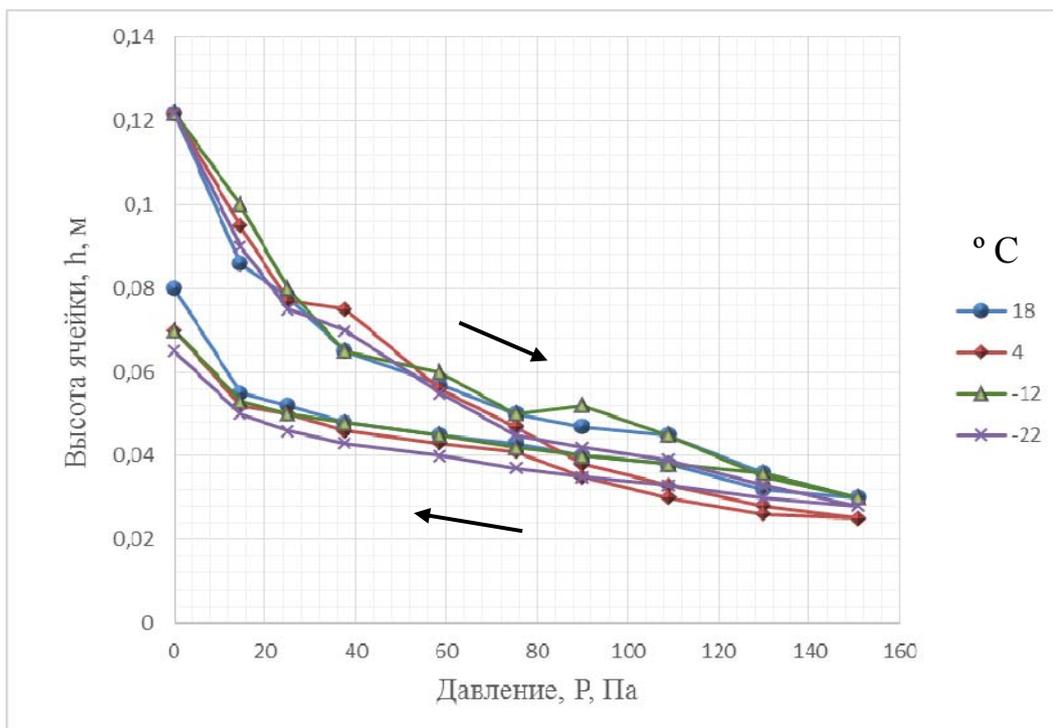
Б

Рис.5 – Графики изменения высоты ячеек в зависимости от давления в процессе нагрузка-разгрузка при различных температурах:

А – с гагачьим пухом; Б – с пухом казарки.



А



Б

Рис.6 – Графики изменения высоты ячеек в зависимости от давления в процессе нагрузка-разгрузка при различных температурах:

А – с гусиным пухом; Б – с утиным пухом.

Кристаллы льда, как жесткая структура, препятствуют процессу сжатия, но в процессе этого же сжатия ломаются. Соответственно, при отрицательных температурах пух восстанавливается до меньшей высоты.

Необходимо отметить снижение высоты восстановления ячейки 3, заполненной гусиным пухом, при низких давлениях от 14,9 Па до 0 при отрицательных температурах -12°C и -22°C по сравнению с аналогичным интервалом при положительных температурах.

В таблице 2 приведены величины относительного восстановления ячеек с различными видами пуха, определяемые по формуле (2):

$$h_{\text{отн.}i} = \frac{h_{i,i}}{h_{\text{я}}}, \quad (2),$$

где $h_{\text{отн.}i}$ – относительное изменение высоты i -той ячейки, $i = 1 \dots 4$;

$h_{i,i}$ – высота восстановления i -той ячейки, $i = 1 \dots 4$;

$h_{\text{я}}$ – высота текстильной ячейки, $h_{\text{я}} = 0,122$ м.

Таблица 2

Величины относительного восстановления ячеек с различными видами пуха

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Относительное восстановление ячейки с пуховой массой			
	1 гага	2 казарка	3 гусь	4 утка
18	0,86	0,81	0,65	0,65
4	0,96	0,90	0,73	0,57
-12	0,69	0,65	0,45	0,57
-22	0,65	0,69	0,44	0,53

Полученные результаты показывают, что ячейки, заполненные пухом гаги и казарки, показали более высокие уровни восстановления толщины при отрицательных температурах в сравнении с ячейками, заполненными утиным и гусиным пухом. Это позволяет выделить измеримые показатели качества – наполняющую способность (F.P. – Fill Power) пуха гаги и казарки при отрицательных температурах по сравнению с гусиным и утиным пухом. Данный факт действительно оправдывает высокую стоимость теплозащитной одежды с наполнителем из гагачьего пуха и пуха казарки, и подтверждает их

использование в дорогих изделиях класса Люкс. К таким изделиям можно отнести зимнюю экипировку мотоциклистов, снаряжения для экстремальных путешествий, эксклюзивную одежду.

