

УДК 664.144  
ББК 36.947:35.684

*Е. Н. Харенко, Ю. А. Максименко, С. А. Терешонков, Е. А. Дмитриева*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИКИ ПРОЦЕССА СУШКИ ОВАРИАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ РЫБ ОСЕТРОВЫХ ПОРОД ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИКОРНОГО ЗОЛЯ

*E. N. Harenko, Yu. A. Maksimenko, S. A. Tereshonkov, E. A. Dmitrieva*

## RESEARCH OF THE STATICS OF THE PROCESS OF DRYING OF OVARIAN LIQUID OF STURGEON FOR PERFECTION OF CAVIAR TECHNOLOGY

Представлены результаты экспериментально-аналитических исследований статики процесса сушки овариальной физиологической жидкости рыб осетровых пород для последующей организации промышленного производства икорного золь – порошка для целей косметической промышленности. Рекомендовано технологические стадии по переработке, фасовке и упаковке выполнять оперативно, с учетом относительной влажности воздуха рабочих зон, т. к. икорный золь распылительной сушки относится к порошкам с высокой степенью гигроскопичности.

**Ключевые слова:** тепломассообмен, сушка, распылительная сушка, овариальная жидкость рыб осетровых пород, косметическая промышленность.

The results of experimental and analytical researches of the statics of the drying process of ovarian physiological liquid of sturgeon for the subsequent organization of industrial caviar production – a powder for the cosmetics industry, are presented. It is recommended to realize technological stages of processing, prepacking and packing promptly taking into account relative air humidity of the operational zones, as caviar sol of spray drying is a powder with a high absorbability.

**Key words:** heat and mass transfer, drying, spray drying, sturgeon ovarian liquid, cosmetics industry.

### Введение

Исследования, проведенные сотрудниками Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, доказали перспективность использования овариальной физиологической жидкости рыб осетровых пород, которая ранее при производстве товарной продукции «Икорный золь» не утилизировалась (ТУ 9154-142-00472124-09). Икорный золь рекомендован для использования в косметической промышленности. В технологии икорного золь – порошка – стадия сушки является наиболее энергоемкой и определяет качество продукта.

С целью разработки рациональных режимных параметров сушки вторичного сырья (овариальная жидкость рыб осетровых пород) для их дальнейшей рекомендации к внедрению на промышленных предприятиях были спланированы и проведены экспериментальные исследования статики процесса сушки и гигроскопических характеристик икорного золь.

Статика процесса сушки является основным этапом при исследовании различных способов сушки и базой для обоснованного научного анализа кинетики процессов влагоудаления и оценки движущей силы процесса [1]. Статика процесса сушки исследует взаимодействие между влажным газом и материалом, в результате которого они стремятся к гигротермическому равновесному состоянию.

Изотерма сорбции (десорбции) отображает в графическом виде связь между равновесной влажностью продукта и соответствующей относительной влажностью воздуха при постоянной температуре. Методы определения равновесной влажности можно разделить на статические и динамические. Статический метод предусматривает длительное выдерживание образцов исследуемого материала в среде с определенной температурой и влажностью [2]. Динамический метод предусматривает определение влажности материала, средней по объему, при равновесии окружающего влажного газа фактически с поверхностью тела, и основан на хроматографическом анализе кондиционированной среды, продуваемой над слоем продукта или через него.

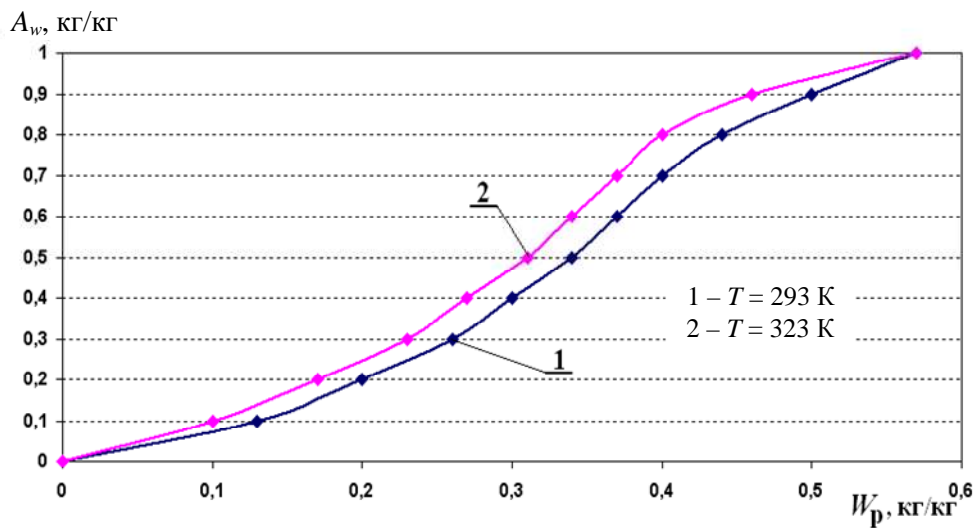
Исследования гигроскопических свойств проводились тензиметрическим методом Ван Бамелена, подробно описанным в [2]. Согласно данному статическому методу, образцы исследуемого материала с заранее определенной влажностью выдерживались в эксикаторах над водным раствором соляной кислоты, при этом каждой концентрации растворов соответствовало при данной температуре  $T$ , К, определенное значение относительной влажности воздуха  $\phi$ , %, ( $A_w$  – активность воды) в эксикаторе.

