

**САМООРГАНИЗАЦИЯ ЯИЧНОГО БЕЛКА
ПРИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДАХ**

А.С. ДАНИЛЬЧЕНКО, Т.Г. КОРОТКОВА, М.О. КОЗЛОВА

*Кубанский государственный технологический университет,
350002, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2;
электронная почта: bagira.ask@rambler.ru; korotkova1964@mail.ru.*

Приведены результаты хронологических экспериментальных исследований набухания высушенного яичного белка во времени, выполненные с помощью микроскопа, предназначенного для наблюдения тонких пленочных и прозрачных объектов. При увлажнении и последующем высыхании белок сохранил свои свойства. Сухая пленка белка восстановилась. Проведенные исследования по увлажнению и высыханию пленки белка не противоречат известным результатам и выводам, что в высыхающей пленке белка проявляются общие свойства материи, которые считаются самыми существенными и неизбежными признаками ее самоорганизации в любых системах (химических, физических, биологических).

Ключевые слова: белок, сушка, самоорганизация белка, фазовые переходы.

Метод визуального изучения динамики процесса конденсации белка и его фазовых переходов в неравновесных условиях (в открытой системе белок – вода, вдали от термодинамического равновесия) позволил установить нелинейную хаотическую динамику процесса. Экспериментально установлено, что в неравновесных условиях, в отличие от равновесных, белок имеет новую физическую фазу пленки (жидкокристаллическую, эластическую, твердую) с высокотекстурированным порядком на мезо- и макроуровне [1].

В работе Рапис Е.Г. [2] предложена и открыта модель спонтанной самоорганизации белковых структур, что позволило изучить неравновесную нелинейную динамику конденсации и самоорганизацию белка с его супермолекулярной архитектурой и функцией нано- и макромасштаба в абиотических и в биотических условиях.

Результаты экспериментов, изложенные Рапис Е.Г. в работе [3], показали, что метод высушивания коллоидного раствора открытой, далекой от равновесия, системы «белок – вода» при достаточной скорости испарения воды *in vitro* позволил обнаружить неравновесное состояние наноструктур белка в процессе его самоорганизации. В неравновесном состоянии белок обладает

собственной информацией активного поведения – самоорганизацией с автокатализом и другими свойствами нелинейных неравновесных активных систем. При добавлении воды в первоначально высохшую систему «белок – вода» белковые структуры «таяли» и пропадали из вида при гидратации. Наблюдениями установлено, как в присутствии воды белок снова превращался в невидимую фазу, т.е. растворялся.

Целью данной работы являются экспериментальные исследования набухания высушенного яичного белка во времени, выполненные с помощью микроскопа МБС-10 (рисунок 1), предназначенного для наблюдения тонких пленочных и прозрачных объектов.



Рисунок 1 – Микроскоп МБС-10

Увеличение микроскопа измеряется в кратях в пределах от 4 до 100. Характеристика показывает, во сколько раз наблюдаемое в прибор изображение предмета больше по сравнению с наблюдением предмета невооруженным глазом. Единицу измерения крат обозначают через «х», например, «2х» - «два крата». На рисунках 2-17 приведены последовательные фазы набухания яичного белка под воздействием воды.