Литература

1. IDFL, 2010e. Top 10 reasons to test for fill power. IDFL News, (2), p.1.
2. Компания БАСК. Оценка качества перо-пуховой продукции//НПФ БАСК ©1996-2017 URL: bask.ru/info/papers/technology/downquality.html
3. В.В. Бианки. Орнитологические исследования сотрудников Кандалакшского заповедника на белом море в XX столетии. Русский орнитологический журнал. 2012, Том 21, экспресс-выпуск 746: с.791-800.
4. Bedard, J. Eiderdown. characteristics and harvesting procedures 1st edn. J.-P. L. Savard, ed. / Nadeau, A., Giroux, J.-F. & Savard, J.-P.L. – M.: Quebec: Société Duvetnor Ltée and Canadian Wildlife Service.– 2008 URL:duvetnor.com/en/eid/harvest_eiderdown.pdf
5. Информационный ресурс о технологиях в мире outdoor. Пух //2014-2018 Membra URL:membra.ru/technology/thermo/puh/what_down (обращение 25.07.2017).
6. Loconti, J.D., The morphology of feathers and down / S. J. Kennedy, A. Schubert, & L. I. Weiner / The utilization of chicken feathers as filling materials. – M.: Natick: Advisory Board on Quartermaster Research and Development, 1955.– pp. 40–59. URL: [babel.hthitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b663089;view=1up;seq=5](http://babel.hthitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b663089;view=1up;seq=5)
7. Dove, C.J. & Peurach, S.C. Microscopic analysis of feather and hair fragments associated with human mummified remains. – M.: Kagamil Island, Alaska. Ethnographical Series, 2002. – pp.51–62.
8. Matthew E.F., The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry. – M. School of Design, the University of Leeds, 2015.– pp. 229.



9. Черунова И. В., Ковалёва А. А., Марков Д., Исследование технологических способов формирования повышенной формоустойчивости деталей теплозащитной одежды // Инженерный вестник Дона 2017, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4371

10. Черунова И.В., Лесникова Т. Ю., Физико-биологические условия для проектирования защитной одежды от охлаждения человека на воздухе и воде // Инженерный вестник Дона, 2017, № 3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4372

11. Бринк, И. Ю., Расчёт и исследование специальной пуховой теплозащитной одежды: дис. ... канд. техн. наук : 05.19.04 /Иван Юрьевич Бринк. – Шахты, 1987. – 150 с.

12. Сергеев С.Н., Бринк И.Ю., Лопатченко Т.Н., Базылев А.В. О деформации объемных теплоизоляционных материалов при сжатии. Сообщение 1. Исследование одноосного сжатия. // Ж. Материаловедение №1, 2003. с 16-21.

References

1. IDFL News 2010 (2). URL: idfl.com/media/pdfs/news/IDFL%20Newsletter%20-%202010-2.pdf

2. Ocenka kachestva pero-puhovoj produkcii [Assessment of the quality of feather and down products]. Kompanija NPF BASK.1996-2017 URL:bask.ru/info/papers/technology/downquality.html

3. V.V. Bianki. Russkij ornitologicheskij zhurnal. 2012, №746, 800 p.

4. Bedard, J., A. Nadeau and J. Giroux, 2008. Eiderdown characteristics and harvesting procedures. Société Duvetnor Ltée and Canadian Wildlife Service, 1: pp. 32-40.

5. Informacionnyj resurs o tehnologijah v mire outdoor. Puh. URL:membra.ru/technology/thermo/puh/what_down_best

6. Loconti, J.D., Kennedy S. J., Schubert A., 1955. The morphology of feathers and down. Advisory Board on Quartermaster Research and Development, 40-59.

7. Dove, C.J., Peurach, S.C., 2002. Microscopic analysis of feather and hair fragments associated with human mummified remains. Ethnographical Series, pp. 51-62.

8. Matthew E.F., The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry. – M. School of Design, the University of Leeds, 2015. – pp. 229.

9. Cherunova I. V., Kovaljova A. A., Markov D., Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №. 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4371

10. Cherunova I.V., Lesnikova T. Ju., Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4372

11. Brink, I. Ju., Raschjot i issledovanie special'noj puhovoj teplozashhitnoj odezhdy [Calculation and study of special heat-proof down clothes]: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.19.04. Ivan Jur'evich Brink. Shahty, 1987. 150 p.

12. Sergeenko S.N., Brink I.Ju., Lopatchenko T.N., Bazylev A.V. Zh. Materialovedenie №1, 2003. pp. 16-21.