Определение равновесной влажности  $W_p$  осуществляли для значений  $T = 293$  и  $T = 308$  К. Экспериментальные исследования проводили при 3-х повторностях с помощью вероятностно-статистических методов планирования и обработки экспериментальных данных. В качестве опытного образца использовали икорный золь с влажностью  $W_n = 0,05$  кг/кг, полученный сухой распылением овариальной жидкости рыб осетровых пород. Образец продукта выдерживали над водным раствором соляной кислоты в эксикаторе при температуре  $T$ , К. Образцы периодически извлекали из эксикатора и взвешивали на аналитических весах до достижения постоянной массы, при которой их влажность соответствовала равновесной. Равновесную влажность  $W_p$  определяли по формуле

$$W_p = \frac{G2 - G1(1 - W_n)}{G2},$$

где  $G1$  – первоначальная масса образца, г;  $G2$  – масса образца при достижении гигротермического равновесия, г.

По данным экспериментальных исследований построены изотермы сорбции водяного пара икорным золем (рис.).



Экспериментальные изотермы сорбции водяного пара икорным золем

Анализ изотерм сорбции водяного пара (рис.) показывает незначительную зависимость сорбционной способности икорного золя от температуры. С повышением температуры равновесная влажность  $W_p$  уменьшается, что характерно для большинства биополимерных систем.

По виду изотерм сорбции, согласно классификации, предложенной А. В. Лыковым [3], икорный золь можно отнести к группе капиллярно-пористых коллоидных тел, в которых для жидкости характерны различные формы связи влаги с твердым скелетом, присущие как капиллярно-пористым, так и коллоидным телам. В соответствии с классификацией БЭТ изотерм адсорбции газов на твердых адсорбентах (С. Брунауэр, Л. Деминг, В. Деминг, Р. Эммет и Б. Теллер) [4], изотермы можно отнести к III типу, которому соответствует значительное влияние на сорбционную активность различных полярных групп. Молекулы воды являются диполями, и при взаимодействии с полярными группами электронная пара водорода смещается к электроотрицательным атомам азота и кислорода, вследствие чего образуется электрическое поле около поверхности молекул продукта, благодаря которому молекулы воды специфически ориентируются [4].

Характер изотерм (рис.) свидетельствует о сложном механизме процесса влагопоглощения, при этом наличие точек перегиба указывает на изменение механизма сорбции, а следовательно, и качественное изменение преобладающей формы связи удаляемой влаги [5]. Соответственно, скорость обезвоживания на различных этапах в процессе распылительной сушки овариальной жидкости будет определяться тем или иным видом связи.

На участке изотермы  $W_p \leq 0,05$  кг/кг (рис.) сорбционная способность практически не зависит от температуры. При сорбции паров воды биомассой на этом участке формируются энергетически прочные гидратные комплексы (кулоновский (ориентационный) характер гидратации) за счет адсорбции сольватных молекул жидкости молекулами внешней и внутренней поверхности мицелл икорного золя. Таким образом, на первоначальном участке сорбции происходит образование слоя мономолекулярной адсорбции и поглощение жидкости сопровождается значительным выделением тепла – теплоты гидратации (набухания).

При поляризации последующих слоев предыдущими молекулы воды продолжают находиться в ориентированном состоянии [5]. На участках  $W_p = 0,05 \dots 0,44$  кг/кг при  $T = 293$  К и  $W_p = 0,05 \dots 0,4$  кг/кг при  $T = 323$  К (рис.) изотермы обращены выпуклостью к оси активности воды, что типично для полимолекулярной адсорбции, и поглощение жидкости также сопровождается выделением тепла, однако его количество уменьшается по мере увеличения влагосодержания и свидетельствует о снижении физико-химической связи молекул воды с адсорбентом и постепенном приближении к свойствам обычной (свободной) жидкости.