Рисунок 2

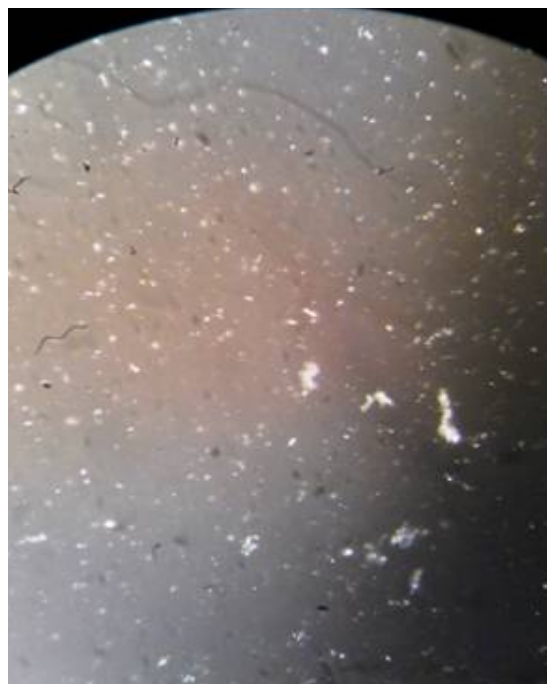


Рисунок 3

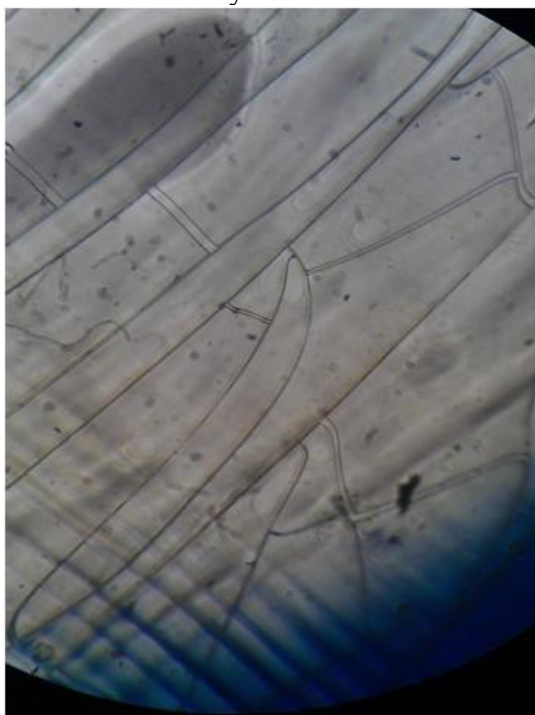


Рисунок 4

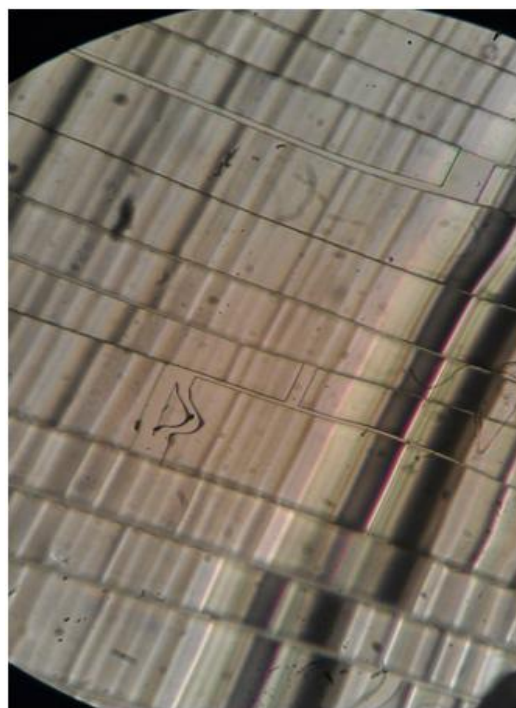


Рисунок 5

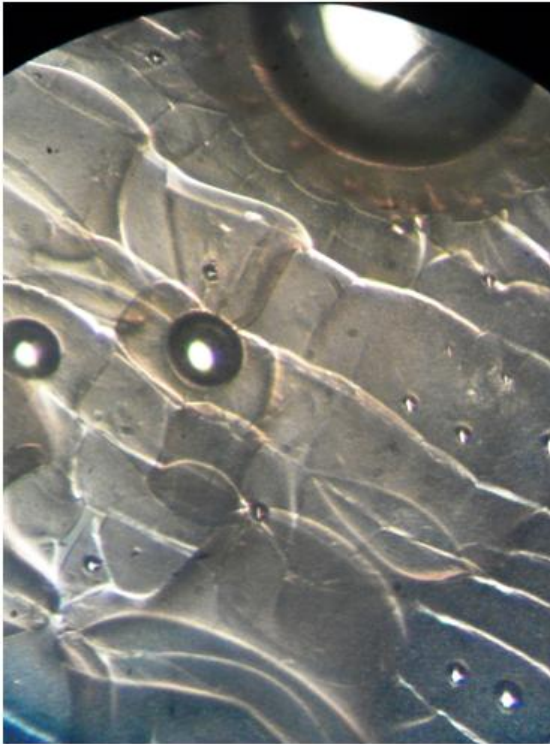


Рисунок 6

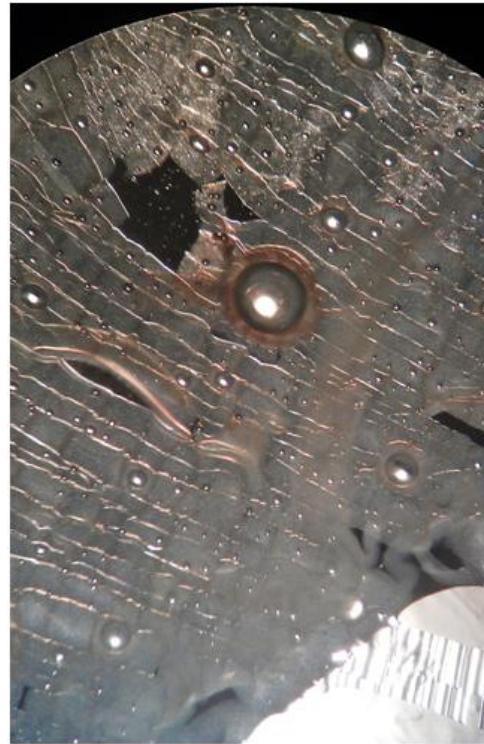


Рисунок 7

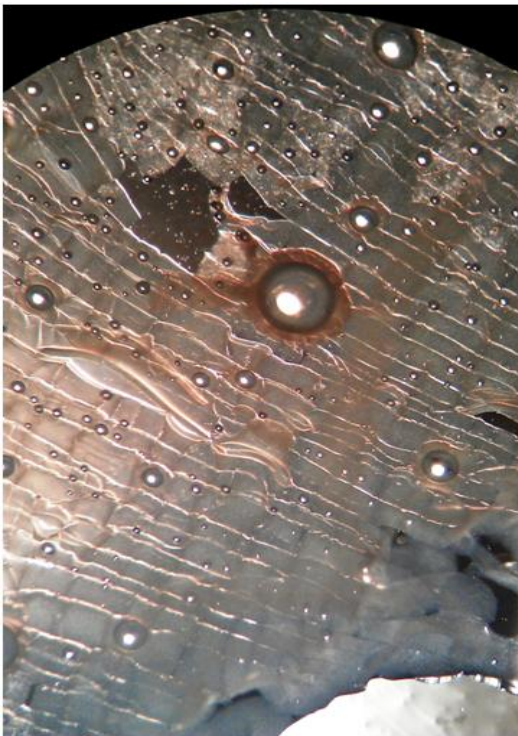


Рисунок 8

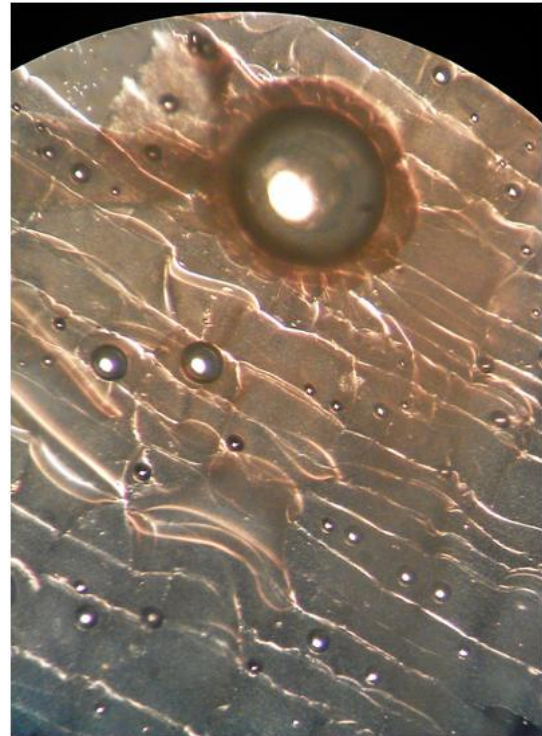


Рисунок 9



Рисунок 10

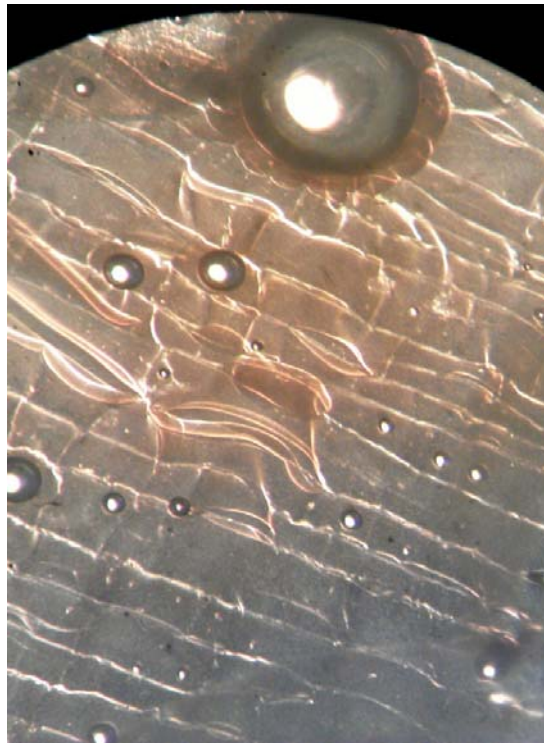


Рисунок 11

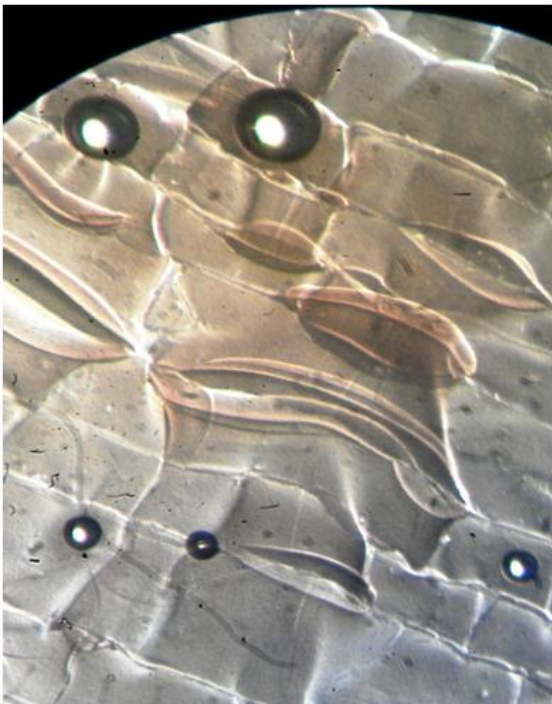


Рисунок 12



Рисунок 13