Участку изотермы  $W_p > 0,44$  кг/кг при  $T = 293$  К и  $W_p > 0,4$  кг/кг при  $T = 323$  К (рис.) соответствует поглощение жидкости без выделения тепла, а значит, и без изменения внутренней энергии в объеме тела, и при этом увеличение объема в процессе набухания, согласно основному уравнению термодинамики, происходит за счет увеличения энтропии. Кроме того, для этих участков изотерм характерно наличие жидкости в объеме микро- и макрокапилляров, пор за счет эффекта смачивания без выделения тепла.

На основе анализа процесса сорбции паров воды икорным золем целесообразно рекомендовать конечную влажность продукта  $W \leq 0,05$  кг/кг для последующего длительного хранения, соответствующую образованию прочно связанного адсорбционного слоя.

Результаты исследований показывают, что икорный золь распылительной сушки относится к порошкам с высокой степенью гигроскопичности. Таким образом, целесообразно дальнейшие технологические стадии по переработке, фасовке и упаковке выполнять оперативно с учетом относительной влажности воздуха рабочих зон. Длительное хранение продукции необходимо осуществлять в герметичной упаковке или в помещениях при поддержании соответствующей влажности воздуха. Кроме того, результаты экспериментальных исследований необходимо учитывать при разработке технологий косметических, лечебно-профилактических и лечебных средств с использованием порошка икорного золя.

Для математического описания процесса сорбции на основе экспериментальных данных была получена аппроксимирующая зависимость активности воды от равновесной влажности продукта  $W_p$ , кг/кг, и температуры  $T$ , К:

$$A_w(W_p, T) = (0,13645 \cdot T + 58,55305)W_p^5 + (-0,19746 \cdot T - 115,21212)W_p^4 + \\ + (-0,003587 \cdot T + 100,090593)W_p^3 + (0,03561 \cdot T - 29,26853)W_p^2 + \\ + (0,00315 \cdot T + 1,03555)W_p + (-0,000017 \cdot T + 0,004283).$$

Зависимость активности воды от равновесной влажности может быть использована в инженерной практике и для анализа и описания процессов внутреннего массопереноса.

### Заключение

Изучена статика процесса сушки овариальной физиологической жидкости рыб осетровых пород для последующей промышленной организации процесса сушки с целью производства икорного золя – порошка для целей косметической промышленности. Дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования комплекса физико-химических характеристик икорного золя позволят разработать рекомендации по рациональному проектированию конструкции сушильного аппарата, а также физико-математические модели тепломассопереноса для оперативного управления процессом обезвоживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагообменные характеристики пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1982. – 280 с.
2. Гинзбург А. С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 527 с.
3. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
4. Зимон А. Д., Леценко Н. Ф. Коллоидная химия. – М.: Химия, 1995. – 336 с.
5. Алексанян И. Ю., Буйнов А. А. Высокоинтенсивная сушка пищевых продуктов. Пеносушка. Теория. Практика. Моделирование: моногр. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004. – 380 с.

Статья поступила в редакцию 23.12.2011

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Харенко Елена Николаевна** – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва; д-р техн. наук, доцент; зав. лабораторией нормирования; amxs1@yandex.ru.

**Harenko Elena Nickolaevna** – All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow; Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Laboratory of Standardization; amxs1@yandex.ru.

**Максименко Юрий Александрович** – Астраханский государственный технический университет; канд. техн. наук; доцент кафедры «Технологические машины и оборудование»; amxs1@yandex.ru.

**Maksimenko Yuriy Aleksandrovich** – Astrakhan State Technical University; Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department "Technological Machines and Machinery"; amxs1@yandex.ru.

**Терешонков Сергей Анатольевич** – Астраханский государственный технический университет; аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование»; amxs1@yandex.ru.

**Tereshonkov Sergey Anatolievich** – Astrakhan State Technical University; Postgraduate Student of the Department "Technological Machines and Machinery"; amxs1@yandex.ru.

**Дмитриева Екатерина Александровна** – Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, Москва; младший научный сотрудник лаборатории нормирования; amxs1@yandex.ru.

**Dmitrieva Ekaterina Aleksandrovna** – All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow; Junior Researcher of the Laboratory of Standardization; amxs1@yandex.ru.