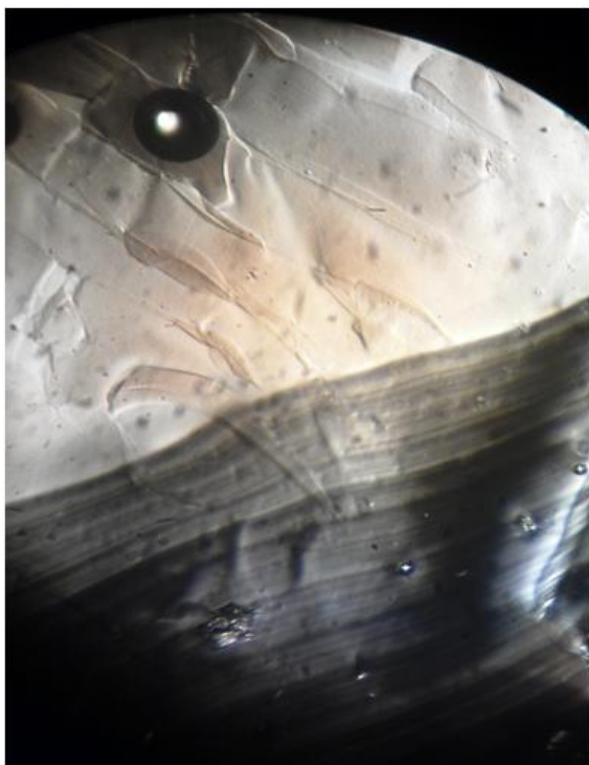


Рисунок 14

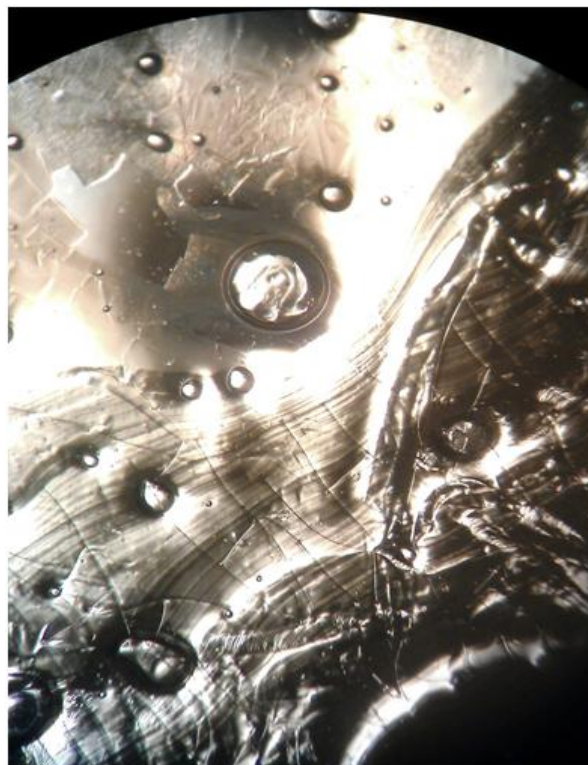


Рисунок 15

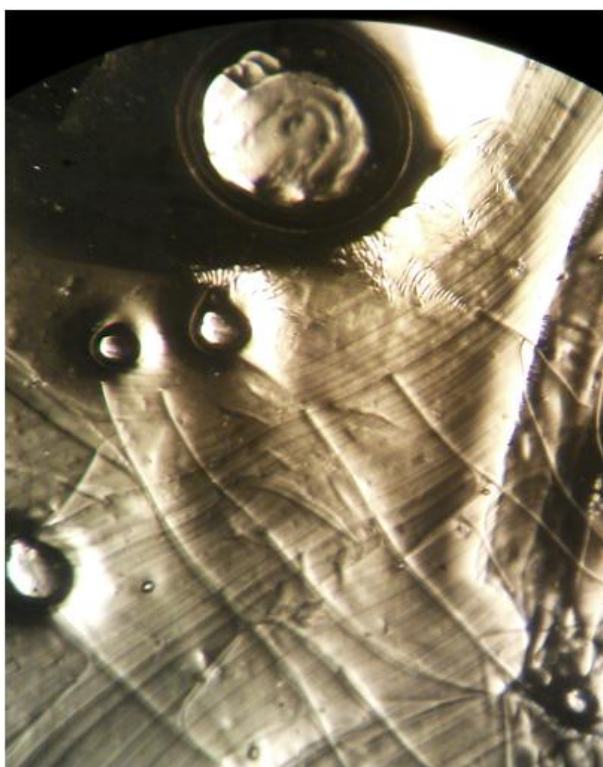


Рисунок 16

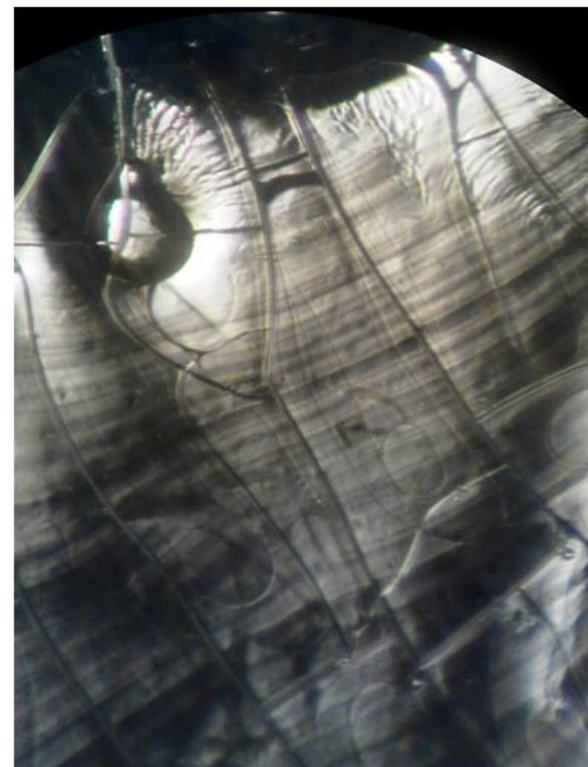


Рисунок 17

На рисунке 2 приведено фото сырого белка куриного яйца с увеличением 100 крат. На рисунке 3 - фото сырого белка куриного яйца, размешанного в воде, с увеличением 100 крат. На рисунке 4 высушенный белок куриного яйца
<http://ntk.kubstu.ru/file/1291>

(после сушильного шкафа), вид «пленки», на белок капнули несколько капель воды, показано начало процесса растворения сушеного белка, с увеличением 100 крат, время 0 мин. На рисунке 5 время воздействия воды на сухой белок 286 сек., увеличение 100 крат, время 4,8 мин. На рисунке 6 – процесс «набухания» высушенного белка, время 432 сек., с увеличением 100 крат, время 7,2 мин. На рисунке 7 – процесс «набухания» высушенного белка, время 638 сек., с увеличением 28 крат, время 10,6 мин. На рисунке 8 – процесс «набухания» высушенного белка, время 1250 сек., с увеличением 28 крат, время 20,8 мин. На рисунке 9 – процесс «набухания» высушенного белка, время 1324 сек., с увеличением 56 крат, время 22,1 мин. На рисунке 10 – процесс «набухания» высушенного белка, время 2650 сек., с увеличением 100 крат, время 44,2 мин. На рисунке 11 – процесс «набухания» высушенного белка, время 3206 сек., с увеличением 56 крат, время 53,4 мин. На рисунке 12 – процесс «набухания» высушенного белка, время 4954 сек., с увеличением 100 крат, время 82,6 мин. На рисунке 13 – процесс «набухания» высушенного белка, время 5278 сек., с увеличением 100 крат, время 88,0 мин. На рисунке 14 – процесс испарения воды и восстановление «пленки» высушенного белка, время 7768 сек., с увеличением 56 крат, время 129,5 мин. На рисунке 15 – процесс испарения воды и восстановление «пленки» высушенного белка, время 9182 сек., с увеличением 56 крат, время 153,0 мин. На рисунке 16 – процесс испарения воды и восстановление «пленки» высушенного белка, время 9320 сек., с увеличением 100 крат, время 155,2 мин. На рисунке 17 – процесс испарения воды закончился и произошло полное восстановление «пленки» высушенного белка, время 9182 сек., с увеличением 100 крат.

Проведенные нами ранее и описанные в предыдущих работах экспериментальные и теоретические исследования [4-9] показали, что при высыхании белок сохраняет свои свойства. На дне стеклянного бюкса образуется мутная пленка, словно клеем приклеенная ко дну бюкса, которая полностью растворяется (исчезает) при заливании ее водой. Аналогичная картина происходит и с вареным белком, который является денатурированным.

Вареный белок при высыхании теряет белый цвет и становится прозрачным. После добавления воды острые граненные формы округляются и переходят в жидкие кристаллы, причем крупинки белка словно «плаваются».

Проведенные нами исследования по увлажнению и высыханию пленки белка не противоречат полученным Е.Г. Рапис [9-10] результатам и выводам, что в высыхающей пленке белка проявляются общие свойства материи, которые считаются самыми существенными и неизбежными признаками ее самоорганизации в любых системах (химических, физических, биологических).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рапис Е.Г. Самосборка кластерных пленок белка в процессе конденсации (аллотропная неравновесная некристаллическая его форма) // Журнал технической физики, 2000. Том 70. Вып. 1. С. 122-133.

2. Рапис Е. Самоорганизация и супермолекулярная химия пленки белка от нано- до макромасштаба // Журнал технической физики, 2004. Т. 74. Вып. 4. С.117-122.

3. Рапис Е. Неравновесное состояние наноструктур белка при его самоорганизации // Журнал технической физики, 2006. Т. 76. Вып. 2. С.121-127.

4. Короткова Т.Г. Экспериментальное исследование тепло-массообмена при сушке раствора белка в случае вынужденной конвекции / Короткова Т.Г., Константинов Е.Н., Данильченко А.С., Артамонова В.В., Лунина Л.В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №07(121). – С. 825-834. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/47.pdf>, 0,625 у.п.л. – IDA [article ID]: 1211607047. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-121-047>

5. Данильченко А.С. Исследование конформационных перестроек белка при сушке / Данильченко А.С., Короткова Т.Г., Мариненко О.В., Артамонов А.М. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №07(121). – С. 729-738.

Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/40.pdf>, 0,625 у.п.л. – IDA [article ID]: 1211607040. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-121-040>

6. Данильченко А.С. Хронологическое исследование конформации системы вода – вареный белок при сушке / Данильченко А.С., Короткова Т.Г., Устюжанинова Т.А., Седой Ю.Н. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – №08(122). С. 900-909. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/61.pdf>, 0,625 у.п.л. – IDA [article ID]: 1221608061. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-122-061>

7. Короткова Т.Г., Данильченко А.С. Белок барды – ценный корм для животных и птицы // Современный взгляд на будущее науки: сборник статей Международной научно - практической конференции (25 мая 2016 г., Томск). В 5 ч. Ч.4 / - Уфа: АЭТЕРНА, 2016. – С. 61-62.

8. Константинов Е.Н., Ксандопуло С.Ю., Короткова Т.Г., Данильченко А.С. Математическая модель нестационарного процесса испарения жидких растворов // Известия вузов. Пищевая технология, 2015. № 5-6. С. 82-86.

9. Korotkova T.G. Development and Identification of a Mathematical Model for Nonstationary Heat and Mass Transfer in the Water/Air System with Forced Convection / T.G. Korotkova, Eu. N. Konstantinov, A.S. Danilchenko, S. Ju. Ksandopulo // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 18 (2016) pp. 9551-9556. http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n18_48.pdf

10. Рапис Е.Г. «Белок и жизнь. Самоорганизация, самосборка и симметрия наноструктурных супрамолекулярных пленок белка» <http://spkurdyumov.ru/economy/belok-i-zhizn/>

REFERENCES

1. Rapis E.G. Samosborka klasternykh plenok belka v protsesse kondensatsii (allotropnaya neravnovesnaya nekristallicheskaya ego forma) // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 2000. Tom 70. Vyp. 1. S. 122-133.

2. Rapis E. Samoorganizatsiya i supermolekulyarnaya khimiya plenki belka ot nano- do makromasshtaba // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 2004. T. 74. Vyp. 4. S.117-122.

3. Rapis E. Neravnovesnoe sostoyanie nanostruktur belka pri ego samoorganizatsii // Zhurnal tekhnicheskoy fiziki, 2006. T. 76. Vyp. 2. S.121-127.

4. Korotkova T.G. Eksperimentalnoe issledovanie teplo-massoobmena pri sushke rastvora belka v sluchae vynuzhdennoy konveksii / Korotkova T.G., Konstantinov E.N., Danilchenko A.S., Artamonova V.V., Lunina L.V. // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU) [Elektronnyy resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №07(121). – S. 825-834. Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/47.pdf>, 0,625 u.p.l. – IDA [article ID]: 1211607047. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-121-047>

5. Danilchenko A.S. Issledovanie konformatsionnykh perestroek belka pri sushke / Danilchenko A.S., Korotkova T.G., Marinenko O.V., Artamonov A.M. // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU) [Elektronnyy resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №07(121). – S. 729-738. Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/07/pdf/40.pdf>, 0,625 u.p.l. – IDA [article ID]: 1211607040. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-121-040>

6. Danilchenko A.S. Khronologicheskoe issledovanie konformatsii sistemy voda – varennyy belok pri sushke / Danilchenko A.S., Korotkova T.G., Ustyuzhaninova T.A., Sedoy Yu.N. // Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU) [Elektronnyy resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2016. – №08(122). S. 900-909. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/61.pdf>, 0,625 u.p.l. – IDA [article ID]: 1221608061. <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-122-061>

7. Korotkova T.G., Danilchenko A.S. Belok bardy – tsenny korm dlya zhivotnykh i ptitsy // Sovremennyy vzglyad na budushchee nauki: sbornik statey

Mezhdunarodnoy nauchno - prakticheskoy konferentsii (25 maya 2016 g., Tomsk). V 5 ch. Ch.4 / - Ufa: AETERNA, 2016. – S. 61-62.

8. Konstantinov E.N., Ksandopulo S.Yu., Korotkova T.G., Danilchenko A.C. Matematicheskaya model nestatsionarnogo protsessa ispareniya zhidkikh rastvorov // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya, 2015. № 5-6. S. 82-86.

9. Korotkova T.G. Development and Identification of a Mathematical Model for Nonstationary Heat and Mass Transfer in the Water/Air System with Forced Convection / T.G. Korotkova, Eu. N. Konstantinov, A.S. Danilchenko, S. Ju. Ksandopulo // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 18 (2016) pp. 9551-9556. http://www.ripublication.com/ijaer16/ijaerv11n18_48.pdf

10. Rapis E.G. «Belok i zhizn. Samoorganizatsiya, samosboroka i simmetriya nanostrukturnykh supramolekulyarnykh plenok belka» <http://spkurdyumov.ru/economy/belok-i-zhizn/>

*SELF-ORGANIZATION OF EGG WHITE
UPON PHASE TRANSITIONS*

A.S. DANILCHENKO, T.G. KOROTKOVA, M.A. KOZLOVA

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350002;
e-mail: bagira.ask@rambler.ru, korotkova1964@mail.ru*

The results of experimental research chronological swelling of the dried egg white in time made using a microscope, for observing intended thin film and transparent objects. When wetting and subsequent drying of the protein retains its properties. Dry film protein recovered. Studies on wetting and drying protein film did not contradict the known results and conclusions as to the drying protein film exhibits the general properties of matter, which are considered the most significant and unavoidable signs of her self in any systems (chemical, physical, biological).

Key words: protein drying, protein self-organization, phase transitions.